



ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ЗООБЕНТОСА В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ РЫБОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ТИПА ВОДОВОЗДУШНАЯ ЗАВЕСА В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ ГРЭС

Калайда М.Л., Саетов А.Р., Хамитова М.Ф.

Казанский государственный энергетический университет, г.Казань, Россия

kalayda4@mail.ru

Резюме. *ЦЕЛЬ.* Исследование особенностей гидробиологических характеристик развития зообентоса в условиях работы рыбозащитного сооружения по типу водовоздушной завесы (ВВЗ) на объекте энергетики. *МЕТОДЫ.* Собран, обработан и проанализирован гидробиологический материал по качественному и количественному составу зообентоса в районе водозабора Заинской ГРЭС. Особое внимание уделено уровню развития биообрастателя – моллюска дрейссены и виду – акклиматизанту – ханкайской креветке. Проведен сравнительный анализ собственных исследований и литературных данных по гидробиологическим показателям качества вод по уровню развития зообентоса в районе рыбозащитного сооружения типа водовоздушной завесы. Обработку материала проводили общепринятыми гидробиологическими методами в лаборатории кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Показано, что рыбозащитное устройство по типу водовоздушной завесы является техническим решением, которое в процессе работы изменяет физико-химические характеристики состояния экосистемы, особенно в придонном слое и грунте, тем самым формируя особенности зообентоса. Выявлено, что рыбозащитное сооружение (РЗС) по типу водовоздушной завесы (ВВЗ) не снижает видового разнообразия зообентоса. Показано, что зона ВВЗ не препятствует воспроизводству моллюсков дрейссены, но приводит к снижению их численности от 2 до 5 раз по сравнению с РЗУ с сетчатыми касетами, что увеличивает экологическую значимость ВВЗ с позиций борьбы с биообрастаниями на гидротехнических сооружениях. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Наблюдения за состоянием экосистемы в районе действия водовоздушной завесы и оценка качества вод по показателям зообентоса выявили высокое качество вод на участке в районе функционирования ВВЗ, улучшение экологической ситуации.

Ключевые слова: аквакультура; объекты энергетики; рыбозащитное сооружение; водовоздушная завеса; зообентос.

Для цитирования: Калайда М.Л., Саетов А.Р., Хамитова М.Ф. Исследование особенностей развития зообентоса в районе размещения рыбозащитного сооружения типа водовоздушная завеса в водоеме-охладителе ГРЭС // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 1. С. 13-37. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-13-37.

STUDY OF THE FEATURES OF ZOOBENTHOS DEVELOPMENT IN THE AREA OF WATER AIR CURTAIN TYPE FISH PROTECTION STRUCTURE IN THE COOLING RESERVOIR OF THE SDPP

Kalaida ML., Saetov AR., Khamitova MF.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

kalayda4@mail.ru

Abstract: *PURPOSE.* Study of the features of hydrobiological characteristics of zoobenthos development under conditions of an operating fish protection structure of a water-air curtain (WAC) type at an energy facility. *METHODS.* Hydrobiological material on the qualitative and quantitative composition of zoobenthos in the water intake area of the Zainskaya State District Power Plant was collected, processed and analyzed. Particular attention is paid to the level of development of the biofouling agent - Dreissena, and the acclimating species, the Khanka shrimp. A comparative analysis of our own research and literature data on hydrobiological indicators of water quality according to the level of development of zoobenthos in the area of a fish protection

structure such as a water-air curtain was carried out. The material was processed using generally accepted hydrobiological methods in the laboratory of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of Kazan State Power Engineering University. **RESULTS.** It is shown that a fish protection device like a water-air curtain (WAC) is a technical solution that, in the process of operation, changes the physical and chemical characteristics of the state of the ecosystem, especially in the bottom layer and soil, thereby shaping the characteristics of zoobenthos. It was revealed that a fish protection structure (FPS) like a water-air curtain does not reduce the species diversity of zoobenthos. It has been shown that the WAC zone does not prevent the reproduction of *Dreissena*, but leads to a decrease in their numbers from 2 to 5 times compared to FPS with mesh cassettes, which increases the environmental significance of the WAC from the standpoint of combating biofouling on hydraulic structures. **CONCLUSION.** Observations of the state of the ecosystem in the area of operation of the water-air curtain and assessment of water quality based on zoobenthos indicators revealed high water quality in the area where the water-air curtain operates and an improvement in the ecological situation.

Keywords: aquaculture; energy facilities; fish protection structure; water-air curtain; zoobenthos.

For citation: Kalaida ML., Saetov AR., Khamitova MF. Study of the features of zoobenthos development in the area of water air curtain type fish protection structure in the cooling reservoir of the SDPP. Power engineering: research, equipment, technology. 2024; 26 (1): 13-37. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-13-37.

Введение (Introduction)

В соответствии с направлениями Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» особую актуальность имеют работы по обеспечению продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия.

Среди приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации - переход к экологически чистому аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств защиты животных, создание безопасных технологий при получении продуктов питания. Эти же задачи подчеркиваются в документах, определяющих с административных позиций управление водными биологическими ресурсами: Федеральный Закон «Об аквакультуре» №400876-4, Водный Кодекс РФ, Постановление правительства Российской Федерации № 380 от 29.04.2013 г. «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания».

В соответствии с нормативными документами каждое водозаборное сооружение должно быть оборудовано эффективным рыбозащитным устройством или сооружением (РЗС). В Федеральном законе от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.03.2023) в Статье 43.2. «Федеральный государственный контроль (надзор) в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов» в Пункте 3. подчеркивается «Предметом федерального государственного контроля (надзора) в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов является соблюдение юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами обязательных требований, включая: 1) требования в части выполнения мер по сохранению водных биоресурсов и среды их обитания при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности, оказывающей негативное воздействие на биоресурсы и среду их обитания, в том числе требования наличия эффективных рыбозащитных сооружений на водозаборных сооружениях.

Аналогичное требование об установке эффективных рыбозащитных сооружений – в Постановлении Правительства РФ от 29.04.2013 г. №380 "Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания». А в Своде Правил 101.13330.2023 «СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (пункты 9.5.1 и 9.9) подчеркивается, что эффективность рыбозащитных сооружений для рыб размером от 12 мм и выше должна быть не менее 70% по всем сезонам водопользования.

Для обеспечения устойчивого функционирования естественных экологических систем и природно-антропогенных объектов конструктивные особенности отдельных решений в рыбозащитном устройстве определяются задачами обеспечения максимальной защиты от попадания рыб в водозаборное устройство. Особенно актуально это для таких природно-антропогенных водоемов как водоемы - охладители объектов энергетики. Одним из наиболее эффективных технических решений в настоящее время является РЗС по типу водовоздушной завесы (ВВЗ) [1, 2, 3]. Оно работает по принципу восходящей водовоздушной завесы, сформированной системой придонных модулей РЗУ с аэрирующими соплами (Рис.1). Эффект водовоздушной завесы, создается подачей в перфорированный трубопровод мелкодисперсной водовоздушной суспензии.



Рис 1. РЗУ типа «водовоздушная завеса» перед установкой в Заинском Водохранилище

Fig.1. FPS of "water-air curtain" type before installation in the Zainsk reservoir

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Особую актуальность имеют исследования проблем повышения устойчивости и разработка мероприятий по предотвращению негативных изменений в водных экосистемах, особенно при изменении физико-химических характеристик при деятельности водозаборных устройств, в том числе при эксплуатации РЗС типа водовоздушная завеса (Рис.2). Актуальность усиливается и тенденциями изменений климатических характеристик: повышением температуры воды в летний период, приводящим к снижению содержания растворенного кислорода и цветению воды за счет развития цианобактерий, что в конечном итоге приводит к массовой гибели рыб [4, 5, 6, 7]. В зимний период в районе ВВЗ образуется не замерзающая полынья (Рис.2).



Рис 2. Работа РЗУ типа «водовоздушная завеса» в Заинском водохранилище

Fig.2. The work of the "water-air curtain" type FPS in Zainsk reservoir

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Научная значимость работы заключается в том, что впервые изучены особенности состояния компоненты экосистемы водоема - зообентоса - в зоне работы РЗС по типу водовоздушной завесы в сравнении с контрольными участками водохранилища.

Исследование позволяет выявить уровень воздействия РЭС по типу водовоздушной завесы на окружающую среду.

Практическая значимость исследования экосистемы в районе функционирования рыбозащитного сооружения типа водовоздушной завесы заключается в том, что результаты получены в условиях реально функционирующего РЭС предприятия энергетики и могут быть использованы для разработки и совершенствования методов снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной деятельности на окружающую среду. Результаты данной работы можно использовать при разработке, модернизации и внедрении РЭС, что будет полезно как для владельцев функционирующих РЭС, так и для разработчиков РЭС.

Переосмысление освоения ресурсов внутренних водоемов включает такие задачи как направленное формирование ихтиофауны, пастбищную аквакультуру, увеличение компенсационных выпусков молоди рыб от искусственного воспроизводства [4, 5]. Не менее значимым мероприятием в этих условиях становится повышение эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах энергетических предприятий. Выбор методов рыбозащиты с обоснованием состояния гидробиоценоза является важной компонентой сохранения водных биоресурсов.

Постановка задачи

Цель данного исследования – изучить изменения гидробиологических характеристик в развитии зообентоса в условиях работы рыбозащитной водовоздушной завесы на объекте энергетики.

Материал и методика исследования (Materials and methods)

Материалом для работы послужили пробы зообентоса, собранные в августе 2022 года с 8 станций в районе водозабора Заинской ГРЭС (рис.3).

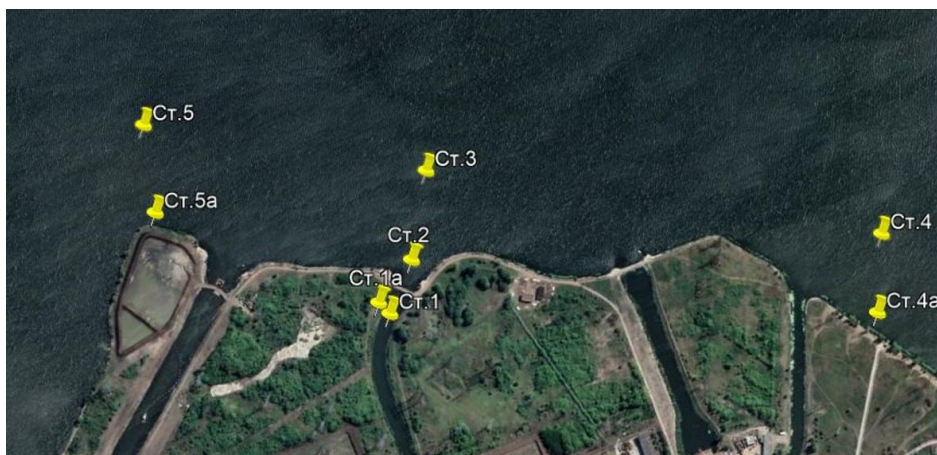


Рис.3. Станции отбора проб зообентоса в районе РЭС типа водовоздушная завеса (ВВЗ) *Fig.3. Stations for sampling of zoobenthos in the area of the water-air curtain type FPS*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Заинское водохранилище создано в результате зарегулирования стока реки Степной Зай в 1965 г. (рис.4). Створ плотины гидроузла на реке Степной Зай расположен в 71 км от устья реки Степной Зай (место впадения в реку Каму). НПУ составляет 73 м. Самый низкий уровень сработки – 70,075 м. Полный объем при НПУ равен 0,063 км³, полезный объем 0,035 км³. Площадь водосбора составляет – 2,91 тыс. км², площадь водного зеркала – 20,45 км² [8, 9]. Средняя глубина составляет 3,8 м, наибольшая – 9 м. Средняя ширина – 1 км, максимальная – 2,5 км. Длина в период половодья достигает 15 км. В 1972 году Заинская ГРЭС выведена на проектную мощность – 2 400 Мвт.

