

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА**  
**МОЛДАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ЗООЛОГИИ**

На правах рукописи

УДК: 574:591.524.11:556.55(478)

**ФИЛИПЕНКО СЕРГЕЙ**

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ**  
**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕНТОСНЫХ**  
**СООБЩЕСТВ В ДУБОССАРСКОМ И КУЧУРГАНСКОМ**  
**ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

**166.01. ЭКОЛОГИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**  
**доктора хабилитат биологических наук**

**КИШИНЭУ, 2023**

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**  
**UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**  
**INSTITUTUL DE ZOOLOGIE**

---

Cu titlu de manuscris  
C.Z.U.: 574:591.524.11:556.55(478)

**FILIPENCO SERGHEI**

**DIVERSITATEA ȘI LEGITĂȚILE CONCEPTUALE**  
**ALE FUNCȚIONĂRII COMUNITĂȚILOR NEVERTEBRATELOR**  
**BENTONICE ÎN LACURILE DE ACUMULARE**  
**DUBĂSARI ȘI CUCIURGAN**

**166.01. ECOLOGIE**

**Rezumat al tezei de doctor habilitat în științe biologice**

**CHIȘINĂU, 2023**

Работа выполнена в лаборатории гидробиологии и экотоксикологии  
Института зоологии, Молдавский государственный университет

**Научные консультанты:**

**ТОДЕРАШ Ион**, доктор-хабилитат биологических наук, профессор, академик АНМ

**ЗУБКОВ Елена**, доктор-хабилитат биологических наук, профессор-исследователь, член-корреспондент АНМ

**Официальные оппоненты:**

**БУЛЬМАГА Константин**, доктор хабилитат биологических наук, доцент-исследователь

**КОЗАРЬ Тудор**, доктор хабилитат биологических наук, профессор, член корреспондент

**ПРОТАСОВ Александр**, доктор хабилитат биологических наук, профессор (Украина)

**Состав специализированного ученого совета:**

**УНГУРЯНУ Лауренция**, председатель, доктор хабилитат биологических наук, профессор-исследователь, член-корреспондент АНМ

**БИЛЕЦКИ Лучия**, ученый секретарь, доктор биологических наук, доцент-исследователь;

**БУЛАТ Думитру**, доктор хабилитат биологических наук, доцент-исследователь

**МИРОН Ливиу Дан**, доктор биологических наук, профессор (Румыния)

**КРИВОЙ Аурелия**, доктор хабилитат биологических наук, профессор

**ГОНЦА Мария**, доктор хабилитат химических наук, профессор

Защита состоится 26 января 2024 г в 13.00 часов, на заседании специализированного Совета ДН 166.01-23-6 в Молдавском государственном университете по адресу: ул. Академическая 1, Кишинэу, MD-2028.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научной Центральной Библиотеке (Институте) „Andrei Lupan”, Центральной Библиотеке Молдавского государственного университета (ул. Алексей Матеевич, 60, Кишинэу, MD-2009), на сайте ANASEC (<https://anasesc.md/>).

Автореферат разослан “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь Специализированного совета,

**БИЛЕЦКИ Лучия**, доктор биол. наук, доцент \_\_\_\_\_

Научные консультанты:

**ТОДЕРАШ Ион**, доктор-хабилитат биол. наук, профессор, академик \_\_\_\_\_

**ЗУБКОВ Елена**, доктор-хабилитат биол. наук, профессор, член-корр. \_\_\_\_\_

Автор:

**ФИЛИПЕНКО Сергей** \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	5
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	8
1. СУКЦЕССИИ БЕНТОСНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ МОНИТОРИНГЕ И ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	8
2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА РЕКИ ДНЕСТР И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
2.1. Физико-географическая и экологическая характеристика водохранилищ бассейна реки Днестр.....	9
2.2. Методология исследований и объем материала.....	9
3. РАЗНООБРАЗИЕ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СООБЩЕСТВ ЗООБЕНТОСА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ БАССЕЙНА ДНЕСТРА ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ.....	10
3.1. Современное состояние и многолетняя динамика зообентоса Дубоссарского водохранилища.....	10
3.2. Формирование и современное состояние донных сообществ техногенного водохранилища- охладителя Молдавской ГРЭС.....	13
3.3. Зоогеографический состав зообентоса водохранилищ бассейна Днестра.....	18
4. ЗНАЧИМОСТЬ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА ДНЕСТРА.....	19
4.1. Место и роль бентосных беспозвоночных в трофических цепях.....	19
4.2. Роль зообентоса в развитии паразитарных сообществ (на примере Кучурганского водохранилища).....	21
4.3. Инвазивные виды донных беспозвоночных водохранилищ Днестра.....	23
4.4. Роль зообентоса в накоплении и миграции металлов (на примере донных гидробионтов Кучурганского водохранилища).....	26
4.5. Использование зообентоса в биологическом мониторинге водохранилищ, методологические подходы к оценке экологического состояния водных объектов.....	27
4.6. Адаптивный потенциал зообентоса водохранилищ бассейна Днестра.....	33
5. КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА ДНЕСТРА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ.....	36
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	40
БИБЛИОГРАФИЯ.....	43
АННОТАЦИИ (русский, румынский, английский).....	46

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В настоящее время вопросы охраны окружающей среды являются приоритетными для мирового сообщества. Особое внимание уделяется проблемам охраны и рационального использования водных ресурсов. В 2000 г. Европейским парламентом и Советом Европейского союза была принята Директива № 2000/60/ЕС (WFD), устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики. Директива направлена на поддержку и улучшение водной окружающей среды в Сообществе.

Экосистема Днестра с середины XX века находится под усиленным антропогенным воздействием, главным образом, вследствие зарегулирования и гидростроительства [6, 37], в последние десятилетия к которым добавилась и проблема изменения климата [1, 7, 9]. К основным антропогенным факторам, усугубившим экологическое состояние Днестра и способствующим деградации реки, относятся: зарегулированность стока вследствие одамбованности берегов и строительства плотин, из которых наибольшую угрозу экологической безопасности бассейна реки представляет Днестровский гидро-энергетический комплекс (ДГЭК) на территории Украины (включающий ГЭС-1, ГЭС-2 и ГАЭС); сброс неочищенных стоков и смывы с полей, загрязнение берегов; разрушение водоохранной зоны и вырубка лесов; добыча песчано-гравийных смесей. Эти факторы привели к таким негативным последствиям в экосистеме Днестра, как: изменение термического режима реки (среднего участка); изменение физико-химических параметров; интенсивное зарастание; снижение биологического разнообразия; появление видов-вселенцев.

Не менее острые экологические проблемы характерны для Кучурганского водохранилища. Зарегулирование водоема и трансформация его в охладитель ТЭС, постепенное наращивание ее мощности, существенно повлияли на его термический режим и гидрохимические особенности, способствовали эвтрофированию, зарастанию и появлению инвазивных видов. Водоем загрязнен сульфатами, хлоридами, тяжелыми металлами, а минерализация достигла уровня 2460 мг/л [34].

**Цель исследования:** Установить концептуальные закономерности изменения структуры и функционирования бентосных сообществ беспозвоночных в водохранилищах бассейна Днестра в условиях изменения климата и антропогенных факторов.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи:** исследовать формирование, современное состояние и многолетнюю динамику зообентоса Дубоссарского водохранилища и техногенного водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС; установить генезис и зоогеографические связи зообентоса; изучить роль бентосных беспозвоночных в трофических цепях и рассчитать потенциальную рыбопродуктивность водохранилищ по зообентосу; установить роль зообентоса в развитии паразитарных сообществ; исследовать инвазивные виды донных беспозвоночных; изучить роль зообентоса в процессах накопления и миграции металлов; провести биоиндикационные исследования и дать оценку экологического состояния водохранилищ по зообентосу; оценить адаптивный потенциал зообентоса в условиях изменения климата и антропогенных факторов.

**Теоретико-методологической основой** проводимых исследований послужили труды Ю. Одума (1968-1986), В.И. Жадина (1960), Г.Г. Винберга (1968, 1970),

А.С. Константинова (1986), А.Ф. Алимова, В.В. Богатого, С.М. Голубкова (2000, 2013), В.К. Шитикова, Г.С. Розенберга, Т.Д. Зинченко (2003).

Раскрыть сукцессионные изменения в сообществах зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ позволили работы молдавских гидробиологов М.Ф. Ярошенко (1957, 1970), И.И. Дедю (1966, 1980), И.К. Тодераш и М.З. Владимирова (1974-2001), Ф.А. Гонтя (1985). Исследовать роль организмов зообентоса в биогенной миграции микроэлементов и оценить возможность их использования в качестве организмов-мониторов при биомониторинге водных экосистем помогли работы Е.И. Зубковой, И.К. Тодераш, Л. Билецки и др. (1986-2016). Элементы теории функционирования техно-экосистем ТЭС и АЭС, разработанные А.А. Протасовым, А.А. Силаевой и др. (2002-2021) были востребованы при исследовании процессов, происходящих в зообентосе водоема-охладителя Молдавской ГРЭС.

**Новизна исследования.** Впервые в сравнительном аспекте исследованы биоразнообразие, функционирование и сукцессионные изменения донных сообществ беспозвоночных контрастных водохранилищ бассейна Днестра и установлены концептуальные закономерности изменения структуры и функционирования зообентоса исследованных водных объектов в условиях изменения климата и антропогенных факторов. Исследован генезис и зоогеографические связи зообентоса водохранилищ бассейна Днестра. Впервые для Кучурганского водохранилища отмечены два новых инвазивных вида – *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) и *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841). Установлены роль зообентоса в развитии паразитарных сообществ, накоплении и миграции металлов, трофических цепях и формировании рыбопродуктивности водохранилищ бассейна Днестра. Дан сравнительный анализ биоиндикационной оценки экологического состояния изученных водных объектов. Представлена концепция формирования и функционирования зообентоса водохранилищ бассейна Днестра в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.

**Решенная научная проблема в диссертации** заключается в том, что получены новые научно обоснованные знания о донной беспозвоночной фауне двух контрастных водохранилищ Молдовы – объектов гидро- и теплоэнергетики, что привело к установлению качественных и количественных закономерностей ее динамики в пространственно-временном аспекте и дать оценку функциональной значимости зообентоса в двух техногенно преобразованных водных экосистемах с различными антропогенными факторами из одной природно-климатической зоны, раскрыть причины, обуславливающие структурные изменения гидробиоценозов, что позволило разработать концепцию формирования и функционирования бентосных беспозвоночных гидробионтов водохранилищ бассейна Днестра в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.

**Принципиально новые результаты для науки и практики** о фауне донных беспозвоночных поверхностных вод Молдовы были получены путем интегрирования современных экологических методов и подходов в классическую гидробиологическую науку с целью выявления особенностей изменений в сообществах зообентоса и их функционирования в условиях трансформации водных экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов, расшифровки механизмов поддержания стабильности экосистемы и разработки устойчивой стратегии эффективного и рационального использования биологических ресурсов поверхностных вод.

**Теоретическое значение:** полученные результаты вносят вклад в развитие гидробиологии и экологии; установленные закономерности развития сообществ

бентосных беспозвоночных служат развитию теории функционирования и устойчивости водных экосистем и углублению знаний о роли сообществ бентосных беспозвоночных в техногенно-преобразованных водных экосистемах в условиях влияния природных и антропогенных факторов; о феномене биологических инвазий беспозвоночных в поверхностные воды и провоцирующих ее факторах природного и антропогенного характера.

**Прикладная значимость:** Научные результаты о сукцессионных изменениях, нынешнем состоянии и функционировании зообентоса водохранилищ бассейна Днестра используются в экологическом мониторинге, служат основой для разработки мер в области восстановления, сохранения и устойчивого использования биологических ресурсов поверхностных вод. Результаты и публикации служат дидактическим материалом в учебном процессе ВУЗов при подготовке специалистов в области биологии и экологии, в экологическом образовании и воспитании, экспертной деятельности.

Материалы исследований вошли составной частью двух международных проектов, внедренных в 2018-2021 гг.: eMs BSB 27 «Black Sea Basin interdisciplinary cooperation network for sustainable joint monitoring of environmental toxicants migration, improved evaluation of ecological state and human health impact of harmful substances, and public exposure prevention» – MONITOX в рамках Программы Трансграничного Сотрудничества в Бассейне Черного моря 2014-2020, а также проекта «Dniester Hydro Power Complex Social and Environmental Impact Study» в рамках программы UNDP.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

Сообщества зообентоса водохранилищ бассейна Днестра подвержены влиянию природных и антропогенных факторов, среди которых определяющим для Кучурганского водохранилища является термофикация, а для Дубоссарского – гидрологический режим, под влиянием которых произошли структурные перестройки сообществ донных беспозвоночных в трансформированных водных объектах бассейна Днестра.

Донные беспозвоночные играют важную функциональную роль в трофических цепях, служат промежуточными хозяевами в реализации жизненных циклов паразитарных сообществ водных объектов, участвуют в процессах накопления и миграции микроэлементов в водных экосистемах, особенно в водоемах-охладителях ТЭС.

В поверхностных водах Республики Молдова под воздействием природных и антропогенных факторов имеет место проникновение чужеродных видов гидробионтов.

Качественные и количественные характеристики сообществ бентосных беспозвоночных, а также разработанные на их основе биотические индексы служат достоверными показателями экологического состояния водных объектов.

В условиях трансформации водных объектов энергетики под влиянием природных и антропогенных факторов реализуется адаптивный потенциал донных гидробионтов к изменению условий среды обитания.

**Внедрение научных результатов:** Результаты исследований используются ЗАО «Молдавская ГРЭС» и ГУП «Дубоссарская ГЭС» в экологическом мониторинге водных объектов энергетики; Молдавским и Приднестровским государственными университетами в учебном процессе при подготовке специалистов для системы образования и природоохранной отрасли; Международной ассоциацией «Эко-ТИРАС» в реализации экологического образования и воспитания, экологических проектах,

направленных на исследования влияния гидростроительства на водные экосистемы бассейна Днестра и в экспертной работе; ГУП «Природоохранный центр» при расчете ущерба, наносимого рыбным ресурсам реки Днестр при производстве гидротехнических работ.

**Апробация работы.** Материалы диссертации представлены на 37 Международных конференциях и симпозиумах и 11 Региональных конференциях, включая с международным участием.

**Публикации по теме диссертации.** Опубликовано 104 научные работы (34 – без соавторов): монографии – 3/2, статьи в зарубежных рецензируемых журналах – 6/2, статьи в журналах, включенных в Национальный регистр профильных научных журналов – 4/3, публикации в международных сборниках – 33/4, в национальных сборниках – 11/3, тезисы в международных сборниках – 21/12, в других сборниках научных работ, изданных в Республике Молдова – 23/4.

**Объем и структура работы.** Диссертация представлена на 214 страницах основного текста, который включает: введение, 5 глав, общие выводы и рекомендации. Работа содержит 44 таблицы, 74 рисунка и список литературы, включающий 383 наименования.

**Ключевые слова:** зообентос, экологический фактор, водная экосистема, биологический мониторинг, гидробионт, адаптивный потенциал, накопление металлов, инвазивный вид, паразитарное сообщество, рыбопродуктивность, изменение климата, трансформация экосистем.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**ВВЕДЕНИЕ.** Обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи и защищаемые положения исследования, отмечена научная новизна, указана теоретическая и практическая значимость работы.

### 1. СУКЦЕССИИ БЕНТОСНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ МОНИТОРИНГЕ И ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рассмотрена структура энергетического комплекса ЕС и сопредельных стран. Дан анализ состояния исследований зообентоса водных объектов энергетики. Отмечено, что в последние десятилетия опубликовано мало научных статей, в которых отражены процессы, происходящие в биоте этих экосистем, а интерес к данной проблеме существенно снизился.

Приводится история исследований донной фауны Кучурганского водохранилища до и после ввода в эксплуатацию в 1964 г. Молдавской ГРЭС. В историческом аспекте рассмотрены исследования зообентоса Дубоссарского водохранилища до и после его образования в 1955 г.

Рассмотрены методы биологического мониторинга водных объектов с использованием организмов зообентоса, в том числе рекомендованные к применению в Молдове.

## **2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА РЕКИ ДНЕСТР И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1. Физико-географическая и экологическая характеристика водохранилищ бассейна реки Днестр.**

Кучурганское водохранилище расположено на юго-востоке Молдовы на границе с Украиной, является водоемом-охладителем Молдавской ГРЭС мощностью 2,52 ГВт. Акватория 2730 га со средней глубиной 3,5 и максимальной 5,0 м; объем воды 88 млн. м<sup>3</sup>. Приводятся гидрохимические показатели качества воды. Функционирование МГРЭС, помимо изменения гидрохимических показателей, привело к загрязнению водохранилища тяжелыми металлами и накоплению их в органах и тканях гидробионтов. Актуальна проблема «биологического загрязнения» инвазивными видами [38].

Дубоссарское водохранилище образовано плотиной Дубоссарской ГЭС (мощность 48 тыс. кВт.) на реке Днестр. Расположено между городами Каменка и Дубоссары. Длина 128 км, ширина 200-1800 м, средняя глубина на момент создания 7,19 м. Площадь 67,5 км<sup>2</sup>. Объем водохранилища в последние десятилетия, вследствие его заиления, сократился с 485 до 277,4 млн. м<sup>3</sup> [38]. Основной причиной ухудшения экологического состояния водохранилища является воздействие построенного в Черновицкой области Украины в 1982 г. Днестровского гидроэнергетического комплекса [42]. Нарушен гидрологический, газовый и термический режим, имеет место интенсивное зарастание Днестра макрофитами [38].

### **2.2. Методология исследований и объем материала.**

Материалом исследований послужили пробы зообентоса, собранные посезонно в Кучурганском водохранилище в 1997-2021 гг. (более 1100 проб) и в Дубоссарском водохранилище (более 500 проб) в период 2010-2021 гг. Отбор и обработка материала осуществлялись в соответствии с международными и национальными стандартами, рекомендованными в Молдове методам. Вариабельность динамики биомассы (*ВДБ*) зообентоса рассчитывалась на основании минимальных, максимальных и средних сезонных значений. Потенциальную рыбопродуктивность по кормовым ресурсам рассчитывали в соответствии с утвержденными в Молдове. Для изучения активности пищеварительных ферментов гидробионтов использовали гомогенаты тканей бентосных беспозвоночных. Активность протеиназ оценивали по увеличению концентрации тирозина методом Ансона. Степень накопления металлов в донных беспозвоночных определяли методами атомной абсорбции при электротермической атомизации в графитовой печи на приборе AAnalyst 500 и атомной эмиссии на атомно эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой – Thermo Scientific iCAP 6200-ICP-OES. Анализ проб проводился в Лаборатории гидробиологии и экотоксикологии Института зоологии. Для оценки и динамики экологического состояния водных объектов применены следующие методы: состояние зообентоса водохранилищ в различные периоды их функционирования, C&NI, G&WI, C&BI, L&SI, R&B, BMWP и ASPT индексы. Построение математических моделей осуществлялось на основе комбинации параметров среды.

### 3. РАЗНООБРАЗИЕ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СООБЩЕСТВ ЗООБЕНТОСА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ БАССЕЙНА ДНЕСТРА ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

#### 3.1. Современное состояние и многолетняя динамика зообентоса Дубоссарского водохранилища.

Зообентос водохранилища составляют лито-, псаммо-, пелореофильный, агрило- и фитофильный бентические комплексы. Вследствие снижения скорости течения и заиления водохранилища доминирует пелореофильный комплекс. Донная фауна представлена в основном «мягким» зообентосом: кольчатыми червями, высшими ракообразными и личинками амфибиотических насекомых. За весь период исследований зообентоса водохранилища в нем отмечено более 170 видов [29, 36, 38] (табл. 3.1).

