

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ГИДРОБИОЛОГИИ

**СИЛАЕВА АНЖЕЛИКА АЛИМОВНА**

УДК 591.524.11:574.5(28):(621.311.25:621.311.22)

**ЗООБЕНТОС ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ  
ВЛИЯНИЮ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

03.00.17 – гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Киев – 2012

Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Институте гидробиологии НАН Украины

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор  
**ПРОТАСОВ Александр Алексеевич**  
ведущий научный сотрудник  
Институт гидробиологии НАН Украины

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук, профессор  
**ШЕВЦОВА Людмила Васильевна**  
заведующая кафедрой экологии  
природопользования и мониторинга окружающей среды  
Киевский университет  
управления и предпринимательства

кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник  
**ВАСЕНКО Александр Георгиевич**  
первый заместитель директора по научной работе  
Украинский научно-исследовательский институт  
экологических проблем

Защита диссертации состоится « 13 » июня 2012 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного ученого совета Д.26.213.01  
Института гидробиологии НАН Украины  
по адресу: 04210, г. Киев, пр. Героев Сталинграда, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Института гидробиологии НАН Украины  
(г. Киев, пр. Героев Сталинграда, 12).

адрес для переписки и отзывов labtech-hb@ukr.net

Автореферат разослан « 11 » мая 2012 г.

Ученый секретарь  
специализированного ученого совета,  
доктор биологических наук

А.В.Лищук

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В Украине большая часть электроэнергии производится на ТЭС и АЭС. Влияние энергетических объектов на гидроэкосистемы обусловлено комплексом факторов: повышение температуры воды в результате сброса подогретых вод, наличие дополнительной циркуляции водных масс, формирование специфической системы биотопов и т. п. Техно-экосистемы ТЭС и АЭС, включающие водоем-охладитель (ВО), подводный и отводный каналы, систему охлаждения и техводоснабжения, имеют свои особенности конструкции, режима и длительности эксплуатации. Экосистемы ВО имеют разную структуру, сложность, находятся на разных стадиях развития. В техно-экосистемах, кроме техногенных, существенное, а иногда определяющее значение играет биотический фактор. Массовое развитие некоторых гидробионтов может существенно влиять на работу оборудования энергетической станции. В этих условиях важными являются исследования бентосной подсистемы для получения новых данных относительно пространственного распределения гидробионтов в градиенте многих факторов, закономерностей сукцессионного процесса, изучения ответа зообентоса на воздействие специфических техногенных факторов и его изменений в зависимости от степени и продолжительности влияния энергетической станции. Водоемы-охладители могут служить важной моделью процессов, которые происходят в гидроэкосистемах в условиях определенного повышения температуры и глобальных изменений климата. Проведение бентологических исследований в специфических условиях водоемов-охладителей обеспечивают определенный вклад в изучение биоразнообразия как отдельных регионов, так и Украины в целом, особенно в условиях усиления инвазивного процесса. Особенности зообентоса (биотопическая распространенность, таксономическое разнообразие, стабильность группировок) дают возможность широко использовать его в качестве важного объекта для биоиндикации состояния экосистемы. Важным является изучение зообентоса для разработки современных подходов к созданию комплексного гидробиологического и экологического мониторинга техно-экосистем ТЭС и АЭС.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертационная работа выполнена в Институте гидробиологии НАН Украины в рамках ряда научно-исследовательских тем, в частности: «Разработка интегральных показателей эколого-санитарного состояния гидроэкосистем на основе изучения биотического разнообразия» (№ госрегистрации 0101U004990); «Санитарно-гидробиологическая оценка состояния и прогноз последствий техногенного влияния на водные экосистемы с применением методологии экоиндикации» (№ госрегистрации 0106U002146); международных проектов: «Современное экологическое состояние и перспективы использования водоемов, находящихся под значительным антропогенным прессом» (№ госрегистрации 0101U000529); INTAS 01Poll-0556 RESPOND; программ, связанных с подготовкой материалов оценки влияния на окружающую среду (ОВОС) строительства блока № 4 Ровенской АЭС, блоков 2 и 3 и 4 Хмельницкой АЭС (№ госрегистрации 0109U002883), «Разработка отдельных разделов Стандарта предприятия «Требования к

гидробиологическому мониторингу водоемов-охладителей АЭС с реакторами типа ВВЭР» (№ госрегистрации 0109U002882) и др. (всего более 10 тем и проектов).

**Цель и задачи исследования.** Целью работы было установить закономерности развития зообентоса водных объектов, подверженных влиянию ТЭС и АЭС.

Для достижения поставленной цели решали такие задачи:

- установить таксономический состав зообентоса и его пространственно-временные изменения;
- исследовать пространственное распределение показателей обилия зообентоса и их изменения во времени;
- выявить ценотическую структуру зообентоса в исследованных водных объектах;
- выявить структурные и продукционно-деструкционные показатели сообществ зообентоса;
- по структурным показателям группировок донных беспозвоночных оценить качество среды исследованных водных объектов.

*Объект исследования* – зообентос в техно-экосистемах ТЭС и АЭС.

*Предмет исследования* – закономерности структурной и функциональной организации зообентоса в техно-экосистемах ТЭС и АЭС.

*Методы исследования.* Используются общепринятые методы отбора качественных и количественных проб зообентоса, фиксации, микроскопической обработки, статистического анализа. Для обработки материалов использован пакет компьютерных программ WaCo, разработанный в Институте гидробиологии НАН Украины, для графического представления данных использовали программу Microsoft Excel.

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые установлены закономерности формирования структуры и изменения основных функциональных показателей зообентоса в техно-экосистемах некоторых ТЭС и всех АЭС Украины, в частности при увеличении техногенной нагрузки и влияния биотического фактора. Проведен сравнительный анализ состава и количественных показателей зообентоса в исследованных водных объектах в долговременном аспекте. Установлено, что зообентос в лотических условиях (прямоточная система водоснабжения) испытывает изменения, обусловленные влиянием энергетической станции, лишь на локальных участках. В замкнутых водоемах-охладителях состояние и уровень развития зообентоса зависит, главным образом, от типа субстрата, конструкции водоема, режима эксплуатации, усиления термической нагрузки. Исследована уникальная ситуация совместного влияния повышения техногенной нагрузки и биотического фактора на зообентос. Установлен факт восстановления зообентоса после снятия значительного техногенного влияния на водоем-охладитель.

**Практическое значение полученных результатов.** Результаты исследований были использованы для прогнозов возможных изменений в экосистемах отдельных водоемов и для оценки их современного экологического состояния, а также при подготовке материалов «Оценки влияния на окружающую среду» (ОВОС) дополнительных мощностей энергетических станций: блока № 2 ХАЭС (в 1999 г.), блока № 4 РАЭС (в

2001 г.) и блоков № 3, 4 ХАЭС (в 2010 г.). Результаты исследований зообентоса водоемов-охладителей АЭС были использованы при подготовке документа «Концепция безопасной эксплуатации энергоблоков Хмельницкой АЭС в условиях наличия биологических помех», а также Стандарта предприятия СТП 0.03.088-2010 «Порядок разработки регламента гидробиологического мониторинга водоема-охладителя, систем охлаждения и системы технического водоснабжения АЭС с реакторами типа ВВЭР». Результаты исследований могут быть использованы в разработке рекомендаций по снижению биопомех в работе оборудования АЭС, а также при подготовке учебных курсов по общей и технической гидробиологии в высших учебных заведениях.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационная работа является самостоятельным научным исследованием, выполненным автором. Самостоятельно осуществлен сбор полевого материала, его обработка и анализ. Всего самостоятельно обработано 310 количественных и качественных проб. Проанализированы литературные источники и сделано обобщение по теме работы.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертации были представлены на многих международных и украинских научных и научно-практических конференциях, в частности: «Проблемы гидроэкологии на рубеже веков» (Санкт-Петербург, 2000), «VIII Ogólnopolskie warsztaty bentologiczne» (Warszawa – Mikolajki, Poland, 2001), «Биоразнообразие и роль зооценозов в естественных и антропогенных экосистемах» (Днепропетровск, 2003), «Моллюски: результаты, проблемы и перспективы исследований» (Житомир, 2006), «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Минск – Нарочь, 2007, 2011), «Мониторинг природных и техногенных сред» (Симферополь, 2008), «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (г. Санкт-Петербург, 2011) и других, а также на научных семинарах Института гидробиологии НАН Украины.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 52 научных работы, из них две коллективные монографии, 11 статей, опубликованных в специальных изданиях, остальные – в других научных журналах, материалах конференций и съездов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из вступления, 6 разделов, выводов, списка использованных источников (283 источника, из них 62 на иностранных языках) и одного приложения. Полный объем диссертации – 230 страниц, в том числе 30 стр. – список использованных источников, 6 стр. – приложение, в котором представлен таксономический список зообентоса. Работа содержит 34 таблицы и 73 рисунка.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗООБЕНТОСА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ТЭС И АЭС**

В разделе представлен обзор литературных данных, касающихся проблем влияния ТЭС и АЭС на гидроэкосистемы, в частности на бентосную подсистему. Исследования «теплового загрязнения» привлекли широкое внимание ученых, начиная с 1950–1960 гг., что было вызвано интенсификацией строительства в энергетике во многих странах мира

(Пидгайко и др., 1967, Kennedy, 1967). Комплексные гидробиологические исследования были развернуты практически на всех водоемах-охладителях крупных тепловых электростанций Украины (Кафтанникова, 1978). Изучением водоема-охладителя Чернобыльской АЭС и исследованиями в связи с проектными разработками строительства Южно-Украинского энергокомплекса в конце 1970-х годов было положено начало гидробиологическим исследованиям на объектах атомной энергетики Украины (Кафтанникова и др., 1987, Протасов и др., 1988, Гидробиология..., 1991). В настоящее время гидробиологические исследования водоемов-охладителей АЭС Украины проводятся в связи с необходимостью введения новых мощностей и в рамках разработки подходов к созданию гидробиологического и экологического мониторинга техно-экосистем ТЭС и АЭС, особенно в условиях появления видов-инициаторов биопомех (Техно-экосистема..., 2011).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Характеристика бентали исследованных водных объектов и использованные материалы.** Проведено исследование зообентоса разнотипных водных объектов, вода которых используется для охлаждения агрегатов четырех АЭС Украины: трех действующих (Ровенской, Хмельницкой, Южно-Украинской) и Чернобыльской, которая с декабря 2000 г. выведена из эксплуатации, а также Трипольской ТЭС. Дополнительно проведено обследование техно-экосистемы Запорожской АЭС.