Площадь водохранилища, участвующая в охлаждении, составляет около 15 км². По степени подогрева водоем можно разделить на четыре участка: верхний площадью около 6 км² – зона максимального прогрева, средний – зона слабого подогрева, в которой расположена зона водозабора, ниже зона эпизодического подогрева, после которой расположена зона с естественным температурным режимом. Объем водной массы составляет примерно 9 млн. м³.

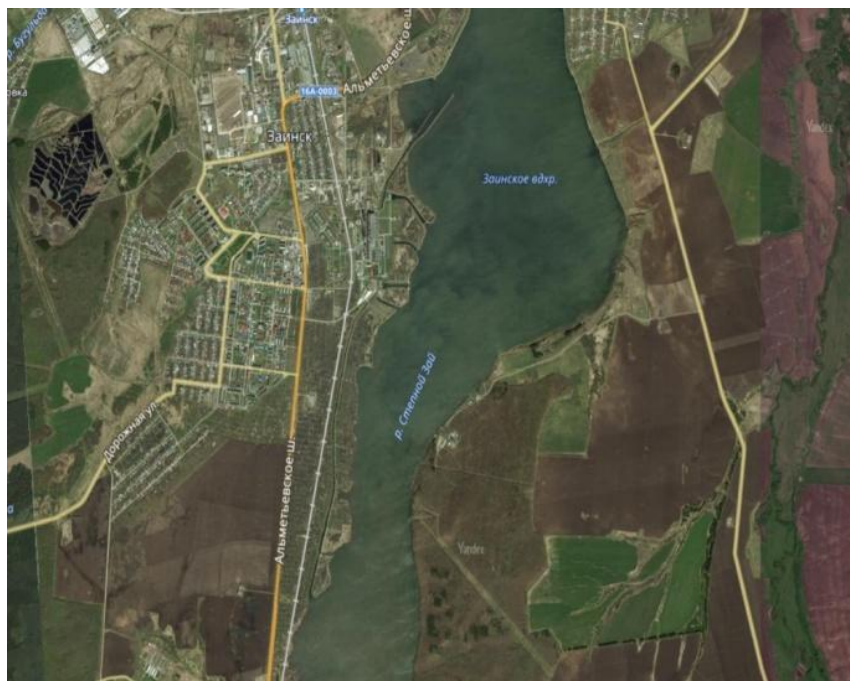


Рис.4. Карта–схема расположения Зайнского водохранилища

Fig.4. Schematic map of the location of the Zaink Reservoir

*Источник: (<https://www.google.com/maps>). Source: (<https://www.google.com/maps>).

Сбросные теплые воды в водоемах-охладителях являются определяющим антропогенным экологическим фактором, влияющим на естественную среду. В условиях работы ВВЗ на экологическое состояние водохранилища влияет не только сброс теплых вод, но и функционирование ВВЗ. Воздействие на компоненты гидробиоценоза проявляется в исчезновении ледового покрова, увеличении проточности вод, изменения содержания кислорода в придонном слое (рис.5).



Рис 5. Зона воздействия РЗУ типа «водовоздушная завеса» в Зайнском водохранилище

Fig.5. Impact zone of the "water-air curtain" type FPS in the Zaink reservoir

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Гидробиологические пробы зообентоса были отобраны с 8 станций, из которых 3 были прибрежными (рис.6):



Рис. 6. Станции сбора проб зообентоса в районе РЭС типа водовоздушная завеса (ВВЗ) *Fig.6. Zoobenthos sampling stations in the area of the water-air curtain type FPS (WAC)*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

ст.1 – в центральной части водозаборного канала (прозрачность 2,0м, глубина 4,5 м, температура 26,07 °С);

ст.1а – у берега внутри водозаборного канала (прозрачность до дна, глубина 0,5м, температура 26,2 °С, плавающие погруженные водные растения);

ст.2 – над водовоздушной завесой (прозрачность 1,2м, глубина 3,7 м, температура 26,69°С);

ст.3 – в 50 м перед водовоздушной завесой (прозрачность 2,0 м, глубина 2,5 м, температура 27,71°С);

ст.4 – выше водозабора по течению (прозрачность 2,0 м глубина 4,0 м; температура 27,42°С);

ст. 4а – у берега выше по течению водозабора (прозрачность до дна, глубина 0,4 м, температура 27,42°С, плавающие погруженные водные растения);

ст.5 – ниже водозабора по течению (прозрачность 2,2 м, глубина 4,2 м, температура 27,40°С);

ст.5а – у берега ниже по течению водозабора (прозрачность до дна, глубина 0,5 м, температура 27,5°С, плавающие погруженные водные растения).

Отбор проб зообентоса проводился с помощью дночерпателя Петерсена (площадь захвата 1/40 м²) с двухкратной повторностью. Полученный материал процеживался через сито газа №25, организмы зообентоса с помощью пинцетов выбирались под лупой. Пробы фиксировались формалином (4%). Обработку материала проводили общепринятыми гидробиологическими методами в лаборатории кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета. Для обработки проб использовались оптический микроскоп плоского поля МИКМЕД-5 и стереоскопический микроскоп МСП-2. Организмы зообентоса определяли, по возможности до вида или более крупных таксономических групп. При обработке проб проводилась фотосъемка объектов с помощью цифрового микроскопического комплекса. Определение видов велось по определителям и руководствам в зависимости от групп организмов.

Результаты исследования и их обсуждение (Results and Discussions)

Сохранение водных экосистем водоемов на урбанизированных территориях как сообществ, не только обеспечивающих биоразнообразие, но и важных элементов окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Исследование макрозообентоса в Заинском водохранилище в зоне функционирования ВВЗ выявило в составе зообентоса 34 вида и формы, из которых 9 относились к олигохетам, 8 – к моллюскам, 6 – к личинкам хирономид. Кроме того, в составе зообентоса Заинского

водохранилища встречались 3 вида ручейников, по 2 вида пиявок и мшанок, а также по одному виду бокоплавов, креветок, стрекоз и подёнок (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Встречаемость видов и форм зообентоса в Заинском водохранилище в районе водозабора Зай ГРЭС, по материалам августа 2022 г

Occurrence of zoobenthos species and forms in the Zainskoye reservoir in the area of Zai GRES intake, based on August 2022

№	Вид и форма	Станции							
		1	1a	2	3	4	4a	5	5a
	Тип Mollusca (Моллюски)								
1	Mollusca кладка		+						+
	Класс Bivalvia								
	Отряд Veneroidea								
	Сем. Dreissenidae								
2	Dreissena bugensis (Andrusov, 1897)			+	+	+		+	
3	D. polymorpha (Pallas, 1771)	+		+	+	+		+	+
	Класс Gastropoda								
	Отряд Caenogastropoda								
	Сем. Bithyniidae								
4	Bithyniidae tentaculata (Linne, 1758)		+				+		
	Отряд Basommatophora								
	Сем. Lymnaeidae								
5	Lymnaea ovata (Draparnaud, 1805)								+
	Сем. Planorbidae								
6	Planorbarius corneus (Linnaeus, 1758)								+
	Подкласс Heterobranchia								
	Отряд Estobranchia								
	Сем. Valvatidae								
7	Valvata depressa (C. Pfeiffer, 1828)					+			
	Отряд Pulmonata								
	Сем. Physidae								
8	Physa fontinalis (Linnaeus, 1758)		+						
	Тип Bryozoa (Мшанки)								
	Класс Phylactolaemata								
	Отряд Plumatellida								
	Сем. Plumatellidae								
9	Plumatella fungosa (Pallas, 1768)			+	+		+		
10	P. repens (De Blainville, 1834)		+	+					
	Тип Annelida (Черви)								
	Класс Clitellata								
	Подкласс Hirudinea								
	Отряд Rhynchobdellida								
	Семейство Glossiphoniidae								
11	Glossiphonia complanata (Linnaeus, 1758)			+					
12	Helobdella stagnalis (Linne 1758)			+	+				
	Подкласс Oligochaeta								
	Отряд Naidida								
	Сем. Naididae								
13	Stylaria lacustris (Linné, 1767)			+	+			+	

Продолжение таблицы 1. *Continuation of Table 1*

14	<i>Nais variabilis</i> (Piguet, 1906)					+				
15	<i>N. communis</i> (Piguet, 1906)			+		+			+	
16	<i>Slavina appendiculata</i> (d'Udecem, 1885)								+	
17	<i>Derodigitata</i> (Muller, 1773)					+			+	
18	<i>Pristinella rosea</i> (Piquet, 1906)			+						
19	<i>P. aquiseta</i> (Bourne, 1891)							+	+	
20	<i>P. sp.</i>									+
21	<i>Amphichaeta leydigii</i> (Tauber, 1879)	+				+	+			
	Тип Arthropoda									
	Надкласс Crustacea (Ракообразные)									
	Класс Malacostraca									
	Отряд Decapoda									
	Подотряд Pleocyemata									
	Сем. Palaemonidae									
22	<i>Echopalaemon modestus</i> (C. Heller, 1862) (<i>Leander modestus</i>)			+						+
	Отряд Amphipoda									
	Сем. Gammaridae									
23	<i>Gammarus pulex</i> (Linnaeus, 1758)			+				+		+
	Класс Insecta (Насекомые)									
	Надотряд Palaeoptera									
	Отряд Odonata									
	Подотряд Zygoptera									
	Сем. Coenagrionidae									
24	<i>Erythromma najas</i> (Hansemann, 1823)									+
	Отряд Ephemeroptera									
	Сем. Baetidae									
25	<i>Cloen dipterum</i> (Linne, 1758)			+						
	Надотряд Neoptera									
	Отряд Diptera									
	Сем. Chironomidae									
26	Chironomidae куколка					+			+	
	Подсем. Orthocladiinae									
27	<i>Cricotopus</i> sp. <i>silvestris</i> (Fabricius, 1794)							+		+
28	<i>Cr.</i> sp. <i>algarum</i> (Kieffer, 1911)									+
	Подсем. Chironominae									
	Триба Chironomini									
29	<i>Parachironomus</i> sp. <i>parastratus</i> (Lenz, 1938)							+		
30	<i>Limnochironomus</i> sp. <i>nervosus</i> (Staeger, 1839)	+				+		+	+	+
	Триба Tanytarsini									
31	<i>Cladotanytarsus</i> sp. <i>mancus</i> (Walker, 1856)	+								
	Отряд Trichoptera									
	Сем. Polycentropodidae									
32	<i>Polycentropus</i> l.	+								+
33	<i>P. flavomaculatus</i> (Pictet, 1834)							+		
	Сем. Ecnomidae									
34	<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur, 1842)									+
	Всего видов и форм	5	7	10	9	5	9	8	13	

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как видно из данных таблицы 1 и рисунка 7 наибольшее видовое разнообразие и разнообразие групп зообентоса отмечалось на прибрежной станции (ст.5а) ниже по течению от ВВЗ, наименьшее в центральной части водозаборного канала (ст.1) и на глубоководной станции выше по течению (ст.4) (рис.3, 6, 7).

