

УДК 574.633:574.583(28)

# ЗООПЛАНКТОН ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АКВАЛАУНДШАФТОВ

<b>ЛЮБИН</b> Павел Анатольевич	<i>Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, plubin@mail.ru</i>
<b>БЕРДНИК</b> Сергей Владимирович	<i>Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, sergey.berdnik@tatar.ru</i>
<b>ТОКИНОВА</b> Римма Петровна	<i>Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, r.tokin@rambler.ru</i>

**Ключевые слова:**  
пространственный анализ  
зоопланктон  
Займище  
Куйбышевское  
водохранилище  
кластерный анализ  
оценка уровня  
самоочищения

**Аннотация:** В результате гидробиологического обследования мелководно-островной зоны Куйбышевского водохранилища у г. Казани (окрестности пос. Займище) в июне 2015 г. изучен видовой состав и количественные характеристики зоопланктональных сообществ. На основе кластерного анализа выявлен пространственно-неоднородный характер в распределении структуры зоопланктона, обусловленный изменениями гидрологических условий в акватории водохранилища при намыве искусственных дамб и перешейков. Изучаются вопросы направленности структурных перестроек зоопланктональных сообществ при антропогенных преобразованиях аквалаундшафтов.

© Петрозаводский государственный университет

**Рецензент:** О. В. Мухортова

Получена: 03 апреля 2017 года

Подписана к печати: 21 декабря 2017 года

## Введение

Ландшафты верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища у г. Казани (окрестности пос. Займище) характеризуются многообразием островов, полуостровов, мелководных зон и проток, образовавшихся на месте пойменных лугов, озер и стариц левобережья Волги после создания водохранилища. Разработка в данном районе обводненного месторождения песка и сооружение в 1980-х гг. мостового перехода (по автотрассе М7) с глухой дамбой, перекрывающей большую часть речного створа, а также проведение в последующие годы масштабных работ по намыву искусствен-

ных дамб и перешейков привели в итоге к значительной трансформации природных волжских ландшафтов. Береговая линия левобережной акватории водохранилища приобрела сильно изрезанную конфигурацию. Отдельные участки акватории оказались изолированы в большей или меньшей степени от водообмена с русловой частью, превратившись в озеровидные образования различной формы и размеров.

В июне 2015 г. сотрудниками Института проблем экологии и недропользования (ИНЭП АН РТ, г. Казань) в рассматриваемом районе проведены комплексные научные изыскания с целью установления влияния

ограничения и замедления водообмена, обусловленных намывом новых земель, на состояние экосистем отчлененных участков акватории, а также оценки рисков снижения природно-рекреационной и рыбохозяйственной ценности данной территории. Целью настоящей статьи является оценка состояния экосистемы антропогенно трансформированной акватории водохранилища (в районе пос. Займище) по зоопланкtonным сообществам. Зоопланктон является важной структурной и функциональной частью экосистем водных объектов, участвует в самоочищении водоемов и служит индикатором их состояния, чутко реагируя на изменение как природных, так и антропогенных факторов (Андроникова, 1996). Тесная связь формирования зоопланктоценозов с комплексом факторов среды позволяет по видовой структуре, скорости и направленности перестройки планктонных сообществ исследовать закономерности пространственного распределения разнородных водных масс (Шурганова, Черепенников, 2006; Ильин, 2016).

## Материалы

Гидробиологическое обследование мелководно-островной акватории Волжского плеса Куйбышевского водохранилища у г. Казани (окрестности пос. Займище) проведено в период 1–10 июня 2015 г. Пробы воды (по 50 литров на каждой станции) отбирались ведром с поверхностного слоя и фильтровались через сеть Апштейна с газом № 74 (с номинальным размером ячейки 0.093 мм) в соответствии со стандартными гидробиологическими методами (Методические рекомендации..., 1982; Руководство по методам..., 1983). Местоположение на акватории гидробиологических разрезов соответствовало границам озеровидных участков, образовавшихся при антропогенном преобразовании акватории. Всего заложены 6 разрезов (№ 1–6) с 19 планктонными станциями (ст. 1–19), обработано 19 проб. Пробы фиксировались 4 % раствором формалина. Для таксономической идентификации организмов зоопланктона использовались общепринятые определители (Определитель..., 1977; Определитель зоопланктона..., 2010). Расчет биомассы зоопланктона проводился по формулам зависимости массы организмов от длины тела (Численко, 1968; Методические рекомендации..., 1982). Тем-

пература воды и содержание кислорода определялись портативным электронным оксиметром МАРК-201, прозрачность воды – диском Секки.

## Методы

Для количественной оценки значимости видов при классификационных построениях (оценки сходства между станциями) использована величина экспресс-оценки продукции популяции таксона по среднему весу его особей, предложенная И. Е. Манушиным (2008):

$$P = B \cdot 0.0019 \cdot (B/N)^{-0.39},$$

где  $P$  – суточная продукция вида/таксона,  $\text{г}/\text{м}^3/\text{сутки}$ ;  $B$  – биомасса,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $N$  – плотность поселения,  $\text{инд.}/\text{м}^3$ .

Из-за большой неопределенности производственных параметров и отсутствия данных о рационе хищников общая продукция зоопланктонного сообщества  $P_1$  рассчитывалась как суммарная продукция крупных (весом более  $10^{-5}$  г) зоопланктеров, в соответствии с методическими рекомендациями (Методические рекомендации..., 1982, § 6.2). Суммарная продукция более мелких (весом менее  $10^{-5}$  г) зоопланктеров  $P_2$  рассчитывалась отдельно.