**Таблица 3.1. Динамика видового состава зообентоса Дубоссарского водохранилища**

До образования водохранилища (до 1955 г)	После зарегулирования (1955)	1960-1970	К середине 1970-х гг.	2013-2015 гг.	2018-2021 гг.
190 видов	75 видов	117 видов	130-160 видов	149 видов	170 видов

Самой многочисленной группой зообентоса являются олигохеты. Среди 49 видов олигохет Днестра в водохранилище преобладают наидиды (*Stylaria lacustris*, *Vejdovskyella comata*, *V. intermedia*, *Dero digitata*, *Nais behningi*, *N. bretscheri*, *Spercaria josinae*, *Ophidonais serpentina*, *Uncinaiis uncinata*, *Amphichaeta leydigi*, *Chaetogaster diastrophus*, *Pristina rosea*, *Pristina bilobata*, *P. bilobata*, *P. aequiseta*, *P. longiseta*) и тубифициды (*Rhyacodrilus falciformis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *L. claparedianus*, *L. udekemianus*, *L. profundicola*, *L. michaelsoni*, *Ilyodrilus moldaviensis*, *I. hammoniensis*, *I. bedoti*, *Psammoryctes barbatus*, *Tubifex tubifex*, *T. nevaensis*, *T. ignotus*, *T. filum*, *Branchiura sowerbyi*, *Isochaetides michaelsoni*). В трофической структуре популяций олигохет доминируют эврибионтные детритофаги с преобладанием *L. hoffmeisteri*, *L. claparedianus*, *L. udekemianus*, *L. michaelsoni*, *I. moldaviensis*, *Isochaetus michaelsoni*. Средняя численность олигохет в 2010-2021 гг. составила 2407 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 4,44 г/м<sup>2</sup> (табл. 3.2). По акватории водохранилища распределение олигохет, как и других групп «мягкого» зообентоса, варьирует по годам, носит мозаичный характер и не имеет определенной закономерности.

В структуре «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища доля олигохет составляет 69,7% по численности и 33,2% по биомассе (рис. 3.1). Их численность варьировала в пределах 1657-3370 экз./м<sup>2</sup>; биомасса – 2,49-10,76 г/м<sup>2</sup>. Наблюдается незначительный тренд роста численности олигохет на фоне снижения их биомассы вследствие преобладания пелофильных форм.

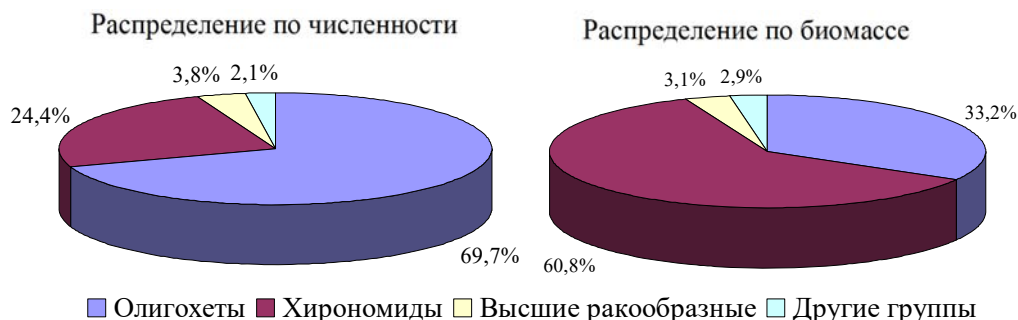
Поведение экосистем отражают сезонные или многолетние изменения их структурных или функциональных характеристик, в том числе вариабельность динамики биомассы (ВДБ). ВДБ основных групп зообентоса водохранилища подвержена значительным колебаниям (табл. 3.3), что свидетельствует о сильном антропогенном воздействии и происходящих в системе изменениях структуры и функционирования.

В «мягком» зообентосе Дубоссарского водохранилища олигохеты обладают самым низким значением *ВДБ* (0,59), характеризующим эту группу, как наиболее эврибионтную, приспособленную к изменению условий среды обитания.

**Таблица 3.2. Динамика количественного развития зообентоса Дубоссарского водохранилища в 2010-2021 гг.**

Год	Олигохеты	Полихеты	Хирономиды	Высшие ракообразные	Цератопогоныды	Другие амфибиот. насекомые	«мягкий» зообентос	<i>Dreissena polymorpha</i>
2010	1657/7,25	5/0,009	97/0,4	675/1,13	20/0,05	6/0,08	2460/8,91	698/22,47
2011	3372/10,7	2/0,003	1479/15,2	100/0,43	13/0,03	6/0,94	4972/27,4	40/35,11
2012	2584/4,61	15/0,08	1136/4,32	96/0,17	32/0,09	-	3864/9,27	26/62,55
2013	2334/4,29	-	883/4,03	28/0,03	8/0,02	-	3254/8,37	-
2014	2055/4,04	-	810/5,58	53/0,30	23/0,06	-	2942/9,98	86/35,37
2015	1683/3,59	7/0,02	318/3,16	80/0,26	3/0,003	3/0,03	2094/7,06	267/227,2
2016	2550/4,01	7/0,04	865/4,59	193/1,28	93/0,27	13/0,12	3722/10,3	223/183,3
2017	2193/2,74	-	972/8,85	83/0,35	237/0,98	3/0,02	3488/12,9	33/3,97
2018	2370/2,73	-	933/15,89	73/0,26	100/0,55	-	3476/19,4	393/225,3
2019	2023/2,49	-	960/15,68	80/0,35	90/0,45	-	3153/18,9	237/25,23
2020	3373/3,75	17/0,11	767/11,61	63/0,46	83/0,25	7/0,06	4310/16,2	230/28,02
2021	2690/3,03	17/0,17	877/8,23	37/0,04	47/0,08	-	3667/11,5	-
Сред.	2407±132 4,44±0,3	6±3,2 0,04±0,02	841±59 8,13±0,6	130±23 0,42±0,09	62±7 0,24±0,03	3 0,10	3450±234 13,37±1,1	186±16 70,71±8,5

численность (экз./м<sup>2</sup>)/биомасса (г/м<sup>2</sup>); – – не попали в пробы



**Рис. 3.1. Долевой состав основных компонентов «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища в 2010-2021 гг.**

**Таблица 3.3. Вариабельность динамики биомассы основных групп «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища, 2010-2021 гг.**

Группа бентоса	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	сред
Олигохеты	0,56	1,23	0,99	0,67	0,95	0,77	0,15	0,17	0,34	0,43	0,45	0,47	0,59
Хирономиды	0,50	1,87	0,37	1,42	0,43	0,43	0,89	0,39	0,30	0,24	0,31	1,05	0,68
Ракообразные	0,11	2,07	2,53	1,33	2,15	2,27	0,82	1,74	0,84	1,65	0,61	0,75	1,40
Цератопогоныды	0,11	2,60	1,22	1,0	1,33	3,33	1,14	1,45	0,72	1,68	0,60	1,5	1,39
«Мягкий» бентос	0,74	1,61	0,72	0,61	0,14	0,60	0,45	0,25	0,28	0,33	0,37	0,84	0,58

Численность полихет в Дубоссарском водохранилище незначительна – 6 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,04 г/м<sup>2</sup> (табл. 3.2).

Фауну хирономид водохранилища формируют 34 вида, среди которых преобладают *Cricotopus sylvestris*, *Cr. gr. algarum*, *Cryptochironomus gr. defectus*, *Chironomus plumosus*, *Microtendipes gr. chloris*, *Polypedilum convictum*, *P. scalaenum*, *P. gr.nubeculosum*, *Tanytus punctipennis*, *T. vilipennis*. В структуре «мягкого» зообентоса

хириноиды занимают 24,4% по численности и 60,8% по биомассе (рис. 3.1). Численность их варьирует в пределах 97-1479 экз./м<sup>2</sup> (средняя 841 экз./м<sup>2</sup>), а биомасса – 0,4-15,89 г/м<sup>2</sup> (средняя 8,13 г/м<sup>2</sup>) (табл. 3.2). С 2010 по 2021 гг. прослеживается тенденция роста их численности и биомассы. Значение *ВДБ* хириноид (0,68) характеризует их, как эврибионтную группу зообентоса Дубоссарского водохранилища, способную быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды обитания.

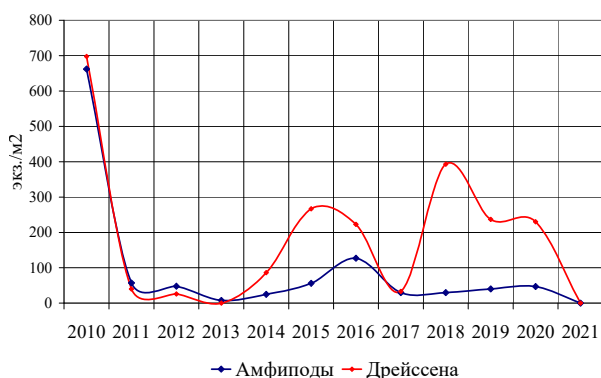
Мокрецы (Ceratorogonidae) являются обычной группой амфибиотических насекомых водохранилища с численностью 3-237 экз./м<sup>2</sup> (средняя 62 экз./м<sup>2</sup>) и биомассой 0,24 г/м<sup>2</sup> (табл. 3.2). В «мягком» зообентосе цератопогониды составляют по 1,8 % по численности и биомассе. С 2016 г. в водохранилище наблюдается рост их численности и биомассы. Значение *ВДБ* цератопогонид 1,39, что характеризует их как менее эврибионтных гидробионтов в сравнении с остальными группами. Значительные колебания *ВДБ* цератопогонид служат индикатором нестабильного состояния и функционирования экосистемы водохранилища.

Ручейники (Trichoptera) малочисленны. К отмеченным ранее 7 видам, включая *Ecnomus tenellus*, *Oecetis lacustris* и *Orthotrichia costalis*, добавились еще 11, в том числе *Agraylea multipunctata*, *Athripsodes bilineatus*, *Hydropsyche ornatula*, *Oecetis ochracea*. В 2010-2021 гг. численность ручейников в пробах варьировала от 3 до 13 экз./м<sup>2</sup> (максимально 80 экз./м<sup>2</sup>), либо в пробы они не попадали. Следует отметить, что фауна ручейников региона изучена недостаточно, а увеличение количества таксонов связано с более детальной видовой идентификацией, а не с увеличением их реального разнообразия.

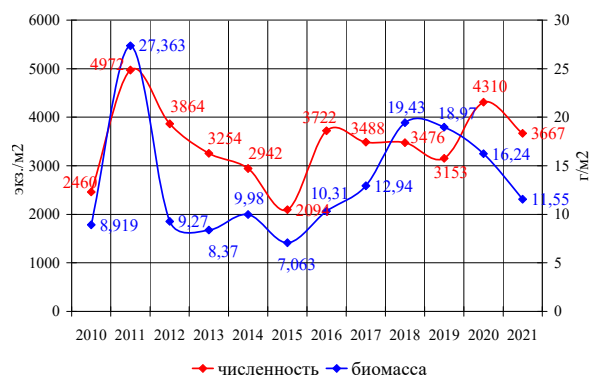
Фауну поденок (Ephemeroptera) водохранилища составляют 8 видов, в том числе *Caenis horaria*, *C. robusta*, *Cloeon dipterum*, *Cl. simile*, *Palingenia longicauda*, *Heptagenia sulphurea*, *Ephemerella lineata*. Личинки поденок в дночерпательные пробы попадали редко, их плотность 1 экз./м<sup>2</sup> (в отдельных пробах до 40 экз./м<sup>2</sup>). Благодаря большому индивидуальному весу, поденки в отдельные годы по биомассе составляют до 3 % от «мягкого» зообентоса водохранилища.

Высшие ракообразные бентоса представлены амфиподами, мизидами и кумацеями. Из 21 вида ракообразных 10 относятся к ранее интродуцированным. Чаще встречаются *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus*, *Pontogammarus robustoides*, *Pterocuma pectinata*, *Pseudocuma cercaroides*, *Limnomysis benedeni*, *Paramysis lacustris*, *Katamysis warpachowskyi*. Средняя численность ракообразных 130 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,42 г/м<sup>2</sup> (табл. 3.2), составляя в доле в отношении в структуре «мягкого» зообентоса 3,8% по численности и 3,1% по биомассе (рис. 3.1). Наиболее многочисленны бокоплав – 73% численности и 57,2% биомассы всех ракообразных. Доля кумовых 20% по численности и 9,5% по биомассе. Средняя численность кумацей 26 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,04 г/м<sup>2</sup>. Мизиды занимают 7% по численности и 33,3% по биомассе. В настоящее время наблюдается снижение численности мизид в водохранилище. В среднем за период 2010-2021 гг. их плотность в дночерпательных пробах составила 10 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,14 г/м<sup>2</sup>.

По акватории водохранилища амфиподы чаще встречаются в местах с большой численностью дрейссены, с которой они находятся в биотических взаимоотношениях типа комменсализма. Общая динамика численности амфипод и дрейссены представлена на рис. 3.2. Друзы дрейссен в водоемах создают благоприятные условия не только для гаммарид, но и для других гидробионтов, создавая своеобразные сообщества.



**Рис. 3.2. Соотношение численности амфипод и дрейссены в Дубоссарском водохранилище, 2010-2021 гг. ( $r = 0,81$ )**



**Рис. 3.3. Динамика количественного развития «мягкого» зообентоса в Дубоссарском водохранилище в 2010-2021 гг.**

Среднее значение *ВДБ* ракообразных бентоса водохранилища 1,4 (табл. 3.3), что характеризует их как менее приспособленных гидробионтов к изменению условий среды обитания в сравнении с кольчатыми червями и личинками комаров звонцов.

В целом развитие «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища характеризуется достаточно высокими показателями плотности и биомассы (рис. 3.3), которые детерминируются олигохетно-хирономидным комплексом. Среднее количественные значения комплекса составили 3248 экз./м<sup>2</sup> или 94,1%, и 12,57 г/м<sup>2</sup> или 94% от «мягкого» зообентоса водохранилища.

В водохранилище обитают 35 видов моллюсков, значительная часть которых в бентосе практически не встречается. Доминируют *Dreissena polymorpha*, *Theodoxus fluviatilis*, *Viviparus viviparus*, *Lithoglyphus naticoides*, *Sphaerium corneum*. Встречаются также униониды. Остальные виды моллюсков обитают на высших водных растениях и в дночерпательные пробы не попадают. За период 2010-2021 гг. средняя численность дрейссены в Дубоссарском водохранилище составила 186 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 70,71 г/м<sup>2</sup>. Являясь представителем перифитона, на заиленных грунтах дрейссена встречается не часто, предпочитая твердые субстраты. Колонии дрейссены представляют собой мощный биофильтр, способные отфильтровывать в сутки на площади 1 м<sup>2</sup> около 90 л воды, принимая активное участие в процессах естественного самоочищения водоема.

В результате зарегулирования Днестра в Дубоссарском водохранилище произошли коренные изменения в структуре и обилии донной фауны, которые усугубились после строительства ДГЭК. Стали очевидны следующие тенденции: уменьшилось видовое разнообразие и снизилась биомасса зообентоса, сопровождаемая сокращением стенобионтной лито- и псаммореофильной фауны, доля чужеродных и интродуцированных видов возросла, а облик донного населения в целом стал более пелорефильным с преобладанием олигохетно-хирономидного комплекса. В сравнении с Кучурганским, гидрологический режим Дубоссарского водохранилища и условия обитания гидробионтов подвержены более резким колебаниям, что способствовало постоянной трансформации донной фауны, которая продолжается и по настоящее время.

### **3.2. Формирование и современное состояние донных сообществ техногенного водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС.**

Кучурганское водохранилище одно из немногих водохранилищ-охладителей, где исследования зообентоса проводятся на протяжении всего периода функционирования ТЭС, что позволяет рассматривать его модельным водоемом для исследования

сукцессионных процессов в донной фауне при различных уровнях антропогенного воздействия.

В период слабой тепловой нагрузки на водоем-охладитель (1966-1970 гг.) термофикация не повлияла на видовой состав зообентоса, который включал 190 видов с преобладанием олигохет, хирономид, моллюсков и понто-каспийских ракообразных. Незначительно сократились численность и биомасса холодолюбивых форм бентоса. Олигохеты и хирономиды несколько снизили свои продукционные показатели, а высшие ракообразные и моллюски отреагировали на небольшое повышение среднегодовых температур воды водохранилища незначительным ростом численности и биомассы своих популяций (табл. 3.4). Умеренная термофикация водоема (1976-1977 гг.) способствовала тому, что зообентос, за исключением олигохет, в 3 раза сокративших свою численность, продолжил увеличивать численность своих популяций на фоне снижения их биомассы.

В период максимального уровня термического воздействия на водохранилище (1981-1984 гг.) температура воды повысилась на 3-5 °С по сравнению с естественным термическим режимом. Разнообразие зообентоса сократилось на 70 видов. Среди них 26 видов амфибиотических насекомых, в том числе 12 видов хирономид (включая *Cryptocladopelma fridmanae*, *Cr. rolli*, *Corynoneura celeripes*), по 12 видов олигохет (в том числе *Aulodrilus plurisetia*, *Nais variabilis*, *Trichodrilus pragensis* и др.) и высших ракообразных (*Pontogammarus sarsi*, *Paramysis kessleri sarsi*, *Stenogammarus compressus*, *Amatilina cristata*, *Pseudocuma graciloides* и др.), и 20 видов моллюсков (включая *Anisus spirorbis*, *Euglesa henslowana*, *Hypanis laeviuscula fragilis*, *Valvata pulchella*, *V. cristata*, *Fagotia acicularis*), которые и прежде были немногочисленны [14].

Донные беспозвоночные по-разному отреагировали на возросший уровень термофикации водохранилища. Олигохеты, после спада численности в период слабой и умеренной термофикации, увеличили свою численность, достигнув максимальных ее величин за весь период функционирования водохранилища в качестве водоема-охладителя (табл. 3.4). Хирономиды сохранили свой биопродукционный потенциал. Численность и биомасса большинства групп вторично-водных гидробионтов (поденок, ручейников, стрекоз и др.), за исключением личинок хирономид, под влиянием подогрева воды сократились. Моллюски также снизили численность своих популяций.

Таким образом, в результате возросшей термофикации водного объекта произошло изменение структуры сообществ зообентоса с выпадением из его состава чувствительных к тепловому воздействию видов олигохет, амфибиотических насекомых, высших ракообразных и моллюсков. Экологически устойчивые эвритермные виды выдержали стрессовое тепловое воздействие, проявили высокие адаптивные способности, увеличили численность своих популяций.

Период сниженного уровня термофикации водохранилища в 1990-2000 гг. характеризовался дальнейшим ростом численности и биомассы хирономид и высших ракообразных и снижением численности олигохет на фоне увеличения их биомассы.

