



DOI 10.23859/estr-221007

EDN MNVCIJ

УДК 574.633:574.583(28)

Научная статья

Состояние и динамика зоопланктона Казанского залива Куйбышевского водохранилища в 2018 г.

П.А. Любин 

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, д. 28.

plubin@mail.ru

Аннотация. В вегетационный период 2018 г. исследованы состав и динамика зоопланктона Казанского залива Куйбышевского водохранилища. Выявлено 69 таксонов зоопланктона. За время наблюдений видовое богатство зоопланктона составило 9 ± 1 таксонов на станцию, численность – 221.9 ± 32.1 тыс. экз./м³, биомасса – 1.6 ± 0.5 г/м³, среднее значение суточной продукции – 0.124 ± 0.034 г/м³ в сутки. В динамике количественных характеристик зоопланктона выявлены два пика – в июне и августе, что характерно для мезотрофных озер умеренных широт в соответствии PEG-моделью Зоммера. Двухфакторный ANOSIM-анализ, выполненный на основании сходства станций по вкладу видов в общую продукцию, показал влияние на структуру зоопланктонных сообществ таких факторов, как месяц отбора проб ($R = 0.472$) и удаленность от нижней границы устья залива ($R = 0.279$) при уровне статистической значимости $p = 0.1\%$. Фактор расположения станций относительно берегов и русла не имел значимого влияния на состав зоопланктона ($R = -0.028$ при $p = 94.1\%$). Загрязнение Казанского залива в 2018 г. соответствовало среднеголетнему уровню, β -мезосапробной зоне, что характеризовало воды как умеренно загрязненные.

Ключевые слова: река Казанка, пространственный анализ, сукцессия зоопланктона, PEG-модель

ORCID:

П.А. Любин, <https://orcid.org/0000-0002-2064-5127>

Для цитирования: Любин, П.А., 2024. Состояние и динамика зоопланктона Казанского залива Куйбышевского водохранилища в 2018 г. *Трансформация экосистем* 7 (3), 153–171. <https://doi.org/10.23859/estr-221007>

Поступила в редакцию: 07.10.2022

Принята к печати: 13.03.2023

Опубликована онлайн: 06.09.2024

DOI 10.23859/estr-221007

EDN MNVCIJ

UDC 574.633:574.583(28)

Article

State and dynamics of zooplankton in Kazan Bay of the Kuibyshev Reservoir in 2018

P.A. Lyubin 

Institute of Ecology and Subsoil Management, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, ul. Dauruskaya 28, Kazan, 420087 Russia

plubin@mail.ru

Abstract. During the growing season of 2018, the composition and dynamics of zooplankton in the Kazan Bay of the Kuibyshev Reservoir were studied. In total, 69 zooplankton taxa were identified, the species richness of zooplankton was 9 ± 1 taxa per station, abundance, 221.9 ± 32.1 thous. ind./m³, biomass, 1.6 ± 0.5 g/m³, average daily production, 0.124 ± 0.034 g/m³ per day. Two peaks were observed in the dynamics of quantitative characteristics of zooplankton (in June and in August), which was typical for mesotrophic lakes of temperate latitudes in accordance with Sommer's PEG model. Two-factor ANOSIM analysis, performed on the basis of the similarity of stations in terms of the contribution of species to total production, evidenced on the influence of the month of sampling ($R = 0.472$; $p = 0.001$) and distance from the lower boundary of bay mouth ($R = 0.279$; $p = 0.001$) on the structure of zooplankton communities. The factor of station location relative to the banks and riverbed did not have a significant effect on the composition of zooplankton ($R = -0.028$; $p = 0.94$). Pollution in the Kazan Bay in 2018 corresponded to the long-term average level in the β -mesosaprobic zone, which characterized the waters as moderately polluted.

Keywords: Kazanka River, spatial analysis, zooplankton succession, PEG model

ORCID:

P.A. Lyubin, <https://orcid.org/0000-0002-2064-5127>

To cite this article: Lyubin, P.A., 2024. State and dynamics of zooplankton in Kazan Bay of the Kuibyshev Reservoir in 2018. *Ecosystem Transformation* 7 (3), 153–171. <https://doi.org/10.23859/estr-221007>

Received: 07.10.2022

Accepted: 13.03.2023

Published online: 06.09.2024

Введение

Река Казанка является левобережным притоком Куйбышевского водохранилища (р. Волга) и имеет важное хозяйственное и рекреационное значение для Западного Предкамья Республики Татарстан. Река протекает по территории г. Казани, Арского и Высокогорского районов. По данным государственного водного реестра¹, длина водотока составляет 142 км, водосборная площадь 2600 км². В р. Казанку впадают 14 малых рек. Нижнее течение реки находится в подпоре Куйбышевского водохранилища и образует расширенную часть русла – Казанский залив, разделяющий г. Казань на две равные части.

Ландшафт, прилегающий к реке в пределах города, начиная со второй половины XX в. претерпел сильные изменения. На его большей части естественные природные территориальные комплексы сменились антропогенными сообществами и техногенными сооружениями, что привело к трансформации режима самой реки (Мозжерин и др., 2012). В пределах г. Казани акватория залива перегорожена четырьмя транспортными дамбами с мостами и образует четыре участка, в разной степени подверженных влиянию вод р. Казанки и Куйбышевского водохранилища:

1. Участок в наибольшей степени испытывает влияние вод Куйбышевского водохранилища. Берега данной акватории преимущественно образованы искусственными насыпями – дамбами с водной и околородной растительностью; лишь в восточной части акватории берегоукрепление произведено подпорными стенами из монолитного железобетона;

2. Наиболее широкий участок Казанского залива. Берега участка в наибольшей степени укреплены подпорными стенами из бетона; только в северной части имеются намывные участки песчаных пляжей с незначительной растительностью;

3. Участок характеризуется наличием большого числа островов и отмелей, обильно поросших водной растительностью. Искусственные элементы берегоукрепления имеются в незначительной части акватории;

4. Участок в наибольшей степени испытывает влияние р. Казанки. Акватория залива на данном участке имеет два расширения. Берега здесь преимущественно естественного происхождения, обильно покрытые околородной и водной растительностью.

Глубины и береговая линия водоема сильно зависят от уровня Куйбышевского водохранилища. При нормальном подпорном уровне максимальная глубина водоема составляет 9 м, средняя глубина залива – 2.7 м, а акватория – 10.6 км² (Мозжерин и др., 2012). В 2018 г. температура воды в заливе в период исследования колебалась в мае от 13.8 до 18.0 °С, в сентябре от 9.8 до 13.8 °С; в июле вода прогревалась до 24.5 °С.

В настоящее время городская территория вокруг залива активно застраивается спортивными и другими сооружениями, развивается рекреационная инфраструктура, планируется создание природного ландшафтного парка «Островки Казанки». Вместе с тем на сложную экологическую ситуацию в районе исследования указывают регулярное цветение воды при массовом развитии сине-зеленых водорослей (Абрамова и др., 2020, 2021) и случаи массовой гибели рыб (Шагидуллин и др., 2017).

Зоопланктон является важной структурной и функциональной частью экосистем водных объектов, участвует в самоочищении водоемов и служит индикатором их состояния, чутко реагируя на изменения как природных, так и антропогенных факторов. Поэтому в соответствии с Приказом Росрыболовства² состояние сообществ зоопланктона принято рассматривать в качестве одного из критериев оценки последствий негативного воздействия деятельности человека на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания. Хозяйственная деятельность в современном мегаполисе ведется практически круглогодично с особым увеличением интенсивности в летние месяцы, что требует особого внимания к состоянию окружающей среды именно в этот период. Ранее проведенные исследования по зоопланктону р. Казанки (Деревенская, 2017; Деревенская и Умярова, 2017; Деревенская и др., 2015; Мингазова и др., 2013) выявили изменения в структуре

¹ Казанка. Государственный водный реестр России. Интернет-ресурс. URL: http://www.sur-base.ru/water-base/?show_obj=35287 (дата обращения: 03.06.2024).

² Приказ Росрыболовства от 06.05.2020 № 238 «Об утверждении Методики определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния».

сообществ зоопланктона и значительные колебания его численности и биомассы в летний сезон, однако влияние биотопических условий на сообщества планктона не рассматривалось. Известно, что локальные характеристики могут отражаться на структуре и количественных показателях зоопланктона – как отдельных его популяций, так и сообществ в целом (Любин и Зиганшин, 2020). В пределах исследуемого водоема особо сильное влияние на функционирование локальных планктонных сообществ могут оказывать транспортные дамбы, речной сток и воды водохранилища.

Для изучения воздействия данных факторов на зоопланктон были проведены мониторинговые исследования в вегетационный период 2018 г. на разных участках Казанского залива. В задачи исследований входило изучение видового состава и количественной динамики зоопланктона в вегетационный период, определение влияния вод Куйбышевского водохранилища и р. Казанки в разных участках залива на состав и структуру сообществ, а также оценка уровня органического загрязнения воды по показателям зоопланктона.