Сообщества выделялись методом кластерного анализа с использованием для расчета меры сходства станций количественного индекса Чекановского (Czeckanovski, 1909), индекс сходства выражался %. Видовые постанционные списки использовались в качестве первичной матрицы (размерностью 43 X 19) с данными по суточной продукции вида или таксона на каждой станции ( $P$ ,  $\text{г}/\text{м}^3/\text{сутки}$ ). Кластеризация проводилась методом средневзвешенного среднего (Андреев, 1980). Проверка статистической значимости выделенных кластеров выполнялась имитационным анализом сходства ANOSIM в программе Primer 5 (PRIMER-E Ltd) (Clarke, 1993; Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2001) по полученной матрице сходства станций (размерностью 19 X 19). Для более полного и наглядного представления о фаунистическом сходстве станций друг с другом выполнялась их ординация на MDS-диаграмме в осях двух первых неметрических шкал, показавших наименьший уровень стресса. Выделенные сообщества обозначались в соответствии с видами, доминирующими по

величине суточной продукции. Выделение доминирующих видов проводилось в соответствии со шкалой Е. Л. Любарского (1974).

В качестве обобщенного показателя видового разнообразия использована широко применяемая для этих целей информационная мера Шеннона ( $H'$ ) (Shannon, 1948), рассчитываемая по формуле:

$$H' = \sum \left( \frac{n_i}{N} \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right) \right)$$

где  $n_i$  – количество особей  $i$ -го вида/таксона в пробе,  $N$  – общее количество особей в пробе.

Для оценки общего экологического состояния (благополучия) бентосных сообществ использован индекс преобладающей жизненной стратегии или экологического благополучия ( $D_E$ ), основанный на сопоставлении информационного разнообразия видов по численности и биомассе и вычисляемый по формуле (Денисенко, 2006):

$$D_E = [H'(B) - H'(N)] / \log_2(S)$$

где  $H'(B)$  и  $H'(N)$  – индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе и по численности особей;  $S$  – количество видов в выборке.

Оценка качества воды проводилась путем расчета индекса сапробности ( $S$ ) по Пантле-Букку (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sladec̆ek, 1965, 1973).

Оценка уровня самоочищения ( $K$ ) проводилась по формуле (Горшкова, 2003, 2012):

$$K = \frac{Po + 0.5P\beta}{P\alpha\rho + 0.5P\beta}$$

где  $Po$  – процент содержания в пробе воды организмов, приуроченных к чистым средам обитания (олигосапробы),  $P\beta$  – процент  $\beta$ -мезосапробов,  $P\alpha\rho$  – процент суммы представителей зоопланктонной фауны, выдерживающих высокую степень загрязнения ( $\alpha$ -мезосапробы и полисапробы).

Всего было отобрано и изучено 19 проб зоопланктона, просмотрено 15310 экземпляров зоопланктеров.

## Результаты

В зоопланктоне мелководно-островной акватории Куйбышевского водохранилища у г. Казани в первой декаде июня выявлен 41 вид беспозвоночных, относящийся к 11 отрядам, 3 классам и 2 типам (Rotifera и

Arthropoda). Более половины из обнаруженных видов (22) приходится на коловраток (класс Eurotatotria), к ветвистоусым ракам (класс Branchiopoda) относятся 13 видов, к веслоногим ракам (класс Maxillopoda) – 6 видов. По богатству видов на станциях, как и в целом по району исследования, как правило, доминируют коловратки (Rotatoria), доля которых достигает 75 % от общего числа видов.

Численность зоопланктона на исследованных станциях изменяется в широком диапазоне значений от 6.8 тыс. до 1036.6 тыс. экз./ $m^3$ , составляя в среднем  $195.9 \pm 58.7$  тыс. экз./ $m^3$ . Общая биомасса варьирует от 0.037 до 58.421 г/ $m^3$ , в среднем составляя  $6.836 \pm 3.258$  г/ $m^3$ . Величина вторичной суточной продукции зоопланктона колеблется в пределах 0.006–4.661 г/ $m^3$ /сутки, при этом средние значения составляют  $0.598 \pm 0.265$  г/ $m^3$ /сутки. В целом зоопланктон исследованной акватории по количественно-весовым и продукционным показателям, так же как и по видовому богатству, носит ярко выраженный коловраточный облик. Доля коловраток в численности и биомассе зоопланктона достигает от 70 до 95 %, а доля в создании вторичной продукции – до 89 %. На этом фоне доля ветвистоусых и веслоногих ракообразных в структуре планктонного сообщества весьма незначительна. Подобная картина сохраняется на большей части исследованных станций, за исключением станций 16–19 (разрез №6), где коловратки уступают свое доминирование ветвистоусым ракам. Более детальный анализ состава и количественного распределения зоопланктона по станциям выполнен нами ранее (Любин, Бердник, 2016).

На основе кластерного анализа станций по вкладу видов в общую продукцию с использованием индекса Чекановского (Czeckanovski, 1909) установлено, что станции в пределах каждого из озеровидных участков образуют единый кластер и характеризуются сходными структурными и продукционными показателями зоопланктонного сообщества (рис. 1). Анализ дендрограммы и пространственного распределения кластеров на MDS-диаграмме (рис. 2) и на карте (рис. 3) позволил выделить в зоопланктоноценозе исследованной акватории наличие пяти дискретных комплексов (I–V).