**Таблица 3.4. Многолетняя динамика численности (экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (г/м<sup>2</sup>) зообентоса  
Кучурганского водохранилища за период 1964-2021 гг.**

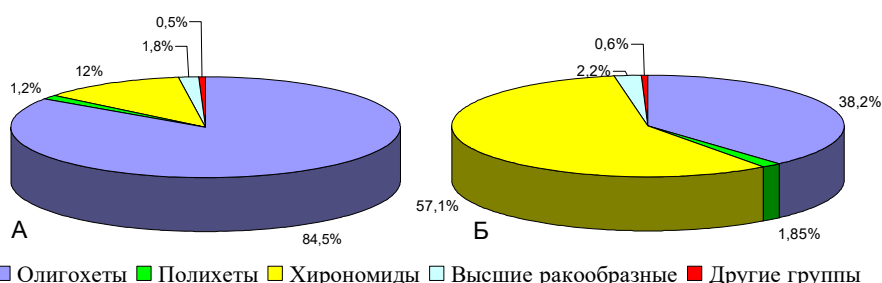
Группы бентоса	1964–1965 гг.		1966–1970 гг.		1976–1977 гг.		1981–1984 гг.		1990–1994 гг.		1997–2000 гг.		2004–2021 гг.	
	естественный термический режим		слабая тепловая нагрузка		умеренная термофикация		максимальная термофикация		сниженная термофикация				стабилизированный период сниженной термофикации	
	(Ярошенко, 1973)				данные лаборатории гидробиологии и экотоксикологии Института зоологии						данные автора			
	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	экз./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>
Олигохеты	2730	3,76	2121	2,81	749 ±112	1,27 ±0,18	4177 ±585	2,11 ±0,29	4080 ±694	3,43 ±0,58	2692 ±698	3,73 ±0,96	5841 ±350	8,86 ±0,71
Полихеты	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	507 ±107	0,71 ±0,15	190 ±76	1,08 ±0,43	84 ±7	0,43 ±0,06
Хирономиды	689	1,86	590	1,74	1267 ±165	0,97 ±0,14	1161 ±198	2,06 ±0,35	2717 ±489	3,24 ±0,58	1958 ±411	9,34 ±2,96	831 ±57	13,23 ±1,72
Высшие ракообразные	44	0,71	131	0,73	263 ±47	0,37 ±0,07	221 ±46	0,66 ±0,13	569 ±142	1,27 ±0,32	579 ±202	2,65 ±1,04	124 ±10	0,51 ±0,08
<i>в том числе: Амфиподы</i>	данные отсутствуют	данные отсутствуют	данные отсутствуют	данные отсутствуют	224 ±41	0,31 ±0,06	153 ±31	0,56 ±0,11	322 ±157	0,97 ±0,41	485 ±164	2,51 ±1,0	119 ±8	0,46 ±0,03
<i>Мизиды</i>	данные отсутствуют	данные отсутствуют	данные отсутствуют	данные отсутствуют	8 ±1	0,03 ±0,005	23 ±5	0,06 ±0,01	34 ±15	0,08 ±0,02	5 ±2	0,02 ±0,008	1	0,003
<i>Кумовые</i>	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	включены “прочие”	31 ±6	0,03 ±0,005	45 ±9	0,04 ±0,0008	213 ±93	0,22 ±0,09	89 ±35	0,12 ±0,04	5	0,02
Прочие	830	0,37	194	0,96	146 ±29	0,56 ±0,11	55 ±12	2,40 ±0,55	57 ±22	0,17 ±0,06	25 ±12	0,04 ±0,018	33 ±3	0,13 ±0,01
«Мягкий» зообентос	4293	6,70	3036	6,24	2426 ±353	3,17 ±0,50	5615 ±841	7,24 ±1,32	7931 ±1454	8,82 ±1,69	5444 ±1197	16,83 ±5,40	6913 ±438	23,16 ±3,3
Моллюски	430	68,13	768	203,01	1950 ±370	987,97 ±187,7	859 ±178	344,12 ±82,5	1286 ±515	490,07 ±196,0	2680 ±1070	640,35 ±256,1	738 ±82	179,71 ±26,9
<i>в том числе: Дрейссена</i>	240	61,50	534	160,20	данные отсутствуют	866,20	843 ±177	318,1 ±77,3	1155 ±462	458,29 ±183	2388 ±955	597,29 ±238,8	734 ±88	174,35 ±19,1
Общий зообентос	4723	75,01	3804	209,25	4376 ±723	991,14 ±188,2	6474 ±1019	351,35 ±83,8	9217 ±1969	498,89 ±197,7	8125 ±2267	657,18 ±261,5	7652 ±567	202,86 ±30,3

**Донная фауна Кучурганского водохранилища в 2004-2021 гг.  
(стабилизированный период сниженной тепловой нагрузки на современном этапе)**

Олигохеты – самый многочисленный компонент бентоса водохранилища. Из более 35 видов, основную их часть составляют тубифициды: *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *L. claparedeanus*, *Potamothrix moldaviensis*, *P. hammoniensis* и др. С момента трансформации лимана в водоем-охладитель, в настоящее время олигохеты находятся на пике своей численности и биомассы. Их плотность составляет 5841 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 8,86 г/м<sup>2</sup>. Доля олигохет в «мягком» зообентосе по численности – 84,5% и 38,2% по биомассе (рис. 3.4).

Численность полихет 84 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,43 г/м<sup>2</sup>. Их доля в «мягком» зообентосе водохранилища 1,2% по численности и 1,85% по биомассе.

Фауну хирономид водохранилища формируют более 55 видов, среди которых массовые *Chironomus plumosus*, *Limnochironomus nervosus*, *Cryptochironomus defectus*, *Leptochironomus tener*, *Procladius ferrugineus*, *Polypedilum bicornatum*, *P. convictum* и др. [14, 43].



**Рис. 3.4. Долевой состав (%) по численности (А) и биомассе (Б) компонентов «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища, 2004-2021 гг.**

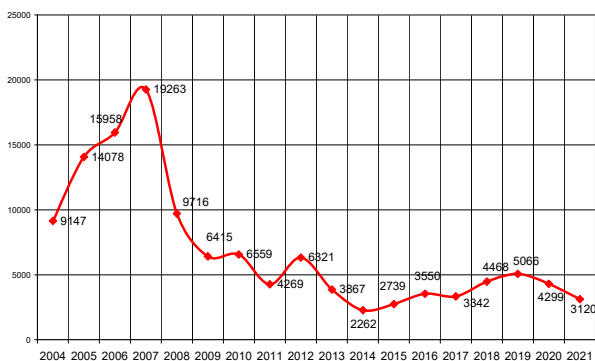
Среднегодовые показатели численности хирономид составили 831 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 13,23 г/м<sup>2</sup>, которые в отличие от олигохет снизили свою численность в сравнении с периодом 1990-2000 гг., а биомасса их наоборот возросла. Доля хирономид в «мягком» зообентосе водоема-охладителя составила 12% по численности и 57,1% по биомассе (рис. 3.4).

Мокрецы (Seratorogonidae) обычный компонент зообентоса водохранилища со среднесезонными количественными показателями 32 экз./м<sup>2</sup> и 0,12 г/м<sup>2</sup>. В структуре «мягкого» зообентоса они составляет 0,46% численности и 0,52% биомассы. В последние годы наблюдается рост их численности в водохранилище.

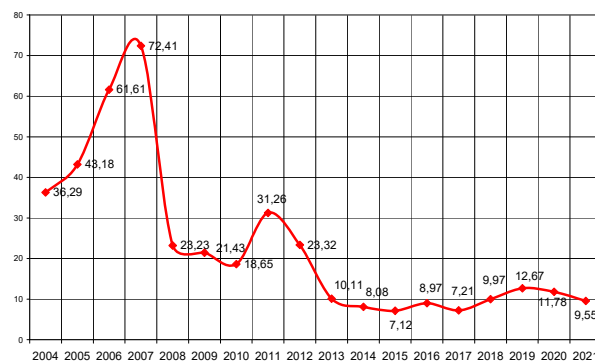
Личинки стрекоз, подёнок и ручейников бедны в видовом отношении и являются малочисленным компонентом зообентоса водохранилища, что характерно для многих водоемов-охладителей. В дночерпательных пробах они фиксируются редко, т.к. многие являются фитофилами и обитают в основном в прибрежной зоне зарослей макрофитов.

Общий облик донной фауны ракообразных водохранилища сохранил черты, присущие началу 2000-х гг. Как и прежде, она сформирована мизидами (1%), кумацеями (3%) и амфиподами (96%), при доминирующем положении бокоплавов, из которых чаще всего встречается *Dikerogammarus haemobaphes*, а из корофийд *Corophium maeoticum*. Кумацеи представлены *Pseudocuma cercarioides* и *Pterocuma pectinata*, а мизиды – *Limnomysis benedeni* и *Paramysis lacustris*. Средняя численность донных ракообразных 124 экз./м<sup>2</sup> с биомассой 0,51 г/м<sup>2</sup>. Наибольшая плотность гаммарид отмечалась в местах с максимальной численностью *D. polymorpha*.

Показатели развития «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища характеризовались достаточно высокими плотностью (6913 экз./м<sup>2</sup>) и биомассой (23,16 г/м<sup>2</sup>) (рис. 3.5, 3.6), которые значительно снизились в 2014-2017 гг., а биомасса «мягкого» бентоса в 2015 г. оказалась наименьшей за период 2004-2021 гг.



**Рис. 3.5.** Динамика изменения численности (экз./м<sup>2</sup>) «мягкого» (кормового) зообентоса Кучурганского водохранилища 2004-2021 гг.



**Рис. 3.6.** Динамика изменения биомассы (г/м<sup>2</sup>) «мягкого» (кормового) зообентоса Кучурганского водохранилища 2004-2021 гг.

Количественные показатели «мягкого» бентоса детерминируются олигохетно-хируномидным комплексом, который составляет 6672 экз./м<sup>2</sup> (96,5% от численности «мягкого» зообентоса) и 22,09 г/м<sup>2</sup> (95,4% по биомассе). Динамика количественных изменений «мягкого» зообентоса во все периоды функционирования водоема-охладителя демонстрирует, что значения численности не имеют четкой динамики, а биомасса проявляет тенденцию поступательного роста с середины 1970-х гг. по настоящее время.

В донной малакофауне водохранилища при общем сохранении видового состава доминируют *Dreissena polymorpha*, *Hypanis pontica* и *H. colorata*. Обычны *Viviparus viviparus*, а также *Teodoxus fluviatilis*, которая, будучи типичным литофилом, в качестве субстрата предпочитает камни и бетонные конструкции, и в дночерпательные пробы попадает редко. Наиболее многочисленна *D. polymorpha* (734 экз./м<sup>2</sup>, 174,4 г/м<sup>2</sup>), но как представитель перифитона, она в основном сосредоточена на различных твердых субстратах и стеблях тростника и рогаза.

В экосистеме водоема-охладителя четко прослеживается обратная связь, отмеченная для евтрофных озерных экосистем – чем выше численность и биомасса бентоса (главным образом дрейссены), тем ниже показатели численности и биомассы зоопланктона. Коэффициент корреляции между численностью дрейссены и зоопланктона в Кучурганском водохранилище равен -0,84. Популяция дрейссены оказывает влияние не только на развитие зоопланктона, но и на других гидробионтов, в частности полихет и высших ракообразных. Увеличение численности дрейссены приводит к возрастанию продуктивности макрозообентоса, изменению его трофической и видовой структуры, что прослеживается и в бентических сообществах Кучурганского водохранилища. Наши исследования [11] поселений друз дрейссены на стеблях тростника установили, что в них обитают до 18 таксонов беспозвоночных, из которых массово представлены корофииды и гаммариды. Здесь же был обнаружен чужеродный моллюск *Potamopyrgus antipodarum*, который пока является малоизученным видом водохранилища.

Для оценки устойчивости донных сообществ Кучурганского водохранилища рассчитана вариабельность динамики биомассы основных компонентов «мягкого» зообентоса за период 2004-2021 гг. *ВДБ* зообентоса подвержена значительным

колебаниям, особенно высших ракообразных и цератопогонид. Это указывает на происходящие в системе изменения структуры и функционирования, свидетельствующие о том, что водохранилище находится под сильным антропогенным воздействием. В «мягком» зообентосе водоема-охладителя хирономиды и олигохеты обладают самыми низкими значением *ВДБ* (0,95 и 1,05), характеризующим эти группы гидробионтов как наиболее устойчивые и приспособленные к изменениям условий среды обитания.

### 3.3. Зоогеографический состав зообентоса водохранилищ бассейна Днестра

Зоогеография водных беспозвоночных до настоящего времени слабо разработана. Впервые система зоогеографического районирования континентальных вод европейской части, основанная на распространении рыб, была предложена Л.С. Бергом (1949). Синтетическую зоогеографическую систему распространения гидробионтов на примере рыб разработал П. Бэнэреску (1964). Вопросы генезиса гидрофауны водоемов бассейна Днестра, как Понто-каспийского региона, рассматривали М.Ф. Ярошенко (1957), И.И. Дедю (1980), Думитру Булат (2019). Биогеографический анализ фауны хирономид Молдовы представил И.К. Тодераш (1984). Генезис Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ определил зоогеографический состав их донной фауны. Вследствие нахождения в одной геолого-климатической зоне, их зообентос в основном представлен теплолюбивыми палеарктическими видами голарктического царства, включая понто-каспийских реликтов (табл. 3.5). В последние десятилетия появились инвазивные североамериканские и юго-восточноазиатские виды [41].

Таблица 3.5. Зоогеографический состав зообентоса водохранилищ

Группа зообентоса	Дубоссарское водохранилище				Кучурганское водохранилище			
	ПА	ПК	СА	ЮВА	ПА	ПК	СА	ЮВА
<b>Полихеты (Polychaeta)</b>	<b>1</b>				<b>2</b>			
	-	1	-	-	-	2	-	-
<b>Олигохеты (Oligochaeta)</b>	<b>32</b>				<b>37</b>			
	31	-	-	1	36	-	-	1
<b>Хирономиды (Chironomidae)</b>	<b>46</b>				<b>68</b>			
	46	-	-	-	68	-	-	-
<b>Другие амфибиотические насекомые</b>	<b>14</b>				<b>13</b>			
	14	-	-	-	13	-	-	-
<b>Ракообразные (Crustacea)</b>	<b>11</b>				<b>17</b>			
	-	11	-	-	-	15	1	1
<b>Мизиды (Mysidacea)</b>	<b>3</b>				<b>3</b>			
	-	3	-	-	-	3	-	-
<b>Гаммариды (Gammaridae)</b>	<b>6</b>				<b>8</b>			
	-	6	-	-	-	8	-	-
<b>Кумацеи (Cumacea)</b>	<b>2</b>				<b>4</b>			
	-	2	-	-	-	4	-	-
<b>Десятиногие ракообразные (Decapoda)</b>	<b>0</b>				<b>2</b>			
	-	-	-	-	-	-	1	1
<b>Моллюски (Mollusca)</b>	<b>22</b>				<b>26</b>			
	17	4	1	-	17	6	2	1
<b>Брюхоногие (Gastropoda)</b>	<b>17</b>				<b>21</b>			
	12	4	1	-	14	4	2	1
<b>Двустворчатые (Bivalvia)</b>	<b>5</b>				<b>5</b>			
	3	2	-	-	1	4	-	-
<b>Всего</b>	<b>126</b>				<b>163</b>			
	106	18	1	1	132	25	3	3
<b>Доля видов (%)</b>	<b>84,1</b>	<b>14,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>81,0</b>	<b>15,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>

Сравнительный анализ зоогеографического состава зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилища на основании индекса общности фаун Сёренсена и индекса сходства Жаккара представлен в табл. 3.6.

**Таблица 3.6. Значение индексов Сёренсена (общности) и Жаккара (сходства) зоогеографического состава зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ**

Индекс сходства	ПА	ПК	СА	ЮВА	Вся фауна
Сёренсена	0,53	0,74	0	0,50	0,56
Жаккара	0,36	0,59	0	0,33	0,39

Наибольшие значения индексов свидетельствуют о значительном сходстве понто-каспийской фауны водохранилищ, т.к. она представлена в основном высшими ракообразными и моллюсками этого фаунистического комплекса. Разнообразие понто-каспийских иммигрантов в донной фауне Дубоссарского (18 видов) и Кучурганского (25 видов) водохранилищ представлено 2 видами полихет, 3 мизид, 10 гаммарид, 4 кумацей, 4 гастропод и 5 видами двустворчатых моллюсков [41]. Среди водоемов Молдовы Кучурганское водохранилище наиболее богато понто-каспийцами и его можно считать ядром в распространении этой реликтовой группы гидробионтов [44]. Один из наиболее характерных компонентов понто-каспийского комплекса водоема – двустворчатые моллюски *Hypanis pontica* и *Hypanis colorata*, включенные в Красную книгу Молдовы. Самым массовым компонентом понто-каспийской малакофауны водохранилища является *Dreissena polymorpha*.

## 4. ЗНАЧИМОСТЬ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА ДНЕСТРА

### 4.1. Место и роль бентосных беспозвоночных в трофических цепях

Донная фауна Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ характеризуется богатым видовым разнообразием и высокими показателями численности и биомассы с преобладанием олигохет, хирономид, высших ракообразных и моллюсков. При оценке кормовой базы ихтиоценозов определяющим является биомасса «мягкого» зообентоса, которая в водохранилищах варьировала в пределах 7,12-31,26 г/м<sup>2</sup> в Кучурганском (в среднем 13,22 г/м<sup>2</sup>) и от 7,06 до 27,36 г/м<sup>2</sup> в Дубоссарском водохранилище (в среднем 13,37 г/м<sup>2</sup>) (рис. 4.1).



**Рис. 4.1. Динамика изменения биомассы (г/м<sup>2</sup>) «мягкого» зообентоса в Кучурганском и Дубоссарском водохранилищах, в 2010-2021 гг.**

Организмы зообентоса обладают высокой кормовой ценностью и входят в спектр питания многих видов рыб. У леща Кучурганского водохранилища они составляют 45-75% от рациона питания; у карася 13-46% у молоди и до 84-100% у старших возрастов; у молоди окуня 46-67,5%. На 100% из зообентоса состоит рацион бычков. Меньше потребляет зообентос густера и красноперка [17].

Особой кормовой ценностью и доступностью для рыб выделяются хирономиды. У личинок *Chironomus plumosus* содержание абсолютного сухого вещества в теле колеблется в пределах 8,8-14,5% с калорийностью 5,6 ккал/г. Питательная ценность: 69,9% протеинов, 8,8% жиров и 19,7% углеводов от массы сухого вещества. Наиболее активными потребителями хирономид в Дубоссарском водохранилище являются ерш, карп, лещ, белоглазка, усач, серебряный карась. В Кучурганском водохранилище удельный вес хирономид в кишечнике в среднем доходит до 67% от общего веса пищевых комков у линя, 56% у карпа, 39 % у тарани и 32 % у бычков.

Олигохеты содержат 46-58% протеинов, 15-24% углеводов и 11-15% жиров от массы сухого вещества с общей калорийностью – 5,8 ккал/г. Они входят в пищевой рацион более 20 видов рыб, среди которых наиболее активными их потребителями являются карп (10-29% от массы содержимого кишечника), лещ (6,9%), карась (3,4%).

Высшие ракообразные обладают высокой пищевой ценностью, но в рационе бентофагов занимают незначительную долю. У мизид процент жиров от сухой массы тела составляет 7,3-12,3%, протеинов – 69,8-75,2%, углеводов – 4,2-7,8%, общая калорийность – 4,18-4,28 ккал/г. Удельное значение амфипод и мизид в пище бентофагов колеблется от 0,6% у тарани до 6,6% у леща и 8,3% у белоглазки. В 2021 г. нами впервые отмечен факт включения в пищевой рацион некоторых видов рыб Кучурганского водохранилища нового инвазивного вида ракообразных – североамериканского краба *Rhithropanopeus harrisi* [33].

В отношении моллюсков бентофаги более избирательны. В Кучурганском водохранилище в основном дрейссену потребляют карп (56,6% от массы содержимого кишечника), линь (44,7%) и тарань (33,1%). Доля дрейссены в рационе леща 0,2%, а карась и густера ее практически не потребляют. Наиболее активно поедают дрейссену бычки, в кишечнике которых она может занимать более 90%. Более доступными для рыб являются сеголетки и двухлетки моллюска размером до 14 мм [17]. Активным потребителем дрейссены в водохранилище является инвазивный вид – солнечный окунь (*Lepomis gibbosus*).

Исходя из доступности зообентоса, ведущую роль в питании рыб Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ играют хирономиды и олигохеты, ракообразные и полихеты реже встречаются в пищевых комках. Из моллюсков утилизируются в основном мелкие особи дрейссены и литоглифусы.

В процессах пищеварения рыб помимо ферментов, синтезируемых их пищеварительной системой, участвуют ферменты объектов питания, реализующие индуцированный аутолиз в ассимиляции пищи. Нами были исследованы ферменты некоторых видов рыб Кучурганского водохранилища и их объектов питания – организмов зообентоса [10]. Были выявлены различия в уровне активности и рН-зависимости ферментов, обеспечивающих гидролиз белковых компонентов, входящих в состав слизистой оболочки кишечника и химуса рыб, а также их объектов питания. Установлено, что ферменты организмов бентоса более устойчивы к воздействию низких значений рН, чем протеиназы кишечника рыб. Выявлено, что активность протеиназ кормового зообентоса значительно зависит также и от температуры.