Материалы и методы

Мониторинговые исследования зоопланктона Казанского залива проводили с мая по сентябрь 2018 г. Ежемесячно на акватории выполнялся отбор проб на четырех разрезах, соответствующих участкам залива, по три станции на каждом (Рис. 1). Первая станция разреза находилась у левого берега, вторая на середине реки, третья у правого берега. Пробы отбирались фильтрованием по 20–30 л воды с поверхности через сеть Апштейна с газом № 74 (номинальный размер ячеек 0.093 мм) в соответствии со стандартными гидробиологическими методами (Методические рекомендации..., 1982; Руководство по методам..., 1983). Пробы фиксировали 40% раствором формалина до конечной концентрации в пробе 4%. Для таксономической идентификации зоопланктона использовались общепринятые определители (Определитель пресноводных беспозвоночных..., 1977; Определитель зоопланктона..., 2010; Błędzki and Rybak, 2016). Расчет биомассы зоопланктона проводили по формулам зависимости массы организмов от длины тела (Методические рекомендации..., 1982; Численко, 1968).

Для каждого вида определялась встречаемость P_i (в %) по формуле

$$P_i = m_i/N_s \times 100,$$

где m_i – число станций, на которых был найден вид i ; N_s – общее количество станций.

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):

$$P = B \cdot 0.0019 \cdot (B/N)^{-0.9},$$

где P – суточная продукция вида/таксона, г/м³ в сутки; B – биомасса г/м³; N – плотность поселения, инд./м³.

Из-за большой неопределенности продукционных параметров и отсутствия данных о рациионе хищников общая продукция зоопланктонного сообщества $P_{общ}$ рассчитывалась как суммарная продукция крупных (весом 10⁻⁵ г и более) зоопланктеров (Методические рекомендации..., 1982). Суммарная продукция более мелких (весом менее 10⁻⁵ г) зоопланктеров рассчитывалась отдельно и принималась за общую продукцию в случае отсутствия крупных форм.

Для сравнения станций по структуре сообществ зоопланктона использовали индекс Чекановского (Czeckanowski, 1909). Проверка статистической значимости влияния факторов (время, район и место отбора) выполнялась имитационным анализом сходства ANOSIM в программе Primer 5 (PRIMER-E Ltd) (Clarke, 1993; Clarke and Gorley, 2001; Clarke and Warwick, 2001). 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 (Clarke and Warwick, 2001). Выделение доминирующих видов проводили в соответствии со шкалой Е.Л. Любарского (1974).

В качестве обобщенного показателя видового разнообразия использована широко применяемая для этих целей информационная мера – индекс видового разнообразия Шеннона (H) (Shannon, 1948), рассчитываемый по следующей формуле:

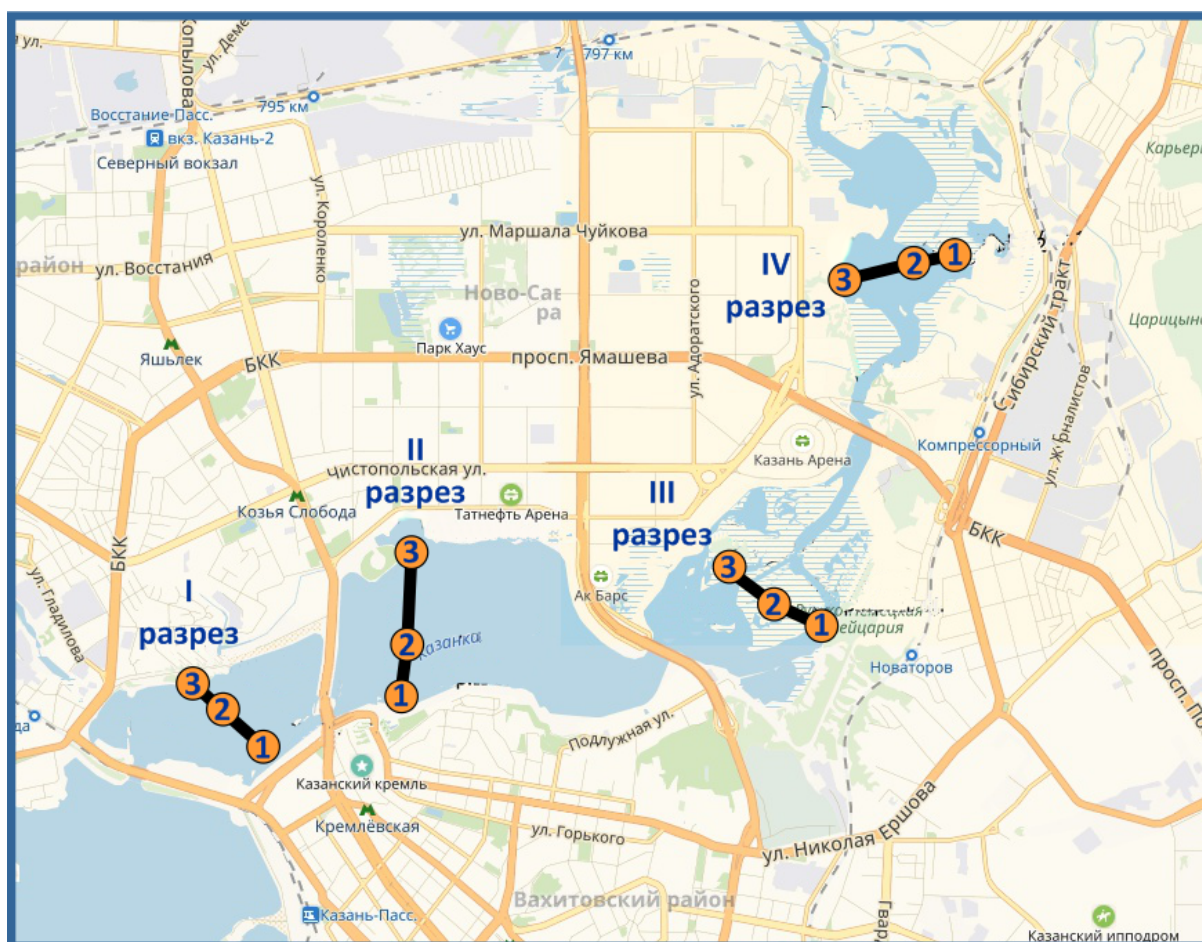


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Казанском заливе Куйбышевского водохранилища.

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

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

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

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

где $H'(B)$ и $H'(N)$ – индексы Шеннона, рассчитанные по биомассе и по численности особей; S – количество видов в выборке. Данный индекс был успешно опробован нами на сообществах зоопланктона Волжско-Камского региона (Любин и Зиганшин, 2020; Любин и Токинова, 2021; Любин и др., 2017).

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

Результаты и обсуждение

В мае–сентябре 2018 г. в зоопланктоне Казанского залива было обнаружено 67 видов зоопланктона, а также науплии и копеподитные стадии веслоногих ракообразных, относящихся к 42 родам, 23 семействам, 10 отрядам, 3 классам и 2 типам (Табл. 1). Наибольшее количество видов приходилось на долю коловраток (Rotifera) – 70%. Вторыми по числу видов были ветвистоу-

сые ракообразные (Cladocera) – 19%. Веслоногие ракообразные (Copepoda) были представлены 11% от общего видового списка. Полученные данные указывают на изменение в таксономическом составе сообществ. Ранее, по данным 1999–2015 гг. (Деревенская, 2017; Деревенская и др., 2015; Мингазова и др., 2013), в сообществе зоопланктона р. Казанки по количеству видов доминировали ветвистоусые ракообразные – до 45% от общего числа. Доля коловраток не превышала 40%. Максимально было установлено 36 видов из типа Rotifera. Общее видовое богатство зоопланктона по данным 1999–2015 гг. колебалось от 58 до 95 видов.

Максимальное количество видов (17 таксонов) было отмечено на станциях II и III разрезов в августе и сентябре 2018 г. Минимальное количество таксонов (2 таксона на станцию) – в мае на ст. 1 разреза III, у левого берега, напротив парка «Русско-Немецкая Швейцария». Кроме этого в пробе, отобранной на ст. 2 IV разреза в сентябре, отсутствовали зоопланктеры, однако их наличие на станциях 1 и 3 того же разреза требует считать данную пробу неправильно отобранной и исключить ее из последующего анализа. В среднем за период наблюдений видовое обилие составило 9 ± 1 таксонов на станцию.

Наиболее часто встречающимися видами на акватории исследования были коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus angularis*, *Keratella quadrata*, науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных (Табл. 1). В июне широкого распространения и массового развития на акватории исследования достигали коловратки *Asplanchna priodonta*, *Filinia longiseta*, среди ветвистоусых рачков – *Bosmina longirostris*. Последовательно с июня по август увеличивалась частота встречаемости *Daphnia cucullata*.