Проведенный методом ANOSIM анализ матрицы сходства станций показал значения R статистики  $\geq 0.76$  при уровне значимости

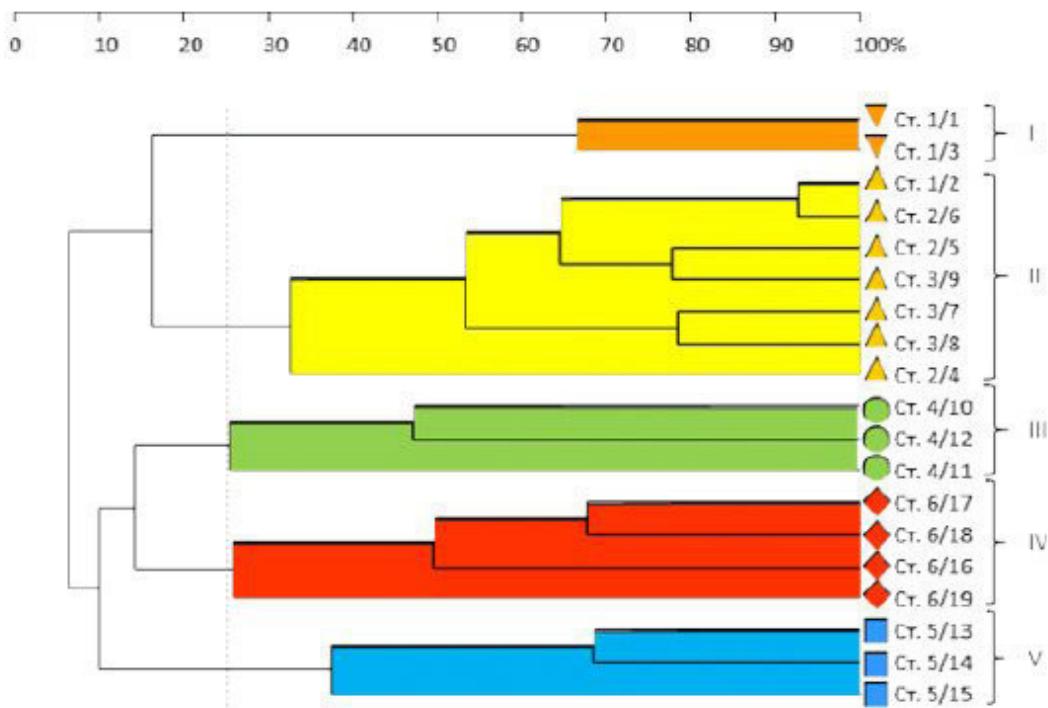


Рис. 1. Результаты кластерного анализа сходства станций (по величине вторичной продукции зоопланктеров). Условные обозначения станций: слева от дроби номер разреза, справа – номер станции (I–V – выделенные фаунистические комплексы)

Fig. 1. The results of the cluster analysis of the stations similarity (by the data of zooplankton secondary production). Symbols of stations: the transect's number is to the left of the fractio; the station's number (I–V – selected fauna complexes) is to the right

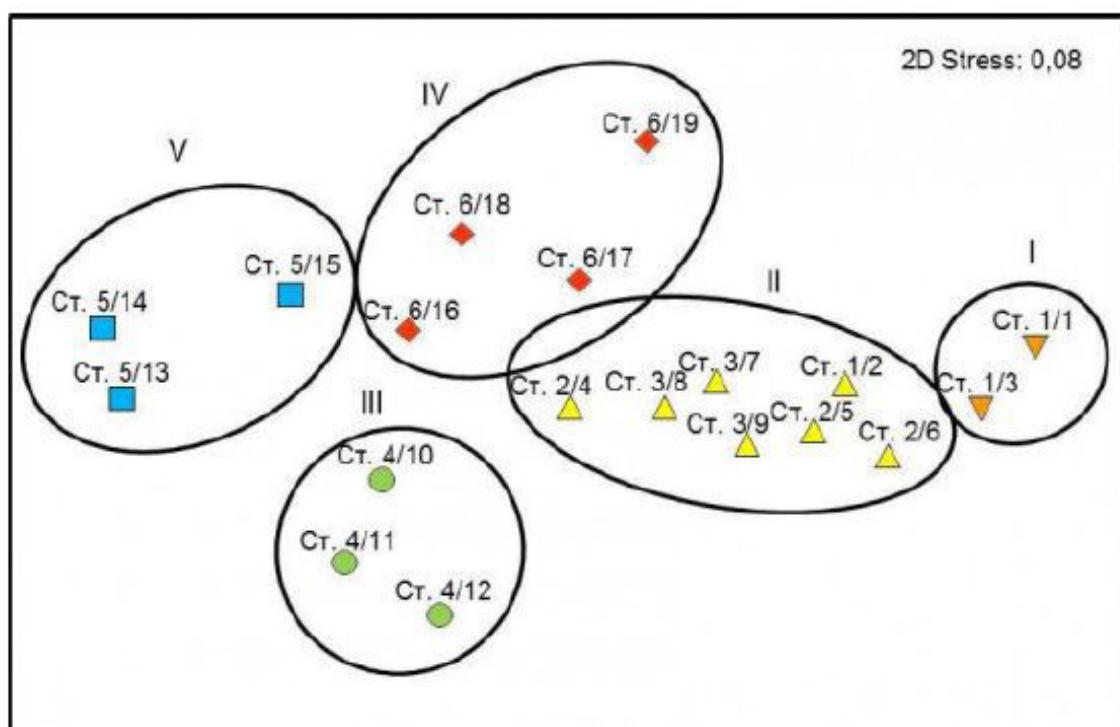


Рис. 2. Неметрическая MDS-диаграмма сходства станций. Обозначения, как на рис. 1  
Fig. 2. Non-metric MDS plot of the station similarity. Symbols as on the fig. 1