Характер изменения активности протеиназ в организмах зообентоса при изменении температуры от 0 до 40°C также различается и в зависимости от таксономической принадлежности. Активность протеиназ у олигохет, личинок хирономид, пресноводной креветки и дрейссены увеличивается в 6, 2.6, 2.3 и 1.3 раза соответственно. Повышение температуры с 40 до 60°C вызывает резкое снижение активности ферментов у хирономид, олигохет, креветок и дрейссены в 1.9, 2.1, 2.3 и 3.1 раза соответственно. У слизистой и химуса рыб, а также объектов их питания максимальная активность ферментов проявляется при 40°C.

#### ***Потенциальная рыбопродуктивность водохранилищ бассейна Днестра по кормовым ресурсам (зообентосу)***

В Дубоссарском и Кучурганском водохранилищах встречаются 22 основных вида рыб потребителей зообентоса. Средний потенциальный прирост ихтиомассы водохранилищ по кормовым ресурсам «мягкого» зообентоса представлен в табл. 4.1.

**Таблица 4.1. Средняя биомасса (г/м<sup>2</sup>) основных групп «мягкого» зообентоса и средний потенциальный прирост ихтиомассы (кг/га) Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ по кормовым ресурсам «мягкого» зообентоса (2010-2021 гг.)**

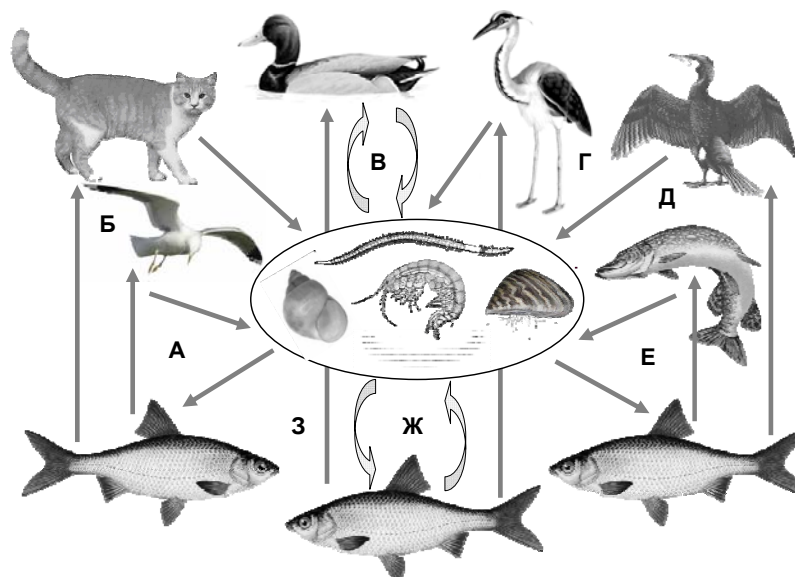
Группа зообентоса	Дубоссарское водохранилище		Кучурганское водохранилище	
	Биомасса бентоса	Потенциальный прирост ихтиомассы	Биомасса бентоса	Потенциальный прирост ихтиомассы
Олигохеты	4,44	14,998	2,97	12,741
Полихеты	0,036	0,101	0,306	1,094
Хирономиды	8,13	105,275	9,13	150,143
Высшие ракообразные	0,42	1,892	0,68	3,889
Цератопогониды	0,24	0,54	0,01	0,029
Всего по «мягкому» зообентосу	13,27	122,806	13,09	167,896

Несмотря на то, общая биомасса кормового зообентоса Дубоссарского (13,37 г/м<sup>2</sup>) и Кучурганского (13,22 г/м<sup>2</sup>) водохранилищ практически оказалась одинаковой, она различается по основным группам «мягкого» зообентоса, обладающих разной кормовой ценностью.

Биомасса наиболее ценных в кормовом отношении хирономид выше в Кучурганском водохранилище, что определяет более высокую, в 1,4 раза, потенциальную рыбопродуктивность по «мягкому» зообентосу Кучурганского водохранилища (167,896 кг/га) в сравнении с Дубоссарским (122,806 кг/га).

#### **4.2. Роль зообентоса в развитии паразитарных сообществ (на примере Кучурганского водохранилища)**

Зообентос, наряду с зоопланктоном, в водных экосистемах участвует в формировании паразитарных сообществ различных систематических групп паразитов, выступая в качестве промежуточного, либо второго промежуточного хозяина. Кучурганское водохранилище характеризуется богатым видовым разнообразием зообентоса, который вносит свой вклад в развитие паразитарных сообществ. Водоем-охладитель МГРЭС отличается большим разнообразием паразитов рыб (370 видов) и высокой степенью их инвазии [15, 45]. Донные беспозвоночные принимают участие в реализации жизненных циклов паразитирующих у рыб книдоспоридий, кокцидий, нематод, трематод, цестод и скребней (рис. 4.2).



**Рис. 4.2. Роль организмов зообентоса в формировании паразитарных сообществ Кучурганского водохранилища [15]:** *А* – *Diplostomum paracaudum*, *Metorchis bilis*, *Diplostomum spathaceum*, *Ichthyocotylurus pileatus*, *Paracoenogonimus ovatus*;  
*Б* – *Echinochasmus perfoliatus*, *Opisthorchis felineus*, *Pseudoamphistomum truncatum*; *В* – *Streptocara crassicauda*; *Г* – *Posthodiplostomum cuticola*; *Д* – *Eustrongylides excisus*; *Е* – *Phyllodistomum folium*, *Raphidascaris acus*, *Vucephalus polymorphus*, *Rhipidocotyle campanula*; *Ж* – *Myxobolus dispar*, *Pseudoechinorhynchus borealis*, *Acanthocephalus anguillae*, *Acanthocephalus lucii*, *Caryophyllaeus brachycollis*, *Caryophyllaeus laticeps*, *Khawia sinensis*; *З* – *Metorchis xanthosomus*, *Echinochasmus perfoliatus*, *Tylodelphys clavata*, *Paracoenogonimus ovatus*

Ведущим компонентом паразитофауны рыб водохранилища являются гельминты. Среди круглых червей широко распространены нематоды рода *Eustrongylides*. Одним из факторов, способствующим их распространению и высокому уровню зараженности рыб является богатый видовой состав и высокая численность промежуточных хозяев – олигохет. Помимо эустронгилид, используют в качестве промежуточных хозяев организмы зообентоса такие нематоды, как *Streptocara crassicauda*, *Schulmanella petruschewskii*, *Contraeaecum spiculigerum* и *Raphidascaris acus*.

Среди паразитических червей водохранилища наиболее богатым видовым составом отличаются трематоды, для которых особое место в жизненных циклах занимают моллюски, в том числе дрейссена, служащая промежуточным хозяином паразитирующих у рыб *Vucephallus polymorphus*, *Phyllodistomum folium*, *Aspidogaster limacoides*, у птиц – *Echinoparyphium recurvatum*. Из двустворчатых моллюсков промежуточным хозяином трематод являются: у *Bunodera luciopercae* – *Sphaerium corneum* и *Pisidium amnicum*, а у *Rhipidocotyle campanula* – униониды. Промежуточным хозяином трематод являются гастроподы: *Lithoglyphus naticoides* в жизненных циклах *Cryptocotyle concava*, *C. jejuna* и *Apophallus donicus*. *Bithynia tentaculata* выступает звеном жизненного цикла *Metorchis bilis*, *M. xanthosomus*, *Opisthorchis felineus*, *Pseudoamphistomum truncatum* и *Stephanostomum bicornatum*. *Fagotia acicularis* и *F. esperi* участвуют в циклах развития *Metagonimus yokogawai* и *Mesostephanus appendiculatus*; *Viviparus viviparus* – у *Paracoenogonimus ovatus*; *Valvata sp.* – у *Ichthyocotylurus pileatus* [45]. Для большинства видов трематод водохранилища (*Echinochasmus perfoliatus*, *Tylodelphys clavata*, *Diplostomum spathaceum*, *D. paracaudum*, *Posthodiplostomum cuticola*, *Sanguinicola sp.*, *Clinostomum complanatum*) промежуточными хозяевами служат лимнеиды.

Фауна цестод водоема-охладителя в основном включает виды, развивающиеся через копеподитную группу зоопланктона и только *Caryophyllaeus brachycollis*, *C. laticeps* и *Khawia sinensis* в качестве первого промежуточного хозяина используют олигохет – *Tubifex* sp., *T. tubifex*, *Psammotycte* sp., *Limnodrillus* sp., *L. udekemianus*.

Паразитофауну паразитирующих у рыб скребней формируют 4 вида: *Pomphorynchus laevis*, *Pseudoechinorhynchus borealis*, *Acanthocephalus anguillae* и *A. lucii*, личиночные стадии развития которых проходят в гаммаридах *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus*, *Pontogammarus robustoides*, *P. crassus*, а также в водяных осликах *Asellus aquaticus* [45].

Из всего многообразия паразитофауны Кучурганского водохранилища, цикл развития которой происходит с участием организмов зообентоса, наибольшее количество видов отмечено для трематод – 61% и нематод – 18%, что обусловлено, с одной стороны, многообразием и большой численностью промежуточных хозяев – моллюсков и олигохет, а с другой – широким спектром организмов зообентоса, участвующих в жизненных циклах конкретного вида гельминтов. Зообентос играет важную роль в развитии и распространении паразитарных сообществ водных объектов.

### 4.3. Инвазивные виды донных беспозвоночных водохранилищ Днестра

В мировой гидробиологии все большую актуальность приобретает проблема антропогенного вселения в водные экосистемы чужеродных видов организмов. В Молдове появление чужеродных видов гидробионтов прямо или косвенно связано с антропогенной деятельностью: гидростроительством, развитием аквакультуры, навигацией [11, 20].

Таблица 4.2. Автохтонные и инвазивные виды макробеспозвоночных бентоса Дубоссарского (ДВ) и Кучурганского (КВ) водохранилищ

№	Таксон	ДВ	КВ	Пути интродукции (инвазии) *	Естественный ареал**	Время интродукции (инвазии)***	
<b>Annelida: Polychaeta</b>							
1	<i>Hypania invalida</i> (Grube, 1960)	+	+	R	ПК	А	
2	<i>Hypaniola Kowalewskyi</i> (Grimm, 1877)	-	+	R	ПК	А	
<b>Annelida: Oligochaeta</b>							
3	<i>Branchiura sowerbyi</i> (Beddard, 1892)	+	+	C	ЮВА	L	
<b>Mollusca: Bivalvia</b>							
4	<i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)	+	+	R	ПК	L	
5	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	+	+	R	ПК	А	
6	<i>Hypanis pontica</i> (Eichwald, 1838)	-	+	R	ПК	А	
7	<i>Hypanis colorata</i> (Eichwald, 1829)	-	+	R	ПК	А	
<b>Mollusca: Gastropoda</b>							
8	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	R	ПК	А	
9	<i>Theodoxus transversalis</i> (Pfeiffer, 1828)	+	+	R	ПК	А	
10	<i>Lithoglyphus naticoides</i> (Pfeiffer 1828)	+	+	R	ПК	А	
11	<i>Physa acuta</i> (Draparnaud, 1805)	+	-	T	СА	L	
12	<i>Physella integra</i> (Haldeman, 1841)	-	+	T	СА	L	
13	<i>Caspiella gmelini</i> (Clessin & Dybowski, 1887)	+	+	R	ПК	А	
14	<i>Ferrissia fragilis</i> (Tryon, 1863)	-	+	T	СА	L	
15	<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (Gray, 1843)	-	+	T	ЮВА	L	
<b>Crustacea: Amphipoda: Corophiidae</b>							
16	<i>Corophium curvispinum</i> (Sars, 1895)	-	+	R	ПК	Н	А
17	<i>Corophium maoticum</i> (Sowinsky, 1898)	-	+	R	ПК	Н	А

<b>Crustacea: Amphipoda: Gammaridae</b>						
18	<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (Eichwald, 1841)	+	+	R	ПК	A
19	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)	+	+	R	ПК	A
20	<i>Pontogammarus robustoides</i> (Sars, 1894)	+	+	R	ПК	A
21	<i>Pontogammarus crassus</i> (Sars, 1894)	+	+	R	ПК	A
22	<i>Pontogammarus obesus</i> (Sars, 1894)	+	-	R	ПК	A
23	<i>Chaetogammarus tenellus</i> (Sars, 1914)	+	-	R	ПК	A
24	<i>Chaetogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1898)	-	+	R	ПК	A
25	<i>Chaetogammarus warpachowskyi</i> (Sars, 1894)	-	+	R	ПК	A
<b>Crustacea: Cumacea</b>						
26	<i>Pterocuma pectinata</i> (Sowinsky, 1893)	+	+	R	ПК	A
27	<i>Stenocuma cercaroides</i> (Sars, 1894)	+	+	R	ПК	A
28	<i>Caspicocuma campylaspoides</i> (Sars, 1897)	-	+	R	ПК	H   A
29	<i>Schizorhynchus scabriusculus</i> (Sars, 1894)	-	+	R	ПК	A
<b>Crustacea: Mysida</b>						
30	<i>Paramysis lacustris</i> (Czerniavsky, 1882)	+	+	R	ПК	H   A
31	<i>Limnomysis benedeni</i> (Czerniavsky, 1882)	+	+	R	ПК	H   A
32	<i>Katamysis warpachowskyi</i> (Sars, 1893)	+	+	R	ПК	H   A
<b>Crustacea: Decapoda: Palaemonoidea</b>						
33	<i>Macrobrachium nipponense</i> (de Haan, 1849)	-	+	C	ЮВА	L
<b>Crustacea: Decapoda: Panopeidae</b>						
34	<i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841)	-	+	T	СА	L

**Пути интродукции\*** – T – трансокеаническая интродукция/инвазия,

C – континентальная интродукция/инвазия, R – региональная интродукция/инвазия.

**Естественный ареал\*\*** – ПК – Понто-Каспий, СА – Северная Америка, ЮВА – Юго-восточная Азия

**Время интродукции\*\*\*** – A – до 1800 г., H – историческая интродукция, после 1800 г., L – после 1980 г.

Поверхностные воды Республики Молдова относятся к Палеарктической и Понто-Каспийской солоноватой области, эстуарные районы которой дают большое число иммигрантов близкородственных и экологически сходных видов. Инвазивную донную фауну водохранилищ, помимо автохтонных для Кучурганского водохранилища понто-каспийских, представляют североамериканские и юго-восточноазиатские виды (табл. 4.2). Доля понто-каспийских и инвазивных видов в зообентосе Дубоссарского водохранилища составляет 16%, Кучурганского – 21,4%.

В прошлом чужеродные виды намеренно вселялись в водоемы Молдовы в целях улучшения их кормовой базы и повышения рыбопродуктивности. Это такие виды понто-каспийских ракообразных, как *Corophium curvispinum*, *C. maeoticum*, *Gmelina pusilla*, *G. costata*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus*, *Pontogammarus robustoides*, *Pterocuma pectinata*, *Stenocuma cercaroides*, *Caspicocuma campylaspoides*, *Paramysis lacustris*, *Limnomysis benedeni*, *Katamysis warpachowskyi* [11]. Для обогащения кормовой базы Кучурганского водохранилища в 1986 г. была интродуцирована восточная креветка *Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849 (рис. 4.3).

Благодаря благоприятным условиям обитания, темп роста креветки в Кучурганском водохранилище оказался выше, чем в материнских водоемах Юго-Восточной Азии и водоеме-охладителе ТЭС Белорусского полесья, откуда она была вселена. Максимальная масса самцов в возрасте 2,5 года достигает 4,5-5,7 г при длине тела 9,6-10,5 см, а самок – 6,6-8 г при длине тела 7,9-8,8 см.



Рис. 4.3. Креветка *Macrobrachium nipponense* из Кучурганского водохранилища



Рис. 4.4. *Rhithropanopeus harrisi* из Кучурганского водохранилища

В 2013 г. в Днестре в районе г. Тирасполь нами впервые были пойманы несколько экземпляров *M. nipponense*. Спустя 27 лет с момента ее интродукции в Кучурганское водохранилище она смогла не только акклиматизироваться, создать устойчивую популяцию, но и адаптироваться к пониженным температурам, что дало ей возможность, проникнув в протоку Турунчук, подняться вверх по течению, попасть в Днестр дойдя до г. Тирасполь, преодолев расстояние в 70 км, или 2,5 км в год. Это дает основание полагать о возможности ее успешной акклиматизации и в Дубоссарском водохранилище.

Среди видов вселенцев Кучурганского водохранилища нами впервые отмечены 2 новых вида, которые ранее в водоеме не отмечались – в 2004 г. дрейссена бугская *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) и в 2016 г. североамериканский грязевой краб *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (рис. 4.4) [24, 40].

*D. bugensis* начала расселяться по пресноводным водоемам Украины только в середине XX века. В бассейн Днестра она первоначально вселилась через его верхний участок, а затем спустилась вниз по течению. В настоящее время она заселила уже дельту Днестра и Днестровский лиман [12]. В Кучурганское водохранилище *D. bugensis* могла попасть в виде пелагических личиночных стадий во время водообмена с р. Турунчук.

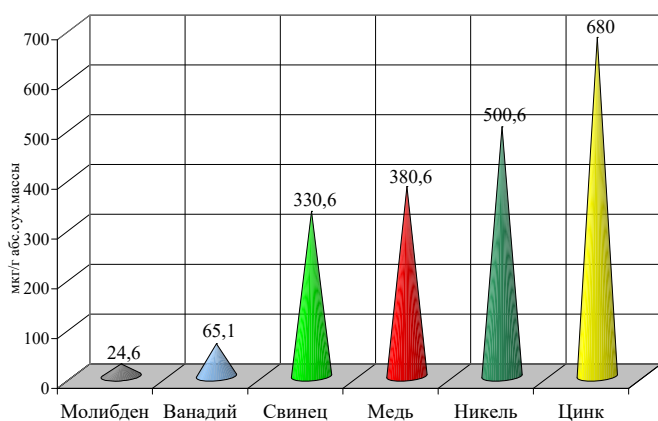
В Кучурганском водохранилище впервые нами был пойман *Rhithropanopeus harrisi* в 2016 г. Ранее этот вид в водоемах Молдовы не отмечался. Нативный ареал краба – залив Святого Лаврентия (Канада) и Мексиканский залив. С развитием судоходства, с конца 1800-х годов к XX веку, он вторгся и продолжает распространяться в солоноватые воды, лиманы, береговые линии внутренних морей, в том числе на территории большей части Европы [40]. В начале 1930-х годов краб проник в Черное море и его лиманы. Из морских лиманов краб начал проникать в дельты Днепра и Южного Буга. В начале 1950-х г. он попал в низовья Дуная. Наиболее вероятным путем проникновения краба в Кучурганское водохранилище мог стать его занос на личиночной стадии с рыбопосадочным материалом (пиленгасом) из Хаджибейского лимана.

Термический режим Кучурганского водохранилища и высокая степень его минерализации находятся в пределах толерантности краба, что способствовало успешному его включению в структуру гидробиоценоза водоема. В настоящее время численность его в водохранилище возросла. Масса крабов варьирует от 0,1 до 4,4 г. Средние морфометрические параметры: длина тела без клешней – 14,5 мм, длина клешни – 21,1 мм, высота клешни – 7,5 мм, ширина клешни – 4,9 мм, ширина карапакса

– 17,6 мм, высота карапакса – 8,3 мм, длина брюшка – 10,4 мм, ширина брюшка – 8,5 мм. Морфометрические параметры, превышающие аналогичные у крабов из других местообитаний, включая свой нативный ареал, свидетельствуют о благоприятных для него условиях обитания в Кучурганском водохранилище. Этот инвазивный вид вошел в структуру гидробиоценоза водохранилища и создал здесь устойчивую популяцию.

#### 4.4. Роль зообентоса в накоплении и миграции металлов (на примере донных гидробионтов Кучурганского водохранилища)

Проблема загрязнения тяжелыми металлами имеет важное значение в поддержании устойчивости экосистем. Особенно остро она проявляется в Кучурганском водохранилище-охладителе в результате воздействия Молдавской ГРЭС. Рост концентраций металлов в донных отложениях и воде привел к их накоплению в



**Рис. 4.5. Максимальные концентрации металлов (мкг/г абс.сух.массы) в хирономидах Кучурганского водохранилища**

тканях высших водных растений водохранилища, беспозвоночных и позвоночных гидробионтов [30]. Организмам зообентоса принадлежит особая роль в миграции химических элементов в поверхностных водах. Их использование в качестве организмов-индикаторов, аккумулирующих химические элементы наиболее приоритетно, так как они являются конечным или промежуточным звеном трофических цепей и имеют продолжительный жизненный цикл. Для изучения динамики накопления металлов (ванадия, молибдена, свинца, никеля,

меди и цинка) донными беспозвоночными нами исследовались Chironomidae, Mysidae, *Dreissena polymorpha*, *Lithoglyphus naticoides* и *Viviparus viviparus*. Особая роль в миграции металлов принадлежит моллюскам – фильтраторам, среди которых следует отметить дрейссену.