Численность зоопланктона на станциях за весь период исследований в среднем по району составила 221.9 ± 32.1 тыс. экз./м³. Минимальное значение (300 экз./м³) отмечено на ст. 2 разреза I в мае, максимальное значение (1072 тыс. экз./м³) – на этой же станции в августе. Биомасса варьировала от 0.2 мг/м³ до 28.758 г/м³. Средняя биомасса зоопланктона за весь период исследований составила 1.6 ± 0.5 г/м³. Распределение минимальных и максимальных значений биомассы соответствовало таковым по численности. Анализ количественных данных выявил наличие высокой корреляционной зависимости между биомассой зоопланктона (W) и его численностью (N), которую можно описать степенным уравнением

$$W = 10^{-7} N^{1.3}$$

с точностью аппроксимации $R^2 = 0.9$.

Полученные количественные характеристики зоопланктона в целом соответствовали значениям, указанным для зоопланктонных сообществ Казанского залива за 1999–2015 гг. (Деревенская, 2017; Деревенская и др., 2015; Мингазова и др., 2013). Исключением можно считать максимальные значения численности и биомассы на отдельных станциях. В пробах 1999–2010 гг. было зафиксировано рекордное значение общей численности зоопланктона – 8042 тыс. экз./м³, при этом максимальная биомасса составила 13.6 г/м³ (Мингазова и др., 2013). Величина вторичной суточной продукции зоопланктона ($P_{\text{обш}}$) на станциях колебалась в пределах 0.0001–1.754 г/м³ в сутки, при этом среднее значение составило 0.124 ± 0.034 г/м³ в сутки.

Проведенный анализ сходства станций по вкладу видов в общую продукцию с использованием индекса Чекановского (Czeckanowski, 1909) выявил средний уровень сходства по матрице $16.6 \pm 0.3\%$. На уровне сходства 50% около 1/3 всех точек показали свою оригинальность, остальные образовывали 14 кластеров в среднем по 3 станции в каждом, наиболее массивный из кластеров включал 7 станций. Построенная на основании полученной матрицы сходства MDS-диаграмма позволяет визуально оценить влияние на состав и структуру зоопланктона таких факторов, как место расположения мониторинговых точек и время отбора проб (Рис. 2).

Как видно из Рис. 2, станции I и IV разрезов делят область MDS-диаграммы на две почти равные части «А» и «Б». Так как станции I разреза расположены на участке, находящемся в наибольшей степени под влиянием вод Куйбышевского водохранилища, а станции IV разреза – на участке под влиянием вод р. Казанки, можно предположить, что и фаунистические комплексы на указанных точках формировались под влиянием этих водных масс. Станции II и III разрезов занимали промежуточное положение и в зависимости от месяца отбора показывали ассоциацию либо со станциями кута залива (область «А»), либо устьевого участка (область «Б») (Рис. 2).

Проведенный двухфакторный ANOSIM-анализ подтвердил статистическую значимость влияния на сообщества зоопланктона и его структуру таких факторов, как месяц отбора проб и номер

Табл. 1. Видовой состав и частота встречаемости (в %) таксонов на станциях Казанского залива за период май–сентябрь 2018 г. S – индивидуальный индекс сапробности видов. * – в скобках указано общее количество зарегистрированных таксонов за учетный период.

| Таксон | S | Месяц наблюдения | | | | | Общий итог |
|-------------------------------------------------|-----|------------------|------|------|--------|----------|---------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | |
| ROTIFERA | | | | | | | |
| <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851) | 1.2 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 |
| <i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850 | 1.3 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Asplanchna brightwelli</i> Gosse, 1850 | 2.3 | 0 | 8.3 | 0 | 8.3 | 18.2 | 6.8 |
| <i>Asplanchna girodi</i> Guerne, 1888 | 1.4 | 0 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 3.4 |
| <i>Asplanchna herricki</i> de Guerne, 1888 | 1 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 18.2 | 5.1 |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850 | 1.6 | 0 | 100 | 8.3 | 58.3 | 45.5 | 42.4 |
| <i>Asplanchna sieboldi</i> Leydig, 1854 | 1.5 | 0 | 8.3 | 16.7 | 8.3 | 27.3 | 11.9 |
| <i>Asplanchna</i> sp. | | 16.7 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 5.1 |
| <i>Asplanchnopus multiceps</i> (Schrank, 1793) | 1.3 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 |
| <i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851 | 2.5 | 41.7 | 100 | 83.3 | 66.7 | 45.5 | 67.8 |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1776 | 2.5 | 58.3 | 100 | 41.7 | 75 | 100 | 74.6 |
| <i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883) | 2 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 10.2 |
| <i>Brachionus leydigii</i> Cohn, 1862 | 2.3 | 0 | 41.7 | 0 | 8.3 | 0 | 10.2 |
| <i>Brachionus quadridentatus</i> Herman, 1783 | 2.2 | 0 | 25 | 25 | 0 | 0 | 10.2 |
| <i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus, 1758) | 2.3 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 5.1 |
| <i>Brachionus variabilis</i> Hempel, 1896 | | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Euchlanis deflexa</i> (Gosse, 1851) | 1.6 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832 | 1.6 | 0 | 16.7 | 0 | 16.7 | 9.1 | 8.5 |
| <i>Filinia longisetata</i> (Ehrenberg, 1834) | 2.3 | 0 | 100 | 16.7 | 25 | 81.8 | 44.1 |
| <i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886) | 1.4 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 5.1 |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879) | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) | 1.9 | 0 | 66.7 | 0 | 58.3 | 54.5 | 35.6 |
| <i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786) | 1.7 | 50 | 100 | 8.3 | 50 | 100 | 61 |
| <i>Keratella testudo</i> (Ehrenberg, 1832) | 1.3 | 8.3 | 0 | 0 | 8.3 | 9.1 | 5.1 |
| <i>Keratella ticinensis</i> (Callerio, 1921) | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Lecane luna</i> (Müller, 1776) | 1.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.2 | 3.4 |
| <i>Lecane unguolata</i> (Gosse, 1887) | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786) | 1.7 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1830) | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832) | 1.5 | 16.7 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 5.1 |
| <i>Notholca squamula</i> (Müller, 1786) | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 1.7 |

| Таксон | S | Месяц наблюдения | | | | | Общий итог |
|--------------------------------------------------------------|-----|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | |
| <i>Platylabus patulus</i> (Müller, 1786) | 1.8 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63.6 | 11.9 |
| <i>Polyarthra euryptera</i> Wierzejski, 1891 | 1.2 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Polyarthra longiremis</i> Carlin, 1943 | 1 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Polyarthra major</i> Burckhardt, 1900 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 50 | 18.2 | 13.6 |
| <i>Polyarthra remata</i> Skorikov, 1896 | 1 | 0 | 16.7 | 8.3 | 0 | 0 | 5.1 |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943 | 2.1 | 8.3 | 58.3 | 0 | 25 | 9.1 | 20.3 |
| <i>Pompholyx sulcata</i> Hudson, 1885 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 3.4 |
| <i>Proales sigmoidea</i> (Skorikov, 1896) | | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Rotaria</i> sp. | | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Synchaeta longipes</i> Gosse, 1887 | 1.2 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 9.1 | 3.4 |
| <i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832 | 1.7 | 8.3 | 8.3 | 33.3 | 66.7 | 72.7 | 37.3 |
| <i>Testudinella incisa</i> (Ternetz, 1892) | 1.3 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903) | 1.6 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Trichotria truncata</i> (Whitelegge, 1889) | 1.2 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| Rotifera gen. sp. | | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| Среднее количество таксонов Rotifera на станциях | | 2.7 (14*) | 9.1 (24) | 2.8 (14) | 5.9 (21) | 7.1 (18) | 5.5 (47) |
| CLADOCERA | | | | | | | |
| <i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785) | 1.6 | 8.3 | 91.7 | 25 | 0 | 72.7 | 39 |
| <i>Bythotrephes brevimanus</i> Lilljeborg, 1901 | | 0 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 3.4 |
| <i>Ceriodaphnia megops</i> Sars, 1862 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785) | 1.8 | 0 | 0 | 25 | 75 | 63.6 | 32.2 |
| <i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862 | 1.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 1.7 |
| <i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862 | 1.7 | 25 | 25 | 50 | 91.7 | 27.3 | 44.1 |
| <i>Daphnia longiremis</i> Sars, 1862 | | 0 | 0 | 16.7 | 16.7 | 27.3 | 11.9 |
| <i>Daphnia longispina</i> O.F. Muller, 1785 | 2 | 0 | 0 | 16.7 | 0 | 18.2 | 6.8 |
| <i>Leydigia acanthocercoides</i> (Fischer, 1854) | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 1.7 |
| <i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820) | 1.7 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 9.1 | 3.4 |
| <i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850) | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 1.7 |
| Cladocera gen. sp. | | 8.3 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 3.4 |
| Среднее количество таксонов Cladocera на станциях | | 0.4 (3) | 1.2 (3) | 1.3 (5) | 2.1 (6) | 2.4 (9) | 1.5 (12) |