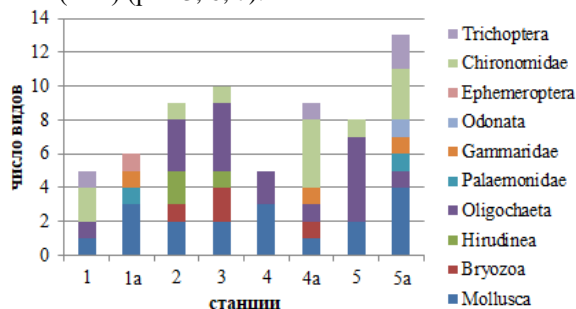


Рис.7. Количество видов макрозообентоса в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.7. Number of macrozoobenthos species in the water intake area of Zainsk SDPP

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

По числу видов в водоеме доминировали олигохеты, на них приходилось 26,5% всех встреченных видов и форм. Наибольшее их разнообразие отмечалось на глубоководной станции выше по течению водозабора ГРЭС. Необходимо отметить достаточно высокое разнообразие форм зообентоса в зоне функционирования ВВЗ – встречались моллюски дрейссена, мшанки, пиявки и олигохеты, характерные для перифитона.

К наиболее часто встречающимся видам и формам в районе исследований относились моллюски *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), которые встречались на 6 из 8 станциях и личинки хирономид *Limnochironomus* гр. *nervosus* (Staeger, 1839), встречавшиеся на 5 станциях.

Численность зообентоса варьировала от 520 экз./м² на ст.1а до 3790 экз./м² на ст.2 (рис. 8).

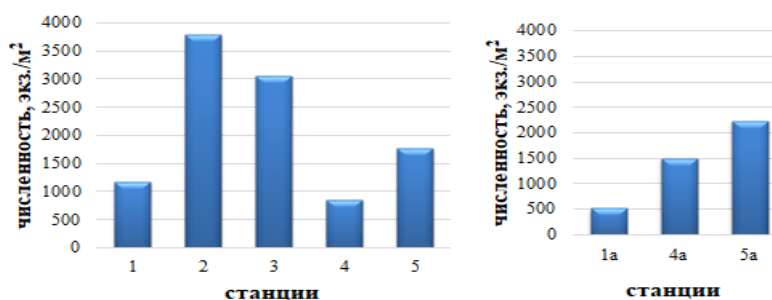


Рис. 8. Численность (экз./м²) зообентоса в Заинском водохранилище в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.8. Number (individuals/m²) of zoobenthos in the Zainsk reservoir in the water intake area of the Zai State District Power Plant

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Численность мягкого зообентоса варьировала от 200 экз./м² на ст.1 до 1480 экз./м² на ст.4а (рис. 9).

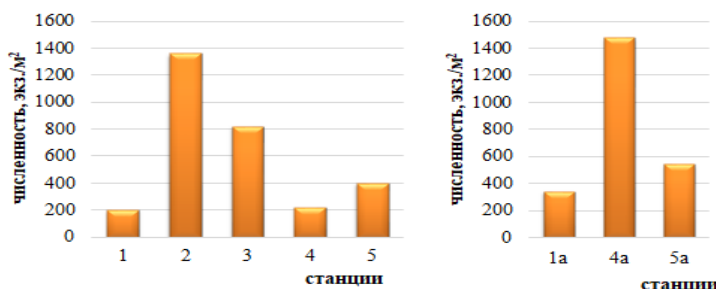


Рис. 9. Численность (экз./м²) мягкого зообентоса в Заинском водохранилище в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.9. Number (individuals/m²) of soft zoobenthos in the Zainsk reservoir in the water intake area of Zai SDPP

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Биомасса зообентоса варьировала от 12,2 г/м² на ст.1 до 1040,5 г/м² на ст.3 (рис. 10). Можно отметить, что наибольшая численность и биомасса зообентоса на глубоководных станциях отмечалась в районе водовоздушной завесы за счет присутствия дрейссены.

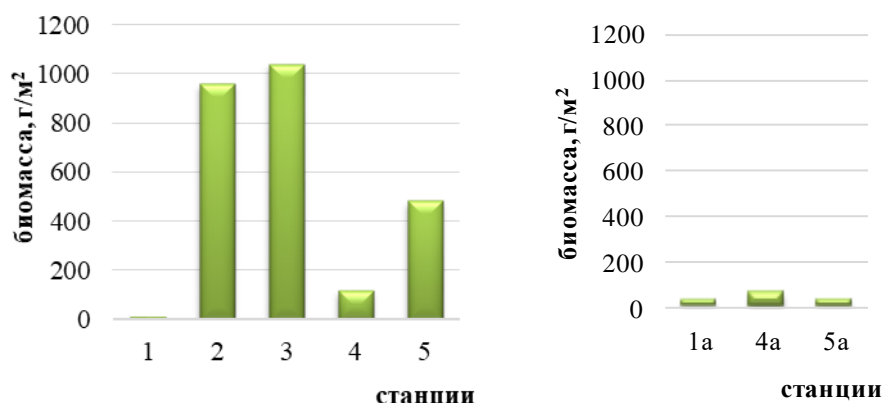


Рис. 10. Биомасса (г/м²) зообентоса в районе водозабора Зай ГРЭС *Fig. 10. Biomass (g/m²) of zoobenthos in the water intake area of Zai GRES*

Биомасса мягкого зообентоса варьировала от 0,08 г/м³ на станции 4 до 57,24г/м³ на станции 4а (рис. 11).

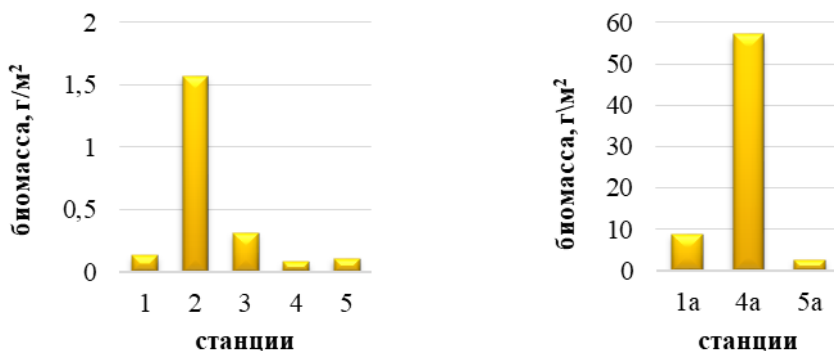


Рис.11. Биомасса (г/м³) мягкого зообентоса в районе водозабора Зай ГРЭС *Fig. 11. Biomass (g/m³) of soft zoobenthos in the water intake area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Личинки ручейников, которые свидетельствуют о высоком качестве вод, отмечались в канале и на прибрежных станциях с численностью от 20 до 60 экз/м² и биомассой от 0,01 до 0,12 г/м².

При анализе уровня развития зообентоса необходимо учитывать состояние донных отложений. Показано [10], что участки акватории в районе береговых насосных станций не подвержены заилению. Циркуляционные потоки воды и до устройства ВВЗ препятствовали образованию илистых отложений. Проведенные исследования выявили, что донные отложения обильно насыщены отмершей дрейссеной, которая на отдельных станциях формировала до 70-80% объема донных отложений [10]. Наличием раковин дрейссен объясняется и некоторое повышение рН в зоне донных отложений в средней части водохранилища.

D.polyomorpha была характерна для литореофильных биоценозов Волги до образования Куйбышевского водохранилища. Ее максимальная численность в тот период достигала 1825 экз/м². После образования водохранилища *D. polyomorpha* стала массовой формой в составе литореофильных биоценозов правого берега Волжского плеса. С 1998 года в Волжском и Камском отрогах Куйбышевского водохранилища в бентосных сборах встречается *Dreissena bugensis* [11, 12]. В среднем она составляла 5-15% от численности *D. polyomorpha* на русловых и пойменных участках. В 2001 г. *D. bugensis* была обнаружена в Нижнекамском водохранилище. *D.bugensis* в основном встречается в литофильных биоценозах правого берега Волги. Для поселения она использует различные типы субстратов: камни, древесину, крупных двусторчатых моллюсков. Максимальная численность и биомасса *D. polyomorpha* в верхних участках Куйбышевского водохранилища

в разные годы достигала соответственно 2120 – 8560 экз/м² и 5,3 - 1348 г/м² при средней биомассе 6-10 г/м² (до 95% от общей биомассы зообентоса) [11, 12].

Численность и биомассы *Dreissena bugensis* и *D. polymorpha* в районе функционирования ВВЗ в Заинском водохранилище представлена на рисунках 12 и 13.

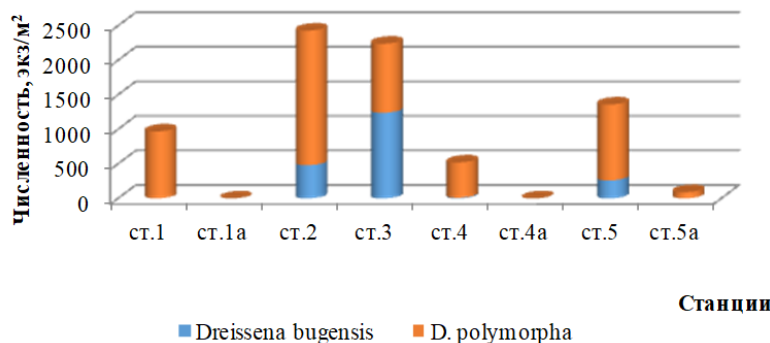


Рис.12. Численность моллюсков дрейссены в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.12. The number of *Dreissena* in the water intake area of Zai SDPP

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

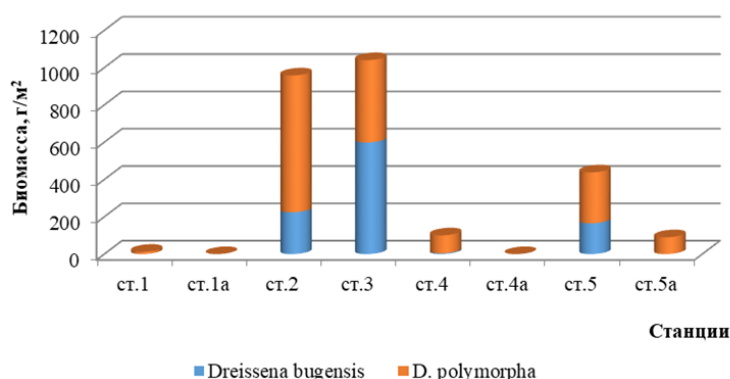


Рис.13. Биомасса моллюсков дрейссены в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.13. Biomass of *Dreissena* in the water intake area of Zai State District Power Plant

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как видно из приведенных на рис. 12 и 13 данных максимальные численность (1950 экз/м²) и биомасса дрейссены отмечены в районе функционирования ВВЗ и перед ней – на участках максимальной проточности с наименьшей заиленностью грунтов. Развитие дрейссены в зоне гидротехнических сооружений, которые являются хорошим субстратом для формирования ее друз, увеличивает экологическое значение ВВЗ по сравнению со стандартным РЗУ, включающем рыбозаградительные решетки (Рис.14). Это связано с высокой обрастаемостью гидротехнических сооружений и необходимостью их частой чистки. В условиях теплых вод эта проблема становится еще актуальнее.