Высокое содержание металлов в органах и тканях хирономид отмечено для свинца (330,6), меди (380,6), никеля (500,6) и цинка (680 мкг/г абс.сух.массы). Такие концентрации характерны для грязных водоемов. Максимальные концентрации металлов в хирономидах сопоставимы с их максимальными концентрациями в илах – биотопе хирономид. Коэффициент биологического накопления свинца для хирономид Кучурганского водохранилища варьирует в диапазоне  $10^4$ - $10^7$ , меди  $10^5$ - $10^6$ , а никеля и цинка  $10^5$ - $10^7$ . Способность хирономид накапливать большие концентрации металлов в органах и тканях способствует дальнейшей миграции металлов по трофической цепи в органы и ткани рыб.

На рис. 4.6 представлена способность максимально накапливать металлы организмами зообентоса Кучурганского водохранилища. Среди исследованных организмов наибольшей накопительной способностью по отношению к ванадию, молибдену и цинку имеет дрейссена, к меди – живородка обыкновенная, а к свинцу и никелю – хирономиды.

Минимальной накопительной способностью к большинству металлов обладают мизиды [26]. Исследованные донные беспозвоночные довольно четко отражают

динамику накопления металлов в экосистеме Кучурганского водохранилища и могут выступать в качестве организмов-индикаторов в биологическом мониторинге накопления металлов в поверхностных водах.

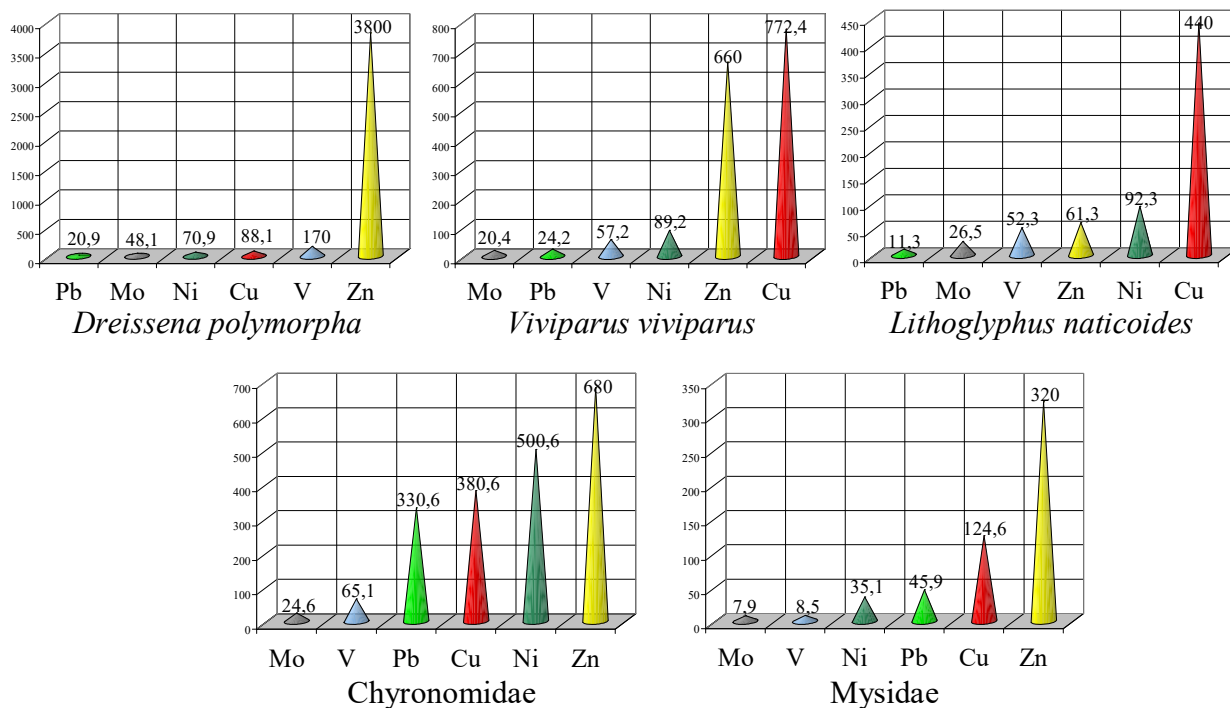


Рис. 4.6. Максимальные концентрации металлов (мкг/г абс.сух.массы) в организмах зообентоса Кучурганского водохранилища

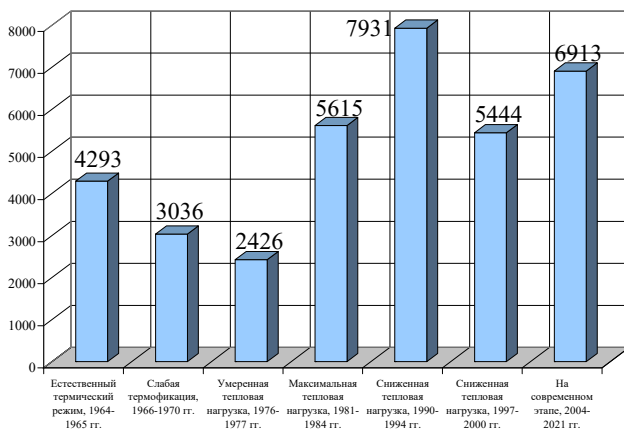
#### 4.5. Использование зообентоса в биологическом мониторинге водохранилищ, методологические подходы к оценке экологического состояния водных объектов

В настоящее время применяется широкий спектр методов оценки экологического состояния поверхностных вод по биологическим показателям. На основании результатов исследований донной фауны Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, оптимальными методами оценки и динамики их экологического состояния были определены следующие: состояние зообентоса водохранилищ в различные периоды их функционирования; C&HI, G&WI, C&BI, L&SI, P&B, BMWP и ASPT индексы. Для Кучурганского водохранилища рассмотрено развитие зообентоса по периодам в соответствии с градацией степени теплового воздействия МГРЭС на водоем-охладитель.

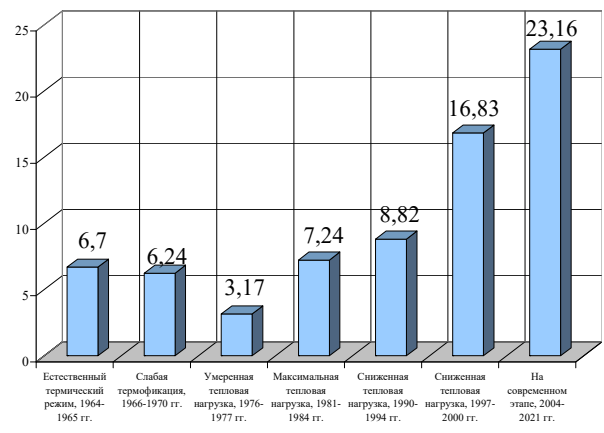
**Состояние макрозообентоса Кучурганского водохранилища в различные периоды его функционирования.** Развитие донной фауны находилось в тесной взаимосвязи с уровнем антропогенного воздействия на экосистему водоема-охладителя, главным образом с изменением его термофикации, которая была прямо пропорциональна изменению других абиотических факторов – минерализации, содержанию органических и биогенных веществ [14].

Период естественного термического режима водохранилища (1964-1965 гг.) характеризовался стабильным видовым разнообразием, включавшим около 200 видов донных гидробионтов, значительная часть которых представляла понто-каспийский фаунистический комплекс. Численность и биомасса «мягкого» зообентоса в различные периоды функционирования ТЭС представлены на рис. 4.7, 4.8. Постепенное

наращивание мощности Молдавской ГРЭС и объемов вырабатываемой электроэнергии повлекло за собой структурные и количественные изменения донной фауны.



**Рис. 4.7. Динамика численности (экз./м<sup>2</sup>) «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища в различные периоды тепловой нагрузки**



**Рис. 4.8. Динамика биомассы (г/м<sup>2</sup>) «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища в различные периоды тепловой нагрузки**

Период слабой тепловой нагрузки на водоем-охладитель (1966-1970 гг.) сопровождался незначительной реакцией гидробионтов на изменение термического режима, в основном это проявилось на нижнем, наиболее обогреваемом участке водоема. В этот период отмечено 190 видов зообентоса, из которых 16% составили понто-каспийские виды [14]. На общем состоянии донной фауны слабый подогрев не оказал существенного воздействия, за исключением отдельных групп гидробионтов, численность зообентоса незначительно сократилась. Олигохеты и хирономиды несколько снизили свои продукционные показатели, моллюски и высшие ракообразные из числа эвритермных видов на незначительное повышение температуры воды отреагировали ростом численности и биомассы своих популяций (рис. 4.9, 4.10).



**Рис. 4.9. Динамика численности (экз./м<sup>2</sup>) отдельных групп зообентоса Кучурганского водохранилища в различные периоды тепловой нагрузки**

Умеренная термофикация водохранилища (1976-1977 гг.) привела к сокращению численности холододлюбивых форм зообентоса, но при этом способствовала развитию эвритермных видов, главным образом из хирономид (*Chironomus plumosus*, *Leptochironomus tener*, *Polypedilum bicrenatum* и др.), высших ракообразных

(*Dikerogammarus haemobaphes*, *Corophium maeoticum*, *Pterocuma pectinata* и др.) и моллюсков, особенно популяции дрейссены.



**Рис. 4.10.** Динамика биомассы (г/м<sup>2</sup>) основных групп «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища в различные периоды тепловой нагрузки

В 1981-1984 гг. термофикация водоема достигла максимального уровня за весь период функционирования ТЭС. В результате этого из состава донной фауны выпали виды с низкой адаптивной способностью к изменению условий обитания, главным образом амфибиотические насекомые. Количество видов зообентоса сократилось до 158 [14]. Продолжился рост численности популяций эврибионтных видов, в основном из числа олигохет. Остальные группы зообентоса, особенно моллюски, сократили свою численность.

Снижение уровня антропогенной нагрузки в 1990-1994 гг. способствовало росту количественных показателей развития зообентоса. Хириноиды, высшие ракообразные и моллюски в 1,5-2 раза увеличили свою численность (рис. 4.9). Плотность олигохет несколько снизилась, но при этом увеличилась их биомасса (рис. 4.10). На данном этапе, в результате снижения термофикации водоема, число видов возросло до 190.

Тенденции развития зообентоса на уровне снижения объемов вырабатываемой МГРЭС электроэнергии нашли свое развитие и на протяжении 1997-2000 гг. Продолжился спад численности олигохет, которая приблизилась к периоду естественного термического режима водохранилища. Таким образом, снижение термофикации водоема-охладителя способствовало развитию популяций гидробионтов, находившихся ранее в угнетенном состоянии; росту плотности популяций эвритермных видов; сокращению численности популяций теплолюбивых видов.

На современном этапе сниженного уровня антропогенной нагрузки на водохранилище, условия обитания его гидрофауны приобрели новый качественный характер, во многом обусловленный сложившимися гидрохимическими условиями в водоеме-охладителе: повышенным содержанием хлоридов (492,3 мг/л) и сульфатов (1068,6 мг/л), а также высокой минерализацией (2367 мг/л) [34]. Современный этап функционирования экосистемы водохранилища характеризуется, с одной стороны, снижением численности основных групп «мягкого» зообентоса, за исключением олигохет, которые увеличили численность своих популяций (рис. 4.9), а с другой – значительным ростом биомассы как олигохет, так и хириноид (рис. 4.10). Численность

и биомасса дрейссены на грунтах открытой акватории водохранилища сократилась практически до уровня слабой тепловой нагрузки.

Динамика количественного развития «мягкого» зообентоса водоема-охладителя в различные периоды функционирования Молдавской ГРЭС сопровождалась перестройкой видового состава зообентоса с выпадением стенобионтных форм, снижением численности и биомассы бентоса с повышением уровня термофикации водоема. К периоду максимальной термофикации (1981-1984 гг.) завершился следующий этап структурных преобразований донной фауны, доминирующее положение заняли эврибионтные, в том числе теплолюбивые виды зообентоса. Эти тенденции продолжились в последующие периоды функционирования ТЭС на фоне снижения уровня термофикации Кучурганского водохранилища.

В период сниженной тепловой нагрузки на водоем-охладитель (1990-1994 гг.) продолжился рост численности «мягкого» зообентоса, после чего в 1997-2000 гг. имело место ее снижение до уровня периода максимальной тепловой нагрузки на водохранилище. На современном этапе, благодаря росту численности олигохет, наблюдается незначительный рост численности «мягкого» зообентоса. Если изменение численности зообентоса имело флуктуирующий характер, то в отношении биомассы прослеживается динамика ее поступательного роста с периода максимальной тепловой нагрузки по настоящее время (рис. 4.10). Рост биомассы «мягкого» зообентоса шел параллельно с ростом минерализации Кучурганского водохранилища. Схожие тенденции роста биомассы бентоса от изменения абиотических факторов, в частности от минерализации воды, наблюдаются и в других водоемах [2].

**Индекс Карра и Хилтонена (С&НІ).** Одной из основных групп донной фауны Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ, определяющей численность и биомассу, являются малощетинковые черви. Значение С&НІ индекса прямо пропорционально уровню эвтрофикации водоема. В табл. 4.3 представлена динамика биоиндикационных индексов качества воды Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ за период 2011-2021 гг. При колебаниях С&НІ индекса для Кучурганского водохранилища от 1729 до 5167 и от 1683 до 3690 для Дубоссарского водохранилища, среднее его значение для водоема-охладителя Молдавской ГРЭС составило 3051 и 2566 для Дубоссарского водохранилища, что соответствует средней степени загрязнения.

**Таблица 4.3. Биоиндикационные показатели качества воды Кучурганского (КВ) и Дубоссарского (ДВ) водохранилищ (2011-2021 гг.)**

Период исследований	Индекс Карра и Хилтонена (С&НІ)		Индекс Гуднайта и Уитлея (G&WІ)		Индекс Кинга и Балла (С&ВІ)		Показатель Ландбека и Сизера (L&SІ)	
	КВ	ДВ	КВ	ДВ	КВ	ДВ	КВ	ДВ
2011	3394	3372	79,1	67,3	3,24	1,50	0,31	0,71
2012	5167	2584	68,0	66,4	2,08	0,95	0,48	1,07
2013	3388	2334	63,3	71,4	4,83	0,94	0,21	1,06
2014	1779	2055	65,7	67,8	6,91	1,39	0,14	0,72
2015	1729	1683	46,8	70,9	3,20	0,89	0,33	1,13
2016	2240	2550	54,1	64,6	3,88	1,24	0,30	0,87
2017	2379	2193	54,3	62,3	3,25	3,59	0,31	0,31
2018	3887	2370	74,2	61,2	3,05	6,02	0,33	0,17
2019	3874	2023	65,8	59,7	4,21	6,47	0,24	0,18
2020	3404	3373	65,8	74,3	2,85	3,18	0,35	0,32
2021	2323	3690	60,2	73,3	3,92	2,74	0,26	0,37
<b>среднее</b>	<b>3051</b>	<b>2566</b>	<b>63,4</b>	<b>67,2</b>	<b>3,76</b>	<b>2,63</b>	<b>0,29</b>	<b>0,63</b>

C&NI индекс объективно отражает экологическое состояние водохранилищ и указывает, что Кучурганское водохранилище, вследствие своей непроточности, подвержено более высокому уровню эвтрофикации в сравнении с Дубоссарским.

**Индекс Гуднайта и Уитлея (G&WI).** Значение G&WI индекса для Кучурганского водохранилища 63,4 и 67,2 – для Дубоссарского (табл. 4.3), из чего следует, что качество воды Дубоссарского водохранилища ниже, чем Кучурганского. Это не может соответствовать действительности, на что указывает оценка качества воды Кучурганского водохранилища по гидрохимическому индексу загрязненности воды (ИЗВ), среднее значение которого в 2017-2021 гг. составило 5,42 с применением ПДК загрязнителей поверхностных вод I класса, что соответствует качеству вод «грязные»; 3,48 поверхностных вод II класса и 2,36 поверхностных вод III класса («загрязненные»). Для Дубоссарского водохранилища рассчитать ИЗВ нет возможности, т.к. по аналогичным исследованным гидрохимическим показателям (минерализация, сульфаты, хлориды и др.) качество его воды является удовлетворительным.

Принимая во внимание оценку качества воды по ИЗВ, а также то, что при расчетах G&WI индекса учитывается весь бентос, включая моллюсков, которые в основном представлены дрейссеной, предпочитающей твердые грунты и имеющей мозаичный характер распределения, мы предлагаем при расчетах индекса учитывать численность только «мягкого» зообентоса. Для оценки экологического состояния водохранилищ по G&WI индексу, рассчитанному отдельно по общему и «мягкому» зообентосу с применением существующих градаций качества воды, составлена табл. 4.4.

**Таблица 4.4. Оценка качества воды Кучурганского (КВ) и Дубоссарского (ДВ) водохранилищ по индексу Гуднайта и Уитлея (G&WI)**

водохранилище		G&WI индекс	по 6-бальной шкале		по Кафтанниковой и Мартыновой	по Гуднайту и Уитлею
			Класс качества воды	степень загрязненности		
КВ	по общему бентосу	63,4	IV	загрязненные	$\beta$ - $\alpha$ -мезосапробная	сомнительное
	по «мягкому» бентосу	77,5	V	грязные	$\alpha$ -мезосапробная	сомнительное
ДВ	по общему бентосу	67,2	V	грязные	$\beta$ - $\alpha$ -мезосапробная	сомнительное
	по «мягкому» бентосу	69,9	V	грязные	$\beta$ - $\alpha$ -мезосапробная	сомнительное

Качество воды, рассчитанное по G&WI индексу для Кучурганского водохранилища соответствует  $\alpha$ -мезосапробному, а Дубоссарского водохранилища –  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробному водоему.

**Индекс Кинга и Балла (C&BI).** Индекс является показательным для водоемов с органическим загрязнением. Среднее значение индекса для Кучурганского водохранилища составило 3,76, а для Дубоссарского 2,63 (табл. 4.3), что указывает на то, что Дубоссарское водохранилище более подвержено органическому загрязнению, чем Кучурганское. Это не в полной мере соответствует действительности, т.к.: а) в зообентосе Дубоссарского водохранилища поденки и ручейники встречаются гораздо чаще, чем в Кучурганском; б) низкое значение C&BI для Дубоссарского водохранилища в 2011 г. обусловлено высокой биомассой олигохет, значения которой

были в 2-3 раза выше, чем в последующие годы; в) значения показателя БПК для Дубоссарского водохранилища составляет 1,66 мг O<sub>2</sub>/л против 3,21 мг O<sub>2</sub>/л для Кучурганского водохранилища.

Динамика изменения C&VI индекса двух водохранилищ демонстрирует его более широкую амплитуду для Дубоссарского водохранилища с большим отклонением от среднего значения ( $\pm 2,02$ ), чем для Кучурганского ( $\pm 1,27$ ). Относительная стабильность экологического состояния Кучурганского водохранилища обусловлена относительным постоянством его гидрологического и гидрохимического характера.

Развитие зообентоса Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ в настоящее время характеризуется высокой биомассой хирономид, особенно *Chironomus plumosus*. Т.к. этот вид относится к альфа- и полисапробным формам, то и рост плотности его популяций мало связан с снижением степени эвтрофикации водоемов, что в свою очередь сильно влияет на значение C&VI индекса.

Таким образом, применение C&VI индекса для оценки экологического состояния возможно отдельно для каждого водохранилища без сравнения разных по гидрологическим условиям водоемов. Применение данного индекса отдельно для каждого водохранилища должно осуществляться на протяжении определенного периода времени, что позволяет проследить динамику его изменения. Данный индекс целесообразно применять вместе с другими биотическими индексами.