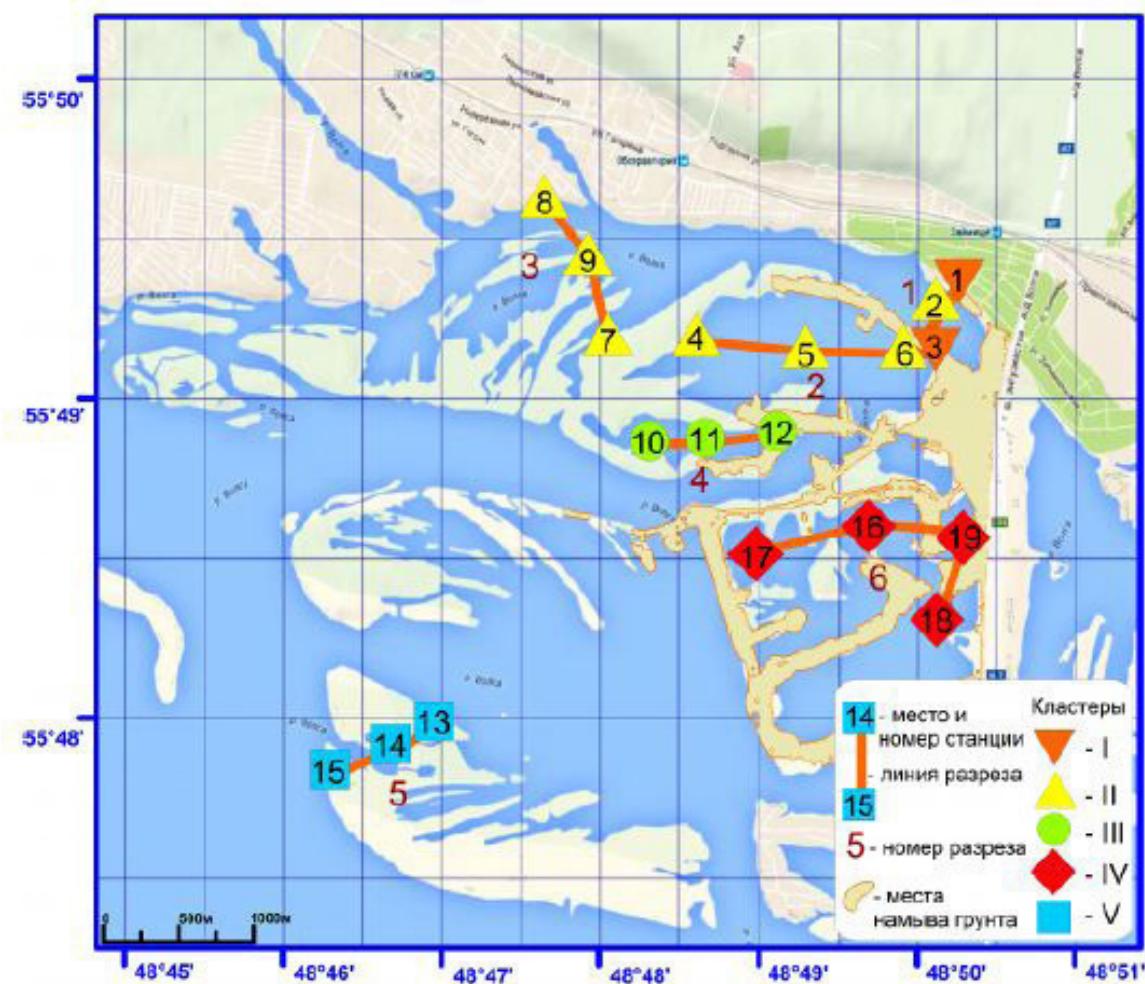


Рис. 3. Пространственное распределение основных комплексов зоопланктона в акватории Куйбышевского водохранилища у г. Казани (I–V – выделенные фаунистические комплексы)

Fig. 3. The spatial distribution of the major complexes of zooplankton in water space of the Kuibyshev reservoir near Kazan city (I–V – selected fauna complexes)

сти  $p \leq 10\%$  для кластерных пар, значение R статистики = 0.93 при уровне значимости  $p = 0.1\%$  в целом для всей модели, что говорит о высокой статистической значимости и неслучайности их группировки и отличия выбранной нами модели от нулевой гипотезы об отсутствии различий между кластерами (табл. 1).

Основные качественные и количественные характеристики выделенных нами сообществ приведены в табл. 2.

## Обсуждение

Первые два кластера, I и II, объединили станции 1–9 (разрезы №1–3), расположенные в Займищенском заливе. Последний образовался на месте цепи мелких пойменных озер, вытянутой вдоль поселков Займище и Октябрьский, и после затопления водохранилищем приобрел довольно большую площадь поверхности водного зеркала. Вода залива является (по основным гидрохими-

ческим показателям) смешанной и сформирована водными массами Куйбышевского водохранилища и подземными минерализованными водами, разгрузка которых отмечена у восточного берега залива (данные О. Ю. Тарасова, ИПЭН АН РТ). В зоопланктоне Займищенского залива доминирующим видом по продукции, так же как по биомассе и численности, является крупная коловратка *Asplanchna priodonta*. По составу видов станции этого залива мало отличаются друг от друга: характерными, кроме *A. priodonta*, являются коловратки *Asplanchna sieboldii* и *Filinia longiseta*, ветвистоусый ракоч *Bosmina longirostris* и науплиальные стадии веслоногих раков. Выделение станций 1 и 3 в отдельный кластер связано со значительным развитием в планктоне восточной части залива *A. priodonta*, благодаря которой здесь отмечены максимальные для всей исследованной акватории значения продукции зоопланктона – до  $2.807 \pm 1.319 \text{ г}/\text{м}^3/\text{сут}$ .