Рис.14. Моллюски дрейссены в районе водозабора Зай ГРЭС Fig.14. *Dreissena* mollusks in the water intake area of Zai State District Power Plant

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Проблема биологических обрастаний на решетках рыбозащитных устройств ТЭЦ стоит достаточно остро (рис. 15). Биообрастания резко снижают эффективность работы рыбозащитных устройств.



Рис.15. Биологические обрастания на решетке *Fig.15. Biological fouling on the grill of the fish
рыбозащитного устройства ТЭЦ protection device of a thermal power plant*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Численность моллюсков дрейссены разных размерных групп в районе исследования представлена на рисунках 16 и 17.

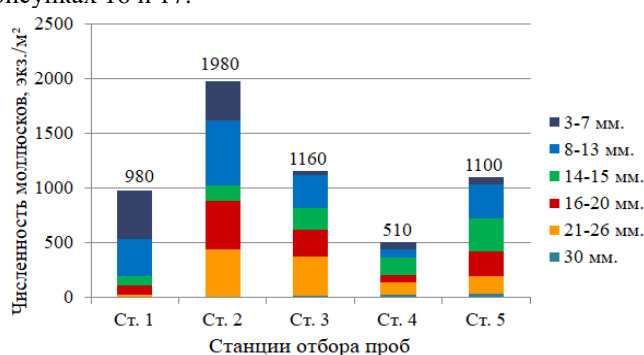


Рис.16. Численность *D. polymorpha* в районе *Fig.16. Abundance of D. polymorpha in the water
водозабора Зай ГРЭС intake area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

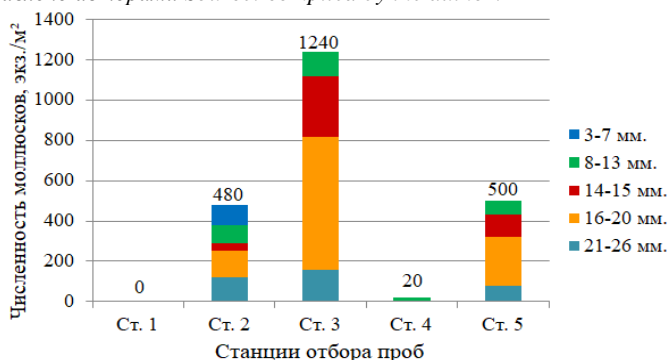


Рис.17. Численность *D. bugensis* в районе *Fig.17. Abundance of D. bugensis in the water intake
водозабора Зай ГРЭС area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Важно отметить, что *D. polymorpha* (до 30 мм) имела большие максимальные размеры по сравнению с *D. bugensis* (до 26 мм). Если *D. polymorpha* имела максимальную численность на станции у ВВЗ и встречалась в значительных количествах в бентосе внутри водозаборного канала, то *D. bugensis* имела максимальную численность на участке перед ВВЗ и не была отмечена в пробах бентоса внутри канала. Значимым фактом является и наличие мелких особей дрейссены – до 10 мм – в зоне ВВЗ и канале. Эти особи свидетельствуют об успешном воспроизводстве дрейссены весной 2022 года именно в районе водозаборного сооружения, включая ВВЗ. Моллюски от 8 до 13 мм, вероятно, от осеннего воспроизводства предыдущего года.

Сравним плотность дрейссены в районе водозабора ЗайГРЭС с плотностью моллюсков в оз. С. Кабан в районе водозабора Казанской ТЭЦ-1. Там численность дрейссены варьировала от 80 до 8920 экз/м², в среднем за период наблюдений составив 4153 экз/м² (рис.18). Максимальная численность (8920 экз/м²) отмечалась в районе забора воды

Казанской ТЭЦ-1 в июне 2009 г., при этом проведенное обследование оз. С. Кабан на русловых и прибрежных станциях выявило низкую численность дрейссены из-за значительных иловых отложений на дне (до 20 экз/м²) [13-17]. Исследование показало, что в районе ВВЗ по сравнению с водозабором, оборудованным РЗУ с кассетой решеток, численность дрейссены в районе водозабора от 2,1 до 4,6 раз ниже при использовании рыбозащиты по типу ВВЗ.

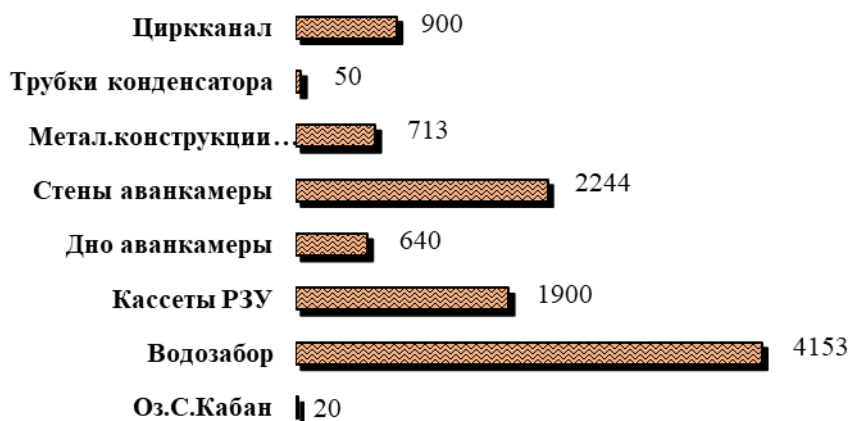


Рис.18. Распределение дрейссены (экз/м²) в оз. С. Кабан и системе технического водоснабжения Казанской ТЭЦ-1 по [17].

Fig.18. Distribution of Dreissena (ind./m²) in the lake M. Kaban and the technical water supply system of the Kazan CHPP-1 according to [17]

*Источник: [17]. Source: [17].

Таким образом, зона ВВЗ не препятствует воспроизводству моллюсков дрейссены, но приводит к снижению их численности от 2 до 5 раз.

Поскольку исследование гидрохимических характеристик качества вод выявило снижение загрязнения органическими веществами интересно посмотреть качество вод по гидробиологическим характеристикам – по показателям макрозообентоса, поскольку именно у дна отмечаются наибольшие изменения.

При оценках влияния антропогенного воздействия на водные экосистемы разные авторы [18-21, 28] используют различные индикаторные виды и группы, которые, по их мнению, хорошо отражают тот или иной тип загрязнения. В начале XX в. для оценки качества вод была предложена система Р. Кольквитца и М. Марссона [22, 23], которая нашла широкое применение и считается сегодня классической. Авторы предложили водоемы и водотоки или их отдельные зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами разделить на поли-, мезо (альфа и бета)- и олигосапробные по присутствию индикаторных видов.

Количественную оценку качества вод с применением математических расчетов предложили Пантле и Букк, предложившие индекс сапробности (S) [24] : $S = \sum s \cdot h / \sum h$, где s – индикаторная значимость вида, h – относительная численность вида. Из всех модификаций метода измерения сапробности Пантле-Букка наиболее разработанной системой является модификация В. Сладечека [25, 26] и в настоящее время часто используется в биоиндикационных исследованиях.

В более поздний период в оценках качества вод стали использовать трофические связи гидробионтов, как показатели нарушенности или ненарушенности сложившихся структурных связей. Видовая плотность (число видов в пробе) широко используется в качестве индикаторного показателя [27]. Это базируется на принятом Конвенцией о биологическом разнообразии [29] определении: биологическое разнообразие означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются. Это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем. Соответственно выделяют три основных уровня биологического разнообразия: генетическое, видовое и экосистемное разнообразие. Такое деление соответствует Конвенции о биоразнообразии.

Видовое разнообразие подразделяют на альфа-разнообразие – число видов в пределах (внутри) однородного биотопа (экотопа); бета-разнообразие – число видов во всех биотопах (экотопах) данной области (территории); гамма-разнообразие – видовое разнообразие в пределах ландшафта. Основная роль в изучении биологического разнообразия отводится тем формам, которые обладают способностью к неограниченно

долгому самоподдержанию в постоянной или умеренно изменяющейся среде, восстановлению после нарушений, к эволюции и адаптации к новым условиям [30].

Состав гидробиологического сообщества свидетельствует о среднем за длительное время качестве воды и грунта. Разные организмы характеризуют отрезки времени разные по продолжительности и представляют собой регистрирующие структуры изменений среды неодинаковой степени чувствительности. Поэтому в зависимости от задач используются различные гидробионты, к тому же их видовой набор регионально специфичен. В связи с этим разрабатываются и комплексные системы оценок.

С 80-х лет XX столетия для оценки состояния водных экосистем широко использовался информационный индекс видового разнообразия Шеннона в модификации Вильма и Дорриса [27, 31]. Достоинством индекса является его комплексность, он учитывает количество видов (видовую плотность) и их выравненность. Считается, что при величине индекса более 3 – воды «чистые», при индексе менее 3, но более 1 – «загрязненные», а при индексе менее 1 – «грязные».

Индексы видового разнообразия Шеннона, рассчитанные по численности зообентоса, варьировали в районе исследования на глубоководных станциях от 0,93 на ст. 1 до 1,93 на ст. 3, на прибрежных станциях от 1,73 на станции 5а до 2,1 на станции 4а (рис. 19). Таким образом, по структуре макрозообентоса в районе водозабора ЗайГРЭС воды оцениваются как загрязненные.