Река Стырь, являющаяся объектом водопользования Ровенской АЭС (РАЭС), на исследованном участке 30-км зоны (с. Колки – с. Крымное) имела ложе шириной 30–40 м, с резким увеличением глубины от берега. В медали глубины составляли 1,9–2,5 м (максимальная до 6 м), на прибрежных участках – 0,7–2,5 м, скорость течения 0,4–0,7 м/с, средний за год расход воды 35,3–41,4 м<sup>3</sup>/с. Грунты медали р. Стырь представлены песками, прибрежные участки – песками разной степени заиления, в технических водных объектах РАЭС – илами. Придонная температура в р. Стырь колебалась от 18,2 до 19,5°C, на участке непосредственного влияния сбросных вод – достигала 34°C, при последующем разбавлении снижалась до 26,2°C. На РАЭС действует обратная с градирнями система охлаждения, на время исследований функционировало 3 энергоблока. В реку Стырь РАЭС сбрасывает подогретые воды общим объемом 0,2 м<sup>3</sup>/с (около 1,2% от среднего расхода воды в реке в межень).

Трипольская ТЭС (ТТЭС) расположена на правом берегу средней части Каневского водохранилища (район г. Украинка). На ТТЭС работает шесть энергоблоков с прямоточной системой охлаждения, расходы воды ТТЭС летом составляют свыше 40 м<sup>3</sup>/с. Исследованный прибрежный участок Каневского водохранилища (около 1,5 км) в основном укреплен бетоном, от глубины 1 м вегетируют погруженные ВВР. Отбор проб зообентоса проводили на глубине 0,1–7,0 м, температура была в пределах 22,0–26,9°C, в сбросном бассейне – 28,7–32,0°C. Разница между температурой воды на участке выше и ниже ТТЭС в среднем составляла 1,6°C.

Водоем-охладитель Хмельницкой АЭС (ХАЭС) – искусственный водоем объемом 120 млн. м<sup>3</sup> и площадью 20 км<sup>2</sup> (по проектным данным), образованный на р. Гнилой Рог, заполненный дополнительно водами р. Горынь. При исследованиях в охладителе были выделены пять районов: северный (приплотинный), западный, центральный, восточный и южный. Грунты ВО ХАЭС в целом представляют собой пески разной степени заиления, глубоководные участки покрыты илом с растительными остатками, дно технических сооружений (подводящий и отводный каналы) представлено заиленным песком и гравием. Придонная температура колебалась в пределах 16,8–32,0°С.

Водоем-охладитель Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС), искусственно созданный, заполненный водой р. Южный Буг, площадью 8,6 км<sup>2</sup> и объемом 86,0 млн. м<sup>3</sup>. ЮУАЭС имеет оборотную систему охлаждения, на станции функционирует три энергоблока. Грунты в верховье представлены сильно заиленными песками с растительными остатками, в районе сброса – песками, в центральной части – заиленным гравием. Исследования зообентоса проводили на глубинах 2,5–16,0 м. Максимальной температура была на участке сброса подогретой воды, на центральных та приплотинных участках – 32,0°С, в верховье – 28,0°С.

Водоем-охладитель Запорожской АЭС (ЗАЭС) имеет объем при НПУ 47,0 млн. м<sup>3</sup>, площадь – 8,2 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 5,0 м, от Каховского водохранилища отделен песчаной намывной дамбой шириной 400 м. На ЗАЭС функционирует шесть энергоблоков мощностью 1000 МВт каждый, система охлаждения АЭС оборотная и базируется, кроме ВО, на брызгальных устройствах и градирнях. Подпитка ВО осуществляется из отводящего канала Запорожской ТЭС, продувка охладителя в Каховское водохранилище с 2004 г. проводится постоянно. Температура в ВО (30.09–5.10.2011 г.) составляла 22,8–29,5°С, в Каховском водохранилище – 15,3°С. Грунты в ВО представлены заиленными песками локально с включением створок дрейссены.

Водоем-охладитель Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) является также искусственным, создан на участке правобережной поймы р. Припяти, площадь составляет 21,7 км<sup>2</sup>, объем – 149 млн. м<sup>3</sup>. Исследования зообентоса проводили на глубинах 0,5–13,0 м, грунты представлены песками разной степени заиления, на значительных глубинах – глинистыми илами, температура придонной воды составляла 21,0–27,5°С.

В диссертации использованы материалы исследований зообентоса, проведенных на протяжении летних периодов 1997–2011 гг. Пробы зообентоса на р. Стырь отбирали в 2000 г. выше и ниже по течению от сброса РАЭС (на разрезах – медиаль, рипаль) и в технических водных объектах – илоотстойнике водозабора и в открытом подводящем канале. Исследование в районе ТТЭС проводили в 2001 и 2004 гг. на участке Каневского водохранилища выше и ниже сброса подогретой воды, а также в подводящем канале, сбросном бассейне и водоемах золоотвала. Исследования на ВО ХАЭС проводили по всей акватории водоема, в подводящем и отводящем каналах, в районе дамбы на р. Гнилой Рог в 1998, 1999 и 2001 гг., когда функционировал только один блок АЭС (первый период); и в 2005–2007 гг. (второй период), когда в охладителе существенно изменились условия

существования гидробионтов в связи с увеличением техногенной нагрузки и благодаря вселению в водоем двустворчатого моллюска дрейссены. Исследование в ВО ЮУАЭС проводили в 1997 г., пробы отбирали на центральном участке, в районе сброса подогретой воды, в верховье и на приплотинном участке. Исследования в водоеме-охладителе ЧАЭС проводили в 2002 г. по всей акватории водоема и в районе подводящего и отводящего каналов на 7 разрезах (трансектах).

**Методы исследований.** Для отбора проб зообентоса использовали дночерпатель СДЧ-100 и коробчатый пробоотборник с рабочей площадью 0,01 м<sup>2</sup>, а также дночерпатель Петерсена площадью 0,0225 м<sup>2</sup>. В охладителе ХАЭС частично отбор проб проводили с использованием водолазного снаряжения, при этом использовали рамки площадью 0,25 и 0,096 м<sup>2</sup>. Пробы фиксировали 4%-ым раствором формальдегида. В процессе работы над диссертацией не были нарушены биоэтические нормы.

Идентификацию беспозвоночных проводили с использованием ряда определителей (Определитель пресноводных..., 1977, 1994, 1995, 1997, 1999 та др.). При описании таксономического состава зообентоса использовали термин НОТ – низший определяемый таксон (Баканов, 1997). Расчеты количественных показателей гидробионтов проводили с использованием пакета программ WaCo для ПЭВМ (Protasov et al., 1999). Для анализа полученных данных использовали общепринятые в гидробиологии коэффициенты и индексы: Смирнова, Серенсена, Чекановского – Серенсена (в количественной модификации), Шеннона (H), Пантле – Букк (S<sub>PB</sub>), Гуднайта – Уитлея (GW), Вудивисса (ТВІ). Уровень развития зообентоса по грациям показателей обилия определяли по (Методи гідроекологічних..., 2006). Для определения качества среды использовали комбинированные индексы Е. В. Балушкиной (IP) (Балушкина, 1997), загрязнения (КИЗ) и индекс состояния сообщества (КИСС) (Баканов, 1997). Оценку качества воды по гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам осуществляли по методике (Методика екологічної..., 1998).

### **КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ТЭС И АЭС**

**Таксономический состав зообентоса исследованных водных объектов.** Всего в зообентосе исследованных водных объектов зарегистрировано 217 таксонов разного ранга (из них определены 156 видов) из 26 групп. Наибольшим количеством таксонов характеризовались личинки хирономид (57 НОТ) и олигохеты (43 НОТ). В лотических условиях (р. Стырь) и на участке Каневского водохранилища доля олигохет в общем количестве НОТ была несколько ниже, чем в водоемах-охладителях, доля личинок хирономид была практически одинаковой во всех водных объектах. Во всех водоемах встречалось лишь 6 НОТ беспозвоночных бентоса – *Hydra* sp., Tubificidae juv., Ostracoda, *Procladius ferrugineus* Kieff., *Leptochironomus tener* (Kieff.) и *Chironomus plumosus* L. Наименьшим количеством таксонов характеризовался зообентос ВО ЮУАЭС и ЗАЭС, количество таксонов в остальных водных объектах было сходным (табл. 1).



Таксономический состав зообентоса ВО ЮУАЭС и р. Стырь выделяются в отдельные кластеры, наличие дрейссены и ракообразных определило выделение в отдельную группу зообентоса ВО ЧАЭС и участка Каневского водохранилища, подобным был таксономический состав зообентоса ВО ХАЭС до и после вселения дрейссены, то есть ее появление совместно с увеличением термической нагрузки в значительной мере не повлияло на таксономическое богатство зообентоса.

Таблица 1.