Таблица 1. Результаты ANOSIM анализа выделенных зоопланктонных сообществ по матрице сходства станций

Table 1. The results of the ANOSIM analysis of the selected zooplankton complexes by the matrix of the stations similarity

Общий тест					
Попарный тест					
Кластерные пары	R Статистика	Уровень значимости, %	Возможное число подстановок	Произведенное число подстановок	
I-II	0.76	2.8	36	36	
I-III	1.00	10	10	10	
I-IV	1.00	10	10	10	
I-V	1.00	6.7	15	15	
II-III	0.97	0.8	120	120	
II-IV	0.99	0.8	120	120	
II-V	0.886	0.3	330	330	
III-IV	1.00	10	10	10	
III-V	0.83	2.9	35	35	
IV-V	0.96	2.9	35	35	

Кластер III объединил станции 10–12 (разрез №4), расположенные на сравнительно небольшом участке акватории (над бывшими пойменными лугами), изолированном от открытой части водохранилища с запада узким и извилистым протоком, а с востока – искусственной песчаной дамбой. В связи с ограниченным водообменом, на этом озеровидном участке поверхностный слой воды нагревается сильнее, из-за сильного развития планктонных водорослей отмечаются изменения цвета и запаха воды, прозрачность воды снижается до 0.4–0.7 м. В зоопланктоне локализуется сообщество без выраженного доминирования какого-либо одного вида. Ведущий комплекс формируют два вида веслоногих раков *Thermocyclops crassus*, *Cyclops strenuus* и два вида коловраток *A. priodonta*, *Conochilus unicornis*, количественно представленные в разной степени. Кроме них здесь встречены мелкие коловратки *Keratella quadrata*, *Polyarthra vulgaris*, ветвистоусый ракок *Daphnia cucullata*, а также науплиальные личинки веслоногих раков.

Кластер IV объединил станции 16–19 (раз-

рез №6), находящиеся в наиболее трансформированной строительными работами части водохранилища, которая с востока ограничена дамбой автомобильного моста, а с других сторон – искусственными песчаными косами. В зоопланктоне данного участка коловратки уступают свое доминирование ветвистоусым раккам за счет преобладающего развития *B. longirostris*, при этом *A. priodonta* остается в числе содоминантов только по биомассе. Кроме этих форм в планктонном сообществе встречаются *F. longiseta* и науплиальные личинки веслоногих раков.

В кластер V объединились станции 13–15 (разрез № 5), располагающиеся на разрезе островного озера, сохраняющего открытый обмен с русловой частью водохранилища посредством двух проток. Озеро представляет собой бывшее пойменное озеро Дубовое, которое после затопления водохранилищем сохранило свои прежние очертания. Находясь на значительном удалении от затронутых строительством участков акватории, озеро с протоками сохраняет природную целостность и использовано нами в качестве контрольного участка. В комплекс

Таблица 2. Качественные и количественные характеристики зоопланктонных комплексов в акватории Куйбышевского водохранилища у г. Казани

Table 2. Qualitative and quantitative characteristics of zooplankton communities in waters of Kuibyshev reservoir near Kazan city