**Индекс Ландбека и Сизера (L&SI).** Применение индекса для Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ возможно параллельно с использованием C&VI индекса, при этом учитывая гидрологические различия водохранилищ, его не целесообразно использовать в качестве сравнительного для двух водохранилищ. Динамика L&SI индекса для Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ демонстрирует его меньшее отклонение в Кучурганском ( $\pm 0,08$ ) в отличие от Дубоссарского ( $\pm 0,37$ ). C&VI и L&SI индексы будут использованы в дальнейших исследованиях, направленных на оценку экологического состояния двух водохранилищ, особенно в условиях нестабильной работы Молдавской ГРЭС и гидрологического режима Дубоссарского водохранилища, что позволит выявить закономерности развития данных показателей биоиндикации на современном этапе.

**Индекс Пантле и Букка (P&B).** Значение индекса Пантле и Букка (P&B) варьирует в Кучурганском водохранилище от 2,42 до 3,41 и от 1,54 до 2,61 в Дубоссарском, что позволяет отнести их к  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробным водным экосистемам.

**BMWP и ASPT индексы.** Рассчитанные индексы для Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ (табл. 4.5) оценивают качество воды Кучурганского водохранилища как «хорошее»; Дубоссарского – как «очень хорошее» по BMWP индексу и «прекрасное» по ASPT индексу. Более высокий BMWP индекс Дубоссарскому водохранилищу обеспечили поденки и ручейники, разнообразие которых здесь выше, чем в Кучурганском.

**Таблица 4.5. Величины BMWP и ASPT индексов и качество воды Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ**

Водохранилище	BMWP индекс		ASPT индекс		
	баллы	качество воды	баллы	рейтинг	качество воды
Кучурганское	88	хорошее	4,4	5	хорошее
Дубоссарское	138	очень хорошее	5,3	7	прекрасное

Апробация BMWP и ASPT индексов для Кучурганского и Дубоссарского водохранилищ выявила их недостаток. При оценке качества воды не учитываются

полихеты, мизиды, кумацеи, а также ряд семейств амфибиотических насекомых (Palingeniidae Ecnomidae, Ceratopogonidae), моллюсков (Bithyniidae, Melanopsidae, Lithoglyphidae, Dreissenidae, Cardiidae), а также инвазивные виды (*Ferrissia fragilis*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Macrobrachium nipponense* и др.).

Таким образом, для водохранилищ бассейна Днестра BMWP и ASPT индексы несколько переоценивают качество воды. Тем не менее, учитывая, что они рекомендованы в качестве биоиндикационных в Молдове, они могут быть использованы в многолетних мониторинговых исследованиях, демонстрируя динамику их изменения во времени.

Общей проблемой применения методов биоиндикации является отсутствие некой универсальности, позволяющей применять одни и те же численные показатели индексов на различных водоемах различных географических зон. Поэтому многие индексы, доказав свою состоятельность, должны быть адаптированы к различным водным экосистемам.

#### **4.6. Адаптивный потенциал зообентоса водохранилищ бассейна Днестра**

Адаптивный потенциал гидробионтов выражается в степени их приспособительных возможностей в меняющихся условиях окружающей среды. Виды с высоким адаптивным потенциалом, способные выживать в широком диапазоне изменений условий существования являются экологически пластичными. Невысокий адаптивный потенциал имеют стенобионтные, экологически непластичные виды, которые узко специализированы к условиям среды и плохо приспособляются даже к незначительным изменениям. Находясь под воздействием различных факторов, зообентос проявляет свой адаптивный потенциал путем трансформации видового состава с одной стороны и изменением количественных характеристик своих популяций с другой. Значительным адаптивным потенциалом обладают виды вселенцы, который выражается в их высокой способности к распространению и росту численности во многих водных экосистемах.

##### ***Адаптивный потенциал высших ракообразных Кучурганского водохранилища.***

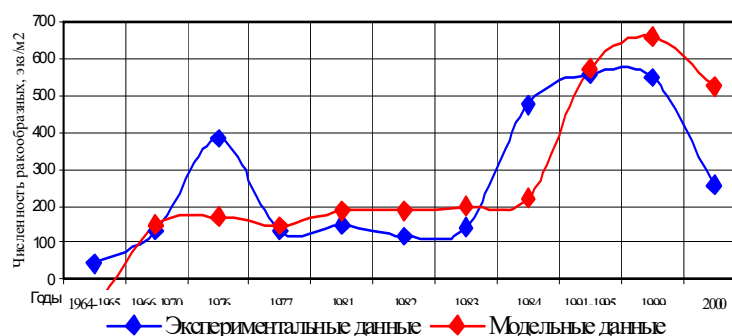
В Кучурганском водохранилище-охладителе одним из важнейших факторов, детерминирующим состояние популяций высших ракообразных, является температура. Установлено, что на участках водохранилища (сбросной канал и зона сброса теплых вод), где температура воды на протяжении всего года не опускается ниже 15-12°C, амфиподы, мизиды и кумацеи размножаются непрерывно, независимо от сезона года, т.е. ациклично, в то время как на участке с естественным термическим режимом – циклично [14]. Среди донных беспозвоночных водохранилища амфиподы являются наиболее эвритермной группой, о чем свидетельствуют количественные данные зообентоса водохранилища и канала теплых сбросных вод ТЭС, представленные в табл. 4.6. В условиях повышенных температур в сбросном канале амфиподы оказались единственной группой донной фауны, которая в сравнении с водохранилищем увеличила свою численность (38,5% от всего зообентоса) и биомассу (66,5% от «мягкого» зообентоса).

Численность высших ракообразных водохранилища существенно варьировала в различные периоды теплового воздействия на водоем-охладитель и изменения основных абиотических факторов.

**Таблица 4.6. Среднесезонные численность (экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (г/м<sup>2</sup>) макрозообентоса Кучурганского водохранилища и теплого канала МГРЭС.**

Группы зообентоса	Кучурганское водохранилище		Теплый канал	
	Численность	Биомасса	Численность	Биомасса
Олигохеты	3196	5,44	1427	2,54
Полихеты	178	0,90	0	0
Хиროномиды	2262	1,79	953	1,40
Амфиподы	761	5,94	1840	9,55
Др. группы	64	0,05	380	0,87
«Мягкий» бентос	6626	14,26	4600	14,36
Моллюски	4056	785,29	181	25,38

На основе метода наименьших квадратов с предварительной ортогонализацией факторов (МНКО) мы получили математическую модель зависимости численности высших ракообразных от основных абиотических факторов. Установлена математически выраженная зависимость численности ракообразных ( $\hat{Y}$ ) от двух слабо коррелированных между собой факторов – температуры ( $X_1$ ) и содержания органических веществ ( $X_5$ ):  $\hat{Y} = 30,062 X_1 + 23,708 X_5 - 927,3$ . Проверка на адекватность модели полностью подтвердила ее соответствие опытным данным (рис. 4.11).



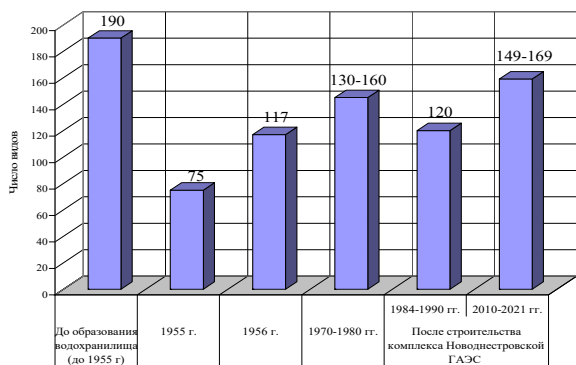
**Рис. 4.11. Адекватность модели экспериментальным данным**

Таким образом, установлено, что среди абиотических факторов Кучурганского водохранилища на численность высших ракообразных в большей степени влияют температура и содержание органических веществ, которые, в первую очередь, и определяют адаптивный потенциал этой группы зообентоса.

Исследования количественных характеристик высших ракообразных, как показателя адаптивного потенциала этой группы бентоса к разному уровню термофикации водохранилища показали следующее. На первых этапах становления водоема-охладителя высшие ракообразные характеризовались невысокой плотностью своих популяций. Постепенное наращивание мощности ТЭС и усиление термофикации водохранилища стимулировали рост численности высших ракообразных вплоть до периода максимальной термической нагрузки. Снижение уровня термофикации водоема-охладителя сопровождалось ростом численности и биомассы всех групп высших ракообразных понто-каспийского фаунистического комплекса. Температурный режим водохранилища (среднегодовая температура воды 15,3°C) оказался наиболее благоприятным для развития популяций высших ракообразных. В 1990-2000 гг. объемы вырабатываемой МГРЭС электроэнергии оказались на уровне начала 1970-х годов. При этом численность и биомасса зообентоса возросли в 2,5-3 раза, а высших ракообразных

в 4 раза по численности и в 2 раза по биомассе. В последующий период сниженной тепловой нагрузки на водохранилище высшие ракообразные, особенно кумацеи и мизиды, сократили свою численность. Это подтвердило наш ранний прогноз [14], что в условиях сниженной термофикации Кучурганского водохранилища, высшие ракообразные сократят численность и биомассу своих популяций. В случае увеличения объемов вырабатываемой МГРЭС электроэнергии, высшие ракообразные реализуют свой адаптивный потенциал ростом количественных показателей своих популяций.

**Адаптивный потенциал зообентоса Дубоссарского водохранилища** проявился в трансформации таксономического состава и количественных характеристик с момента формирования водохранилища по настоящее время. В первые годы становления водохранилища структурные изменения в его донной фауне сопровождались сокращением численности (*Theodoxus danubialis*, *Th. fluviatilis*, *Fagotia acicularis*, *F. esperi*, *Lithoglyphus naticoides*, *Limnodrilus newaensis*, *Jaera sarsi*, *Tanytarsus exiguous*, *Hydropsyche ornatula*) и выпадением (*Cryptochironomus rolli*, *Cr. zabolotzkii*, *Corophium curvispinum*, *C. chelicorne*) лито- и псаммореофильных видов. До строительства Дубоссарской ГЭС в русловой части этого участка Днестра встречались 190 видов зообентоса; в первые годы после формирования водохранилища число видов сократилось до 75 (рис. 4.12) [36, 38]. В последующие несколько лет



**Рис. 4.12. Качественные изменения (число видов) в донной фауне Дубоссарского водохранилища, 1955-2021 гг.**

гидроэкологические условия водохранилища стабилизировались, что наряду с работами по интродукции 3 видов мизид и одного вида кумацей способствовало росту таксономического состава донной фауны до 117 видов, большинство из которых формировали пелореофильный биоценоз. Стабилизация гидрологического режима водохранилища, помимо увеличения числа видов, привела к значительному росту численности и биомассы бентоса.

Спустя 20 лет с момента образования водохранилища трансформации бентических сообществ не прекратились. Постепенное заиление, а также загрязнение привели к выпадению из состава бентоса части псаммо- и оксифильных форм, при этом общее число видов возросло до 130 при доминировании 25, главным образом пелофилов. Наибольшее видовое разнообразие было характерно для олигохетно-хирономидного комплекса (85 видов с преобладанием *Limnodrilus claparedeanus*, *L. udekemianus*, *L. hoffmeisteri*, *Potamothrix hammoniensis*, *Psammoryctes barbatus*, *Polypedilum breviantenatum*, *P. scalaenum*, *Cryptochironomus monstrosus*, *Cr. defectus*, *Chironomus plumosus*), высших ракообразных (12 видов) и моллюсков (18 видов). Отмечены несколько новых оксифильных видов, в том числе *Cricotopus dizoniae* и *Chaetocladius piger*. Возросла общая численность бентоса до более, чем 18000 экз./м<sup>2</sup>, биомасса «мягкого» бентоса также находилась на высоком уровне (40 г/м<sup>2</sup>) [36, 38].

После строительства и пуска в эксплуатацию ДГЭК гидроэкологические условия в Дубоссарском водохранилище усугубились. Продолжилась трансформация донной фауны водохранилища при доминировании олигохетно-хирономидного комплекса и моллюсков. Число видов сократилось до 120, при этом она стала более пелофильной с

преобладанием устойчивых к органическому загрязнению гидробионтов, в том числе олигохет *Limnodrilus hoffmeisteri*, *L. claparedeanus*, *Tubifex tubifex*, *Potamothenis hammoniensis* и др. Возросли количественные показатели *Dreissena polymorpha*, которая на отдельных участках водохранилища почти полностью вытеснила другие виды моллюсков. Практически исчезли такие чувствительные к загрязнению беспозвоночные, как *Oligoneuriella rhenana*, *Palingenia longicauda*, *Polymitarsis virgo*, *Hydropsyche ornatula*. Редкими стали *Hypania invalida*, *Pristina bilobata*, *Prodiamesa olivacea*, *Coryoneura celeripes*, *Cryptochironomus vulneratus*, *Oecetis lacustris*, *Orthotrichia costalis*, *Theodoxus transversalis* [36, 38].

Общее число видов увеличилось до 169, с одной стороны за счет выявления ранее не отмеченных (*Coryoneura celeripes*, *Cryptochironomus vulneratus*, *Orthotrichia costalis*, *Ephemera lineate* и др.), а также новых инвазивных видов (*Branchiura sowerbyi*, *Dreissena bugensis*, *Ferrissia fragilis*). Доминирующее положение в зообентосе заняли пелофилы и в, меньшей степени, псаммофилы, сократилось число реофилов и возросло лимнофилов.

В настоящее время наблюдается существенное снижение биомассы «мягкого» зообентоса водохранилища с 40 до 13 г/м<sup>2</sup>. Среди «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища самым низким значением ВДБ (0,59) обладают олигохеты, что характеризует эту группу гидробионтов как наиболее эврибионтную, приспособленную к изменению условий среды обитания и, соответственно, обладающей наибольшим адаптивным потенциалом среди всех компонентов зообентоса водохранилища. Второй группой по степени адаптивного потенциала, являются хирономиды и третьей – высшие ракообразные. Необходимо отметить высокий адаптивный потенциал мизид, который позволил им после их интродукции в Дубоссарское водохранилище успешно приспособиться к условиям обитания в водоеме и создать устойчивые популяции.

В других речных экосистемах под воздействием гидростроительства, наблюдаются схожие тенденции, проявляющиеся в изменении видового состава бентоса с преобладанием олигохет и хирономид, увеличении численности дрейссенид, уменьшении численности стенобионтов и смене доминирующих комплексов реофилов лимнофилами, появлению инвазивных видов.

## **5. КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА ДНЕСТРА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Донные биоценозы бассейна Днестра до трансформации водных экосистем из исторически сложившихся и функционирующих длительный период времени в антропогенно преобразованные экосистемы развивались в соответствии с концепцией единства и взаимодействия с абиотической составляющей – условиями среды обитания. В результате искусственной трансформации водных экосистем бассейна Днестра к абиотическим факторам воздействия, включая изменения климата, добавились антропогенные, которые стали определяющими в формировании и функционировании донных сообществ. Водные ресурсы экстремально подвержены и уязвимы к изменению климата, которое обострило проблему лимнофикации Днестра. Дальнейшее заиливание Дубоссарского водохранилища в совокупности с потеплением климата усилит прогревание воды, приведет к изменению физико-химических параметров воды, что скажется на донных биоценозах и их структурной перестройке.

Водные экосистемы – исключительно удобные индикаторы изменения климата. В отличие от наземных экосистем они суммируют и усиливают самую разную информацию со всего водосбора. Многие интегральные показатели состояния экосистем измеряются в водоемах проще, чем в наземных биоценозах [1]. Подверженное термофикации Кучурганское водохранилище может служить модельным водоемом для исследования влияния изменения климата на поверхностные воды Молдовы. Техно-экосистема водоема-охладителя Молдавской ГРЭС находится под мощным антропогенным воздействием, что обуславливает функционирование гидробиоценоза, включая зообентос, в условиях воздействия комплекса природных и антропогенных факторов.

Под воздействием совокупности природных и антропогенных факторов находится и экосистема Дубоссарского водохранилища. Так как Дубоссарское водохранилище контрастно отличается от Кучурганского по гидрологическим характеристикам, то и характер влияния климатических изменений будет различным. В Дубоссарском водохранилище изменение климата проявится, с одной стороны, в сокращении стока, а с другой – его неравномерности с резкими колебаниями; повышении температуры воды; дальнейшем зарастании высшими водными растениями, заилении и ухудшении качества воды. Эти негативные последствия изменения климата будут усиливаться под воздействием на экосистему реки ДГЭК.

Наряду с различиями генезиса и гидрологии Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, развитие их донной фауны находится под влиянием комплекса природных и антропогенных факторов. Количественное развитие «мягкого» зообентоса Дубоссарского водохранилища руслового типа и контрастного Кучурганского водохранилища-охладителя озерного типа, проявляет схожие флуктуации в динамике численности и, особенно, биомассы бентоса (рис. 5.1, 5.2). Т.к. эти контрастные водохранилища находятся в одной климатической и географической зоне, но различаются комплексом влияния антропогенных факторов, гидрологией и гидрохимическими показателями качества воды, это позволяет предположить, что данные колебания численности и биомассы бентоса связаны с геоклиматическими изменениями.



**Рис. 5.1.** Динамика изменения численности (экз./м<sup>2</sup>) «мягкого» зообентоса в Кучурганском и Дубоссарском водохранилищах, в 2011-2021 гг.

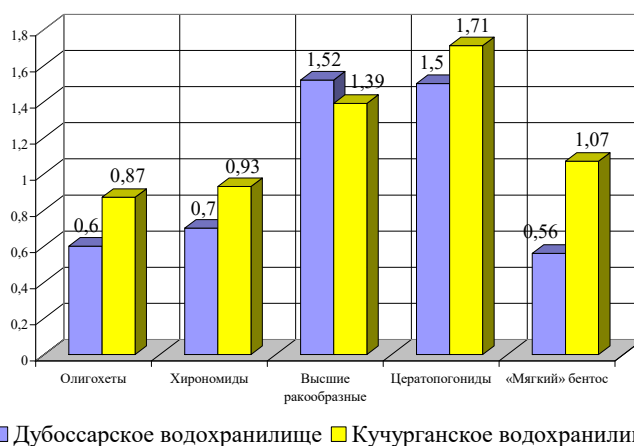


**Рис. 5.2.** Динамика изменения биомассы (г/м<sup>2</sup>) «мягкого» зообентоса в Кучурганском и Дубоссарском водохранилищах, в 2011-2021 гг.

Анализ динамики численности и биомассы «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища-охладителя в условиях изменения уровня его термофикации дает основание прогнозировать, что потепление климата будет способствовать постепенному росту численности и биомассы бентоса Дубоссарского водохранилища

до определенного предела, после чего будет иметь место снижение продукционных показателей зообентоса, при этом они останутся выше их значений, предшествующих периоду климатических изменений.

В качестве меры устойчивости донных сообществ водохранилищ бассейна Днестра к воздействию комплекса природных (включая климатические изменения) и антропогенных факторов мы рассмотрели вариабельность динамики их биомассы. Среди групп «мягкого» зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, хирономиды и олигохеты обладают самыми низкими значениями вариабельности динамики биомассы, что характеризует эти группы гидробионтов как наиболее устойчивые и приспособленные к воздействию комплекса природных и антропогенных факторов. При этом значения *ВДБ* групп «мягкого» зообентоса, за исключением высших ракообразных, ниже в Дубоссарском водохранилище (рис. 5.3).



**Рис. 5.3. Средние значения вариабельности динамики биомассы основных групп «мягкого» зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, 2011-2021 гг.**

Это свидетельствует о том, что сообщества зообентоса Дубоссарского водохранилища более устойчивы, чем Кучурганского и, соответственно, более адаптированы к воздействию природных и антропогенных факторов. Устойчивость зообентоса Дубоссарского водохранилища к воздействию комплекса факторов обусловлена тем, что условия обитания здесь менее стабильны, чем в Кучурганском водохранилище. Таким образом, бентосные сообщества водохранилищ речного типа в сравнении с сообществами зообентоса водохранилищ озерного типа являются более устойчивыми в условиях изменения климата и антропогенных факторов и обладают бóльшим адаптивным потенциалом.