### Показатели таксономической структуры зообентоса исследованных водных объектов

Показатели	РАЭС	ТТЭС	ХАЭС		ЧАЭС	ЮУ АЭС	ЗАЭС
			А	Б			
Количество НОТ	95	77	86	97	93	15	20
Количество групп	18	22	18	17	18	6	7
Доля НОТ Oligochaeta, %	18	19	26	29	31	33	36
Доля НОТ Chironomidae, %	33	34	32	31	28	33	36
НОТ/станцию	10,8	12,6	11,2	13,8	19,3	3,2	5,4
Количество НОТ понто-каспийского комплекса	–	12	–	1	10	–	–
Таксономическое разнообразие, бит/НОТ	1,8	2,3	1,9	2,3	2,4	0,8	1,5
Количество НОТ с встречаемостью >50%	2	7	5	7	10	–	3

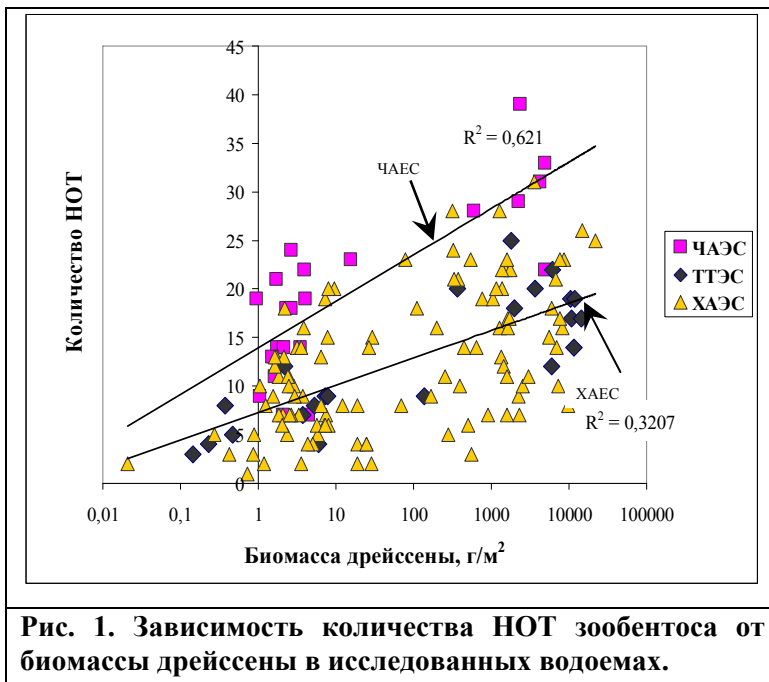
Примечание. Здесь и далее: А – первый период (1998, 1999, 2001 гг.); Б – второй период (2005–2007 гг.).

Представители понто-каспийского комплекса беспозвоночных зарегистрированы на участке Каневского водохранилища, в ВО ЧАЭС и ХАЭС, что связано с их распространением по каскаду днепровских водохранилищ. В первых двух водных объектах ракообразные и полихеты в основном ассоциированы с поселениями дрейссены, в охладителе ХАЭС зарегистрирован лишь один вид этого комплекса – *Dreissena polymorpha* Pall.

Четкой линейной зависимости количества НОТ зообентоса от температуры в исследованных водных объектах зарегистрировано не было. Наибольшее количество таксонов было отмечено в средней части исследованного температурного диапазона: при температуре 25–27°C – до 46 НОТ. Четко выраженная отрицательная линейная зависимость количества НОТ от глубины была зарегистрирована только в ВО ЧАЭС и ХАЭС. Наибольшим таксономическим богатством характеризовались пески средней степени заиления. В зоне непосредственного влияния сбросного потока подогретой воды РАЭС количество НОТ было минимальным: зарегистрированы лишь ювенильные тубифициды, то есть снижение количества НОТ определяется как термическим, так и гидродинамическим факторами.

Важную роль в формировании таксономического богатства зообентоса играет такой биотический фактор, как наличие дрейссены. Этот моллюск формирует пространственно сложные поселения, в которых обитает большое количество беспозвоночных. В исследованных водных объектах можно отметить возрастание количества НОТ с увеличением биомассы дрейссены (рис. 1).

В исследованных водных объектах таксономическое разнообразие колебалось от 0 (одна таксономическая группа) до 3,5 бит/НОТ (ХАЭС, 14 групп). В целом распределение значений индекса Шеннона имело тенденцию к снижению с увеличением глубины. Выравненность  $H_{\text{такс}}$  во всех водоемах была достаточно высокой –  $0,84 \pm 0,01$ , что свидетельствует об относительно равномерном распределении количества НОТ в группах, и практически не зависела от глубины ( $r = -0,06$ ). То есть, снижение таксономического разнообразия с увеличением глубины определяется снижением количества НОТ.



**Рис. 1. Зависимость количества НОТ зообентоса от биомассы дрейссены в исследованных водоемах.**

**Количественные показатели зообентоса исследованных водных объектов.** Распределение показателей обилия во всех исследованных водных объектах независимо от их типа имело значительную пространственную гетерогенность. В медиали р. Стырь количественные показатели были ниже (1667–5900 экз/м<sup>2</sup>, 0,34–2,21 г/м<sup>2</sup>), чем в рипали (1617–7000 экз/м<sup>2</sup>, 0,63–36,61 г/м<sup>2</sup>) и на приурезных участках (4500–42313 экз/м<sup>2</sup>, 3,71–2506,06 г/м<sup>2</sup>), а на участке сброса подогретых вод РАЭС составляли 1300 экз/м<sup>2</sup> и 0,46 г/м<sup>2</sup>.

Уровень обилия зообентоса участка Каневского водохранилища в районе ТТЭС был достаточно высоким за счет наличия дрейссены двух видов (*D. polymorpha*, *D. bugensis*). Численность и биомасса зообентоса на участке ниже ТТЭС (соответственно  $50688 \pm 8489$  экз/м<sup>2</sup>,  $10022,31 \pm 2151,74$  г/м<sup>2</sup>) были больше, чем на участке выше ТЭС ( $25163 \pm 5822$  экз/м<sup>2</sup>,  $6109,04 \pm 1710,41$  г/м<sup>2</sup>). При этом *D. bugensis* преобладала над *D. polymorpha*, численность первой составляла 81,7–98,6%, биомасса – 89,2–99,9% суммарных показателей двух видов дрейссены. Среди остальных беспозвоночных наибольшими показателями обилия характеризовались олигохеты и личинки хирономид, а среди видов понто-каспийского комплекса – полихеты (48,7–62,3%) и разноногие раки (42,4–91,8% количественных показателей этой группы). Таким образом, в случае прямочного водоснабжения энергетической станции, незначительное, но хроническое влияние повышенной температуры сбросных вод приводит к определенному повышению обилия зообентоса. В технических водных объектах показатели численности и биомассы уменьшаются; в сбросном бассейне и водоемах золотвала они были соответственно в 10 и 20 раз ниже, чем на участке Каневского водохранилища.

Численность беспозвоночных зообентоса ВО ХАЭС в первый период изменялась в пределах 400–53890 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 0,01–64,96 г/м<sup>2</sup> (в «мягком» зообентосе) и до 770,92

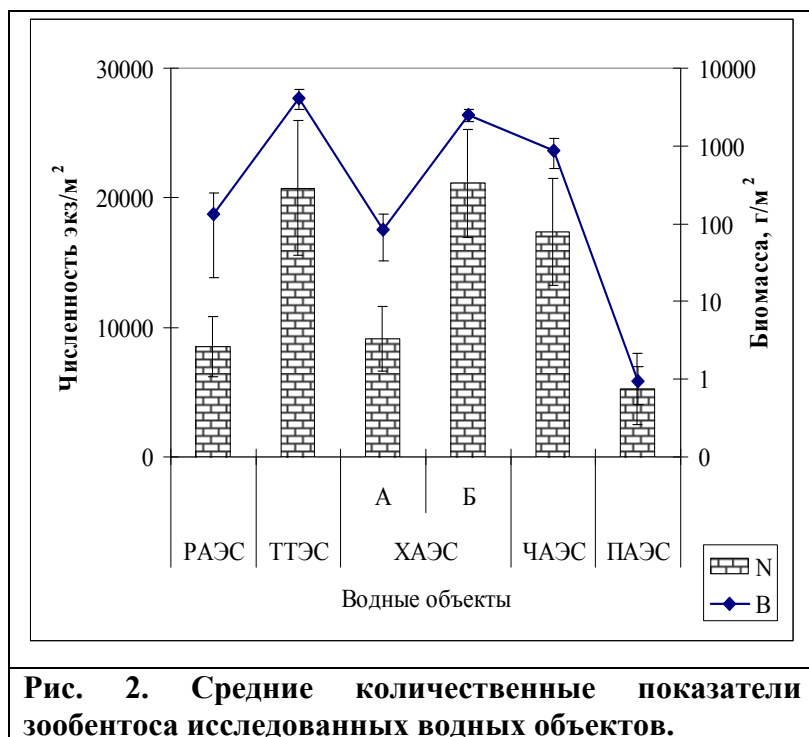
г/м<sup>2</sup> (с учетом биомассы моллюсков сем. Unionidae). По количественным показателям доминировали тубифициды и личинки хирономид (в основном *C. plumosus*). Во второй период средние показатели обилия возросли: численность – в 2,5 раза (за счет олигохет и личинок насекомых (кроме хирономид)), биомасса – в 7,1 раза за счет появления дрейссены, биомасса «мягкого» зообентоса осталась на том же уровне, что и в первый период исследований. На протяжении 2005–2007 гг. доминирование дрейссены в донных группировках по биомассе (а местами и по численности) было крайне высоким. На относительно мелководных западном, восточном и южном районах охладителя на глубинах 2–4 м сосредоточены наиболее массовые поселения дрейссены донных группировок.

Показатели обилия зообентоса ВО ЮУАЭС были относительно невысокими, особенно биомасса, и значительно колебались на разных участках водоема: численность – от 100 до 25600 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – от 0,01 до 4,37 г/м<sup>2</sup>. Максимальная биомасса зообентоса зарегистрирована в верховье водоема на заиленном гравии с растительными остатками, лишь здесь встречались личинки хирономид, по биомассе доминировал *C. plumosus* (64,1% общей), по численности преобладали олигохеты сем. Naididae (55,8%). В отводящем канале, в условиях высоких температур ( $t = 35,9^{\circ}\text{C}$ ), зарегистрированы лишь гидры и олигохеты.

На протяжении второго сезона после снятия термической нагрузки средняя численность зообентоса ВО ЧАЭС изменялась следующим образом: на глубине 0,8–1,0 м она составляла  $8880 \pm 4240$  экз/м<sup>2</sup>, на глубине 3 м – возросла до  $38126 \pm 7929$  экз/м<sup>2</sup>, а затем последовательно снижалась до  $14673 \pm 6598$  (на 5 м) и  $4000 \pm 740$  экз/м<sup>2</sup> (на 10 м). Средняя биомасса для горизонтов 0,8–1,0 м и 10 м были очень близкими – соответственно  $2,37 \pm 0,74$  г/м<sup>2</sup> и  $2,28 \pm 0,49$  г/м<sup>2</sup>, в первом случае доминировали личинки хирономид нескольких видов, во втором – *C. plumosus*. На двух других глубинах (соответственно 3 и 5 м) в среднем биомасса также мало отличалась:  $1898,11 \pm 919,07$  г/м<sup>2</sup> и  $1132,02 \pm 716,02$  г/м<sup>2</sup>. По глубине и по зонам общая биомасса изменялась симметрично относительно распределительной дамбы. На глубине 3 м в «холодной» зоне охладителя средняя биомасса зообентоса составила  $3792,85 \pm 795,80$  г/м<sup>2</sup>, а в других зонах – всего  $3,36 \pm 0,62$  г/м<sup>2</sup>. На глубине 5 м – напротив, в «теплой» зоне биомасса была значительно выше, чем на других трансектах –  $2634,35 \pm 1270,40$  г/м<sup>2</sup>. Высокую биомассу зообентоса на глубине 3 и 5 м определяли моллюски, в основном – *D. bugensis*. Такое распределение биомассы зообентоса является отображением особенностей распределения дрейссены при условиях функционирующего водоема-охладителя, то есть наличия подогрева. Увеличение численности видов-консортов коррелировало с увеличением биомассы дрейссены.