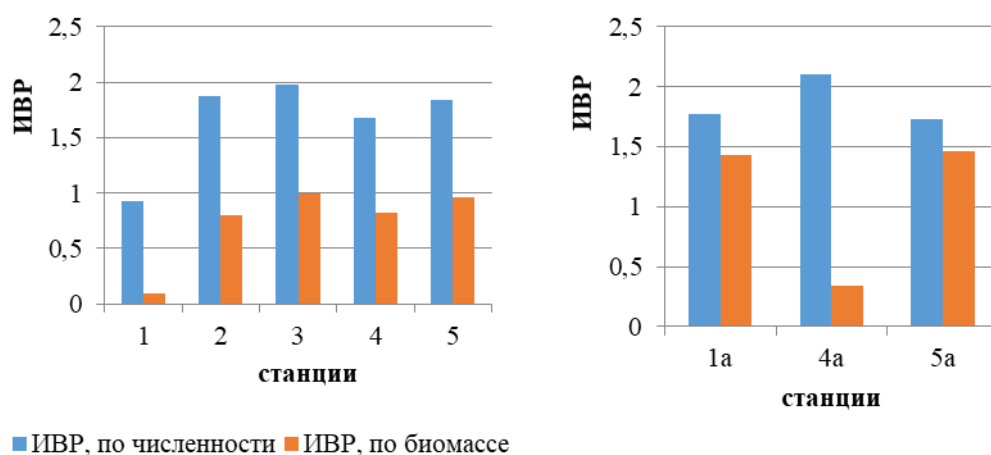


Рис.19 Индекс видового разнообразия Шеннона макрозообентоса в районе водозабора Зай ГРЭС

Fig. 19. Shannon species diversity index of macrozoobenthos in the water intake area of Zai SDPP

На участках со сложившимся псаммофильным биоценозом оценка качества вод может проводиться по Индексу (К) Е.В. Балускиной [18], который рассчитывается по формуле [1].

$$K = (\alpha_t + 0.5 \alpha_{ch}) / \alpha_o, \quad [1],$$

где α_t , α_{ch} и α_o – относительные численности отдельных групп личинок хирономид: соответственно, *Tanypodinae* (α_t), *Chironominae* (α_{ch}), *Orthocladinae* (α_o); $\alpha = N + 10$, где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех личинок хирономид.

Критерии оценки качества вод по величине Индекса Балускиной приведены в таблице 2. Результаты расчета индекса Балускиной на станциях Заинского водохранилища в районе водозабора ЗайГРЭС приведены на рисунке 20.

Таблица 2
Table 2

Критерии качества вод по величине Индекса Балускиной
Water quality criteria according to the value of Balushkina Index

Индекс Балускиной - К	Характеристика вод
0,136 – 1,08	Чистая
1,08 – 6,50	Умеренно загрязненная
6,50 – 9,0	Загрязненная
9,00 – 11,5	Грязная

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

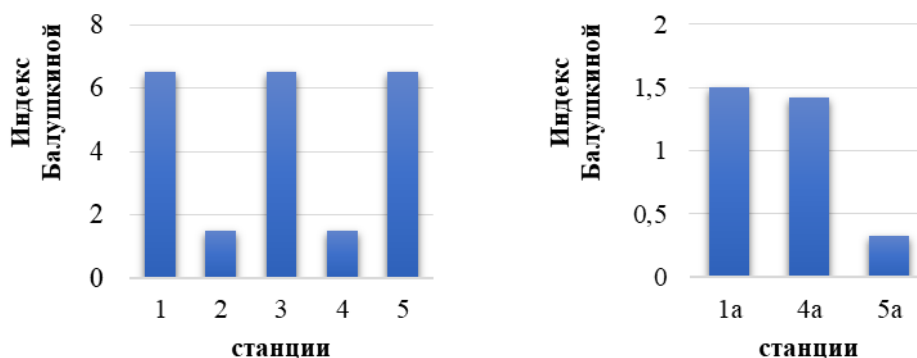


Рис. 20. Индексы качества вод по Е.В. Балушкиной, рассчитанные по численности личинок хирономид в районе водозабора Зай ГРЭС *Fig.20. Water quality indices according to E.V. Balushkina, calculated from the number of chironomid larvae in the water intake area of Zai State District Power Plant*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На всех станциях, кроме ст.5а (прибрежье ниже по течению), индекс Балушкиной варьировал от 1,42 до 6,5, что соответствует умеренно загрязненным водам. На ст.5а индекс Балушкиной составил 0,32 и характеризовал зону как чистую.

По индексам сапробности (S), рассчитанным по индикаторным видам зообентоса, участок относился к β-мезосапробной зоне и на ст.1 и ст.4 к олигосапробной зоне (рис.21).

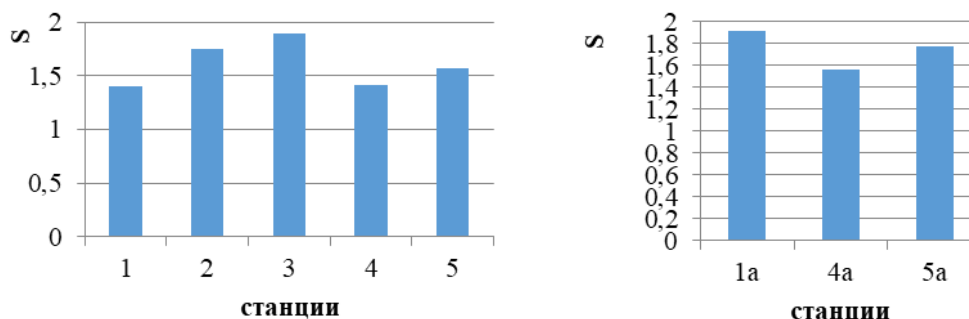


Рис. 21. Индексы сапробности по индикаторным видам зообентоса в районе водозабора ЗайГРЭС *Fig. 21. Saprobity indices for indicator species of zoobenthos in the water intake area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Для оценки качества вод рек используется индекс Гуднайт-Уитля [28], который отражает загрязнение водоёма органическими веществами, индикаторной группой в составе зообентоса является группа олигохет. Значение индекса Гуднайт-Уитля равно отношению количества обнаруженных в пробе олигохет к общему количеству организмов (включая и самих червей) в процентах. Состояние реки считается хорошим, если олигохетный индекс меньше 60%, сомнительным – в пределах 60-80%, река тяжело загрязнена, если олигохетный индекс превышает 80%. По показателю обобщенного индекса судят о степени эвтрофикации водоема. Оценочная шкала качества вод по индексу Гуднайт-Уитля представлена в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Олигохетный индекс Гуднайт-Уитля
Oligochaete Goodnight-Whitl index

Значение индекса, %	Степень загрязнения воды	Класс качества
Менее 30	Отсутствие загрязнения	1–2
30–60	Незначительное	2–3
60–70	Умеренное	3–4
70–80	Значительно	4–5
Более 80	Сильное	5–6

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В Заинском водохранилище в районе водозабора Зай ГРЭС индексы Гуднайт-Уитля (рис.22) свидетельствуют об отсутствии органического загрязнения вод, воды относятся к 1-2 классу качества.

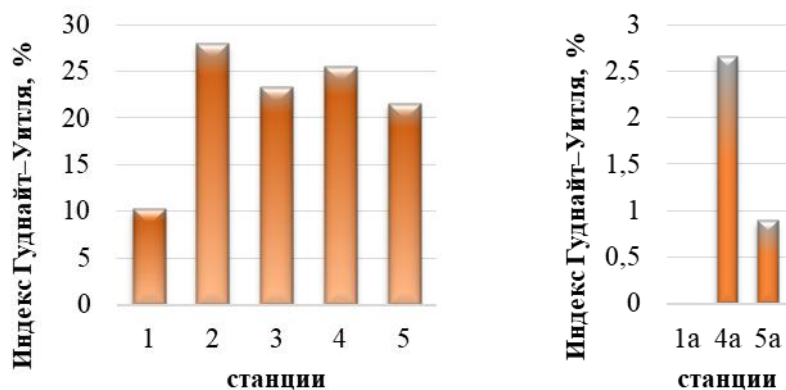


Рис. 22. Индексы Гуднайт-Уитля в районе водозабора Зай ГРЭС Fig. 22. Goodnight-Whitle indices in the water intake area of Zai SDPP

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Структура основного комплекса видов зообентоса на участках наибольшего органического загрязнения представлена преимущественно видами и формами насекомых, способных к атмосферному дыханию [11, 6]. При улучшении состояния в экотопе увеличивается разнообразие и представленность вторичноводных насекомых, причем группы, с дыханием растворенным кислородом заменяют формы, потребляющие атмосферный воздух [6]. На чистых участках и в зонах восстановления преобладают первичноводные животные. В качестве показателя антропогенного загрязнения водоема органическими веществами может быть использован индекса Y по [6], оценочная шкала состояния гидробиоценоза по индексу Y представлена в табл.4. Индекс Y позволяет отразить процесс участия бентосных форм в восстановлении качества вод.

$$Y = \frac{P_{пв} + 0,5P_{дрк}}{P_{дав} + 1}$$

где, $P_{пв}$ – доля (%) от общей численности зообентоса первичноводных организмов не относящихся к насекомым; $P_{дрк}$ – доля (%) дышащих растворенным кислородом в воде от общей численности вторичноводных насекомых; $P_{дав}$ – доля (%) дышащих атмосферным воздухом насекомых (личинки насекомых) от общей численности зообентоса.

Таблица 4
Table 4

Зависимость значений индекса Y от состояния донного гидробиоценоза
Dependence of index values on the state of bottom hydrobiocoenosis

Донный гидробиоценоз	Уровень воздействия	Значение Y
Нестабильный	Очень сильное	0-1
На ранней стадии адаптации	Сильное	1-3
Подверженный воздействию	Умеренное	3-12
Приспособившийся	Слабое	12-48
Стабильный неоднородный	Незначительное	48 - 100
Нестабильный однородный (олигохетный, корофиумный и т.п.) гаммаридный,	Сильное однонаправленное	100

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Индекс Y, рассчитанный для участка Заинского водохранилища в районе водозабора Зай ГРЭС, отразил незначительное антропогенное воздействие с позиций загрязнения; биоценоз характеризуется как стабильный неоднородный. Значения индекса варьировали от 53,3 до 100 (рис.23).

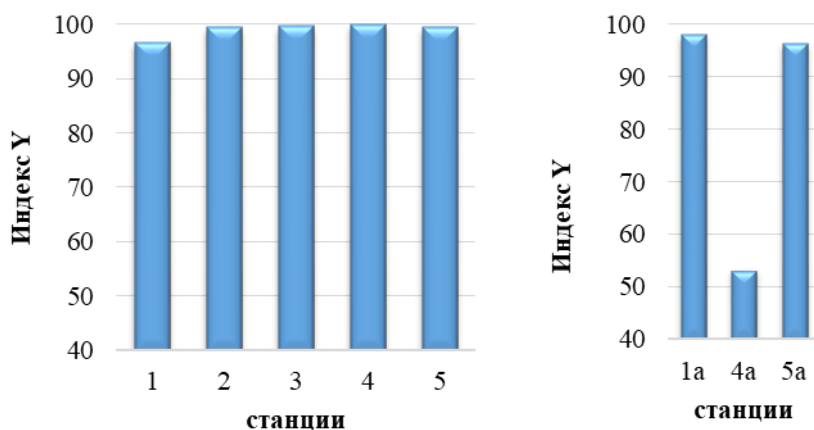


Рис. 23. Индексы состояния донного гидробиоценоза Y в районе водозабора ЗайГРЭС *Fig. 23. Indices of the state of benthic hydrobiocenosis Y in the water intake area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

Таким образом, анализ качественного и количественного состава макрозообентоса позволяют сделать выводы по качеству вод в районе ВВЗ:

По индексу видового разнообразия Шеннона воды оцениваются как загрязненные;

По индексу Балушкиной воды оцениваются как умеренно загрязненные, а в прибрежной зоне – чистые;

По индексам сапробности участок относится к β -мезосапробной зоне и в канале после ВВЗ - к олигосапробной зоне;

Олигохетный индекс свидетельствует об отсутствии органического загрязнения вод в зоне ВВЗ, воды относятся к 1-2 классу качества;

Донный гидробиоценоз оценивается как стабильный неоднородный с незначительным антропогенным воздействием;

Необходимо отметить, что при отборе проб зообентоса было выявлено наличие в водоеме ханкайских креветок (табл.1, рис.24).