Зоопланктонные комплексы и их характеристика	<i>A. priodonta</i> (I), Займищенский залив	<i>A. priodonta</i> (II), Займищенский залив	<i>T. crassus</i> <i>A. priodonta</i> <i>C. unicornis</i> <i>C. strenuous</i> (III)	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> (IV)	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> <i>T. oithonoides</i> <i>B. calyciflorus</i> (V), оз. Дубовое
№ станций	1, 3	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10, 11, 12	16, 17, 18, 19	13, 14, 15
Глубина участка, м	0.5–1.7	0.4–14.0	0.6–3.0	3.0–15.0	1.5–3.0
Температура воды, °С (поверхность)	24.4	23.5–26.7	25.3–27.4	17.7–19.4	21.3–22.5
Прозрачность, м	0.5–1.2	0.4–1.25	0.4–0.7	0.7–1	1.5–1.9
Содержание кислорода, %	78.8	85.0–105.5	98.8–110.7	27.1–49.7	61.5–66.7
Число видов в пробе	$13.5 \pm 0.5$ (13–14)	$10.6 \pm 0.9$ (7–13)	$11.0 \pm 0.6$ (10–12)	$10.5 \pm 1.7$ (7–13)	$15.0 \pm 0.7$ (14–16)
Общее число видов	18	25	17	16	25
Биомасса, г/м <sup>3</sup>	$43.63 \pm 14.79$ (28.83–58.42)	$5.19 \pm 1.36$ (0.79–10.09)	$0.51 \pm 0.16$ (0.27–0.82)	$1.14 \pm 0.58$ (0.30–2.54)	$0.07 \pm 0.04$ (0.04–0.14)
Доминанты по биомассе	<i>A. priodonta</i>	<i>A. priodonta</i> . <i>A. sieboldi</i>	<i>A. priodonta</i> <i>T. crassus</i> <i>C. strenuous</i>	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i>	<i>A. priodonta</i> <i>B. longirostris</i> <i>T. oithonoides</i>
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	$795.1 \pm 241.5$ (553.5–1036.6)	$128.9 \pm 19.3$ (50.7–197.6)	$85.98 \pm 39.43$ (41.3–164.6)	$236.08 \pm 126.14$ (99.5–562.1)	$9.52 \pm 3.25$ (6.8–14.8)
Доминанты по численности	<i>A. priodonta</i>	<i>A. priodonta</i>	<i>C. unicornis</i> <i>T. crassus</i>	<i>B. longirostris</i> <i>B. calyciflorus</i> <i>S. stylata</i>	<i>B. longirostris</i> <i>B. calyciflorus</i> <i>S. stylata</i>
Продукция Р <sub>1</sub> , г/м <sup>3</sup> / сутки	$2.807 \pm 1.319$ (1.875–3.740)	$0.300 \pm 0.093$ (0.022–0.607)	$0.013 \pm 0.006$ (0.040–0.020)	$0.010 \pm 0.008$ (0.001–0.031)	$0.002 \pm 0.002$ (0.001–0.005)
Продукция Р <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup> / сутки	$0.710 \pm 0.299$ (0.498–0.921)	$0.150 \pm 0.025$ (0.076–0.246)	$0.054 \pm 0.008$ (0.004–0.063)	$0.222 \pm 0.126$ (0.067–0.544)	$0.009 \pm 0.004$ (0.006–0.015)
Доминанты по продукции	<i>A. priodonta</i>	<i>A. priodonta</i>	<i>T. crassus</i> <i>A. priodonta</i> <i>C. unicornis</i> <i>C. strenuous</i>	<i>B. longirostris</i> <i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> <i>T. oithonoides</i>	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> <i>T. oithonoides</i>

Таблица 2. Продолжение

Зоопланктонные комплексы и их характеристика	<i>A. priodonta</i> (I), Займищен- ский залив	<i>A. priodonta</i> (II), Займищенский залив	<i>T. crassus</i> <i>A. priodonta</i> <i>C. unicornis</i> <i>C. strenuous</i> (III)	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> (IV)	<i>B. longirostris</i> <i>A. priodonta</i> <i>T. oithonoides</i> <i>B. calyciflorus</i> (V), оз. Дубовое
Индекс Шеннона (по биомассе)	0.6 ± 0.2 (0.4–0.7)	1.4 ± 0.2 (1.0–2.1)	2.1 ± 0.1 (2.0–2.3)	1.7 ± 0.4 (0.8–2.6)	2.7 ± 0.1 (2.6–2.9)
Индекс Шеннона (по численности)	1.1 ± 0.1 (1.1–1.2)	2.1 ± 0.3 (1.2–2.8)	1.9 ± 0.5 (1.1–2.4)	1.7 ± 0.5 (0.8–2.6)	3.2 ± 0.1 (3.1–3.4)
Индекс Пантле – Букка – Сладечека	1.68 ± 0.01 (1.67–1.68)	1.66 ± 0.2 (1.58–1.73)	1.67 ± 0.11 (1.53–1.85)	1.72 ± 0.03 (1.67–1.77)	1.68 ± 0.01 (1.67–1.69)
Индекс самоочищения	1.01 ± 0.01 (1.00–1.02)	1.18 ± 0.13 (1.00–1.27)	1.10 ± 0.10 (1.00–1.85)	1.00 ± 0.01 (0.98–1.03)	1.60 ± 0.21 (1.28–1.85)
Индекс благополучия сообщества	−0.15 ± 0.02 (−0.13 – −0.16)	−0.21 ± 0.04 (−0.33 – −0.07)	0.06 ± 0.12 (−0.04 – 0.27)	0.00 ± 0.03 (−0.07 – 0.07)	−0.12 ± 0.05 (−0.20 – −0.05)

ведущих форм зоопланктона здесь входят ветвистоусый ракок *B. longirostris*, доминирующий по численности и по величине продукции, а также коловратки *A. priodonta*, *Brachionus calyciflorus* и веслоногий ракок *Thermocyclops oithonoides*. Вместе с ними встречаются коловратки *Synchaeta stylata*, *Euchlanis dilatata*, *K. quadrata* и науплиальные личинки веслоногих раков.

При сравнении выделенных сообществ между собой по таксономическому разнообразию наиболее высоким видовым богатством (15 видов в пробе) и максимальными значениями индекса Шеннона ( $H'(B) = 2.7$  и  $H'(N) = 3.2$  бит) характеризуется зоопланктон островного оз. Дубовое. На всех других исследованных участках показатели видового разнообразия ухудшаются, снижаясь на отдельных участках (например, в восточной части Займищенского залива) до  $H'(B) = 0.6$  и  $H'(N) = 1.1$  бит. В пространственном распределении количественно-весовых и производственных показателей наблюдается противоположная направленность. Минимальные значения численности (9.52 тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомассы (0.074 г/м<sup>3</sup>) и продукции (0.009 г/м<sup>3</sup>/сут.) фиксируются в зоопланктоне оз. Дубовое. На трансформированных участках водохранилища наблюдается многократное, на порядок и более, превышение значений

этих показателей, при этом максимумы достигаются, как упоминалось выше, в заливе, прилегающем к пос. Займище.