Близкими значениями численности и биомассы характеризовался зообентос водных объектов района РАЭС и водоема-охладителя ХАЭС (первый период), а по численности – и водоем-охладитель ЮУАЭС (рис. 2). Значительно более высокими показателями обилия характеризовались водные объекты ТТЭС, ХАЭС (второй период) и ЧАЭС, что связано с доминированием дрейссены. Во всех водных объектах основными группами, которые

определяли общую численность, были олигохеты, двустворчатые моллюски, личинки хирономид и ракообразные, общую биомассу – моллюски, в основном дрейссена. Исключением был ВО ЮУАЭС, где по численности доминировали гидры, а по биомассе – личинки хирономид. Биомассу «мягкого» зообентоса практически во всех водных объектах определяли олигохеты и личинки хирономид (*C. plumosus*), зообентос ВО ЧАЭС отличался доминированием ракообразных (59,0% биомассы «мягкого» зообентоса).



**Рис. 2. Средние количественные показатели зообентоса исследованных водных объектов.**

Установлено, что в градиенте абиотических факторов распределение биотических показателей в основном имело куполообразный вид, где оптимум отвечал определенным средним значениям абиотического фактора (температуры, глубины), а также типа грунта. Максимальная численность и биомасса зарегистрированы при температуре около 25°C (которая не является характерной для придонных температур естественных водоемов), на глубинах 3–5 м и на заиленных песках.

Анализ зависимости численности от биомассы зообентоса в исследованных водных объектах выявил некоторую специфичность – с ростом биомассы до сотен г/м<sup>2</sup> численность увеличивается медленнее, чем при биомассе выше 100 г/м<sup>2</sup>. Второй диапазон характеризуется наличием в зообентосе дрейссены, то есть относительно незначительный рост биомассы (дрейссены) предопределяет быстрое увеличение численности. Это объясняется тем, что дрейссена, как средообразующий организм, увеличивает пространственную гетерогенность, улучшает условия (в т.ч. трофические) для подвижных форм беспозвоночных, создает значительные площади твердого субстрата, важные для роста собственной популяции.

На основании изучения показателей обилия выделены три типа структуры и уровня развития зообентоса. Для оценки уровня развития зообентоса по грациям количественных показателей рассчитали средний балл – как среднее арифметическое баллов по отдельным показателям (общая численность и биомасса; биомасса «мягкого» зообентоса, олигохет и хирономид). К первому типу принадлежат водные объекты, где уровень количественных показателей зообентоса выше среднего, а разнообразие по биомассе низкое, что обусловлено наличием выраженного доминанта. Такой уровень определялся влиянием абиотических факторов и значительным влиянием биотического

фактора (развитие доминирующего вида). Второй тип отличается средними показателями обилия и средним уровнем разнообразия по биомассе. В этих водных объектах не зарегистрирована дрейссена, общую биомассу определяли другие двустворчатые моллюски, которые, однако, были локализованы на незначительных, ограниченных участках. К третьему типу можно отнести водоем-охладитель, где зообентос характеризовался средним уровнем численности, предельно низким уровнем биомассы и средним уровнем разнообразия, как по численности, так и по биомассе. В этом случае определяющим для развития зообентоса было значительное влияние абиотических (техногенных) факторов, не приведших, однако, к катастрофическому снижению разнообразия, которое сохранилось на некотором среднем уровне.

### **СООБЩЕСТВА ЗООБЕНТОСА ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

В исследованных водных объектах были выделены девять сообществ зообентоса, которые занимали значительные участки дна и отличались по отдельным параметрам достаточно существенно (табл. 2). Эти сообщества разделены на три группы: дрейссенные (с доминированием *D. bugensis* и *D. polymorpha*), хирономусовые (с доминированием *C. plumosus* и Tubificidae) и прочие – с доминированием крупных перловиц, олигохет и личинок хирономид.

Количество таксонов в выделенных сообществах колебалось от 7 до 65, наименьшим было в сообществах *C.plumosus*+Tubificidae, а наибольшим – в сообществе *D.bugensis*+Corophiidae (ВО ЧАЭС) и *U.tumidus*+Tubificidae (р. Стырь); количество таксономических групп было близким. Во всех сообществах наибольшим количеством НОТ характеризовались олигохеты и личинки хирономид.

Сообщество *Tubificidae*+*P.volki* и с доминированием перловиц отличались бóльшим количеством НОТ личинок насекомых, чем другие. Таксономическое разнообразие в сообществах было на среднем уровне 1,842–3,321 бит/НОТ (в среднем 2,754), что определяется значительным количеством НОТ и групп. Таксономический состав сообществ в целом отличался оригинальностью и определялся типом и условиями водоема – выделяются группировки водотока, участка водохранилища и водоемов-охладителей.

Дрейссенные сообщества в ВО ЧАЭС, ХАЭС и в районе ТТЭС занимали подобные по характеру грунтов и глубин биотопы, средняя температура, при которой они зарегистрированы, составляла 26,8°C. Эти сообщества, независимо от водоема характеризовались, большими количественными и качественными характеристиками, чем хирономусовые.

Таблица 2.

## Сообщества зообентоса в исследованных водных объектах

Сообщества	Водный объект	Грунты	Глубина, м	Количество НОТ	Численность, экз/м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	НОТ-разнообразие		Продукция, кДж/м <sup>2</sup> ·сут
							по N, бит/экз	по B, бит/г	
<i>D. bugensis</i> + Tubificidae	ТТЭС	Заиленный песок	3,0–6,0	35	36800±11616	9642,59±2688,69	3,325	1,050	43,42
<i>D. bugensis</i> + Corophiidae	ВО ЧАЭС	Заиленный песок	3,0–5,7	65	35704±10282	3213,61±718,70	4,129	0,202	24,40
<i>D. polymorpha</i> + <i>Unio</i> + Tubificidae	ВО ХАЭС	Песок	0,9–3,0	40	18358±4892	2366,78±731,90	3,161	0,949	22,99
<i>D. polymorpha</i>	ВО ХАЭС	Песок, заиленный песок	3,0–5,5	34	17727±2576	1993,02±331,49	2,313	0,014	19,48
<i>D. polymorpha</i> + Tubificidae	ВО ХАЭС	Песок, заиленный песок	0,7–5,0	50	12272±1743	443,81±85,63	3,889	0,186	5,05
<i>C. plumosus</i> + Tubificidae	р. Стырь	Ил	2,2–4,0	22	13483±9698	73,64±28,55	2,928	2,114	2,37
	ВО ХАЭС (А)	Ил	7,5–10	7	1592±456	16,27±10,07	2,264	2,765	0,74
	ВО ХАЭС (Б)	Ил, сильно заиленный песок	5,5–12	15	3080±504	10,93±2,89	0,236	0,646	0,65
	ВО ЧАЭС	Глинистый ил	4,8–13,0	28	4519±812	2,17±0,43	2,714	2,710	0,25
<i>U. tumidus</i> + Tubificidae	р. Стырь	Песок, заиленный песок	0,2–0,3	63	21478±7806	655,63±617,01	4,265	1,688	8,06
<i>Unio</i> + Tubificidae	ХАЭС А	Песок, заиленный песок	1,6–4,5	49	13307±6080	112,83±105,83	3,521	2,087	1,05
Tubificidae + <i>P. volki</i>	р. Стырь	Заиленный песок	0,7–6,0	51	3915±821	6,47±4,64	2,554	2,888	0,27
<i>C. mancus</i> + <i>S. histrio</i> + Ostracoda	ВО ЧАЭС	Песок	0,5–3,5	50	19600±5715	2,87±0,49	2,762	4,046	0,49

Примечание. N – численность, B – биомасса.

В сообществах с доминированием *D. polymorpha* в условиях отсутствия ракообразных (ВО ХАЭС) можно выделить ядро сообщества, в которое входили четыре таксона и занимали первые четыре ранга (тубифициды, нематоды, ракушковые раки и *P. ferrugineus*). В сообществах *D. bugensis* такого ядра не выявлено. Дрейссеновые сообщества характеризовались высоким разнообразием по численности (в основном за счет большого количества НОТ) и очень низким разнообразием по биомассе (за счет значительного доминирования). Сообщество *D. bugensis*+Tubificidae в условиях водохранилища в районе ТТЭС характеризовалось разнородностью количественных показателей – численность и биомасса ниже сброса подогретых вод была почти вдвое выше, чем на участках выше ТТЭС, что, очевидно, обусловлено хроническим подогревом.

Во всех водных объектах сообщество *C. plumosus*+Tubificidae локализовано на илистых грунтах и преимущественно – на значительных глубинах. Наибольшая температура, при которой было зафиксировано сообщество составляла 27,0°C (средняя 22,0°C). Для сообщества характерен средний уровень биомассы и разнообразия, однако уровень деструкции и продукции был достаточно низким. Количественные показатели в сообществе *C. plumosus*+Tubificidae разных водных объектов были достаточно близкими, за исключением хирономусового сообщества в водных объектах РАЭС (см. табл. 2), где наличие брюхоногих моллюсков определило более высокие показатели обилия. Особенностью сообщества в ВО ЧАЭС было наличие в доминирующем комплексе разноногих раков и личинок поденок, в ВО ХАЭС – личинок ручейников.

Два сообщества с доминированием перловиц и тубифицид достаточно отличались между собой по количественным показателям (см. табл. 2), хотя имели одинаковых доминантов и полидоминантную структуру по численности.