Рис. 24. Ханкайские креветки в составе донного гидробиоценоза в районе водозабора ЗайГРЭС *Fig.24. Exopalaemon modestus as part of the benthic hydrobiocenosis in the water intake area of Zai SDPP*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author.*

По [32] сообщению ИА Регнум Заинская ГРЭС при работах по компенсационным выпускам рыбы занималась и улучшением кормовой базы рыб: в 1996 году в Заинское водохранилище была завезена из Рязани ханкайская пресноводная креветка, которая прекрасно прижилась и вполне справилась со своей миссией. Эти креветки являются не только высокобелковым кормом практически для всех видов рыб, но и, поедая высшую водную растительность, производят естественное очищение водоемов. Пресноводная ханкайская креветка - *Exopalaemon modestus* – обитает на Дальнем Востоке и занимает ареал от дельты реки Биджан и озера Ханки до Амурского лимана. Эта пресноводная креветка имеет много близких черт с речными раками, но размерами значительно уступает – самки 3-4 см массой 0,2 г, самцы чуть крупнее. Клешни слабые, небольшого размера, а усы вдвое превышают длину тела (рис.25). Глаза на стебельчатых выростах поворачиваются в стороны и обеспечивают широкий обзор. Оболочка тела почти прозрачная, поэтому окраска может варьировать в зависимости от цвета грунта и питания. В природе расцветка серовато-коричневая, максимально напоминающая цвет дна. Необходимо подчеркнуть, что для ханкайских креветок характерными биотопами обитания являются дно водоема и растительность, поэтому они встречались в бентосных пробах. Эти креветки всеядны: потребляют органические остатки со дна, отмершие части водорослей. Для них важны и камни на дне, которые постепенно растворяясь, насыщают воду минеральными элементами, необходимыми для укрепления панциря. Температурный режим для ханкайской креветки достаточно широкий - от +15°C до +30°C, причём зимой температура может быть ниже +20°C, а летом они способны переносить максимальное прогревание воды. Кроме того, они требовательны к наличию кислорода в воде. [33, 34].

Благодаря работе ЗайГРЭС в Заинском водохранилище складываются условия для жизни креветок. По данным лаборатории ЗайГРЭС в Заинском водохранилище средняя концентрация растворенного кислорода достаточно высока и варьирует от 5,8 до 8,7 мгО₂/дм³. Фактические концентрации кислорода в зоне функционирования ВВЗ приведены на рисунке 19.

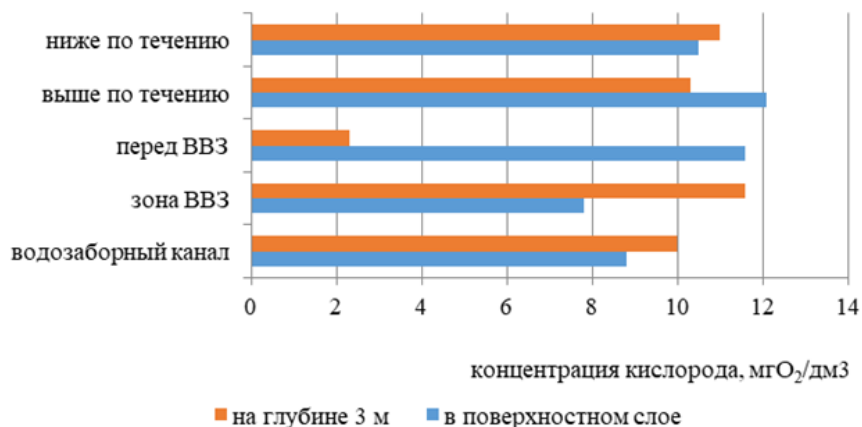


Рис.25. Концентрация кислорода в воде в августе в районе РЭС типа водо-воздушная завеса

Fig.25. Oxygen concentration in water in August in the area of the water-air curtain type FPS

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Количество дополнительного тепла, поступающего в водохранилище в результате сброса подогретых вод, распределяется по акватории водохранилища, в том числе, в зависимости от метеорологических условий. Температура воды в Заинском водохранилище в зимний период бывает не выше 10-15° С и превышает естественную на 10-11° С. Зимой в подогреваемой зоне имеется постоянная полынья, охватывающая большую площадь, подогрев распространяется на нижние слои воды. В подогреваемой зоне в это время наблюдается обратная термическая стратификация. Летом подгреваются верхние слои воды. Температура воды в водохранилище может превышать 30° С, а в отдельные периоды - 35-40° С. По сравнению с летним периодом весной и осенью прогреваются более глубокие слои воды.

По данным [35] в центральную часть России креветки много раз завозились из природных водоемов Дальнего Востока, Китая, Индии, и часто их было сложно идентифицировать. В результате перевозок амурских рыб в новые районы пресноводные креветки были случайно или намеренно завезены в центральные регионы России. В 60-80-е годы прошлого века креветки были обнаружены в водоемах-охладителях ГРЭС им. Классона г. Электрогорска и г. Шатура, куда были завезены на стадии личинки из р. Янцзы

вместе с молодью растительноядных рыб. Также они были интродуцированы в Куйбышевское водохранилище, в водоемы охладителей Курской, Смоленской и Калининской АЭС, Астраханской области, Республики Татарстан.

В литературе есть информация [35] об обнаружении в Заинском водохранилище *Macrobrachium nipponense* - речной японской креветки (рис.26), которая в естественном ареале обитает в пресноводных водоемах Японии, в южноамериканских, австралийских, индийских водоемах.



Рис. 26. Креветка *Macrobrachium nipponense*

Fig. 26. *Macrobrachium nipponense* shrimp

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В России, Белоруссии и Молдавии японскую креветку начали целенаправленно интродуцировать в 1980-х гг. в водоемы-охладители ГРЭС с целью улучшения кормовой базы рыб, а также обогащения фауны. Так, впервые в 1982 г. она была вселена в водоём-охладитель Берёзовской ГРЭС (Белоруссия), отсюда – в водоём-охладитель Лукомльской ГРЭС (Белоруссия), несколько позже вселена в водоём-охладитель Приморской ГРЭС (Россия), водоемы бассейна р. Волга (Заинское вдхр.), Кучурганской ГРЭС (Молдавия), где успешно натурализовалась. Из Заинского вдхр. *M. nipponense* в летний период спускается в Куйбышевское. В 1990 г. проведено вселение его в ильмень Ловецкий (Астраханская обл.) [36].

По [35] Креветки *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849), завозились в Заинское водохранилище в 1967 году из водоемов бассейна р. Амур в рыболовное хозяйство в качестве кормовой базы для рыб дальневосточного комплекса. Автором отмечается, что максимальная численность японских креветок в течение всего года отмечается вдоль градиентов теплого водоносного русла ГРЭС. В осенний период средняя численность креветок несколько увеличивалась возле водоотводных каналов и составляла в среднем $41,07 \pm 0,14$ особей на m^2 . Область обитания креветок в летний период несколько выходит за пределы ГРЭС, но ниже водосливной дамбы на удалении они не встречались.

В наших пробах японская креветка не встречалась. Мы в пробах зообентоса и в составе обрастаний выявили ханкайских креветок (табл.1), которые хорошо различимы с японскими креверками. У японской креветки тело полупрозрачное слегка коричневатое, она смотрится также как и ханкайская как стеклянная, но японские креветки крупнее: самцы - около 6 см, самки вырастают до 8 см в длину. У макробрахиумов хорошо выражены половые различия: у самцов туловище и клешни крупнее, конусовидный хвост сужающийся, более темный. У самок брюхо шире, сегменты, защищающие икру, опущены. У найденных нами креветок отсутствуют длинные клешни (рис.18, 20). Условия в Заинском водохранилище являются подходящими для жизни и японской креветки. Но у этих креветок – различные местообитания. Если японская креветка в основном находится на водных растениях в толще воды, то ханкайская – в донных биотопах. Температура воды при выращивании речной японской креветки должна находиться в пределах 26-30°C, pH 6,4-6,8, требуется высокое содержание кислорода и ток воды.

По данным [35, 36] в Заинское водохранилище при зарыблении растительноядными рыбами дальневосточного комплекса могла попасть и индийская стеклянная креветка – *Macrobrachium ehemals*. Японская креветка и индийская стеклянная креветки относятся к одному роду - Макробрахиум (*Macrobrachium*). В отличие от японской креветки индийская стеклянная креветка отличается миролюбивым поведением. Длина ее тела достигает 5 см, усы длинные, а клешни маленькие. Индийская креветка примечательна полупрозрачным телом, за что ее называют «призрак». Хитиновый покров радужно переливается на свету. Имеются и видимые отличия от ханкайской креветки: значительно отличаются глаза (рис.24,27).



Рис. 27. Индийская стеклянная креветка

Fig.27. *Macrobrachium ehemals*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Дополнительным, способствующим расселению креветок, фактором является наличие водной растительности.

Численность и биомасса креветок в составе бентосных проб в зоне исследований представлена на рис. 28 и 29. Можно отметить, что креветки встречались в максимальных количествах на прибрежных станциях, причем внутри водозаборного канала отмечалась численность – 300 экз/м² и биомасса – 8,86 г/м².

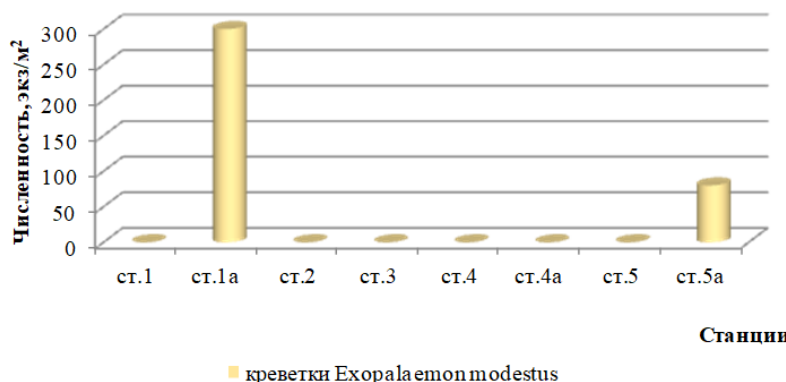


Рис.28. Численность креветок *Exopalaemon modestus* в районе водозабора Зай ГРЭС

Fig.28. The number of *Exopalaemon modestus* shrimp in the water intake area of Zai State District Power Plant

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

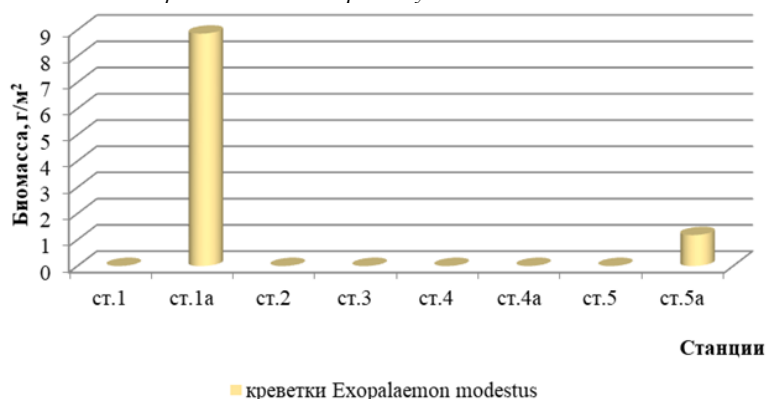


Рис. 29. Биомасса креветок *Exopalaemon modestus* в районе водозабора Зай ГРЭС

Fig. 29. Biomass of shrimp of the genus *Exopalaemon modestus* in the water intake area of Zai State District Power Plant

Результаты исследований макрозообентоса в зоне функционирования рыбозащитного сооружения по типу водовоздушной завесы позволяют сделать следующие выводы:

в зоне функционирования ВВЗ выявлены в составе зообентоса 34 вида и формы, из которых 9 относились к олигохетам, 8 – к моллюскам, 6 – к личинкам хирономид, кроме того, встречались 3 вида ручейников, по 2 вида пиявок и мшанок, а также по одному виду

бокоплавов, креветок, стрекоз и подёнок. Снижения видового разнообразия зообентоса в районе функционирования ВВЗ не отмечается. По числу видов доминировали олигохеты, наиболее часто встречались моллюски *Dreissena polymorpha* и личинки хирономид *Limnochironomus sp. nervosus*.