| Таксон | S | Месяц наблюдения | | | | | Общий итог |
|---------------------------------------------------------|-----|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | май | июнь | июль | август | сентябрь | |
| COPEPODA | | | | | | | |
| <i>Cyclops vicinus</i> Uljanin, 1875 | 1.8 | 0 | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 |
| <i>Eucyclops lilljeborgi</i> (Sars G.O., 1918) | | 0 | 8.3 | 0 | 8.3 | 0 | 3.4 |
| <i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888) | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.1 | 1.7 |
| <i>Mesocyclops bodanicola</i> Kiefer, 1928 | | 0 | 8.3 | 0 | 8.3 | 9.1 | 5.1 |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857) | 1.7 | 0 | 16.7 | 16.7 | 25 | 45.5 | 20.3 |
| <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863) | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 8.3 | 0 | 1.7 |
| Nauplii Copepoda gen. sp. | | 91.7 | 100 | 91.7 | 100 | 72.7 | 91.5 |
| Copepodides Calanoida gen. sp. | | 0 | 8.3 | 0 | 8.3 | 9.1 | 5.1 |
| Copepodides Cyclopoida gen. sp. | | 0 | 8.3 | 8.3 | 0 | 0 | 3.4 |
| Copepodides Maxillopoda gen. sp. | | 50 | 66.7 | 83.3 | 100 | 72.7 | 74.6 |
| Среднее количество таксонов Copepoda на станциях | | 1.4 (2) | 2.2 (8) | 2 (4) | 2.6 (7) | 2.2 (6) | 2.1 (10) |
| Среднее количество всех таксонов на станциях | | 4.6 (19) | 12.6 (35) | 6.1 (23) | 10.6 (34) | 11.7 (33) | 9.1 (69) |

разреза. Наименьшее различие по структуре фауны наблюдалось между майскими и июльскими сборами (Табл. 2). Наиболее близкими друг к другу по составу и структуре зоопланктона были станции I и II разрезов, а также станции III и IV разрезов (Табл. 3).

Общее значение R статистики по фактору время исследования (месяцы) составило 0.472, а для фактора участок исследования (разрез) – 0.279, все это при уровне значимости $p = 0.1\%$, что говорит о высокой статистической достоверности уровня влияния выбранных факторов (Табл. 2, 3). Фактор расположения станций относительно русла (у правого, левого берега, на середине русла) не имел значимого влияния на состав зоопланктона ($R = -0.028$ при $p = 94.1\%$).

Динамика общей продукции зоопланктона повторяла динамику численности и биомассы и совпадала с колебаниями таксономического богатства. Для всех параметров характерно увеличение значений в июне с последующим падением их в июле и повторным увеличением в августе. Подобная картина с наличием двух пиков развития зоопланктона характерна для эвтрофных и мезотрофных озер умеренных широт (Sommer et al, 1986). Ранее, по данным 2010–2012 гг., для зоопланктона р. Казанки было выявлено однократное увеличение обилия зоопланктона в июне или июле (Деревенская и др., 2015).

В соответствии с сукцессионной PEG (Plancton Ecology Group) моделью Зоммера (Sommer et al, 2012), стартовые позиции в экосистеме пелагиали определяются предыдущим осенним состоянием зоопланктонного сообщества и изменениями, произошедшими за время зимовки (Cáceres, 1998; Sommer and Lewandowska, 2011). В нашем материале начальный этап хорошо описывается майскими сборами. В мае наблюдались минимальные значения средней продукции зоопланктона (0.032 ± 0.024 г/м³ в сутки) (Рис. 3) при средней численности 48.6 ± 29.6 тыс. экз./м³ и средней биомассе 0.174 ± 0.114 г/м³. Видовое богатство и индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности, также были минимальными и в среднем составили 5 ± 1 таксонов на станцию и 1.7 ± 0.1 бит/экз. соответственно. Доминирующими формами в сообществах на большинстве контрольных точек были науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных. В куту залива на отдельных станциях доминировали *Keratella quadrata* и *Asplanchnopus multiceps*. На станциях устьевой части залива массового развития достигала кладоцера *Bosmina longirostris*. Из MDS-диаграммы (Рис. 2) видно, что, несмотря на довольно широкий разброс майских сборов и низкий уровень сходства между ними (в среднем 15% по матрице), наблюдается

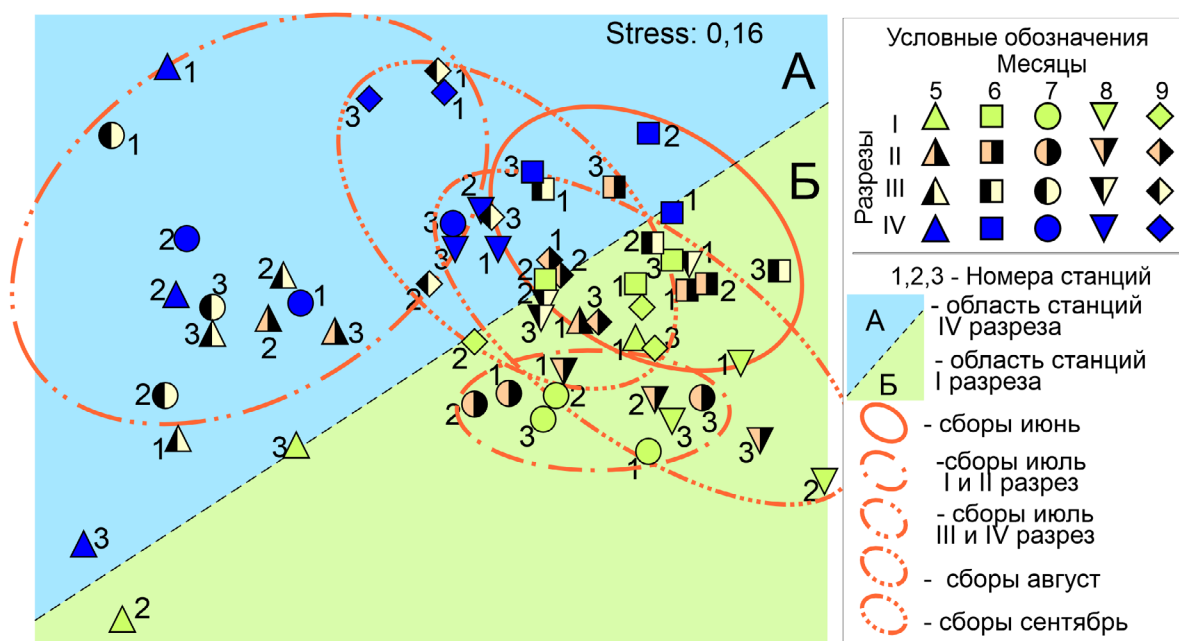


Рис. 2. MDS-диаграмма сходства станций Казанского залива в мае–сентябре 2018 г. (по величине продукции зоопланктона).

концентрация большей части станций в области «А». По нашему мнению, это свидетельствует об определенном влиянии речных вод на сообщества зоопланктона Казанского залива в весенний период вследствие половодья. Тем не менее, под действием местных биотопических особенностей зимнего периода формируются оригинальные варианты сообществ весеннего зоопланктона. Влияние вод Куйбышевского водохранилища в этот период, по-видимому, минимально.

Прогрев воды, увеличение инсоляции и доступность питательных веществ обеспечивают высокий рост мелких форм фитопланктона с мая по июнь и следующее за ним развитие мелких зоопланктонных организмов (Birge and Juday, 1922). В нашем исследовании также прослеживается прирост продукции зоопланктона в июне в среднем до 0.220 ± 0.066 г/м³ в сутки на станцию. Это происходит в первую очередь за счет прироста численности коловраток, который опережает прирост численности ракообразных. С ростом относительной численности коловраток относительная численность младших стадий развития веслоногих ракообразных снижается, что может свидетельствовать об опосредованной конкуренции между этими двумя группами (Рис. 4). По данным А. Herzig (1979), коловратки более успешны в конкуренции за объекты питания из-за высокой скорости размножения. Средняя численность зоопланктона в районе исследований в июне составила 418.9 ± 78.9 тыс. экз./м³ при средней биомассе 2.142 ± 0.536 г/м³. Видовое богатство на станциях также увеличилось в среднем до 12 ± 1 таксонов на станцию. Максимальным был и средний уровень биоразнообразия (по индексу Шеннона) – 2.9 ± 0.1 бит/экз. Структура зоопланктонных сообществ июньских сборов была довольно однотипной на всех участках района исследования. Средний коэффициент сходства между станциями составил 44% по матрице. На MDS-диаграмме (Рис. 2) видно, что все станции группируются в ее верхнем правом углу вблизи разделительной линии. Основным лидирующим видом на большей части станций была коловратка *Asplanchna priodonta*. В зоне влияния вод водохранилища (станции I и II разрезов) субдоминирующими формами были младшие стадии развития веслоногих ракообразных, а зоне влияния речных вод (станции III и IV разрезов) – коловратка *Brachionus calyciflorus*. По-видимому, на данном этапе влияние вод реки и водохранилища отходит на второй план, а преобладающими факторами являются трофические взаимоотношения в сообществе.