В дрейссеновых сообществах количество рангов в ранжированном распределении по численности было выше, чем по биомассе. Структура доминирования группировки *C. plumosus*+Tubificidae по биомассе была подобной дрейссеновым: доля доминирующего вида могла достигать более чем 90% (рис. 3).

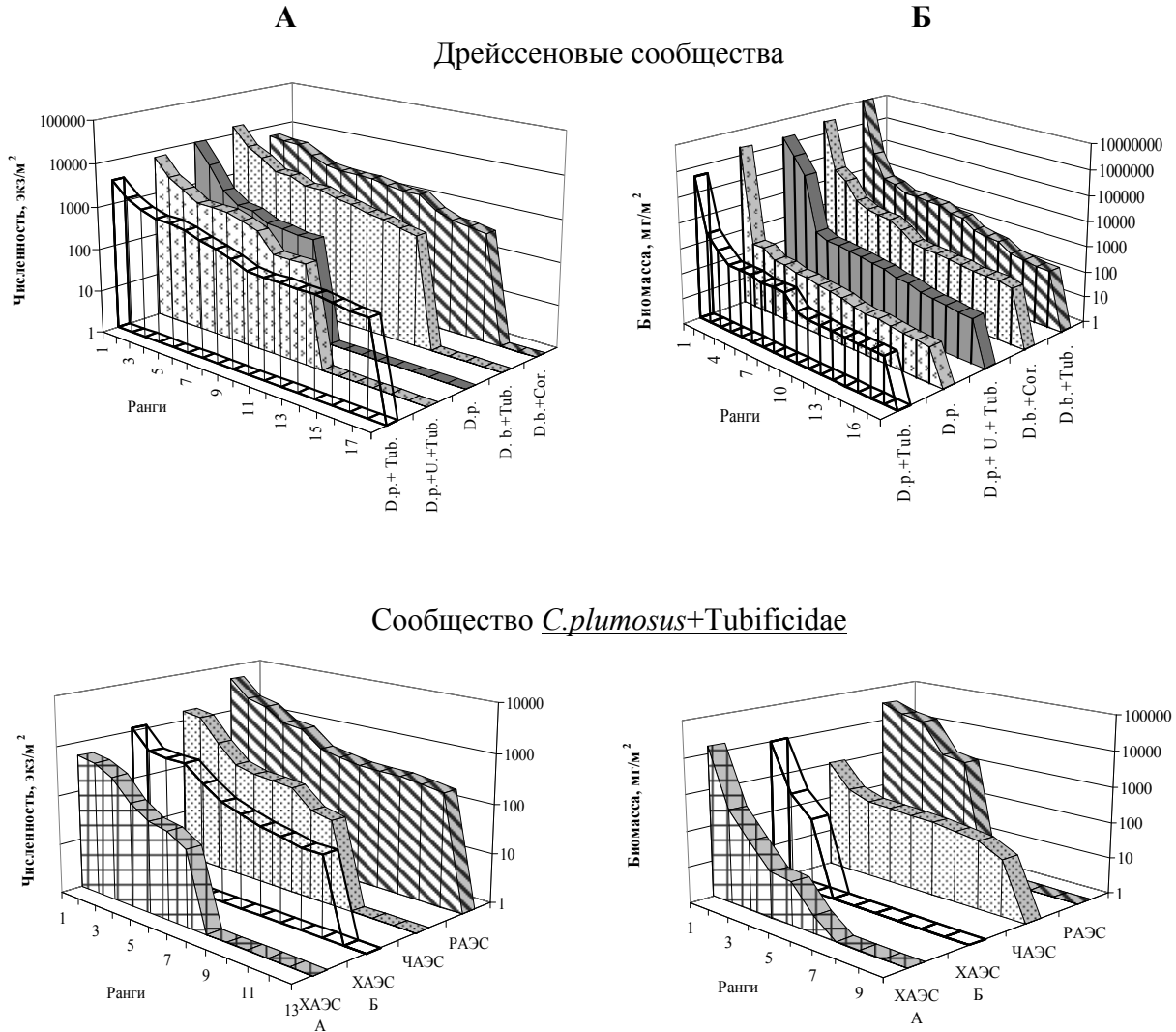
В ранговом распределении беспозвоночных в дрейссеновых сообществах, которые имеют относительную численность более 1%, единого ядра не выделено – одинаковые виды занимали разные ранги, количество рангов в сообществах было разным.

### **ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕНТОСНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ТЭС И АЭС**

Исследованные водные объекты в качестве охладителей используются достаточно давно – первый блок ТТЭС был введен в 1970 г., через два года функционировали все шесть блоков этой станции. Самой первой из АЭС была введена в эксплуатацию Чернобыльская (в 1978 г.), последней начала работать Хмельницкая (в 1987 г.).

В условиях большого водоема – водохранилища на участке влияния энергетической станции (ТТЭС), где определенные технические решения (эжекторное сооружение) уменьшают влияние дополнительной температуры, существенных изменений в зообентосе на протяжении значительного промежутка времени не происходит. Так, исследования

1980–1990-х годов (Гидробиология..., 1991, Плигин, 2005) показали, что численность зообентоса была порядка десятков тыс. экз/м<sup>2</sup>, а общая биомасса – нескольких кг/м<sup>2</sup> (с доминированием дрейссены). Наши данные показывают достаточно близкие значения обилия зообентоса этого участка.



**Рис. 3. Ранговое распределение численности (А) и биомассы (Б) в дрейссенных и хирономусовых сообществах. Количество рангов соответствует количеству таксонов с численностью и биомассой > 1% общих показателей. Количество рангов для биомассы дрейссенных сообществ соответствует таковой по численности.**

Развитие зообентоса ЧАЭС прошло несколько периодов – эксплуатация ВО первой и второй очереди в доаварийный период, нестабильная эксплуатация в послеаварийный и период после выведения АЭС из эксплуатации (Гидробиология..., 1991, Модельні..., 2002). К 2002 г. количество НОТ зообентоса увеличилось в три раза относительно доаварийного периода, биомасса дрейссены снизилась в 6–8 раз, а количественные показатели «мягкого» зообентоса выросли и оставались стабильными на протяжении 1999–2002 гг. Можно



констатировать увеличение богатства зообентоса и на период наших исследований (в 2002 г.) оно было максимальным.

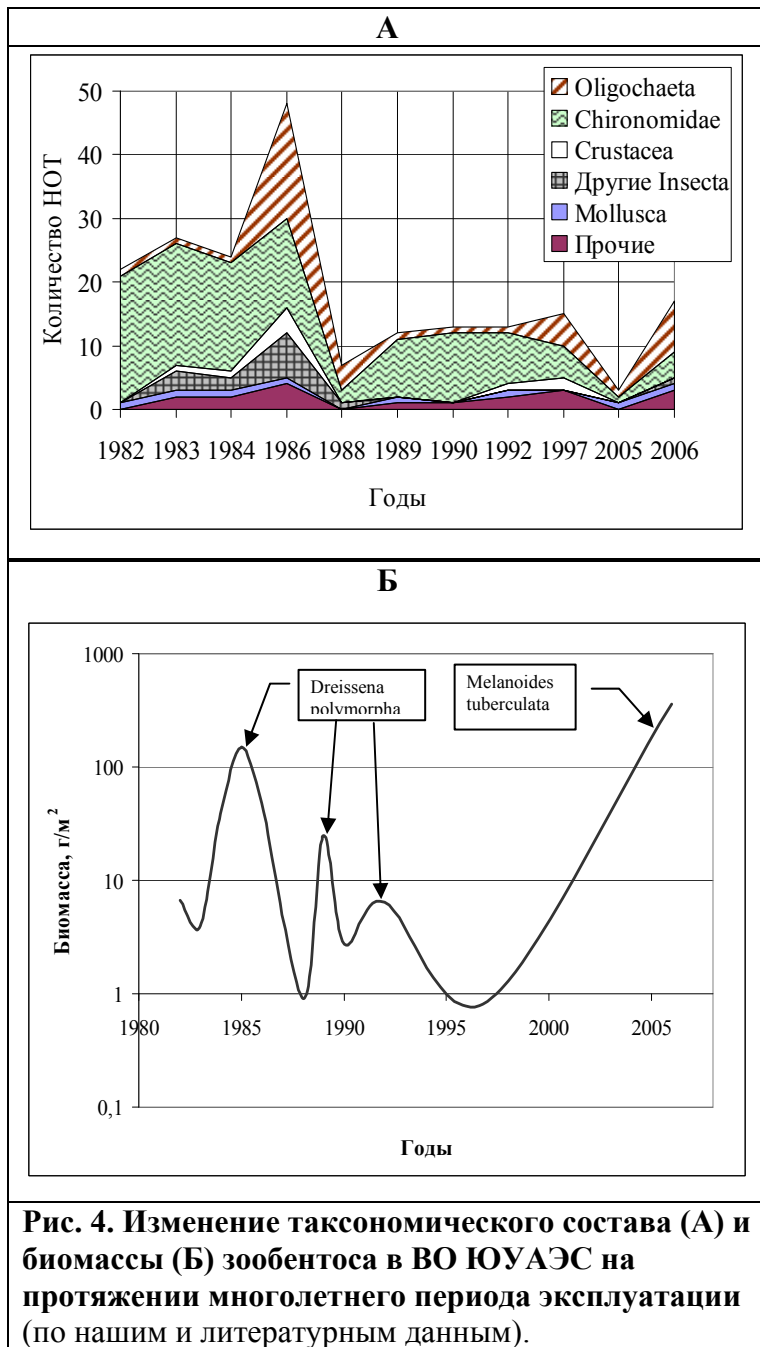
Зообентос ВО ХАЭС в период 1998–2001 гг. (функционирование одного блока) находился в определенном стабильном состоянии, существенных изменений не происходило. В условиях усиления техногенной нагрузки (в 2005–2011 г.) и влияния биотического фактора (вселение дрейссены), в зообентосе отмечено увеличение количества таксонов, существенно возросла общая биомасса зообентоса именно за счет дрейссены. Развитие популяции дрейссены в условиях инвазии за достаточно короткий период является очень динамичным – после быстрого роста, в настоящее время количественные показатели снижаются, особенно в зонах подогрева.