Антропогенные преобразования исследуемой акватории и намыв искусственных дамб могут быть причиной повышения уровня трофии на участках с нарушенным гидрологическим режимом. Так, по величине биомассы зоопланктона, в соответствии со шкалой трофности Китаева (Китаев, 2007), станции V группы (оз. Дубовое и его 2 протока) относятся к ультраолиготрофной зоне; вместе с тем на участках, непосредственно примыкающих к пос. Займище (разрезы № 1–3 – I и II кластеры), отмечено повышение трофического статуса до уровня мезо- и гипертрофии.

Сапробиологический анализ уровня органического загрязнения методом Пантле – Букка не выявил значимых отличий станций и участков друг с другом. Индекс сапробности на станциях колебался от 1.5 до 1.9, что соответствует умеренно загрязненным водам (β-мезосапробная зона).

По экологическим критериям вся исследованная акватория водохранилища характеризуется в целом неуравновешенным (или ослабленным) потенциалом зоопланктонных сообществ к самоочищению вод (индекс самоочищения изменяется от 0.98

до 1.85). Вместе с тем снижение средних значений индекса (см. табл. 1) указывает на тенденцию к ослаблению самоочищающей способности зоопланктона на трансформированных участках акватории. Оценка состояния сообществ зоопланктона по индексу благополучия указывает на стрессовое состояние (положительное значение индекса) зоопланктона на озеровидных участках с наиболее нарушенным в ходе намыва земель водообменом (разрезы № 4 и 6), тогда как на остальных участках (включая Займищенский залив) они характеризуются экологическим благополучием (отрицательные значения индекса).

### Заключение

Таким образом, на основе кластерного анализа сходства количественных показателей зоопланктона в акватории Волжского плеса Куйбышевского водохранилища у г. Казани (окрестности пос. Займище) определен пространственно-дискретный характер в распределении структуры зоопланктоноценоза, в котором выделены 5 комплексов.

В ответ на изменение гидрологического

режима на отдельных участках акватории водохранилища, нарушенных в результате намыва искусственных дамб и перешейков, в зоопланктоне происходят структурные перестройки, проявляющиеся ростом количественного обилия и продукционных характеристик, одновременно сопровождающиеся снижением видового разнообразия (альфа-разнообразия) и потенциала самоочищающей способности вод за счет зоопланктона ресурса.

В ряде отчлененных озеровидных участков с наиболее нарушенным водообменом (разрезы №4 и 6) стрессовый характер перестроек зоопланктона (по индексу благополучия) указывает на возможные риски нарушения экологического равновесия в условиях современной гидродинамики их водных масс.

Исходя из полученных результатов представляется целесообразным рассмотрение вопроса о возможных способах оптимизации гидрологического режима на трансформированной строительными работами акватории Куйбышевского водохранилища.

### Библиография

- Андреев В. Л. Классификационные построения в экологии и систематике . М.: Наука, 1980. 142 с.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов . СПб.: Наука, 1996. 189 с.
- Горшкова А. Т. Оценка уровня самоочищения озер Кабан по анализу зоопланктонного комплекса // Георесурсы. 2012. № 7 (49). С. 29–32.
- Горшкова А. Т. Пространственный анализ биологического потенциала устойчивости водных экосистем (на примере поверхностных вод Республики Татарстан): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук . Ярославль, 2003. 24 с.
- Денисенко С. Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского zoобентоса) // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. Сер. Исследования фауны морей. Вып. 56 (64). СПб., 2006. С. 35–46.
- Ильин М. Ю. Состав и структура сообществ зоопланктона водных объектов особо охраняемых природных территорий (на примере Нижегородской области): Автореф. дис. ... канд. биол. наук . Нижний Новгород, 2016. 27 с.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов . Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
- Любарский Е. Л. К методике экспресс-квалификации и сравнения описаний фитоценозов // Количественные методы анализа растительности. Уфа: БФАН СССР, 1974. С. 123–125.
- Любин П. А., Бердник С. В. Количественная характеристика зоопланктона Займищенского участка Волжского плеса Куйбышевского водохранилища по данным 2015 г. // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования: Материалы докл. Всеросс. конф. с междунар. участием (г. Казань, 24–29 октября 2016 г.). Казань: Изд-во ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2016. С. 600–606.
- Манушин И. Е. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных эктотермных животных // Материалы X науч. семинара «Чтения памяти К. М. Дерюгина». СПб.: ЗАО «КопиСервис», 2008. С. 29–34.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьев. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 34 с.
- Определитель зоопланктона и zoобентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Ред. В. Р. Алексеев, С. Я. Цалолихин. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

- Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос) / Отв. ред. Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 511 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 239 с.
- Численко Л. Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон). Л.: Наука, 1968. 108 с.
- Шурганова Г. В., Черепенников В. В. Формирование и развитие зоопланктонных сообществ водохранилищ Средней Волги // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2006. Вып. 1. Т. 8. С. 241–247.
- Clarke K. R., Warwick R. M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 154 p.
- Clarke K. R., Gorley R. N. PRIMER v5: User manual / Tutorial. Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 91 p.
- Clarke K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure // Aust. J. Ecol. 1993. Vol. 18. P. 117–143.
- Czeckanovski J. Zur differencial Diagnose der Neandertalgruppe Korespbl // Dtsch. Ges. Antropol. 1909. Bd. 40. S. 44–47.
- Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd 96. № 18. 604 p.
- Sládeček V. The future of the saprobity system // Hydrobiologia. 1965. Vol. 25. P. 518–537.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol., Beiheftz., Ergebnisse der Limnol. 1973. Bd 7. P. 1–218.
- Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. № 3. P. 379–423.