Массовое развитие мелких планктонных фитофагов приводит к снижению численности и биомассы фитопланктона, что выражается в наступлении следующей ступени развития сообществ – фазы «чистой воды» (Clear-water) (Birge and Juday, 1922; Deneke and Nixdorf, 1999; Sommer et al, 1986). Следом за уменьшением кормовой базы снижается и обилие зоопланктеров. По нашим данным, в июле произошло значительное снижение продукции зоопланктона – в среднем

Табл. 2. Результаты попарного теста различий станций между месяцами съемок (по усредненным данным по разрезам) зоопланктона).

| Кластерные пары | R Статистика | Уровень значимости, % |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| май–июнь | 0.630 | 0.1 |
| май–июль | 0.111 | 15.0 |
| май–август | 0.620 | 0.1 |
| май–сентябрь | 0.435 | 0.3 |
| июнь–июль | 0.657 | 0.1 |
| июнь–август | 0.574 | 0.1 |
| июнь–сентябрь | 0.595 | 0.2 |
| июль–август | 0.380 | 1.6 |
| июль–сентябрь | 0.494 | 0.3 |
| август–сентябрь | 0.585 | 0.1 |

Табл. 3. Результаты попарного теста различий станций между разрезами (по усредненным данным по месяцам).

| Кластерные пары | R Статистика | Уровень значимости, % |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| I–II | –0.141 | 92.0 |
| I–III | 0.385 | 0.7 |
| I–IV | 0.543 | 0.2 |
| II–III | 0.267 | 1.7 |
| II–IV | 0.547 | 0.1 |
| III–IV | 0.052 | 30.0 |

до 0.110 ± 0.056 г/м³ в сутки. Средняя численность зоопланктона на станциях в июле составила 84.7 ± 24.5 тыс. экз./м³, биомасса – 0.788 ± 0.431 г/м³. Видовое богатство и биоразнообразие также снизились до 6 ± 1 таксона на станцию и 1.6 ± 0.1 бит/экз. По сути, в июле запускается новый, летний цикл сукцессии зоопланктона, чем и вызвано сходство июльских показателей с майскими. Интересные изменения происходят и в структуре сообществ зоопланктона. Из MDS-диаграммы видно, что станции I, II разрезов и станции III, IV разрезов довольно далеко расходятся друг от друга, формируя самостоятельные кластеры (Рис. 2). Средний коэффициент сходства между станциями первой пары составил около 40% по матрице, а второй пары – около 20%. Сходство между мониторинговыми станциями первой и второй пары в среднем составило 7% по матрице. После снижения численности коловраток в нижней половине залива доминирующими формами стали младшие стадии развития веслоногих ракообразных, а субдоминантами – кладоцеры *Daphnia cucullata* и *Daphnia longispina*. В кутовой части залива (IV разрез) значение коловраток в структуре сообщества зоопланктона сохранилось; там преобладали коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna sieboldi*, *Synchaeta pectinata*. На станциях III разреза доминирующими были науплиальные стадии веслоногих рачков, а субдоминантами – коловратки *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus* и кладоцера *Bosmina longirostris*. Высокое сходство между станциями первых двух разрезов и доминирование на них представителей ракообразных, по-видимому, указывает на то, что в июле, в период межени р. Казанки, на фауне зоопланктона Казанского залива в большей степени сказывается влияние вод Куйбышевского водохранилища, которое прослеживается даже до станций III разреза.

На следующем этапе сукцессии, в соответствии с моделью Зоммера (Sommer et al, 1986), снижение пресса планктонных фитофагов провоцирует повторное летнее цветение фитопланктона,

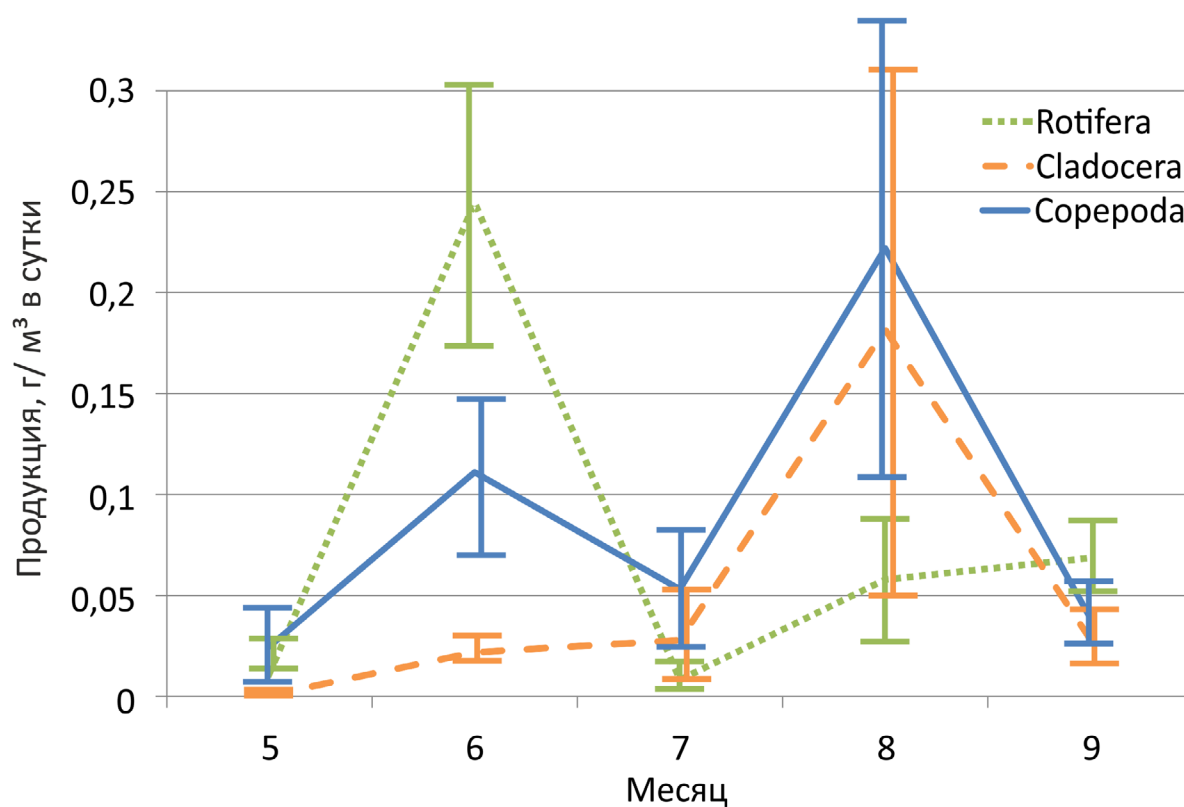


Рис. 3. Динамика продукции таксономических групп зоопланктона в период исследований.

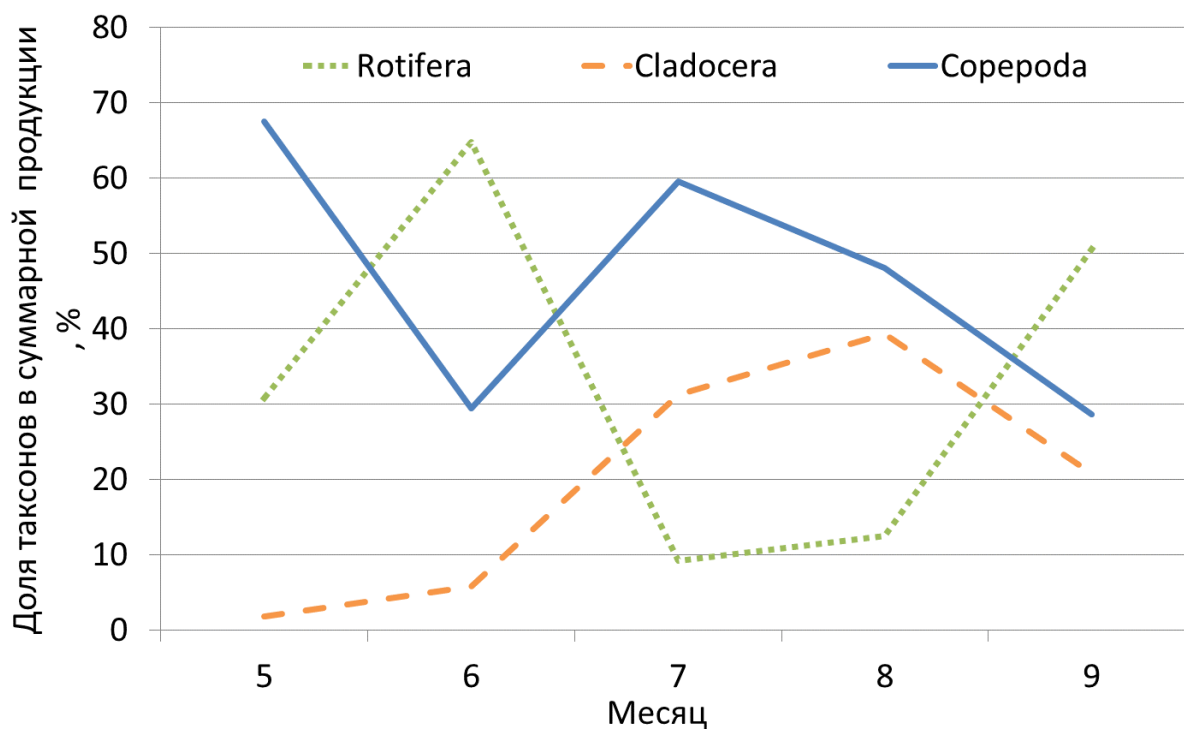


Рис. 4. Динамика относительной продукции таксономических групп зоопланктона в период исследований.