В охладителе ЮУАЭС в начальный период существования водоема основу количественных показателей зообентоса составляла дрейссена (Гидробиология..., 1991). Биомасса моллюска в 1985–1986 гг. составляла около  $300 \text{ г/м}^2$ , поселения дрейссены отмечались даже на участке сброса подогретых вод. После полной элиминации (в 1986 г.) дрейссена в 1989–1992 гг. появлялась локально, но к 1997 г. исчезла полностью и не встречается до настоящего времени. На период наших исследований показатели обилия зообентоса в среднем составляли  $5267 \text{ экз/м}^2$  и  $0,96 \text{ г/м}^2$ . По данным исследований 2005–2006 гг. (Слепнев и др., 2007), количественные показатели «мягкого» зообентоса колебались в пределах  $0,10\text{--}3,70 \text{ г/м}^2$ , а средние значения общей биомассы в 2006 г. достигли уровня, отмеченного в 1986 г. – около  $350 \text{ г/м}^2$  за счет развития тропического брюхоногого моллюска-вселенца *Melanoides tuberculata* (Müller) (рис. 4).

Следовательно, за период существования водоема-охладителя ЮУАЭС его экосистема изменялась в зависимости от степени техногенной нагрузки, в частности термической. На начальных этапах эксплуатации охладителя подогрев положительно повлиял на развитие зообентоса, особенно за счет дрейссены. На современном этапе качественные и количественные характеристики зообентоса невысокие, а общую биомассу определяет инвазийный вид *M. tuberculata*.

Проведенное в 2011 г. обследование зообентоса ВО ЗАЭС показало, что он достаточно беден как в таксономическом, так и в количественном отношении, а максимальные численность и биомасса отмечены на участках, наиболее отдаленных от сброса подогретой воды. Сравнивая с результатами предыдущих исследований (Калиниченко и др., 1998), можно констатировать, что зообентос ВО ЗАЭС на протяжении значительного периода времени эксплуатации (1995–2011 гг.) находится в стабильном состоянии с низким уровнем обилия.

Анализ имеющегося материала показал, что в техно-экосистемах отсутствуют «типичные» предсказуемые сукцессионные процессы в бентосной подсистеме, поэтому необходимым является проведение постоянных исследований и организация гидробиологического мониторинга. Большинство существенных изменений в зообентосе техно-экосистем Украины, как видно на примере ХАЭС и ЮУАЭС, происходит при участии инвазивных видов.



Изменения зообентоса во времени в водных объектах, подверженных влиянию ТЭС и АЭС, можно охарактеризовать следующим образом (в соответствии со степенью влияния техногенных и других факторов): 1) в условиях большого водохранилища, на участке влияния подогретых вод ТЭС, существенные изменения зообентоса на протяжении длительного времени незначительны и определяются общеводоемными процессами (Трипольская ТЭС); 2) незначительное и хроническое техногенное влияние в водоеме-охладителе вызывает значительных изменений в зообентосе не вызывает (ХАЭС); 3) при сильном и постоянном техногенном воздействии происходит деградация донного населения, однако низкий уровень развития зообентоса может поддерживаться на протяжении длительного промежутка времени (ЮУАЭС, ЗАЭС); 4) при снятии техногенной нагрузки происходит восстановление бентосной подсистемы, увеличение таксономического богатства (ЧАЭС).

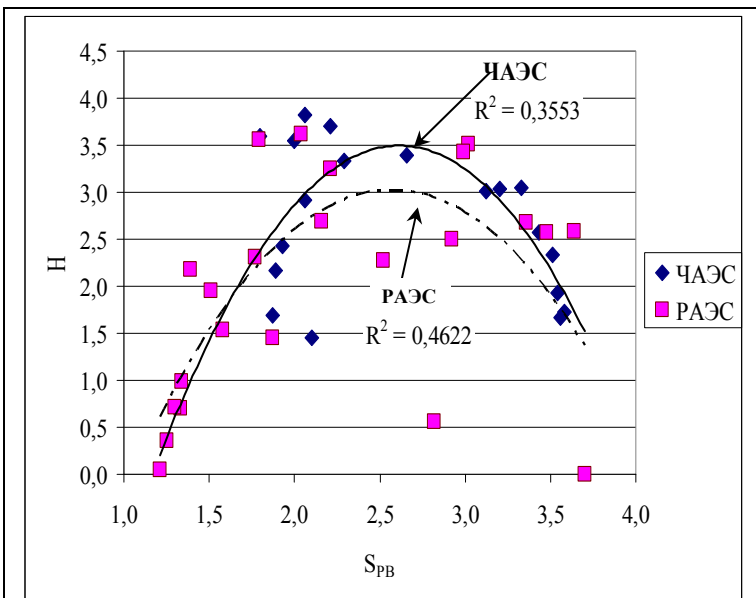
## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ОРГАНИЗМАМ ЗООБЕНТОСА

В техно-экосистемах, где факторы влияния являются неизбежными в связи с техническим назначением водоемов, особенно важна оценка уровня и последствий техногенного влияния. Используемые индексы для оценки качества среды исследованных водных объектов, которые учитывают отдельные характеристики зообентоса, дали значительный разброс результатов. Так, в условиях р. Стырь индекс GW недостаточно адекватно отображал качество среды из-за высокой численности олигохеты *P. volki*, обитателя достаточно чистых вод. Значения индексов  $S_{PB}$  и GW для охладителя ХАЭС (в 1999 г.) лишь в 29% случаев отвечали одинаковым категориям качества вод, и

коэффициент корреляции между ними был невысоким –  $-0,52$ . Категории качества воды по индексу GW полностью не совпадали с таковыми для  $S_{PB}$  и TBI. Используемые комбинированные индексы (IP и КИЗ) в условиях реки отражали негативное влияние сброса подогретой воды РАЭС на качество среды и индицировали «умеренно загрязненную» среду в технических водных объектах РАЭС.

Исследования техно-экосистем показали определенные закономерности связи показателей разнообразия с показателями сапробности. Зависимость индекса сапробности от разнообразия в условиях реки и в ВО ЧАЭС можно аппроксимировать унимодальной кривой. При этом в  $\beta^1$ – $\beta^2$ -мезосапробной зоне (индекс сапробности 1,8–2,2, мезо-эвтрофные условия) отмечено возрастание НОТ-разнообразия зообентоса. В водоемоохладителе ХАЭС индекс разнообразия снижался с увеличением сапробности (в диапазоне 2–4), как в первый, так и во второй периоды. То есть, наличие вида-эдификатора (дрейссены) в целом не повлияло на картину изменения разнообразия в градиенте сапробности. Дрейссеновые поселения расположились в диапазоне сапробности 2,5–3,0, высокие значения индекса, как и в первый период, определяло доминирование полисапробов (например *S. plumosus*).

Изменение разнообразия в градиенте сапробности связано со значительными перестройками в структуре сообществ зообентоса. Как при олигосапробных, так и полисапробных условиях зообентос характеризуется наличием одного-двух доминантов и низким видовым богатством. Наибольшим количеством видов, высокими значениями разнообразия, полидоминантной структурой зообентоса отличается  $\beta$ -мезосапробная зона.



**Рис. 5. Изменения разнообразия (бит/экз) в градиенте сапробности в двух исследованных водных объектах.**

Применение методики экологической оценки качества поверхностных вод по эколого-санитарным критериям дало возможность получить характеристики, которые базируются на сравнении нескольких как биотических, так и абиотических показателей. В ВО ХАЭС по среднему индексу можно констатировать улучшение качества воды в 2006 г. (относительно 1999 г.), в частности, на выходе отводящего канала, а эколого-санитарное состояние водоемоохладителя характеризовалось показателями, которые в основном

отвечали классу «чистых» вод (категории «чистые – достаточно чистые воды»). Индекс сапробности по организмам зообентоса отвечал наихудшему качеству воды относительно

других показателей, то есть оценка по зообентосу отображает более «грязные» условия. Вместе с этим, учитывая соответствие уровня развития зообентоса определенной трофности (по (Методи гідроекологічних..., 2006)), можно отметить, что во второй период исследований трофность ВО ХАЭС увеличилась и по среднему индексу развития зообентоса стала соответствовать разряду «эв-политрофная». Таким образом, при условии увеличения нагрузки на водоем, оценка по эколого-санитарным критериям показала улучшение качества водной среды, а развитие зообентоса показало ухудшение. Как показали комплексные исследования (Техно-экосистема..., 2011), ВО ХАЭС получает значительное количество биогенных веществ, что вызывает эвтрофирование водоема. Таким образом, именно оценка по показателям зообентоса дает наиболее адекватную оценку состояния среды.

Использование методики экологической оценки в лотических условиях не выявило влияния сбросных вод РАЭС на экосистему водотока, за исключением технического объекта РАЭС (отводящий канал). Участки р. Стырь выше и ниже РАЭС характеризовались близкими значениями среднего индекса качества воды, а оценка по организмам зообентоса отображала не наилучшее качество воды.

В целом, при оценке качества среды с использованием разных индексов по организмам зообентоса отводящие каналы, как наиболее технозависимые участки техно-экосистемы и участки непосредственного влияния подогретой воды, являются наиболее загрязненными.

## ВЫВОДЫ

1. Богатство и уровень развития зообентоса водных объектов, подверженных влиянию тепловых и атомных электростанций, в значительной мере зависят от типа водного объекта, системы охлаждения и водоснабжения, условий эксплуатации энергетических блоков, общей мощности станции, интенсивности и длительности действия техногенных факторов.
2. Установлено, что таксономический состав зообентоса исследованных водных объектов, подверженных влиянию ТЭС и АЭС, достаточно богат: идентифицировано 217 таксонов надвидового ранга, из них определено 156 видов. Наибольшим количеством таксонов характеризуются личинки хирономид и олигохеты.
3. Зообентос водоемов-охладителей с наибольшей техногенной нагрузкой (Запорожская и Южно-Украинская АЭС) состоит из наименьшего количества таксонов (соответственно 20 и 15), остальных водных объектов – из 77–107 таксонов. Участки водотоков, которые испытывают непосредственное влияние техногенных сбросов, характеризуются предельно низким таксономическим богатством зообентоса.
4. Установлено, что наибольшие количественные показатели зообентоса характерны для средних значений исследованного диапазона абиотических факторов (температуры, глубины), а также типа грунта. Максимальные численность и биомасса зообентоса в летний период зарегистрированы при температуре около 25°C, на глубинах 3–5 м и на заиленных песках.