# ZOOPLANKTON OF THE VOLGA REACH IN THE KUYBYSHEVSKY WATER RESERVOIR UNDER THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS OF AQUALANDSHAFTS

<b>LYUBIN PAVEL ANATOL'EVICH</b>	<i>Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, plubin@mail.ru</i>
<b>BERDNIK SERGEY VLADIMIROVICH</b>	<i>Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, sergey.berdnik@tatar.ru</i>
<b>TOKINOVA RIMMA PETROVNA</b>	<i>Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, r.tokin@rambler.ru</i>

**Key words:**  
spatial analysis  
zooplankton  
Zaimishche  
Kuibyshev reservoir  
cluster analysis  
evaluation of self-cleaning level

**Summary:** The water space of the Kuibyshev reservoir near Kazan (vicinity of Zaimishche settlement) has changed due to hydraulic engineering works. The aim of our study was to reveal how these processes influenced the ecosystem, namely zooplankton, as an indicator of its condition. We studied species composition and quantitative characteristics of zooplankton communities. Cluster analysis showed that in the shallow-water zone of the reservoir, the distribution of zooplankton structure is spatially heterogeneous. According to the obtained results, it seems appropriate to consider the possible ways of changing hydrological regimen in the Kuibyshev reservoir.

**Reviewer:** O. V. Muhortova

**Received on:** 03 April 2017

**Published on:** 21 December 2017

## References

- Andreev V. L. Classification constructions in ecology and taxonomy. M.: Nauka, 1980. 142 p.
- Andronikova I. N. Structurally functional organization of zooplankton of lake ecosystems of different trophic types. SPb.: Nauka, 1996. 189 p.
- Chislenko L. L. Nomograms for determining the weight of aquatic organisms in terms of body size and shape (marine mesobenthos and plankton). L.: Nauka, 1968. 108 p.
- Clarke K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure, Aust. J. Ecol. 1993. Vol. 18. P. 117–143.
- Clarke K. R., Gorley R. N. PRIMER v5: User manual, Tutorial. Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 91 p.
- Clarke K. R., Warwick R. M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 154 p.
- Czeckanovski J. Zur differencial Diagnose der Neandertalgruppe Korespbl, Dtch. Ges. Antropol. 1909. Bd. 40. S. 44–47.
- Denisenko S. G. Information measure of Shannon and its application in assessments of biodiversity (on the example of marine zoobenthos), Morskie bespozvonochnye Arktiki, Antarktiki i Subantarktiki. Ser. Issledovaniya fauny morey. Vyp. 56 (64). SPb., 2006. P. 35–46.
- Gorshkova A. T. Assessment of the level of self-purification of the Kaban lakes by analyzing the zooplankton complex, Georesursy. 2012. No. 7 (49). P. 29–32.
- Gorshkova A. T. Spatial analysis of the biological potential of the stability of aquatic ecosystems (on the example of surface waters of the Republic of Tatarstan). Yaroslavl', 2003. 24 p.
- Il'in M. Yu. Composition and structure of zooplankton communities in water bodies of specially protected natural territories (on the example of the Nizhny Novgorod region). Nizhniy Novgorod, 2016. 27 p.

- Key to freshwater invertebrates of the European part of the USSR (plankton and benthos), Otv. red. L. A. Kutikova, Ya. I. Starobogatov. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 511 p.
- Key to zooplankton and zoobenthos of fresh water in European Russia. Volume 1. Zooplankton, Red. V. R. Alekseev, P. Ya. Calolihin. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 495 p.
- Kitaev S. P. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2007. 395 p.
- Lyubar斯基 E. L. To the methodology of express qualification and comparison of phytocenoses descriptions, Kolichestvennye metody analiza rastitel'nosti. Ufa: BFAN SSSR, 1974. P. 123–125.
- Lyubin P. A. Berdnik S. V. Quantitative characteristic of zooplankton of the Zaimishchensky section of the Volga reaches of the Kuibyshev reservoir according to the data of 2015, Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoemov i puti ikh racional'nogo ispol'zovaniya: Materialy dokl. Vserosp. konf. s mezhdunar. uchastiem (g. Kazan', 24–29 oktyabrya 2016 g.). Kazan': Izd-vo FGBNU «GosNIORH», 2016. P. 600–606.
- Manual on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments, Pod red. V. A. Abakumova. L.: Gidrometeoizdat, 1983. 239 p.
- Manushin I. E. The average mass of an individual as an indicator of the speed of matter turnover in populations of aquatic ectothermic animals, Materialy X nauch. seminara «Chteniya pamjati K. M. Deryugina». SPb.: ZAO «KopiServis», 2008. P. 29–34.
- Methodical recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs. Zooplankton and its products, Red. G. G. Vinberg, G. M. Lavrent'eva. L.: GosNIORH, 1982. 34 p.
- Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse, Gas- und Wasserfach. 1955. Bd 96. No. 18. 604 r.
- Shannon C. E. A mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. No. 3. P. 379–423.
- Shurganova G. V. Cherepennikov V. V. Formation and development of zooplankton communities in the reservoirs of the Middle Volga, Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk. 2006. Vyp. 1. T. 8. P. 241–247.
- Sládeček V. The future of the saprobity system, Hydrobiologia. 1965. Vol. 25. P. 518–537.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view, Arch. Hydrobiol., Beiheft., Ergebnisse der Limnol. 1973. Bd 7. P. 1–218.