что, в свою очередь, ведет к повторному увеличению численности зоопланктона. Это явление наблюдалось и в наших августовских сборах, в которых наблюдался рост средней продукции зоопланктона до уровня июньских значений – 0.262 ± 0.149 г/м³ в сутки. Средняя численность составила 378.3 ± 93.6 тыс. экз./м³, средняя биомасса – 3.964 ± 2.424 г/м³. Видовое богатство и биологическое разнообразие в августе также увеличились до 11 ± 1 таксонов на станцию и 2.4 ± 0.1 бит/экз. Если посмотреть на динамику изменения продукции зоопланктона отдельно по разрезам (Рис. 5), то видна волна увеличения обилия зоопланктона в августе. Максимальная амплитуда изменений в этот период приходилась на станции I разреза (0.794 г/м³ в сутки) с последующим затуханием к куту залива (II разрез – 0.194 г/м³ в сутки, III разрез – 0.039 г/м³ в сутки, IV разрез – 0.023 г/м³ в сутки). Подобная волна, но менее выраженная, наблюдалась также и в развитии июньского зоопланктона; тогда максимум приходился на станции II и III разрезов. Можно предположить, что наличие дамб и мостов замедляет протекание сукцессии в пелагических сообществах Казанского залива. На станциях I и II разрезов доминировали копеоподитные стадии веслоногих рачков и кладоцера *Chydorus sphaericus*. На станциях III разреза преобладали науплии веслоногих ракообразных и коловратки *Brachionus calyciflorus*. Лидирующими видами на станциях IV разреза также были коловратки *Brachionus calyciflorus* и ветвистоусые ракообразные *Daphnia cucullata*. По распределению точек на MDS-диаграмме видно, что станции I, II и III разрезов находятся в области «Б». Станции же IV разреза, хотя и расположены в области «А», но собраны довольно близко к пограничной линии, что, по нашему мнению, свидетельствует о значительном влиянии на состав и структуру сообществ зоопланктона вод Куйбышевского водохранилища (Рис. 2).

Согласно сукцессионной модели Зоммера (Sommer et al, 1986), летом могут происходить многократные колебания численности фито- и зоопланктона, что зависит от температурного режима водоема и от доступности органических веществ. Однако осенью, с уменьшением освещенности и температуры воды, интенсивность экологических процессов снижается, что можно заметить по падению численности и биомассы зоопланктона. Увеличение обилия планктонных организмов после фазы «чистой воды» нами было отмечено однократно в августовских сборах; в сентябре наблюдалось осеннее снижение продуктивности зоопланктона до 0.059 ± 0.022 г/м³ в сутки. Наиболее выражена данная стадия была на станциях кута залива. Численность зоопланктона здесь в среднем составила 175.1 ± 33.2 тыс. экз./м³, а биомасса – 0.894 ± 0.317 г/м³. Количество таксонов на станциях было на уровне июньских значений – 12 ± 1 , индекс Шеннона – 2.6 ± 0.2 бит/экз. В целом полученные нами значения индекса Шеннона для зоопланктонных сообществ Казанского залива

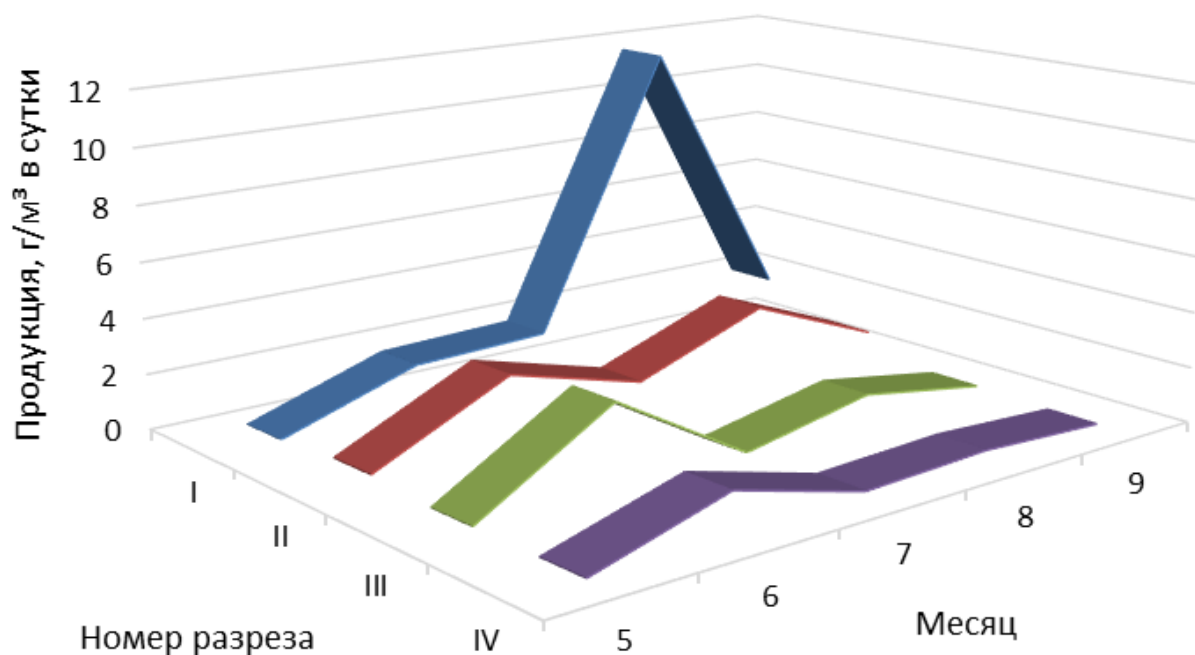


Рис. 5. Динамика суммарной суточной продукции ($P_{общ}$) зоопланктона по разрезам в период исследований.

за весь вегетационный сезон согласуются с ранее опубликованными для р. Казанки данными, по которым индекс Шеннона изменяется в пределах 0.7–2.8 бит/экз. (Мингазова и др., 2013). На MDS-диаграмме (Рис. 2) станции сентябрьских сборов, в отличие от августовских, смещены в сторону «А» области, что, по нашему мнению, указывает на значительное влияние вод р. Казанки. На станциях II, III и IV разрезов доминируют коловратки *Keratella quadrata*, *Brachionus calyciflorus*, виды рода *Asplanchna*. На станциях I разреза преобладают копеподитные стадии веслоногих рачков и ветвистоусые ракообразные *Daphnia longiremis*. По-видимому, в сентябре с понижением уровня водохранилища сдвигается граница подпора и увеличивается влияние речных вод.

Анализ уровня органического загрязнения методом Пантле–Букка показал, что средний индекс сапробности в 2018 г. составил 1.8 ± 0.05 ; это соответствует умеренно загрязненным водам (β -мезосапробная зона). Рассматривая динамику индекса, следует отметить, что наиболее благополучная ситуация наблюдалась в мае и сентябре (1.6 и 1.5), наименее – в июле (1.9). Значимых различий индекса сапробности на разных участках Казанского залива нами не выявлено. Полученные результаты полностью согласуются с данными предыдущих исследований (Деревенская, 2017; Деревенская и Умярова, 2017; Деревенская и др., 2015; Мингазова и др., 2013).

Индекс благополучия (D_E), описывающий наличие или отсутствие стресса в сообществах зоопланктона, варьировал от -0.5 до 0.4 . Значение индекса уменьшалось с ростом продуктивности в июне (-0.08 ± 0.04 до -0.27 ± 0.03). Увеличение индекса отмечено в период июльского падения численности (-0.02 ± 0.04). Повторное снижение индекса наблюдалось в августе и сентябре: -0.09 ± 0.03 и -0.11 ± 0.04 соответственно. При этом уменьшение индекса и снижение стресса в сообществе зоопланктона фиксировалось в момент более массового развития сравнительно крупных видов. В Казанском заливе Куйбышевского водохранилища это виды родов *Asplanchna* (Rotifera) и *Daphnia* (Cladocera).