5. На рост количественных показателей зообентоса влияет и биотический фактор – наличие двустворчатого моллюска дрейссены. Присутствие этого моллюска в водоеме-охладителе приводит к увеличению таксономического богатства, общей численности и биомассы. Дрейссена как вид-эдификатор способствует повышению количественных показателей видов-консортов.
6. Умеренное хроническое влияние повышенной температуры подогретых сбросных вод приводит к возрастанию количественных показателей, а значительный, как локальный, так и охватывающий весь водоем, постоянный – к существенному снижению показателей обилия зообентоса.
7. Определена существенная гетерогенность зообентоса в пространстве, которую обуславливают такие факторы как глубина, конструкция водоема и влияние гидротермического и гидродинамического факторов. Пространственное распределение обусловлено также наличием эдифицирующих форм (двустворчатых моллюсков и их конгрегаций).
8. Выявлено три уровня развития зообентоса по количественным показателям и три типа – по структуре доминирования и разнообразия, которые зависят от сочетанного влияния абиотических и биотических факторов.
9. В исследованных водных объектах наиболее распространенными и значимыми были дрейссеновые сообщества (с доминированием *D. bugensis* и *D. polymorpha*) и хирономусовые (с доминированием *C. plumosus* и Tubificidae). Дрейссеновые – характеризуются наибольшими количественными показателями, высоким разнообразием по численности и очень низким – по биомассе. Существенное техногенное влияние приводит к значительному упрощению ценотической структуры зообентоса.
10. Изменения зообентоса в техно-экосистемах во времени полностью зависят от техногенных факторов, а также последствий биологической инвазии и не всегда могут быть описаны классическими моделями сукцессий.
11. Зообентос играет значительную роль в функционировании всей техно-экосистемы, в частности, в процессах самоочищения, в первую очередь за счет фильтрационной и деструкционной активности. Установлено, что двустворчатые моллюски бентосной подсистемы в водоеме-охладителе могут за месяц профильтровать количество воды, равное двойному объему водоема.
12. Полученная оценка качества среды исследованных водных объектов по методике экологической оценки качества поверхностных вод не дает оснований для вывода относительно плохого их состояния, однако развитие зообентоса указывает на существенное повышение трофности. Поэтому, учитывая такую неоднозначность результатов экологических оценок, крайне необходимыми являются организация и проведение постоянного гидробиологического мониторинга техно-экосистем АЭС и ТЭС, особенно бентической подсистемы.

### Список основных научных работ, опубликованных за темой диссертации

1. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки [А. А. Протасов, В. П. Семенченко, А. А. Силаева, В. М. Тимченко, И. Ю. Бузевич, Л. В. Гулейкова, Т. Н. Дьяченко, А. О. Морозова, В. И. Юришинец, Л. П. Ярмошенко, И. О. Морозовская, О. Б. Примак, А. Н. Масько, А. В. Голод] ; под ред. А. А. Протасова. – Киев : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. – 234 с. – 300 пр. – ISBN 978-966-02-6243-0.
2. Биоразнообразие и качество среды антропогенно измененных гидроэкосистем Украины / [Т. А. Харченко, А. А. Протасов, А. В. Ляшенко, В. И. Юришинец, Л. В. Емельянова, О. О. Синицина, Ю. И. Карпезо, О. А. Давыдов, В. Н. Жукинский, Т. Н. Дьяченко, Е. Е. Зорина-Сахарова, А. А. Силаева, А. А. Лосев, Ю. С. Ивасюк, В. В. Маковский, А. В. Шалаева, Н. А. Красуцкая, Ю. Н. Воликов]. – Киев : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2005. – 314 с.
3. Протасов А. А. Планктон, бентос и перифитон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Протасов, О. О. Синицына, Р. А. Калиниченко, О. А. Сергеева, А. А. Силаева, Е. А. Голубкова // Гидробиол. журн. – 2000. – Т. 36, № 1. – С. 14–29.
4. Силаева А. А. Зообентос водоемов-охладителей с различной термической нагрузкой / А. А. Силаева // Наук. зап. Тернопіл. пед. ун-ту. [Сер. : Біологія. Спеціальний випуск «Гідроекологія»]. – 2001. – № 4 (15). – С. 147–148.
5. Силаева А. А. Зообентос водоема-охладителя Хмельницкой АЭС и оценка качества воды по донным беспозвоночным / А. А. Силаева, А. А. Протасов // Гидробиол. журн. – 2002. – Т. 38, № 6. – С. 46–59.
6. Протасов А. А. Состав, распределение, обилие моллюсков в водоемах, подверженных воздействию сбросных подогретых вод электростанций / А. А. Протасов, А. А. Силаева // Вісн. Житомир. пед. ун-ту. – 2002. – Вип. 10. – С. 16–17.
7. Силаева А. А. Состав и структура зообентоса р. Стырь в зоне Ровенской АЭС и оценка ее влияния на донные группировки / А. А. Силаева, А. А. Протасов // Гидробиол. журн. – 2005. – Т. 41, № 4. – С. 25–45.
8. Протасов А. А. Об оценке качества среды по показателям разнообразия сообществ гидробионтов / А. А. Протасов, А. А. Силаева // Наук. зап. Тернопіл. пед. ун-ту. [Сер. : Біологія. Спеціальний випуск «Гідроекологія»]. – 2005. – № 3 (26). – С. 365–367
9. Силаева А. А. Особенности сообществ дрейссены в донных сообществах водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов, И. А. Морозовская, С. П. Бабарига // Природничий альманах. Біол. науки. – 2006. – Вип. 8. – С. 218–222.
10. Протасов А. А. Сообщества беспозвоночных водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. Сообщение 3. Сообщества зообентоса, их состав и структура / А. А. Протасов, А. А. Силаева // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 3–24.
11. Силаева А. А. Инвазийные виды водорослей и беспозвоночных в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов, Л. П. Ярмошенко, С. П. Бабарига // Гидробиол. журн. – 2009. – Т. 45, № 6. – С. 13–24.
12. Силаева А. А. Эпибионтные группировки *Dreissena polymorpha* на раковинах Unionidae / А. А. Силаева, А. А. Протасов, И. А. Морозовская // Гидробиол. журн. – 2010. – Т. 46, № 5. – С. 16–29.
13. Анистратенко В. В. Первое обнаружение брюхоногого моллюска *Ferrissia* sp. (Gastropoda, Pulmonata, Ancylidae) в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС / В. В. Анистратенко, А. А. Протасов, С. П. Бабарига, А. А. Силаева // Вестн. зоологии. – 2008. – Т. 42, № 4. – С. 314.
14. Силаева А. А. Макрозообентос водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС / А. А. Силаева : тез. докл. I Междунар. науч.-практ. конф. [«Экология и молодежь (Исследования экосистем в условиях радиоактивного и техногенного загрязнения окружающей среды)»]. – Гомель, 1998. – Т. 1, ч. 1. – С. 135.
15. Силаева А. А. Многолетние изменения в сообществах зообентоса в условиях влияния подогретых сбросных вод АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов, О. О. Синицина : тез. докл.

- Междунар. конф. [«Проблемы гидроэкологии на рубеже веков»], (Санкт-Петербург, 23–30 окт. 2000 г.). – СПб., 2000. – С. 239–241.
16. Протасов А. А. Оценка качества воды и характеристика планктона и бентоса водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева, С. И. Кошелева, Р. А. Калиниченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2001. – Т. 2. – С. 657–665.
  17. Силаева А. А. Оценка качества воды водоемов и водотоков, подверженных влиянию сбросных вод АЭС, по организмам зообентоса / А. А. Силаева : тез. докл. XI Междунар. симп. [«Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга»], (Сыктывкар, Республика Коми, 17–21 сент. 2001 г.). – Сыктывкар, 2001. – С. 171–172.
  18. Силаева А. А. Зообентос малых рек западной части Украинского Полесья в зоне двух атомных станций / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. Междунар. конф. [«Малые реки : Современное экологическое состояние, актуальные проблемы»], (Тольятти, 25–28 апр., 2001 г.). – Тольятти, 2001. – С. 188.
  19. Силаева А. А. Оценка качества воды по организмам бентоса / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. Всерос. конф. [«Актуальные проблемы водохранилищ»], (Борок, 29 окт. – 3 нояб. 2002 г.). – Ярославль, 2002. – С. 277–279.
  20. Протасов А. А. Изменения в составе и структуре зообентоса пруда-охладителя Чернобыльской АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева, Д. В. Лукашев : материалы II Междунар. конф. [«Биоразнообразие и роль зооценозов в естественных и антропогенных экосистемах»], (Днепропетровск, 28–31 окт. 2003 г.). – Днепропетровск : Изд-во Днепропетров. ун-та, 2003. – С. 73–75.
  21. Протасов А. А. О взаимосвязи некоторых аспектов разнообразия сообществ зоопланктона и зообентоса / А. А. Протасов, А. А. Силаева : тез. докл. IX зоол. науч. конф. [«Динамика биологического разнообразия фауны, проблемы и перспективы устойчивого использования и охраны животного мира Беларуси»], (Минск, 20–22 окт. 2004 г.). – Минск : Мэджик Бук, 2004. – С. 207–209.
  22. Протасов А. А. К оценке качества воды в р. Стирь в зоне Ровенской АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева, С. И. Кошелева // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2005. – Т. 8. – С. 130–138.
  23. Силаева А. А. Структура сообществ дрейссены литоральной зоны Каневского водохранилища / А. А. Силаева, А. А. Протасов // Вест. Тюмен. гос. ун-та. – 2005. – № 5. – С. 112–115.
  24. Силаева А. А. О совместном обитании видов-вселенцев в перифитоне и бентосе / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. II Междунар. симп. по изучению инвазивных видов [«Чужеродные виды в Голарктике (Борок-2)»], (Борок, 27 сент. – 1 окт. 2005 г.). – Борок, 2005. – С. 115–116.
  25. Протасов А. А. Вселение *Dreissena polymorpha* Pall. в водоем-охладитель ХАЭС и возможные последствия инвазии / А. А. Протасов, А. А. Силаева : [зб. науч. праць]. – Житомир : Вид-во Житом. держ. ун-ту, 2006. – Вип. 2. – С. 231–233.
  26. Силаева А. А. Состав и обилие двустворчатых моллюсков и размерная структура их популяций в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов, И. А. Морозовская, С. П. Бабарига : [зб. науч. праць]. – Житомир : Вид-во Житом. держ. ун-ту, 2006. – Вип. 2. – С. 262–265.
  27. Силаева А. А. Биоиндикация качества среды по составу и структуре бентических группировок / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. Междунар. конф. [«Биоиндикация в экологическом мониторинге пресноводных экосистем»], (Санкт-Петербург, 23–27 окт. 2006 г.). – СПб., 2006. – С. 137–138.
  28. Протасов А. А. Об изменении гидробиологического режима водоема-охладителя Хмельницкой АЭС под действием техногенных и биогенных факторов / А. А. Протасов, А. А. Силаева, Гулейкова Л. В. и др. : материалы III Междунар. науч. конф. [«Озерные экосистемы : биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды»], (Минск – Нарочь, 17–22 сент. 2007 г.). – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2007. – С. 110–111.