Негативное воздействие природных и антропогенных факторов приводит к росту функциональной роли донных гидробионтов в процессах накопления тяжелых металлов и развитии паразитарных сообществ, жизненные циклы которых связаны с зообентосом. Особенно четко это проявляется в Кучурганском водохранилище.

В условиях воздействия природных и антропогенных факторов в водных объектах бассейна Днестра активизируются процессы биологических инвазий, что хорошо видно на примере высших ракообразных. Появление в Днестре теплолюбивой пресноводной креветки *Macrobrachium nipponense* демонстрирует, как изначально антропогенный фактор (ее вселение в Кучурганское водохранилище) в совокупности с природными (повышение среднегодовых температур воды Днестра с 9,8°C в 1950-1980-хх гг. до 11,1°C в 2000-2020 гг.) способствовали расширению ее ареала в бассейне Днестра.

Ярким примером воздействия антропогенных факторов, способствующих биологическим инвазиям, является появление и создание устойчивой популяции в Кучурганском водохранилище североамериканского краба *Rhithropanopeus harrisi*. Ограничивающим фактором распространения этого инвазивного вида является минерализация воды, поэтому расширив свой ареал до черноморских лиманов, он не смог попасть в Днестр. В течение длительного периода времени под воздействием функционирования Молдавской ГРЭС и накопительного эффекта минерализация Кучурганского водохранилища возросла до 2367 мг/л, что позволило крабу, попав в водоем-охладитель, успешно здесь акклиматизироваться и создать устойчивую популяцию.

Определяющим фактором в распространении инвазивных видов в водохранилищах Днестра является антропогенный, который проявляется в преднамеренной и непреднамеренной интродукции гидробионтов с одной стороны, и изменении условий среды их обитания с другой. Климатические изменения в большей степени отразятся на процессах биологических инвазий в Днестре и Дубоссарском водохранилище, и приведут, главным образом, к появлению теплолюбивых видов.

Концепция формирования и функционирования зообентоса водохранилищ бассейна Днестра в условиях воздействия природных и антропогенных факторов сводится к следующим положениям:

В результате воздействия комплекса природных и антропогенных факторов водохранилища бассейна Днестра преобразуются в природно-техногенные системы.

В водохранилищах Днестра, в отличие от морских экосистем, которые более стабильны и изменяются под воздействием климатических изменений, трансформацию донных сообществ детерминирует совокупность антропогенных и климатических изменений при определяющем влиянии антропогенных.

Среди водохранилищ бассейна Днестра Кучурганское водохранилище-охладитель Молдавской ГРЭС может служить модельным водным объектом трансформации пресноводной экосистемы под воздействием климатических изменений в сторону потепления.

Потепление климата в большей степени проявится в экосистеме Дубоссарского водохранилища, что приведет к угнетению холодолюбивых реофильных форм бентоса и будет способствовать постепенному росту численности и биомассы эврибионтных и теплолюбивых форм до определенного предела, после чего будет иметь место снижение продукционных показателей бентоса и их стабилизация до уровня выше их значений, предшествующих периоду климатических изменений.

Климатические изменения будут способствовать ухудшению паразитологической ситуации в Дубоссарском водохранилище, приведут к обогащению видового состава паразитофауны, особенно той, которая в циклах своего развития в качестве промежуточных хозяев использует организмы зообентоса.

Адаптивный потенциал зообентоса Кучурганского водохранилища к потеплению климата выше, чем бентоса Дубоссарского и ограничен уровнем термофикации водоема-охладителя до 30 °С.

Усиление антропогенного воздействия, способствующее загрязнению водохранилищ Днестра тяжелыми металлами, приведет к росту их концентраций в организмах зообентоса, особенно моллюсков и хирономид.

В зообентосе водохранилищ бассейна Днестра хирономиды и олигохеты являются наиболее устойчивыми и приспособленными к воздействию комплекса природных и антропогенных факторов.

Донные сообщества водохранилищ речного типа в сравнении с сообществами зообентоса водохранилищ озерного типа обладают большим адаптивным потенциалом и являются более устойчивыми к воздействию комплекса антропогенных факторов.

Изменение климата, наряду с антропогенными факторами, становится определяющим дальнейшую трансформацию донных сообществ водных объектов бассейна Днестра.

Сообщества зообентоса, долгое время находящиеся под воздействием антропогенных факторов, способны легче адаптироваться к климатическим изменениям.

Усиление влияния природных и антропогенных факторов на водные объекты бассейна Днестра активизирует процессы биологических инвазий, которые при антропогенном воздействии проявятся в изменении условий среды обитания и интродукции гидробионтов, а при климатических изменениях приведут к инвазиям теплолюбивых видов гидробионтов в Днестре и Дубоссарском водохранилище.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

### **Выводы:**

1. Многолетние исследования сообществ донных беспозвоночных свидетельствуют о том, что Дубоссарское и Кучурганское водохранилища являются техногенными водными экосистемами, сильно преобразованными гидро- и теплоэнергетикой, требующие постоянного комплексного мониторинга и внедрения мероприятий по оздоровлению их гидробиоценозов и поддержанию их гидроэкологических режимов [22, 25, 38, 39].

2. Создание Дубоссарского водохранилища на Днестре привело к резкому уменьшению видового разнообразия, особенно лито- и псаммореофильной фауны, появлению интродуцированных видов ракообразных, а зообентос из реофильного типа преобразовался в более пелореофильный с преобладанием олигохетно-хирономидного комплекса. После ввода в эксплуатацию Днестровского гидроэнергетического комплекса начался второй, более существенный этап воздействия гидростроительства на экосистему Днестра, приведший к полному преобладанию пелофильных сообществ донных беспозвоночных, снижению биомассы «мягкого» бентоса и увеличению доли инвазивных видов [18, 36, 38, 39].

3. Сукцессии зообентоса Кучурганского водохранилища-охладителя определяются, главным образом, уровнем термофикации и степенью загрязнения воды, вызванными работой Молдавской ГРЭС. С 2000 г. по настоящее время уровень термофикации водоема-охладителя снизился, но вследствие недостаточного водообмена между водохранилищем и р. Днестр усилились процессы осолонения воды, особенно за счет роста концентрации хлоридов и сульфатов, нарушена миграция химических веществ в системе «вода – донные отложения», что и провоцирует дальнейшее снижение численности «мягкого» зообентоса, за исключением олигохет, при росте его биомассы [8, 13, 14, 21, 38].

4. Сообщества донных беспозвоночных Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, в большинстве своем, представлены теплолюбивыми палеарктическими видами голарктического царства (в основном олигохетами и хирономидами), включая понто-каспийских реликтов (полихет, высших ракообразных и моллюсков), а также появившимися в последние десятилетия инвазивными североамериканскими и юго-восточноазиатскими видами. Наибольшее сходство видового состава присуще понто-каспийской фауне водохранилищ, массовое распространение которой является результатом ее исторической иммиграции, продолжающейся до настоящего времени [23, 24, 25, 38, 44].

5. Инвазивную фауну донных беспозвоночных Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ, помимо понто-каспийских видов (27), представляют североамериканские (4) и юго-восточноазиатские (3) виды. Доля понто-каспийских и инвазивных видов в зообентосе Дубоссарского водохранилища составляет 16%, Кучурганского – 21,4%. В Кучурганском водохранилище автором впервые отмечены и детально описаны два новых инвазивных вида – дрейссена бугская *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) и североамериканский грязевой краб *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841). Благоприятные условия обитания грязевого краба в водохранилище позволили сформировать здесь устойчивую популяцию данного вида [11, 20, 25, 35, 36, 38, 40, 44, 46].

6. Донные беспозвоночные составляют основу кормовой базы рыб бентофагов в исследованных водных экосистемах. В процессах пищеварения у рыб, помимо ферментов, синтезируемых их пищеварительной системой, участвуют ферменты объектов питания – организмов зообентоса, реализующие индуцированный аутолиз. Наши исследования показали, что рыбопродукционный потенциал Кучурганского водохранилища (39,29 кг/га) за счет кормового бентоса выше такового в Дубоссарском водоеме (27,51 кг/га) [5, 10, 17, 31, 33].

7. Исследованные водные экосистемы, согласно индекса сапробности донных беспозвоночных, а также индексов Карра и Хилтонена (С&Н), Гуднайта и Уитлея (G&WI), Кинга и Балла (С&В), Ландбека и Сизера (L&SI), BMWP и ASPT (биоиндикационная оценка качества воды), относятся к  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробным водным экосистемам [3, 14, 22, 27].

8. Донные беспозвоночные играют важную роль в формировании паразитарных сообществ водоемов, выступая в качестве промежуточного, либо второго промежуточного хозяина. Установлено, что в Кучурганском водохранилище в видовом разнообразии паразитофауны рыб преобладают трематоды (61%) и нематоды (18%), цикл развития которых происходит с участием бентосных беспозвоночных [15, 45].

9. Адаптивный потенциал зообентоса Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ проявился в степени приспособительных возможностей гидробионтов к меняющимся условиям окружающей среды под воздействием комплекса природных и антропогенных факторов, в трансформации таксономического состава и его экологических групп [19, 29, 38].

10. Установлены определяющие факторы (биотические и абиотические) и уровень накопления ряда микроэлементов-металлов в организмах зообентоса, а также роль массовых видов донных беспозвоночных в биогенной миграции химических веществ. Установлено, что биоаккумулирующая способность к молибдену, ванадию и свинцу выше у *Dreissena polymorpha*, к меди – у *Viviparus viviparus*, к свинцу и никелю – у хирономид. Минимальные концентрации металлов отмечены в теле мизид.

Главенствующая роль в миграции металлов в исследованных экосистемах принадлежит двустворчатым моллюскам, что обусловлено, как их высокой фильтрующей способностью, так и преобладающей биомассой, а что касается биомагнификации металлов в трофической цепи – роль «мягкого» зообентоса превалирует. Донные беспозвоночные являются достоверными организмами-индикаторами в биологическом мониторинге миграции металлов в водных экосистемах [26, 38].

11. Комплексные исследования донных беспозвоночных, оценка происходящих трансформаций и адаптации бентосных сообществ в условиях изменения климата, наряду с антропогенными факторами, послужили основанием для разработки концепции формирования и функционирования бентосных беспозвоночных в водохранилищах бассейна Днестра в целях сохранения их разнообразия и устойчивого использования биологических ресурсов [1, 19, 21, 23, 25, 32, 36, 38].

### **Рекомендации:**

1. Продолжить развитие концепции формирования и функционирования бентосных беспозвоночных в водохранилищах бассейна Днестра и дополнить ее другими группами гидробионтов в целях адаптации водных объектов Республики Молдова к климатическим изменениям и высокому уровню антропогенной нагрузки.

2. Активнее внедрять основные положения Европейской водной рамочной директивы, способствовать их распространению на Кучурганское водохранилище-охладитель Молдавской ГРЭС.

3. Расширить спектр методов биологического мониторинга поверхностных вод Республики Молдова индикаторами на основе крупных таксонов, позволяющими проследить многолетнюю динамику их изменений. Шире использовать организмы зообентоса для мониторинга накопления и миграции металлов в поверхностных водах.

4. Для сохранения биопродукционного потенциала Кучурганского водохранилища и предотвращения ухудшения его экологического состояния необходимо мониторить тепловую нагрузку на экосистему водоема-охладителя, а также осуществлять мероприятия, направленные на улучшение водообмена и поддержание проектного уровня воды в водохранилище.

5. Кучурганское водохранилище-охладитель Молдавской ГРЭС рассматривать как модельный водный объект при изучении трансформаций пресноводных экосистем под воздействием климатических изменений.

6. На основе исследований биопродуктивности кормового зообентоса разработать мероприятия, направленные на восстановление и повышение рыбопродукционного потенциала водохранилищ бассейна Днестра.

7. Усилить мониторинг инвазивных видов в поверхностных водах Республики Молдова.

8. Основные положения и результаты диссертации рекомендуются к использованию в учебном процессе в высших учебных заведениях при подготовке специалистов биологического направления.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. АНДРЕЕВ, А.В., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Влияние климата на природные экосистемы и меры адаптации. В: *Концепция региональной стратегии адаптации к изменению климата: Приднестровье*. Бендеры: Полиграфист, 2012. С. 79-129.
2. БЕЗМАТЕРНЫХ, Д.М. Современное состояние зообентоса системы озера Чаны. В: *Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия*. Борок, 2002. С. 59-60.
3. БОГАТЫЙ, Д.П., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Оценка экологического состояния Дубоссарского водохранилища по макрозообентосу. В: *Современные проблемы биологии и экологии: материалы докладов III Международной научно-практической конференции, 4-5 марта 2021 г.* Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 376-379.
4. ЗВЕЗДИНА, Т.Н., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Гидростроительство как фактор антропогенного воздействия на экосистемы. В: *Hydropower impact on river ecosystem functioning: Proceedings of the International Conference*. Tiraspol: Eco-Tiras, 2019. С. 123-126.
5. ЗОЛОТАРЕВА, Г.В., КУЗЬМИНА, В.В., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Характеристика активности гликозидаз беспозвоночных – потенциальных объектов питания планкто- и бентофагов Кучурганского водохранилища. В: *Биоразнообразие и факторы, влияющие на экосистемы бассейна Днестра*. Материалы научно-практической конференции (с международным участием). Тирасполь, 16-17 ноября 2018 г. Тирасполь: Eco-TIRAS, 2018. С. 234-237.
6. ЗУБКОВА, Е.И., БАГРИН, Н.И., БИЛЕЦКИ, Л.Н. и др. Оценка воздействия энергетики на водные экосистемы бассейна реки Днестр. В: *Интегрированное управление бассейном трансграничного Днестра: платформа для сотрудничества и современные вызовы: Материалы международной конференции, Тирасполь, 26-27 октября 2017 года*. Eco-TIRAS, 2017. С. 134-138.
7. ИГНАТЬЕВ, И.И., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Водные ресурсы и адаптация к изменению климата. В: *Вестник Приднестровского университета, 2017. Сер.: Медико-биологические и химические науки. № 2(56)*. С. 130-136.
8. КАСАПОВА, Л.В., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** и др. Гидрохимические особенности двух контрастных (Дубоссарского и Кучурганского) водохранилищ. В: *Интегрированное управление бассейном трансграничного Днестра: платформа для сотрудничества и современные вызовы: Материалы международной конференции, Тирасполь, 26-27 октября 2017 года*. Eco-TIRAS, 2017. С. 164-166.
9. КОРОБОВ, Р., ТРОМБИЦКИЙ, И. *Водная безопасность в условиях изменения климата*. Кишинев, 2017. 88 с.
10. КУЗЬМИНА, В.В., ЗОЛОТАРЕВА, Г.В., ШЕПТИЦКИЙ, В.А., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Роль объектов питания и микробиоты в процессах пищеварения рыб из разных экосистем. Тирасполь: Изд-во Приднестровского университета, 2016. 196 с.
11. МУНЖИУ, О.В., ТОДЕРАШ, И.К., ШУБЕРНЕЦКИЙ, И.В., РАЙЛЯН, Н., **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Современное состояние популяций чужеродных видов моллюсков в бассейне р. Днестр. В: *Геоэкологические и биоэкологические проблемы Северного Причерноморья*. Материалы V Международной научно-практической конференции. Тирасполь: Изд-во ПГУ, 2014. С. 179-184.
12. СОН, М.О. *Моллюски-вселенцы в пресных и солоноватых водах Северного Причерноморья*. Одесса: Друк, 2007. 132 с.
13. ФИЛИПЕНКО, Е.Н., **ФИЛИПЕНКО, С.И.**, ТИХОНЕНКОВА, Л.А. Гидрохимические особенности Кучурганского водохранилища и роль стоков в его загрязнении. В: *Transboundary Dniester River basin management and EU intergaration – step by step*. Proceedings of the International Conference. Chisinau: Eco-TIRAS, 2022. С. 240-245.
14. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Зообентос Кучурганского водохранилища: динамические процессы и использование в биологическом мониторинге. Тирасполь: Изд-во Придн. ун-та, 2005. 160 с.
15. **ФИЛИПЕНКО, С.И.**, МОШУ, А.Я., КАНУШИНА, А.Л. Зообентос Кучурганского водохранилища – как один из факторов развития паразитарных сообществ в водоеме-охладителе Молдавской ГРЭС. В: *Управление бассейном трансграничного Днестра в рамках нового бассейнового Договора*. Международная конференция, Chişinău, 2013. С. 450-455.
16. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Экологические проблемы Кучурганского водохранилища. В: *Геоэкологические и биоэкологические проблемы Северного Причерноморья*. Материалы V Международной научно-практ. конференции. Тирасполь: Изд-во ПГУ, 2014. С. 283-286.

17. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Роль зообентоса в питание рыб–бентофагов Кучурганского водохранилища. В: *Вестник Приднестровского университета*, 2014. Сер.: Медико-биологические и химические науки. №2(47). С. 107-112.
18. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ИГНАТЬЕВ, И.И., БОГАТЫЙ, Д.П. Зообентос и его функциональная роль в экосистеме Дубоссарского водохранилища. В: *Окружающая среда Приднестровья. Оценка состояния*. Бендеры: Полиграфист, 2014. – С. 210-219.
19. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Вариабельность динамики биомассы «мягкого» зообентоса Кучурганского водохранилища. В: *Чтения памяти кандидата биологических наук, доцента Л.Л. Попа*. Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2015. С. 160-165.
20. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Инвазивные моллюски водоемов бассейна Днестра. В: *Материалы чтений памяти доктора биологических наук В.А. Собоцкого*. Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2015. С. 51-62.
21. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Зообентос Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС. В: *Современные проблемы биологии и экологии: материалы докладов II Международной научно-практической конференции*, 4-5 марта 2016 г. Махачкала: ДГПУ, 2016. С. 72-75.
22. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Экологические проблемы и биоиндикация Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС. В: *Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем III: Материалы Междунар. Конф.* СПб, 2017. С. 343-346.
23. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Зообентос двух контрастных водохранилищ Молдовы. В: *Биологическое разнообразие Кавказа и юга России*. Материалы XIX Международной научной конференции, Махачкала: Типография ИПЭ РД, 2017. С. 523-525.
24. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Североамериканский краб *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) – новый инвазивный вид в Приднестровье. В: *Российский Журнал Биологических Инвазий*. №2, 2018. С. 86-89.
25. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Зообентос Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ. В: *Functional ecology of animals*. International symposium dedicated to the 70th anniversary from the birth of academician Ion Toderaş, 21 September 2018. Chişinău: Imprint Plus, 2018. С421-427.
26. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ТИХОНЕНКОВА, Л.А., ФИЛИПЕНКО, Е.Н. Зообентос Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС и роль отдельных его представителей в накоплении металлов. В: *Биологическое разнообразие Кавказа и юга России*. Материалы XXI Международной научной конференции, Магас, 2019. С. 441-445.
27. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ЧУР, С.В., БОГАТЫЙ, Д.П. Биоиндикационная оценка экологического состояния Дубоссарского водохранилища. В: *Проблемы экологии, сохранения биоразнообразия и восстановления природных ресурсов Приднестровья: Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. посвященной году экологии и благоустройства в Приднестровье*. Бендеры, 29 ноября 2019 г. Бендеры, 2019. С. 83-91.
28. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** О формировании популяции голландского краба *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) в Кучурганском водохранилище. В: *EU Integration and Management of the Dniester River Basin*. Proceedings of the International Conference. Chisinau: Eco-TIRAS, 2020. С. 309-312.
29. **ФИЛИПЕНКО, С.И.** Кормовой зообентос Дубоссарского водохранилища и вариабельность динамики его биомассы в современных гидрологических условиях Днестра. В: *Проблемы экологии и сохранения биоразнообразия Приднестровья*. Бендеры: Полиграфист, 2020. С. 107 – 111.
30. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ЗУБКОВА, Н.Н. и др. Особенности накопления металлов некоторыми видами рыб Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС. В: *Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы: Труды Международного биогеохимического Симпозиума*. Тирасполь: ПГУ им. Т.Г. Шевченко, 2020. С. 211-215.
31. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ФИЛИПЕНКО, Е.Н. Кормовые ресурсы и рыбопродукционный потенциал Дубоссарского водохранилища. В: *Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России*. Материалы XXII Международной научной конференции. Махачкала: АЛЕФ, 2020. С. 390-394.
32. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ФИЛИПЕНКО, Е.Н. Воздействие гидротехнического комплекса Новоднестровской ГАЭС на высшие водные растения Днестра. В: *Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов*. Материалы докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 189-193.

33. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** БОГАТЫЙ, Д.П., МУСТЯ, М.В., ЗОЛОТАРЕВА, Г.В. Место и роль бентосных беспозвоночных Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ в трофических цепях. В: *Transboundary Dniester River basin management and EU intergaration – step by step*. Proceedings of the International Conference, Chisinau, October 27-28. Chisinau: Eco-TIRAS, 2022. С. 232-239.
34. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ФИЛИПЕНКО, Е.Н., ТИХОНЕНКОВА, Л.А. Гидрохимические показатели и оценка качества воды Кучурганского водохранилища. В: *Вестник Приднестровского университета. Сер.: Медико-биологические и химические науки: № 2 (71)*. Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2022. С. 123-132.
35. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** МУСТЯ, М.В., ФИЛИПЕНКО, Е.Н. Чужеродные гидробионты Кучурганского водохранилища. В: *Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России*. Материалы XXIV Международной научной конференции. Махачкала: АЛЕФ, 2022. С. 552-558.
36. **ФИЛИПЕНКО, С.** Сукцессии зообентоса Дубоссарского водохранилища под воздействием гидроэнергетического строительства. В: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. № 3 (347), 2022. pp. 8-24.
37. **ФИЛИПЕНКО, С.И.,** ФИЛИПЕНКО, Е.Н. Современные экологические проблемы экосистемы реки Днестр. В: *Экология и жизнь человека: материалы II международной научно-практической конференции*. Рыбница, 2023. С. 149-153.
38. **ФИЛИПЕНКО, С.** *Зообентос Дубоссарского и Кучурганского водохранилищ*. Монография. Кишинэу, 2023. 215 с.
39. BACAL, P., BURDUJA, D., CAZANŢEVA, O., COJOCARI, A., COROBOV, R., DONICA, A., **FILIPENCO, S.** și al. *Studiul impactului social și de mediu al complexului hidroenergetic Nistrean*. UNDP, 2021. 34 p.
40. **FILIPENCO, S.,** PURCIC, V., DUMBRĂVEANU, D., RAILEAN, N. și al. Crabul de mâl (Nord-American) *Rhithropanopeus Harrisii* (Gould, 1841) - o nouă specie invazivă în Moldova. În: *Buletinul Academiei de științe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. № 2(335), 2018. pp. 71-77.
41. **FILIPENCO, S.** Structura comunităților de zoobentos din lacurile de acumulare Dubăsari și Cuciurgan în baza clasificării zoogeografice În: *Akademos*. 2/2023. pp. 41-45.
42. ZUBCOV, E. Starea actuală a fluviului Nistru. În: *Akademos. Revistă de Ştiință, Inovare, Cultură și Artă*. Chişinău. Nr.4 (27), decembrie 2012, pp. 99–102.
43. **PHILIPENKO, S.,** PHILIPENKO, E., FOMENKO, V. Kuchurgan storage reservoir – as one of the key component of the wetlands of the lower portions of Dniester river. In: *J. Wetlands Biodiversity*, 2013. № 3. pp. 67-75.
44. **PHILIPENKO, S.** The benthic Ponto-Caspian fauna of the Kuchurgan storage reservoir of the Moldavian central steam power station. In: *J. Wetlands Biodiversity*, 2015. № 5. pp. 7-11.
45. **PHILIPENKO, S.I.** The zoobenthos role in the development of the parasitic communities in Kuchurgan reservoir. In: *Buletinul Academiei de științe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. № 1(325), 2015. pp. 138-145.
46. **PHILIPENKO, S.I.** Mud Crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) is a New Invasive Species in Transdnestr. In: *Russian Journal of Biological Invasions*, 2018, Vol. 9, No. 3, pp. 270–272.

## АННОТАЦИЯ

**Филипенко Сергей - «Биоразнообразие, концептуальные закономерности функционирования бентосных сообществ в Дубоссарском и Кучурганском водохранилищах».**  
**Диссертация на соискание ученой степени доктора хабилитат биологических наук. Кишинэу, 2023.**

**Структура диссертации:** введение, 5 глав, общие выводы и рекомендации, список литературы из 383 наименований, 9 приложений, 214 страниц основного текста, 44 таблицы, 74 рисунка. Полученные результаты опубликованы в 104 научных работах.

**Ключевые слова:** зообентос, экологический фактор, водная экосистема, биологический мониторинг, гидробионт, адаптивный потенциал, накопление металлов, инвазивный вид, паразитарное сообщество, рыбопродуктивность, изменение климата, трансформация экосистемы.

**Область исследования:** экология.

**Цель исследования:** установить концептуальные закономерности изменения структуры и функционирования бентосных сообществ беспозвоночных в водохранилищах бассейна Днестра в условиях изменения климата и антропогенных факторов.

**Задачи:** исследовать формирование, современное состояние и многолетнюю динамику зообентоса Дубоссарского водохранилища и техногенного водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС; генезис и зоогеографические связи зообентоса; его роль в трофических цепях и потенциальную рыбопродуктивность по зообентосу; роль в развитии паразитарных сообществ; инвазивные виды донных беспозвоночных; изучить роль зообентоса в процессах накопления и миграции металлов; провести биоиндикационные исследования экологического состояния водохранилищ; оценить адаптивный потенциал зообентоса в условиях изменения климата и антропогенных факторов.

**Научная новизна и оригинальность работы:** Впервые в сравнительном аспекте исследованы биоразнообразие, функционирование и сукцессионные изменения сообществ донных беспозвоночных контрастных водохранилищ бассейна Днестра и установлены концептуальные закономерности изменения структуры и функционирования зообентоса исследованных водных объектов в условиях изменения климата и антропогенных факторов. Исследован генезис и зоогеографические связи зообентоса. Впервые для Кучурганского водохранилища отмечены два новых инвазивных вида - *Dreissena bugensis* и *Rhithropanopeus harrisi*. Установлены роль зообентоса в развитии паразитарных сообществ, накоплении и миграции металлов, трофических цепях и формировании рыбопродуктивности водохранилищ. Дан сравнительный анализ биоиндикационной оценки экологического состояния изученных водных объектов. Исследован адаптивный потенциал зообентоса в условиях трансформации водных объектов. Представлена концепция формирования и функционирования зообентоса водохранилищ бассейна Днестра в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.

**Решенная научная проблема в диссертации:** получены новые научно обоснованные знания о донной беспозвоночной фауне двух контрастных водохранилищ Молдовы – объектов гидро- и теплоэнергетики, что привело к установлению качественных и количественных закономерностей ее динамики в пространственно-временном аспекте и дать оценку функциональной значимости зообентоса в двух техногенно преобразованных водных экосистемах с различными антропогенными факторами, раскрыть причины, обуславливающие структурные изменения гидробиоценозов, что позволило разработать концепцию формирования и функционирования бентосных беспозвоночных гидробионтов водохранилищ бассейна Днестра в условиях воздействия природных и антропогенных факторов.

**Принципиально новые результаты для науки и практики** были получены путем интегрирования современных экологических методов и подходов в классическую гидробиологическую науку с целью выявления особенностей изменений в сообществах зообентоса и их функционирования в условиях трансформации водных экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов, расшифровки механизмов поддержания стабильности экосистемы и разработки устойчивой стратегии эффективного и рационального использования биологических ресурсов поверхностных вод.

**Теоретическое значение:** полученные результаты вносят вклад в развитие экологии и гидробиологии; установленные закономерности развития сообществ зообентоса служат развитию теории функционирования и устойчивости водных экосистем и углублению знаний о роли сообществ бентосных беспозвоночных в техногенно-преобразованных водных экосистемах в условиях влияния природных и антропогенных факторов, о феномене инвазии беспозвоночных в поверхностные воды.

**Прикладная значимость:** научные результаты о сукцессионных изменениях, нынешнем состоянии и функционировании зообентоса водохранилищ бассейна Днестра используются в экологическом мониторинге, служат основой для разработки мер в области восстановления, сохранения и устойчивого использования биологических ресурсов поверхностных вод. Результаты и публикации используются в учебном процессе ВУЗов, в экологическом образовании и воспитании, экспертной деятельности.

**Внедрение научных результатов:** ЗАО «Молдавская ГРЭС», ГУП «Дубоссарская ГЭС», Молдавским государственным университетом, Приднестровским госуниверситетом, Международной ассоциацией хранителей реки «Эко-ТИРАС», ГУП «Природоохранный центр» (Тирасполь).

## ADNOTARE

**Filipenco Serghei – „Diversitatea și legitățile conceptuale ale funcționării comunităților nevertebratelor bentonice în lacurile de acumulare Dubăsari și Cuciurgan”. Teză de doctor habilitat în științe biologice. Chișinău, 2023.**

**Structura tezei:** introducere, 5 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (383 titluri), 9 anexe, 214 pagini conținut de bază, 44 tabele, 74 figuri. Rezultatele au fost publicate în 104 lucrări științifice.

**Cuvinte-cheie:** zoobentos, factor de mediu, ecosistem acvatic, monitorizare biologică, hidrobiont, potențial de adaptare, acumularea metalelor, specie invazivă, comunitate parazitara, productivitate piscicolă, schimbări climatice, transformarea ecosistemului.

**Domeniul de studiu:** Ecologie.

**Scopul lucrării:** Stabilirea legităților conceptuale ale modificării structurii și funcționării comunităților de nevertebrate bentonice din lacurile de acumulare din bazinul hidrografic al fluviului Nistru în condițiile schimbărilor climatice și a factorilor antropici.

**Obiectivele cercetării:** studiul formării, stării actuale și a dinamicii multianuale a zoobentosului lacului de acumulare Dubăsari și lacului-refrigerent tehnogen al CTE Moldovenești; stabilirea genezei și a relațiilor zoogeografice ale zoobentosului; examinarea rolului nevertebratelor bentonice în lanțurile trofice; calcularea productivității piscicole potențiale a lacurilor de acumulare în baza zoobentosului; determinarea rolului zoobentosului în dezvoltarea comunităților de paraziți; investigarea speciilor invazive de nevertebrate bentonice; analiza rolului zoobentosului în procesele de acumulare și migrare a metalelor; cercetarea stării ecologice a lacurilor de acumulare în baza bioindicației; evaluarea potențialului adaptativ al zoobentosului în condițiile schimbărilor climatice și a factorilor antropici.

**Noutatea și originalitatea științifică:** Pentru prima dată, într-un context comparativ, a fost investigată biodiversitatea, funcționarea și schimbările succesionale în comunitățile de nevertebrate bentonice din lacurile de acumulare de contrast din bazinul hidrografic al fl. Nistru și stabilite legitățile conceptuale ale modificărilor structurale și funcționale ale zoobentosului din corpurile de apă studiate, în condițiile schimbărilor climatice și factorilor antropici. A fost studiată geneza și relațiile zoogeografice ale zoobentosului. Pentru prima dată, au fost înregistrate în lacul-refrigerent Cuciurgan două specii invazive noi - *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) și *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841). A fost identificat rolul zoobentosului în dezvoltarea comunităților parazitare, acumularea și migrarea metalelor, lanțurile trofice și formarea productivității piscicole în lacurile de acumulare. A fost analizată comparativ starea ecologică a corpurilor de apă studiate în baza bioindicației. A fost studiat potențialul de adaptare a zoobentosului în condițiile transformării corpurilor de apă. A fost prezentat conceptul de formare și funcționare a zoobentosului lacurilor de acumulare din bazinul hidrografic al fl. Nistru sub influența factorilor naturali și antropici.

**Problemă științifică rezolvată în teză:** constă în *fundamentarea științifică* a cunoștințelor noi despre fauna nevertebratelor bentonice a două lacuri de acumulare contrastante din Moldova – obiecte cu destinație hidro- și termoelectrică, *ceea ce a condus la* stabilirea legităților calitative și cantitative ale dinamicii acestora într-o perspectivă spațio-temporală, precum și la evaluarea semnificației funcționale a zoobentosului în două ecosisteme acvatice modificate ca rezultat al impactului tehnogen, supuse influenței diferitor factori antropici, amplasate în aceeași zonă natural-climatică, *dezvăluirea* cauzelor modificărilor structurale ale hidrobiocenozelor, *fapt care a contribuit la* dezvoltarea unui concept privind formarea și funcționarea comunităților de nevertebrate bentonice din lacurile de acumulare din bazinul hidrografic al fl. Nistru sub influența factorilor naturali și antropici.

**Rezultate principial noi pentru știință și practică** au fost obținute prin integrarea metodelor și abordărilor ecologice moderne în cadrul științei hidrobiologice clasice, în scopul identificării particularităților schimbărilor în comunitățile de zoobentos, înțelegerii funcționării acestora în condiții de transformare a ecosistemelor acvatice, aflate sub influența factorilor naturali și antropici, descifrării mecanismelor de menținere a stabilității ecosistemului și a elaborării unei strategii durabile pentru utilizarea eficientă și rațională a resurselor biologice ale apelor de suprafață.

**Semnificația teoretică:** Rezultatele obținute contribuie la dezvoltarea hidrobiologiei și ecologiei. Legitățile stabilite de dezvoltare a comunităților de nevertebrate bentonice contribuie la dezvoltarea teoriei funcționării și sustenabilității ecosistemelor acvatice, oferind o mai profundă înțelegere a rolului acestor comunități în ecosistemele acvatice transformate tehnologic, aflate sub influența factorilor naturali și antropici, a fenomenul invaziei nevertebratelor în apele de suprafață și a factorilor naturali și antropici care îl provoacă.

**Valoarea aplicativă:** Rezultatele științifice privind schimbările succesionale, starea actuală și funcționarea zoobentosului lacurilor de acumulare din bazinul Nistrului sunt utilizate în monitorizarea mediului și servesc drept bază pentru elaborarea și implementarea măsurilor în domeniul restabilirii, conservării și utilizării durabile a resurselor biologice ale apelor de suprafață. Rezultatele cercetărilor și publicațiile asociate servesc ca resurse didactice valoroase în instituțiile de învățământ superior, contribuind la formarea specialiștilor din domeniul biologiei și ecologiei, în educația ecologică, precum și în activități de expertiză.

**Implementarea rezultatelor științifice:** Rezultatele cercetării sunt utilizate în cadrul CTE Moldovenești de la Cuciurgan, CHE Dubăsari, Universitatea de Stat din Moldova, Universitatea de Stat Nistrenă, Asociația Internațională a Păstrătorilor Râului „Eco-TIRAS”, întreprinderea „Centrul de conservare a naturii” (or. Tiraspol).

## ANNOTATION

Filipenko Sergey - "Biodiversity, conceptual regularities of the functioning of benthos communities in the Dubossar and Kuchurgan reservoirs" Dissertation of Doctor habilitat in Biological Sciences. Chisinau, 2023.

**The structure of the dissertation:** introduction, 5 chapters, general conclusions and recommendations, a list of references from 383 titles, 9 annexes, 214 pages of basic content, 44 tables, 74 figures. The results were published in 104 scientific papers.

**Key words:** zoobenthos, environmental factor, aquatic ecosystem, biological monitoring, hydrobiont, adaptive potential, metal accumulation, invasive species, parasitic communities, fish productivity, climate change, ecosystem transformation.

**Field of study:** Ecology.

**The purpose of the work:** To establish the conceptual patterns of changes in the structure and functioning of benthic invertebrate communities in the reservoirs of the Dniester basin under the conditions of climate change and anthropogenic factors.

**Tasks:** to study the formation, current state and long-term dynamics of the zoobenthos of the Dubossary reservoir and the technogenic reservoir-cooler of the Moldavian central steam power station the genesis and zoogeographic relationships of the zoobenthos; the role of benthic invertebrates in trophic chains; the potential fish productivity in terms of zoobenthos; the role of zoobenthos in the development of parasitic communities; invasive species of benthic invertebrates; the role of zoobenthos in the processes of accumulation and migration of metals; conduct bioindicative studies and assess the ecological state of reservoirs; assess the adaptive potential of the zoobenthos of the Dniester basin reservoirs under the conditions of climate change and anthropogenic factors.

**Scientific novelty and originality of the work:** For the first time in a comparative aspect, the biodiversity, functioning and successional changes in the communities of benthic invertebrates of contrast reservoirs of the Dniester basin were studied and the conceptual patterns of changes in the structure and functioning of the zoobenthos of the studied water bodies under the conditions of climate change and anthropogenic factors were established. The genesis and zoogeographic relationships of the zoobenthos have been studied. For the first time, two new invasive species were recorded for the Kuchurgan reservoir - *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) and *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841). The role of zoobenthos in the development of parasitic communities, the accumulation and migration of metals, trophic chains and the formation of fish productivity in the reservoirs has been established. A comparative analysis of the bioindicative assessment of the ecological state of the studied water bodies is given. The adaptive potential of the zoobenthos under the conditions of the transformation of water bodies was studied. The concept of the formation and functioning of the zoobenthos of the reservoirs of the Dniester basin under the influence of natural and anthropogenic factors is presented.

**The solved scientific problem in the dissertation** is that new *scientifically based* knowledge was obtained about the benthic invertebrate fauna of two contrasting reservoirs of Moldova – hydro and thermal power facilities, *which led* to the establishment of qualitative and quantitative patterns of its dynamics in the spatio-temporal context and to assess the functional significance of zoobenthos in two technogenically transformed aquatic ecosystems with various anthropogenic factors from one natural and climatic zone, the causes of structural changes in hydrobiocenoses were revealed, *which made* it possible to develop a concept for the formation and functioning of benthic invertebrate hydrobionts in reservoirs under the influence of natural and anthropogenic factors.

**Obtaining fundamentally new results for both scientific and practical applications**, this study integrated modern ecological methods and approaches into classical hydrobiological science. The objective was to identify the characteristics of changes in zoobenthos communities and their functioning amidst the transformation of aquatic ecosystems resulting from natural and anthropogenic influences. The research also aimed to decipher the mechanisms that uphold ecosystem stability and to develop a sustainable strategy for the efficient and rational utilization of biological resources in surface waters.

**Theoretical significance:** The obtained results make significant contributions to the advancement of hydrobiology and ecology. The established regularities in the development of benthic invertebrate communities contribute to the theoretical understanding of the functioning and stability of aquatic ecosystems. Furthermore, it deepens our knowledge about the role played by these communities in technogenically transformed aquatic ecosystems influenced by natural and anthropogenic factors. The research also sheds light on the phenomenon of biological invasions of invertebrates in surface waters and the factors, both natural and anthropogenic, that provoke such invasions.

**Applied significance:** The scientific findings regarding successional changes, the current state, and the functioning of zoobenthos in the reservoirs of the Dniester basin have practical implications. The published materials are being utilized in environmental monitoring activities and provide the foundation for developing measures related to the restoration, conservation, and sustainable use of biological resources in surface waters. The results and publications also serve as didactic materials in higher educational institutions for training specialists in biology and ecology. Moreover, they contribute to environmental education and upbringing as well as expert activities in the field.

**Implementation of scientific results:** Research results are used by "Moldavian GRES", "Dubossarskaya HPP", Moldova State University, Pridnestrovian State University, International Association of River Keepers "Eco-TIRAS", Nature Conservation Center (Tiraspol).

**ФИЛИПЕНКО СЕРГЕЙ**

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ  
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕНТОСНЫХ  
СООБЩЕСТВ В ДУБОССАРСКОМ И КУЧУРГАНСКОМ  
ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

**166.01. ЭКОЛОГИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
доктора хабилитат биологических наук**

---

Aprobat spre tipar: *14.12.2023*

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Coli de tipar.: 3,0

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Tiraj 60 ex.

Comanda nr. 143

---

Приднестровский государственный университет, ул. Покровская, 128, Тирасполь, 3300