Заключение

Проведенные в мае–сентябре 2018 г. исследования позволили установить изменения в таксономическом составе зоопланктона Казанского залива по сравнению с данными 1999–2015 гг., выразившиеся в почти двукратном увеличении доли представителей Rotifera в видовом списке. Численность и биомасса зоопланктона колебалась в широком диапазоне, но в целом соответствовала значениям, полученным во время предыдущих исследований (Деревенская, 2017; Деревенская и др., 2015; Мингазова и др., 2013). В динамике количественных характеристик наблюдались два пика развития зоопланктона, что соответствует сукцессионной PEG-модели Зоммера (Sommer et al, 1986), характерной для мезотрофных озер умеренных широт. Статистический анализ выявил влияние на структуру зоопланктонных сообществ таких факторов, как месяц отбора проб ($R = 0.472$) и удаленность участка (разреза) от устья залива ($R = 0.279$). Экологические события в Казанском заливе протекали волнообразно, что связано с наличием системы искусственных дамб, затрудняющих водообмен между участками залива, водами Куйбышевского водохранилища и р. Казанки. Процесс увеличения обилия зоопланктона в мае и августе, при высоком уровне водохранилища, шел от устьевых участков к куту залива. Осеннее снижение численности в сентябре начиналось со станций кута под влиянием речных вод. Рост обилия зоопланктона в июне и августе сопровождался увеличением видового разнообразия и снижением значений индекса стресса (отрицательные значения D_E), за счет появления в сообществе более крупных форм (К-стратегов), что определяет стремление системы к стабилизации. В сообществах, формирующихся под влиянием вод водохранилища, доминирующими видами, как правило, были ветвистоусые и веслоногие ракообразные, а в сообществах, функционирующих под влиянием речных вод – коловратки. Анализ степени органического загрязнения по методу Пантле–Букка показал его максимальный уровень в середине лета и более благополучную картину в мае и сентябре. В целом индекс сапробности акватории Казанского залива, определенный по индикаторным видам зоопланктона, в 2018 г. соответствовал среднемноголетнему уровню – умеренно загрязненным водам (Деревенская, 2017).

Список литературы

Абрамова, К.И., Токинова, Р.П., Водунон, Н.Р., Шагидуллин, Р.Р., Шурмина, Н.В., 2021. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевой области реки. *Труды Карельского научного центра РАН* 5, 20–31.

- Абрамова, К.И., Токинова, Р.П., Шагидуллин, Р.Р., 2020. Анализ связи фитопланктона с содержанием фенолов в устьевой области реки Казанки (г. Казань). *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада* **137**, 38–46.
- Денисенко, С.Г., 2006. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса). Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. *Исследования фауны морей* **56** (64), 35–46.
- Деревенская, О.Ю., 2017. Показатели зоопланктона в оценке состояния реки. *Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы»*, Казань, 16–17.11.2017. Казань, Россия, 269–274.
- Деревенская, О.Ю., Умярова, Р.М., 2017. Показатели зоопланктона в оценке качества поверхностных вод урбанизированных территорий (на примере р. Казанка, г. Казань). *Материалы Экономического форума с международным участием «Экономика в меняющемся мире»*, Казань, 24–28.04.2017. Казань, Россия, 297–299.
- Деревенская, О.Ю., Мингазова, Н.М., Яковлев, В.В., 2015. Сообщество зоопланктона малой реки в аномальных климатических условиях (на примере р. Казанки, РФ). *Гидробиологический журнал* **51** (2), 13–22.
- Любарский, Е.Л., 1974. К методике экспресс-квалификации и сравнения описаний фитоценозов. В: Хрулева, Н.В. (ред.), *Количественные методы анализа растительности*. БФАН, Уфа, СССР, 123–125.
- Любин, П.А., Бердник, С.В., Токинова, Р.П., 2017. Зоопланктон Волжского плеса Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенной трансформации акваландшафтов. *Принципы экологии* **4**, 47–59.
- Любин, П.А., Зиганшин, И.И., 2020. Зоопланктон реки Кама, состав и структура фауны, оценка экологического состояния среды. *Самарский научный вестник* **9** (1 (30)), 66–75.
- Любин, П.А., Токинова, Р.П., 2021. Закономерности изменения видового состава и количественной структуры зоопланктона в реке Зай. *Российский журнал прикладной экологии* **4** (28), 34–40.
- Манушин, И.Е., 2008. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных экотермных животных. *Материалы X научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина»*. Санкт-Петербург, Россия, 29–34.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция, 1982. Винберг, Г.Г., Лаврентьева, Г.М. (ред.). ГосНИОРХ, Ленинград, СССР, 34 с.
- Мингазова, Н.М., Деревенская, О.Ю., Мухачев, С.Г., Набеева, Э.Г., Палагушкина О.В. и др., 2013. Мониторинг состояния реки Казанка в городе Казани и разработка компенсационных мероприятий. *Экология урбанизированных территорий* **2**, 121–126.
- Мозжерин, В.И., Ермолаев, О.П., Мозжерин, В.В., 2012. Река Казанка и ее бассейн. Orange key, Казань, Россия, 280 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон, 2010. Алексеев, В.Р., Цаллолихин, С.Я. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 495 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (планктон и бентос), 1977. Кутикова, Л.А., Старобогатов, Я.И. (ред.). Гидрометеоздат, Ленинград, СССР, 511 с.

- Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 1. Нижнее Поволжье, 1966. Зубченко, О.М. (ред.). Гидрометеиздат, Ленинград, СССР, 287 с.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений, 1983. Абакумова, В.А. (ред.). Гидрометеиздат, Ленинград, СССР, 239 с.
- Численко, Л.Л., 1968. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон). Наука, Санкт-Петербург, СССР, 108 с.
- Шагидуллин, Р.Р., Иванов, Д.В., Горшкова, А.Т., Токинова, Р.П., Аськеев, О.В. и др., 2017. Современная экологическая ситуация на устьевом участке р. Казанка. *Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы»*, Казань, 16–17.11.2017. Казань, Россия, 162–165.
- Birge, E.A., Juday, C., 1922. The inland lakes of Wisconsin. The plankton. Part I. Its quantity and chemical composition. *Wisconsin Geological and Natural History Survey* 64 (13), 1–222.
- Błędzki, L.A., Rybak, J.I., 2016. Freshwater crustacean zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida) key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Springer, New York, USA, 918 p.
- Cáceres, C.E., 1998. Interspecific variation in the abundance, production, and emergence of *Daphnia* diapausing eggs. *Ecology* 79, 1699–1710.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Journal Ecology* 18 (1), 117–143.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2001. Primer V5: User Manual/Tutorial. Primer-E Ltd., Plymouth, UK, 91 p.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. Primer-E Ltd., Plymouth, UK, 154 p.
- Czeckanowski, J., 1909. Zur Differentialdiagnose der Neandertalgruppe. *Korrespondenzblatt der Deutschen Gesellschaft für Anthropologie* 40, 44–47.
- Deneke, R., Nixdorf, N., 1999. On the occurrence of clear-water phases in relation to shallowness and trophic state: a comparative study. *Hydrobiologia* 408/409, 251–262.
- Herzig, A., 1979. The zooplankton of the open lake. In: Löffler, H. (ed.), *Neusiedlersee: The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe (Monographiae Biologicae. Vol. 37)* Springer, London, UK, 281–335.
- Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach* 96 (18), 1–604.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27 (3), 379–423.
- Sládeček, V., 1965. The future of the saprobity system. *Hydrobiologia* 25, 518–537.
- Sládeček, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 7 (1), 1–218.
- Sommer, U., Adrian, R., De Senerpont Domis, L., Elser, J., Gaedke, U. et al., 2012. Beyond the plankton ecology group (PEG) model: Mechanisms driving plankton succession. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 43, 429–448.

Sommer, U., Gliwicz, Z.M., Lampert, W., Dancean, A., 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv fur Hydrobiologie* **106** (3), 433–463.

Sommer, U., Lewandowska, A., 2011. Climate change and the phytoplankton spring bloom: warming and overwintering zooplankton have similar effects on phytoplankton. *Global Change Biology* **17** (1), 154–162.

References

Abramova, K.I., Tokinova, R.P., Vodunon, N.R., Shagidullin, R.R., Shurmina, N.V., 2021. Analiz korrelyatsionnoi svyazi mezhdu razvitiem fitoplanktona i kislorodnym rezhimom ust'evoi oblasti reki [Analysis of the correlation between the development of phytoplankton and the oxygen regime of the river mouth area]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Karelian Research Centre RAS]* **5**, 20–31. (In Russian).

Abramova, K.I., Tokinova, R.P., Shagidullin, R.R., 2020. Analiz svyazi fitoplanktona s sodержaniem fenolov v ust'evoi oblasti reki Kazanki (g. Kazan') [Analysis of the relationship between phytoplankton and the content of phenols in the mouth area of the Kazanka River (Kazan')]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden]* **137**, 38–46. (In Russian).