Численность зообентоса варьировала от 520 экз./м² до 3790 экз./м². Биомасса зообентоса варьировала от 12,2 г/м² до 1040,5 г/м². Наибольшая численность и биомасса зообентоса на глубоководных станциях отмечалась в районе водовоздушной завесы за счет присутствия дрейссены.

Личинки ручейников, которые свидетельствуют о высоком качестве вод, отмечались в канале и на прибрежных станциях с численностью от 20 до 60 экз/м² и биомассой от 0,01 до 0,12 г/м².

Максимальные численность (1950 экз/м²) и биомасса дрейссены (около 950 г/м²) отмечены в районе функционирования ВВЗ и перед ней – на участках максимальной проточности с наименьшей заиленностью грунтов. Выявлено, что зона ВВЗ не препятствует воспроизводству моллюсков дрейссены, но приводит к снижению их численности от 2 до 5 раз по сравнению с РЗУ с сетчатыми касетами.

Наблюдения за состоянием экосистемы в районе действия водовоздушной завесы и оценка качества вод по показателям развития зообентоса выявили высокое качество вод на участке в районе функционирования ВВЗ, улучшение экологической ситуации. На прибрежных участках выявлены ханкайские креветки, причем внутри водозаборного канала отмечалась численность – 300 экз/м² и биомасса – 8,86 г/м².

Заключение (Conclusions)

Роль рыбозащитных устройств при заборе воды [1-4] на современном этапе эксплуатации водных экосистем повышается. Среди наиболее экологичных - РЗУ типа «водовоздушная завеса» [3]. Проведено исследование фактического состояния водной экосистемы по характеристикам и уровню развития зообентоса в зоне функционирования РЗУ типа «водовоздушная завеса». Впервые изучены качественные и количественные особенности состояния зообентоса в зоне реально функционирующей ВВЗ РЗС предприятия энергетики в сравнении с контрольными участками водохранилища.

Показано, что в период максимальных температур в районе ВВЗ отмечается высокое качество вод по характеристикам состояния зообентоса.

На собранном гидробиологическом материале в период максимальных температур показано, что в качественном составе зообентоса выявлены 34 вида и формы, из которых 9 относились к олигохетам, 8 – к моллюскам, 6 – к личинкам хирономид, кроме того, встречались 3 вида ручейников, по 2 вида пиявок и мшанок, а также по одному виду бокоплавов, креветок, стрекоз и подёнок. Снижения видового разнообразия зообентоса в районе функционирования ВВЗ не отмечается. Численность зообентоса варьировала от 520 экз./м² до 3790 экз./м². Биомасса зообентоса варьировала от 12,2 г/м² до 1040,5 г/м². Наибольшая численность и биомасса зообентоса на глубоководных станциях отмечалась в районе водовоздушной завесы за счет присутствия дрейссены. Выявлено, что зона ВВЗ не препятствует воспроизводству моллюсков дрейссены, но приводит к снижению их численности от 2 до 5 раз по сравнению с РЗУ с сетчатыми касетами. Личинки ручейников, которые свидетельствуют о высоком качестве вод, отмечались в водозаборном канале и на прибрежных станциях с численностью от 20 до 60 экз/м² и биомассой от 0,01 до 0,12 г/м². На прибрежных участках впервые выявлены ханкайские креветки, причем внутри водозаборного канала отмечалась численность – 300 экз/м² и биомасса – 8,86 г/м².

Наблюдения за состоянием экосистемы в районе действия водовоздушной завесы и оценка качества вод по показателям развития зообентоса выявили высокое качество вод на участке в районе функционирования ВВЗ, улучшение экологической ситуации.

Литература

- 1.Калайда М. Л., Саетов А. Р. Рыбозащитные сооружения на водоемах объектов энергетики как важное мероприятие по сохранению стада рыб. - Международный водно-энергетический форум-2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1.-Казань: Казан.гос.энерг.унт, 2018.- 373 с.- С.108-113.
- 2.Калайда М.Л., Саетов А.Р. Экологическая составляющая эксплуатации рыбозащитных устройств филиала АО «Татэнерго» -Заинская ГРЭС.-XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: сборник материалов конференции. - В 3-х томах. /Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова .- Казань, 2022. С. 388-391.
- 3.Калайда М.Л., Саетов А.Р. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов/Проблемы энергетики, 2022, т.24, №2.- С.175-185.

- 4.Калайда М.Л., Шарафутдинов Р. Г. Современная гидрологическая характеристика Куйбышевского водохранилища как основа для развития водных биоресурсов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 1. С. 166-183. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-1-166-183.
5. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р. Г. Особенности изменений водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в современных климатических и гидрологических условиях // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 3. С. 150-167. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-150-167.
6. Хамитова, М.Ф. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги / М.Ф. Хамитова, М.Л. Калайда. – LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptumGmbH&Co.KG), Saarbrücken, Germany/ Германия, 2018. – 310 с
7. Калайда М.Л., Гордеева М.Э. Особенности физико-химического состояния вод водоемов объектов энергетики. - Международный водно-энергетический форум -2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1. -Казань: Казан.гос.энерг.унт, 2018. 373 с. С.284-290.
8. Махнин В.Г. Рыбохозяйственное освоение Заинского водохранилища. Сб. науч. трудов. Л., 1988, вып. 280, с. 75-83.
9. Киткина Ж.В. Экологическая ситуация и процессы самоочищения в Заинском водохранилище Республики Татарстан// Материалы III межвузовской студенческой научно-практической конференции. Экологическая политика: проблемы и перспективы. Пермь, 2015, с. 110-113.
10. Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р., Зиганшин И.И., Осмелкин Е.В. Донные отложения Заинского водохранилища.- Ученые записки Казанского университета.-Т.153, кн.1.- 2011.-С.190-202.
- 11.Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия.- Казань: Казан.гос.энерг.ун-т,2003.-135 с.
- 12.КалайдаМ.Л. Dreissena polymorpha (Pall.) и Dreissena bugensis (Andr.) (Mollusca, Bivalvia) в верхней части Куйбышевского водохранилища / Биология внутренних вод, 2004, №3, с.60-67
- 13.Калайда М.Л. Борьба с биообрастаниями – важная задача энерго- и ресурсосбережения. Часть 1 / М.Л. Калайда, Г.В. Новикова, Т.П. Синютина, А.А. Шмакова // Энергетика Татарстана. - 2008. - №2. - С. 51-55.
- 14.Калайда М.Л. Борьба с биообрастаниями – важная задача энерго- и ресурсосбережения. Часть 2 / М.Л. Калайда, Г.В. Новикова, Т.П. Синютина, А.А. Шмакова // Энергетика Татарстана. - 2008. - №3. - С. 85-92.
- 15.Калайда М.Л., Синютина Т.П., Зиганшина А.А. Dreissena polymorpha (Pall.) (Mollusca, Bivalvia) в составе перифитона водоема охладителя Казанской ТЭЦ-1. – Энерго- и ресурсоэффективность в энергобезопасности России: Пленарные доклады, материалы юбилейной международной научно-технической конференции/ Под общей редакцией д-ра физ.-мат. наук, профессора Ю.Я.Петрушенко. – Казан. гос. энерг. ун-т, 2007. – 232 с. – С.211-216.
- 16.Калайда М.Л. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения ТЭС / М.Л. Калайда, Т.П. Муганцева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики.- 2012.- № 7/8.- С. 128-131.
- 17.Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения на ТЭС: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.14.14/Муганцева Татьяна Петровна.- Казань, 2012. – 16 с.
- 18.Балушкина Е.В. Хирономиды как Индикаторы степени загрязнения воды / Е.В. Балушкина // Методы биологического анализа пресных вод. – 1976. – С .106-118.
19. Пареле Э.А. Малоцетинковые черви устьевых районов рек Даугава и Лиелупе, их значение в санитарно-биологической оценке : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16/ 189.Пареле Элга Антоновна. – Тарту, 1975. – 23 с
- 20.Brinkhurst R. O., Kennedy C. R. Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream //J. Anim.Ecol.-N 34.- 1965.-P. 429 - 443.
- 21.King D. L., Ball R. C. Water Pollut.Control Fed.-1964. - N 36.- P. 650-653.
- 22.Kolkwitz, R. Ekologie der pflanzlichen Saprobien / R. Kolkwitz, M. Marsson // Ber. Deutsch. Bot. Ges. – 1908. – Bd 22. – S. 505–519.
- 23.Kolkwitz, R. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna / R. Kolkwitz, M. Marsson // Mitteil. aus der konigl. Prufungang für Wasserbesorg und Abwasserbes. – 1902. – H. 1. – S. 33.
- 24.Pantle, R. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas- und Wasserfach, 1955 – Vol. 96 – P. 604-618.
- 25.Sládeček V. The future of the saprobity system // Hydrobiologia. 1965. V. 25. № 3-4.
- 26..Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. // Arch. Hydrobiol., Beiheft., Ergebnisse der Limnol. 1973. Bd 7. S. 1-218.