29. Силаева А. А. Сравнительная характеристика разнообразия донных группировок беспозвоночных до и после вселения дрейссены в водоем-охладитель АЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. Междунар. конф. [«Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем»], (Ростов-на-Дону, 5–8 июня 2007 г.). – Ростов-н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. – С. 271–273.
30. Протасов А. А. Экологический и гидробиологический мониторинг на водоемах-охладителях ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева, С. П. Бабарига и др. : материалы Всеукр. науч. конф. [«Мониторинг природных и техногенных сред»], (Симферополь 24–26 апр., 2008 г.). – Симферополь : ДИАЙПИ, 2008. – С. 96–99.
31. Слепнев А. Зообентос водоема-охладителя Южноукраинской АЭС / А. Слепнев, А. Силаева : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. [«Озера та штучні водойми України: сучасний стан й антропогенні зміни»], (Луцьк, 22–24 трав. 2008 р.). – Луцьк: РВВ Вежа Волин. нац. ун-ту, 2008. – С. 342–345.
32. Силаева А. А. Изменения в контурной подсистеме водоема-охладителя АЭС при усилении техногенной нагрузки и вселения дрейссены / А. А. Силаева, А. А. Протасов, С. П. Бабарига : тез. докл. V Междунар. науч. конф. [«Биоразнообразие и роль животных в экосистемах – ZOOCENOSIS-2009»], (Днепропетровск, 12–16 окт. 2009 г.). – Днепропетровск : Лира, 2009. – С. 83–85.
33. Протасов А. А. Разновременные сукцессии в водоеме-охладителе АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева : тез. докл. Междунар. конф. [«Экология водных беспозвоночных»], (Борок, 30 окт. – 2 нояб., 2010 г.). – Ярославль : Принтхаус, 2010. – С. 256–260.
34. Силаева А. А. Особенности формирования таксономического состава зообентоса в водных объектах, связанных с АЭС и ТЭС / А. А. Силаева, А. А. Протасов : тез. докл. IV Междунар. конф. [«Современные проблемы гидроэкологии»], (Санкт-Петербург, 11–15 окт. 2010 г.). – СПб., 2010. – С. 164.
35. Протасов А. А. Биоиндикация в гидробиологическом мониторинге водных техно-экосистем АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева : тез. докл. II Междунар. конф. [«Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем»], (Санкт-Петербург, 10–14 окт. 2011 г.). – СПб., 2011. – С. 134.
36. Protasov A. A. Data on Invasion and Sympatric Habitation of Invasive Species in the Dnieper Basin Water Bodies / A. A. Protasov, A. A. Silayeva // Russian Journ. of Biological Invasions. – 2010. – Vol. 1, N 2. – P. 114–118.
37. Silayeva A. Zoobenthic communities of a water reservoir-cooler under silting conditions / A. Silayeva, A. Protasov : X Ogolnopolskie warsztaty bentologiczne [«Badania fauny dennej wód różnych typów»], (Ciężań, 8–10 maja 2003). – Idee ekologiczne. – 2003. – Tom 15. – Ser. Szkice, N 8. – P. 85–87.
38. Silayeva A. A. Bentic molluscs in the cooling ponds of the Khelnitskiy Nuclear Power Plants (Ukraine) / A. A. Silayeva, A. A. Protasov : abstr. XXIII Krajowe seminarium malakologiczne, (Siedlce – Serpelice, 24–27 kwietnia 2007). – Siedlce, 2007. – S. 64–65.
39. Silayeva A. A. About invasive Zebra mussel's impact (*Dreissena polymorpha*) to native Bivalves populations / A. A. Silayeva, A. A. Protasov, I. A. Morozovskaya : III Intern. Symp. [«Invasion of alien species in Holartic. Borok – 3»], (Borok – Myshkin, Oct. 5–9 2010). – Yaroslavl, 2010. – P. 114–115.

#### Анотація

**Силаєва А.А. Зообентос водних об'єктів, що зазнають впливу теплових та атомних електростанцій.** – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія. Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2012.

Дисертація присвячена дослідженню зообентосу техно-екосистем АЕС та ТЕС України. Багатство та рівень розвитку зообентоса водних об'єктів, що зазнають впливу ТЕС і АЕС, значною



мірою залежить від особливостей конструкції водного об'єкту, режиму та тривалості експлуатації енергетичної станції. Встановлено, що таксономічний склад зообентосу досліджених водних об'єктів значний (відмічено 156 видів безхребетних та 61 таксон надвидового рівня). Найбільші кількісні показники зообентоса характерні для середніх значень вивченого діапазону абіотичних чинників (температури, глибини). Максимальні чисельність та біомаса зареєстровані при температурі близько 25°C. Наявність молюсків р. *Dreissena* (*D. polymorpha*, *D. bugensis*), як біотичний чинник, визначає зростання кількісних показників зообентоса. У зообентосі досліджених водних об'єктів виділено дев'ять угруповань, що відрізнялися оригінальністю таксономічного складу та були розділені на три групи за характером домінування і рясністю.

Зміни зообентосу у часі цілком залежать від техногенних чинників – зміни конструкції водойми, режиму експлуатації, введення додаткових потужностей, а також наслідків біологічних інвазій. Зообентос відіграє значну роль у функціонуванні всієї техно-екосистеми та процесах самоочищення техногенних водних об'єктів, насамперед за рахунок фільтраційної та деструкційної активності домінуючих видів молюсків, зокрема дрейсени. Проведено оцінку якості середовища досліджених водних об'єктів за структурними показниками зообентоса.

*Ключові слова:* зообентос, водойма-охолоджувач, техно-екосистема, угруповання, різноманітність, структурно-функціональні показники.

#### Аннотація

**Силаева А.А. Зообентос водных объектов, подверженных влиянию тепловых и атомных электростанций.** – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.17 – гидробиология. Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2012.

Диссертация посвящена исследованию зообентоса техно-экосистем АЭС и ТЭС Украины. Богатство и уровень развития зообентоса водных объектов, подверженных влиянию ТЭС и АЭС, в значительной мере зависит от особенностей конструкции водного объекта, режима и длительности эксплуатации энергетической станции. Установлено, что таксономический состав зообентоса исследованных водных объектов значителен (отмечено 156 видов беспозвоночных и 61 таксон надвидового ранга). Наибольшие количественные показатели зообентоса характерны для средних значений исследованного диапазона абиотических факторов (температура, глубина). Максимальная численность и биомасса зарегистрированы при температуре около 25°C. Наличие моллюсков р. *Dreissena* (*D. polymorpha*, *D. bugensis*), как биотический фактор, определяет увеличение количественных показателей зообентоса. В зообентосе исследованных водных объектов выделены девять сообществ, отличающихся оригинальностью таксономического состава и разделяющихся на три группы по обилию и характеру доминирования.

Изменения зообентоса во времени полностью зависят от техногенных факторов – изменения конструкции водоема, режима эксплуатации, введения дополнительных мощностей, а также последствий биологической инвазии. Зообентос играет значительную роль в функционировании всей техно-экосистемы и процессах самоочищения техногенных водных объектов, в первую очередь, за счет фильтрационной и деструкционной активности доминирующих видов моллюсков, в частности дрейсены. Проведена оценка качества среды исследованных водных объектов по структурным показателям зообентоса.

*Ключевые слова:* зообентос, водоем-охладитель, техно-экосистема, сообщества, разнообразие, структурно-функциональные показатели.

### **Abstract**

**Sylaieva A.A. Zoobenthos of the water bodies, subjected to the influence of thermal and nuclear power plants.** – Manuscript. Thesis for the degree of candidate of biological sciences on specialty 03.00.17 – hydrobiology. Institute of Hydrobiology, National Academy of Science of Ukraine, Kiev, 2012.

The thesis is devoted to research of zoobenthos in techno-ecosystems of Ukrainian NPP and TPS. The zoobenthos abundance and richness in water bodies subjected to the influence of these plants are largely dependent on construction of a water body, an operating mode and a duration of power station exploitation. It was found that the taxonomic composition of zoobenthos in studied water bodies is very significant (156 species of invertebrates and 61 taxa of supraspecific level were observed). The greatest quantitative indices of zoobenthos are typical for average values of the investigated range of abiotic factors (temperature, depth). Maximum abundance and biomass were recorded at about 25°C. The presence of mollusca *Dreissena* genus (*D. polymorpha*, *D. bugensis*) is a biotic factor that determines the quantitative increase in zoobenthos. Nine specific communities were identified within zoobenthos of studied water bodies. These communities differed by originality of their taxonomic composition, were divided into three groups according to the abundance indices and nature of dominating. The time changes in zoobenthos are totally depended on man-made factors – changes in the design of the reservoir, mode of operation, the introduction of additional capacity, as well as the consequences of biological invasions. Zoobenthos plays a significant role in the functioning of all the techno-ecosystems and natural purification processes of man-made water bodies, primarily due to filtration and destructive activity of the dominant species of molluscs, in particular Zebra mussel. The evaluation examined of environment quality for studied water bodies was fulfilled on the base of zoobenthos structural parameters.

*Key words:* zoobenthos, cooling pond, techno-ecosystem, communities, diversity, structural and functional parameters.