Birge, E.A., Juday, C., 1922. The inland lakes of Wisconsin. The plankton. Part I. Its quantity and chemical composition. *Wisconsin Geological and Natural History Survey* **64** (13), 1–222.

Błędzki, L.A., Rybak, J.I., 2016. Freshwater crustacean zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida) key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Springer, New York, USA, 918 p.

Cáceres, C.E., 1998. Interspecific variation in the abundance, production, and emergence of *Daphnia* diapausing eggs. *Ecology* **79**, 1699–1710.

Chislenko, L.L., 1968. Nomogrammy dlia opredeleniia vesa vodnyh organizmov po razmeram i forme tela (morskoi mezobentos i plankton) [Nomograms for determining the weight of aquatic organisms by body size and shape (marine mesobenthos and plankton)]. Nauka, Saint-Petersburg, USSR, 108 p. (In Russian).

Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Journal Ecology* **18** (1), 117–143.

Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2001. Primer V5: User Manual/Tutorial. Primer-E Ltd., Plymouth, UK, 91 p.

Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. Primer-E Ltd., Plymouth, UK, 154 p.

Czeckanovski, J., 1909. Zur Differentialdiagnose der Neandertalgruppe. *Kor-respondenzblatt der Deutschen Gesellschaft für Anthropologie* **40**, 44–47.

Deneke, R., Nixdorf, N., 1999. On the occurrence of clear-water phases in relation to shallowness and trophic state: a comparative study. *Hydrobiologia* **408/409**, 251–262.

Denisenko, S.G. 2006. Informacionnaya mera Shennona i ee primeneniye v ocenkah bioraznoobraziya (na primere morskogo zoobentosa). Morskie bespozvonochnye Arktiki Antarktiki i Subantarktiki [Shannon's index and its application in biodiversity assessments (using the example of marine zoobenthos). Marine invertebrates of the Arctic, Antarctic and Subantarctic regions]. *Issledovaniya fauny morei [Research of Sea Fauna]* **56** (64), 35–46. (In Russian).

- Derevenskaya, O.Yu., 2017. Pokazateli zooplanktona v otsenke sostoiianiia reki [Indicators of zooplankton in assessing the state of the river]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ustoichivoe razvitie regionov: opyt, problemy, perspektivy" [Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference "Sustainable Development of Regions: Experience, Problems, Prospects"]*, Kazan', 16–17.11.2017. Kazan', Russia, 269–274. (In Russian).
- Derevenskaya, O.Yu., Umiarova, R.M., 2017. Pokazateli zooplanktona v otsenke kachestva poverhnostnykh vod urbanizirovannykh territorii (na primere r. Kazanka, g. Kazan') [Indicators of zooplankton in assessing the quality of surface waters in urban areas (using the example of the Kazanka River, Kazan)]. *Materialy Ekonomicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem "Ekonomika v meniaiushchemsia mire" [Materials of the Economic Forum with international participation "Economy in a Changing World"]*, Kazan', 24–28.04 2017. Kazan', Russia, 297–299. (In Russian).
- Derevenskaya, O.Yu., Mingazova, N.M., Yakovlev, V.V., 2015. Soobshchestvo zooplanktona maloi reki v anomal'nykh klimaticheskikh usloviyakh (na primere r. Kazanki, RF) [Zooplankton community of a small river in anomalous climatic conditions (using the example of the Kazanka River, Russian Federation)]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]* **51** (2), 13–22. (In Russian).
- Herzig, A., 1979. The zooplankton of the open lake. In: Löffler, H. (ed.), *Neusiedlersee: The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe (Monographiae Biologicae. Vol. 37)* Springer, London, UK, 281–335.
- Lyubarskii, E.L., 1974. K metodike iekspress-kvalifikatsii i sravneniia opisaniia fitotsenozov [To a methodology for express qualification and comparison of descriptions of phytocenoses]. In: Khruleva, N.V. (ed.), *Kolichestvennye metody analiza rastitel'nosti [Quantitative methods for vegetation analysis]*. Bashkir Branch of the USSR Academy of Sciences, Ufa, USSR, 123–125. (In Russian).
- Lyubin, P.A., Berdnik, S.V., Tokinova, R.P., 2017. Zooplankton Volzhskogo plesa Kuibyshevskogo vodohranilishha v usloviyakh antropogennoi transformatsii akvalandshaftov [Zooplankton of the Volzhsky reach of the Kuibyshev reservoir in conditions of anthropogenic transformation of aquatic landscapes]. *Principy ekologii [Principles of Ecology]* **4**, 47–59. (In Russian).
- Lyubin, P.A., Ziganshin, I.I., 2020. Zooplankton reki Kama, sostav i struktura fauny, oценка iekologicheskogo sostoiianiia sredy [Zooplankton of the Kama River, composition and structure of fauna, assessment of the ecological state of the environment]. *Samarskii nauchnyi vestnik [Samara Scientific Herald]* **9** (1 (30)), 66–75. (In Russian).
- Lyubin, P.A., Tokinova, R.P., 2021. Zakonomernosti izmeneniia vidovogo sostava i kolichestvennoi struktury zooplanktona v reke Zai [Patterns of changes in the species composition and quantitative structure of zooplankton in the Zai River]. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]* **4** (28), 34–40. (In Russian).
- Manushin, I.E., 2008. Sredniaia massa osobi kak pokazatel' skorosti oborota veshchestva v populiatsiiakh vodnykh ektotermnykh zhivotnykh [The average mass of an individual as an indicator of the rate of turnover of matter in populations of aquatic ectothermic animals]. *Materialy X nauchnogo seminara "Chteniia pamiati K.M. Deriugina" [Materials of the X scientific seminar "Readings in memory of K.M. Deryugin"]*. Saint-Petersburg, Russia, 29–34. (In Russian).
- Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiia [Methodological recommendations for collecting and processing materials during hydrobiological studies in freshwater bodies. Zooplankton and its products], 1982. Vinberg, G.G., Lavrentyeva, G.M. (eds.). State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries [GosNIORKh], Leningrad, USSR, 34 p. (In Russian).

- Mingazova, N.M., Derevenskaia, O.Yu., Mukhachev, S.G., Nabeeva, E.G., Palagushkina O.V et al., 2013. Monitoring sostoiianiia reki Kazanka v gorode Kazani i razrabotka kompensacionnykh meropriatii [Monitoring the condition of the Kazanka River in the city of Kazan and developing compensatory measures]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii [Ecology of Urban Areas]* **2**, 121–126. (In Russian).
- Mozzherin, V.I., Ermolaev, O.P., Mozzherin, V.V., 2012. Reka Kazanka i ee bassein [Kazanka River and its basin]. Orange key, Kazan', Russia, 280 p. (In Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. T. 1. Zooplankton [Key to zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia, Vol. 1. Zooplankton], 2010. Alekseev, V.R., Tsalolikhin, S.Ya. (eds.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 495 p. (In Russian).
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh evropeiskoi chasti SSSR (plankton i bentos) [Key to freshwater invertebrates of the European part of the USSR (plankton and benthos)], 1977. Kutikova, L.A., Starobogatov, Ya.I. (eds.). Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 511 p. (In Russian).
- Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach* **96** (18), 1–604.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 12. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyi Kazakhstan. Vyp. 1. Nizhnee Povolzh'e [Surface water resources of the USSR: Hydrological knowledge. Vol. 12. Lower Volga region and Western Kazakhstan. Vol. 1. Lower Volga region], 1966. Zubchenko, O.M. (ed.). Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 287 p. (In Russian).
- Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Guide to methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments], 1983. Abakumova, V.A. (ed.). Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 239 p. (In Russian).
- Shagidullin, R.R., Ivanov, D.V., Gorshkova, A.T., Tokinova, R.P., As'keev, O.V. et al., 2017. Sovremennaya ekologicheskaya situatsiya na ust'evom uchastke r. Kazanka [The current ecological situation at the mouth of the Kazanka River]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoo nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ustoichivoe razvitie regionov: opyt, problemy, perspektivy" [Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference "Sustainable Development of Regions: Experience, Problems, Prospects"]*, Kazan', 16–17.11.2017. Kazan', Russia, 162–165. (In Russian).
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* **27** (3), 379–423.
- Sládeček, V., 1965. The future of the saprobity system. *Hydrobiologia* **25**, 518–537.
- Sládeček, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* **7** (1), 1–218.
- Sommer, U., Adrian, R., De Senerpont Domis, L., Elser, J., Gaedke, U. et al., 2012. Beyond the plankton ecology group (PEG) model: Mechanisms driving plankton succession. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **43**, 429–448.
- Sommer, U., Gliwicz, Z.M., Lampert, W., Dancean, A., 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie* **106** (3), 433–463.
- Sommer, U., Lewandowska, A., 2011. Climate change and the phytoplankton spring bloom: warming and overwintering zooplankton have similar effects on phytoplankton. *Global Change Biology* **17** (1), 154–162.