27. Shannon QE. The mathematical theory of communication // Bell Syst. Techn. J. 1948. V. 27. P. 379-423, 623-656. - Shannon C.E., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117p.
28. Goodnight C. J. and Whitley L. S, ProC. 15-th Ind.Waste Conf.// Pardue Univ. Ext.ser.-1961.-Vol. 106,- P. 139 -142.
29. Конвенция о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 года)/ Балашенко С.А., Макарова Т.И.- Международно-правовая охрана окружающей среды и права человека. Учебное пособие.- Минск: Wor'd Wide Printing Duncanville, USA.-1999.-С.148-174.
30. Нецветаев А.Г. О понятии биологического разнообразия / Экологическое право, 2000 № 2,- С.6-12.
31. Wilhm J. L., Dorris T. C. Biological parametris for water quality enteric // Biosciense .-1968.- Vol. 18 .- N 6'.- P. 477 - 480.
32. Заинская ГРЭС (Татарстан) занялась зарыблением Куйбышевского водохранилища [Электронный ресурс]// регнум URL: <https://regnum.ru/news/167512> (дата обращения: 30.06.2023).
33. Пресноводная ханкайская креветка (*Echopalaemon modestus*) / [Электронный ресурс] // zooclub.ru : [сайт]. — URL: <https://zooclub.ru/invertebrata/crustacea/presnovodnaya-khankayskaya-krevetka-echopalaemon-modestus.shtml> (дата обращения: 19.12.2023).
34. Ханкайская креветка / [Электронный ресурс] // Зоопортал aquazoom.ru : [сайт]. — URL: <https://aquazoom.ru/arthropod/arthropod.php?in=1027&ysclid=lqbvko34lq252321598> (дата обращения: 19.12.2023).
35. Локализация пресноводной креветки *MACROBRACHIUM NIPPONENSE* (DE HAAN, 1849) в Заинском водохранилище // [Электронный ресурс] учимся URL: <https://uchimsya.com/a/sEYe1TWN> (дата обращения: 30.06.2023).
36. Экзотический захватчик. Японская креветка заселяет Россию от Дагестана до Москвы [Электронный ресурс]// Дикий юг URL: <https://dzen.ru/a/YgkawP14qXTs1voz> (дата обращения: 30.06.2023).
37. РЕЧНАЯ ЯПОНСКАЯ КРЕВЕТКА (*Macrobrachium nipponense*) // Домашний аквариум URL: <https://housaqua.com/1268-macrobrachium-nipponense.html> (дата обращения: 30.06.2023).
38. Креветка макробрахииум // aquazhizn URL: <https://aquazhizn.ru/vidy-rybok/krevetka-makrobrahium> (дата обращения: 30.06.2023).

Авторы публикации

Марина Львовна Калайда – д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры, Казанский государственный энергетический университет.

Айнура Расихович Саетов – аспирант Казанского государственного энергетического университета. E-mail: saetov67@mail.ru.

Хамитова Мадина Фархадовна – канд. биол. наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура», Казанский государственный энергетический университет. E-mail: it-sk@bk.ru.

References

1. Kalaida M. L., Saetov A. R. Fish protection structures on reservoirs of energy facilities as an important measure for the conservation of fish population. - International Water and Energy Forum-2018: collection of materials of reports/ in 2-vols. Vol.1.-Kazan: Kazan State Energy University, 2018. - 373 p.- p.108-113.
2. Kalaida M. L., Saetov A. R. Environmental component of the operation of fish protection structures of the branch of JSC Tatenergo - Zainsk SDPP.- In the collection: XXV All-Russian postgraduate and master's scientific seminar dedicated to Power Engineer's Day. Conference materials. In 3 volumes. Under general editorship of E.U. Abdullazyanov . Kazan, 2022. P. 388-391.
3. Kalaida M. L., Saetov A. R. Aquatic biological resources in the structure of environmental problems of energy facilities / Problems of energy, 2022, vol.24, №2.- P.175-185.
4. Kalaida M. L., Sharafutdinov R. G. Modern hydrological characteristics of the Kuibyshev reservoir as a basis for the development of aquatic biological resources // News of higher educational institutions. Problems of energy. 2023. Vol.25. № 1. P. 166-183. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-1-166-183.
5. Kalaida M. L., Sharafutdinov R. G. Features of changes in aquatic biological resources of the Kuibyshev reservoir in modern climatic and hydrological conditions // News of higher educational

- institutions. Problems of energy. 2023. Vol.25. № 3. P. 150-167. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-150-167.
6. Khamitova M.F., Kalaida M.L. Investigation of changes in hydrobiological characteristics under conditions of local pollution in the Middle Volga region. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Germany.2018, 310 p.
 7. Kalaida M. L., Gordeeva M.E. Features of the physico-chemical state of water in reservoirs of energy facilities. - International Water and Energy Forum -2018: collection of reports / in 2volumes. Vol.1. - Kazan: Kazan State Energy University, 2018. 373 p. P.284-290.
 8. Makhnin V.G. Fishery development of the Zainsk reservoir. Collection of scientific works. L., 1988, issue. 280, p. 75-83.
 9. Kitkina J.V. Ecological situation and self-purification processes in the Zainsk reservoir of the Republic of Tatarstan // Materials of the III Interuniversity Student Scientific and Practical Conference. Environmental policy: problems and prospects. Perm, 2015, p. 110-113.
 10. Ivanov D.V., Shagidullin R.R., Ziganshin I.L., Osmelkin E.V. Bottom sediments of the Zainsk reservoir.- Scientific notes of Kazan University.-Vol.153, b.1.- 2011.-P.190-202.
 11. Kalaida M.L. Environmental assessment of the Kuibyshev reservoir under conditions of anthropogenic impact.- Kazan: Kazan State Power Engineering University,2003.-135 p.
 12. Kalaida M.L. Dreissena polymorpha (Pall.) and Dreissena bugensis (Andr.) (Mollusca, Bivalvia) in the upper part of the Kuibyshev reservoir / Biology of inland waters, 2004, №3, p.60-67
 13. Kalaida M.L. The fight against biofouling is an important task of energy and resource conservation. Vol. 1 / M.L. Kalaida, G.V. Novikova, T.P. Sinyutina, A.A. Shmakova // Energy of Tatarstan. - 2008. - №2. - P. 51-55.
 14. Kalaida M.L. The fight against biofouling is an important task of energy and resource conservation. Vol. 2 / M.L. Kalaida, G.V. Novikova, T.P. Sinyutina, A.A. Shmakova // Energy of Tatarstan. - 2008. - №3. - P. 85-92.
 15. Kalaida M.L., Sinyutina T.P., Ziganshina A.A. Dreissena polymorpha (Pall.) (Mollusca, Bivalvia) as part of the periphyton of the cooler reservoir of the Kazan CHPP-1. – Energy and resource efficiency in energy security of Russia: Plenary reports, materials of the anniversary international scientific and technical conference / Under general editorship of Dr. of physical and math sciences, prof. Yu.Ya.Petrushenko. – Kazan State Power Engineering University, 2007. – 232 p. – P.211-216.
 16. Kalaida M.L. Increasing the efficiency of the technical water supply system of thermal power plants / M.L. Kalaida, T.P. Mugantseva // News of higher educational institutions. Energy problems.- 2012.- № 7/8.- P. 128-131.
 17. Mugantseva T.P. Increasing the efficiency of the technical water supply system at thermal power plants: abstract of PhD thesis: 05.14.14/Mugantseva Tatyana Petrovna.- Kazan, 2012. – 16 p.
 18. Balushkina E.V. Chironomidae as indicators of the degree of water pollution / E.V. Balushkina // Methods for biological analysis of fresh water. – 1976. – P. 106-118.
 19. Parele E.A. Oligochaete worms in the estuary areas of the Daugava and Lielupe rivers, their significance in sanitary-biological assessment : abstract of PhD thesis: 03.00.16/ 189. Parele Elga Antonovna. – Tartu, 1975. – 23 p.
 20. Brinkhurst R. O., Kennedy C. R. Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream //J. Anim.Ecol.-N 34.- 1965.-P. 429 - 443.
 21. King D. L., Ball R. C. Water Pollut.Control Fed.-1964. - N 36.- P. 650-653.
 22. Kolkwitz, R. Ekologie der pflanzlichen Saprobien / R. Kolkwitz, M. Marsson // Ber. Deutsch. Bot. Ges. – 1908. – Bd 22. – S. 505–519.
 23. Kolkwitz, R. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna / R. Kolkwitz, M. Marsson // Mitteil. aus der königl. Prufungang für Wasserbesorg und Abwasserbes. – 1902. – H. 1. – S. 33.
 24. Pantle, R. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas- und Wasserfach, 1955 – Vol. 96 – P. 604-618.
 25. Sládeček V. The future of the saprobity system // Hydrobiologia. 1965. V. 25. № 3-4.
 26. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. // Arch. Hydrobiol., Beiheft., Ergebnisse der Limnol. 1973. Bd 7. S. 1-218.
 27. Shannon QE. The mathematical theory of communication // Bell Syst. Techn. J. 1948. V. 27. P. 379-423, 623-656. - Shannon C.E., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117p.
 28. Goodnight C. J. and Whitley L. S, Proc. 15-th Ind.Waste Conf.// Purdue Univ. Ext.ser.-1961.-Vol. 106,- P. 139 -142.
 29. Convention on Biological Diversity (Rio de Janeiro, 5th June 1992)/ Balashenko S.A., Makarova T.I.- International legal protection of the environment and human rights. Tutorial.- Minsk: Wor'd Wide Printing Duncanville, USA.-1999.-P.148-174.

30. Netsvetaev A.G. About the concept of biological diversity / Environmental law, 2000 № 2,- P.6-12.
31. Wilhm J. L., Dorris T. C. Biological parametris for water quality enteric // Biosciense .-1968.- Vol. 18 .- N 6.- P. 477 - 480.
32. Zainsk State District Power Plant (Tatarstan) began stocking the Kuibyshev Reservoir with fish [Electronic resource]// regnum URL: <https://regnum.ru/news/167512> (date of access: 30.06.2023).
33. Freshwater Khanka shrimp (Exopalaemon modestus) / [Electronic resource] // zooclub.ru : [website]. — URL: <https://zooclub.ru/invertebrata/crustacea/presnovodnaya-khankayskaya-krevetka-exopalaemon-modestus.shtml> (date of access: 19.12.2023).
34. Khanka shrimp / [Electronic resource] // Zoo portal aquazoom.ru : [website]. — URL: <https://aquazoom.ru/arthropod/arthropod.php?in=1027&ysclid=lqbvko34lq252321598> (date of access: 19.12.2023).
35. Localization of the freshwater shrimp MACROBRACHIUM NIPPONENSE (DE HAAN, 1849) in the Zainsk Reservoir // [Electronic resource] uchimsya URL: <https://uchimsya.com/a/sEYe1TWN> (date of access: 30.06.2023).
36. Exotic invader. Japanese shrimp colonizes Russia from Dagestan to Moscow [Electronic resource]// Wild South URL: <https://dzen.ru/a/YgkawP14qXTsIvoz> (date of access: 30.06.2023).
37. JAPANESE RIVER PRAWN (Macrobrachium nipponense) // [Electronic resource] Home aquarium URL: <https://housaqua.com/1268-macrobrachium-nipponense.html> (date of access: 30.06.2023).
38. Macrobrachium shrimp // [Electronic resource] aquazhizn URL: <https://aquazhizn.ru/vidy-rybok/krevetka-makrobrahium> (date of access: 30.06.2023).

Authors of the publication

Marina L. Kalaida –Kazan State Power Engineering University.

Aynur R. Saetov –Kazan State Power Engineering University.

Madina F. Khamitova – Kazan State Power Engineering University.

Шифр научной специальности: 2.10.2 Экологическая безопасность.

Получено

17.01.2024 г.

Отредактировано

19.01.2024 г.

Принято

21.02.2024 г.