

УДК 574.583 (282.5:621.311.25)(477.43)

Ю. Ф. Громова, А. А. Протасов

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

## ЗООПЛАНКТОН КАНАЛОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС

Исследования, проведенные в подводящем и отводящем каналах Хмельницкой АЭС, показали, что изменения видового богатства и обилия зоопланктона, происходящие в каналах, связаны с интенсивностью течения потока, поступлением сточных вод очистных сооружений в отводящий канал, взаимодействием с водными массами водоема-охладителя и сезонностью. В отдельные периоды в отводящем канале наблюдалось снижение обилия зоопланктона, численности беспанцирных коловраток, а также абортирование яиц у кладоцер. Для выявления механического и теплового влияния работы агрегатов станции на гибель зоопланктона необходимы исследования с применением методик, позволяющих дифференцировать недавно погибшие особи.

**Ключевые слова:** зоопланктон, подводящий канал, отводящий канал, система охлаждения АЭС, видовое богатство, обилие, структура.

Водная часть техно-экосистем энергетических станций имеет сложную биотопическую структуру, существенное место в которой занимают различные лотические местообитания [1, 2]. При оборотном водоснабжении с водоемами-охладителями последние, как правило, связаны с системами водоснабжения АЭС и ТЭС подводящими и отводящими каналами. Из лентических условий водоемов-охладителей организмы планктона попадают в лотические (каналы), а затем экстремально-лотические в системах охлаждения и техводоснабжения.

В отличие от природных лотических экосистем, в техно-экосистемах к таким важным экологическим факторам, как течение и турбулентность, добавляется фактор температуры. Условия в подводящих и отводящих каналах могут существенно различаться именно по этому фактору.

Многие литературные данные свидетельствуют о значительной смертности зоопланктона при тепловом и механическом воздействии охладительных систем. Потери общей численности зоопланктона в течение сезона могут колебаться от 23,4 до 80 %. Например, при прохождении через систему охлаждения Лукомльской ТЭС потери зоопланктона за сезон в среднем составляют 40—54 % (погибает до 1,2 т зоопланктона в сутки) [3]. Исследования зоопланктона Ладыжинской ГРЭС свидетельствуют о пятикратном уменьшении количественных показателей после прохождения системы охлаждения [4]. Механическое и тепловое воздействие охладительной системы Конаковской ГРЭС приводило к гибели 34,5 % рачкового планктона при 26 °С и 53,6 % — при 32—33 °С [5]. Среднесуточные потери биомассы зоопланктона летом составляли здесь 5—10 т сырой массы [6]. После прохождения системы охлаждения Трипольской ГРЭС численность веслоногих уменьшалась на 51 %, ветвистоусых — на 71 %, коловраток — на 24 %, велигеров дрейссены — на 3 % [7]. Таким образом, прохождение

через системы охлаждения негативно влияет на состояние и обилие зоопланктона. Следует обратить внимание на то, что разные группы зоопланктона по-разному реагируют на техногенное воздействие.

Если учесть, что через агрегаты Хмельницкой АЭС (ХАЭС) проходит до 9,5 млн м<sup>3</sup> воды в сутки, а средняя биомасса зоопланктона в каналах ХАЭС за вегетационный период составляет около 3 г/м<sup>3</sup>, то если принять смертность в 40 % [3], ежедневно можно ожидать отмирания около 11 т организмов планктона.

Тепловое воздействие на зоопланктон прослеживается также на определенных участках водоемов-охладителей. В зонах значительного влияния техногенного подогрева воды (до 40 °С) обилие зоопланктона резко снижается [7]. Отмечается негативное влияние подогретых сбросных вод на количество видов и видовое разнообразие зоопланктона [8]. Это влияние температуры воды на зоопланктон наиболее выражено в летний и зимний сезоны [9]. Особенно страдают крупные формы Cladocera и взрослые Cyclozoidea, среди которых уменьшается численность яйценосных самок, происходит выброс яиц из выводковых камер у ветвистоусых рачков [3, 5, 9—13]. При этом, высокие температуры лучше переносят эвритопные и эвритермные виды (*Chydorus sphaericus* (O. F. Müller), *Bosmina longirostris* (O. F. Müller), *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin)), часто увеличивая свою численность. В результате нарушается соотношение видов, свойственное водоемам с природным температурным режимом.

Некоторые авторы [10, 14] отмечают угнетающее влияние высокой скорости течения и ее изменений, а также турбулентности потока на развитие крупных форм рачкового зоопланктона. В местах повышенной турбулентности наблюдалось снижение численности беспозвоночных планктона, связанное, в том числе, и с увеличением мутности воды. Имеются сведения, что биомасса зоопланктона на определенных

участках каналов во многом зависит от расходов воды [10].

Целью данной работы было исследование особенностей развития зоопланктона в подводящем и отводящем каналах ХАЭС, а также возможного влияния техногенных факторов на его состав и обилие.

**Материалы и методы.** Система охлаждения ХАЭС состоит из водоема-охладителя, подводящего (ПК) и отводящего (ОК) каналов (рис. 1). Длина ПК составляет около 1,6 км, глубина — 8...9 м, ширина по водному зеркалу — 90 м, по дну — 35 м. Берега облицованы бетоном, дно песчано-гравийное. ОК имеет длину около 4 км, глубину — около 4 м, ширину — 50 м. На протяжении 700 м от начала канала берега облицованы бетоном, далее укреплены щебнем. В верхнюю часть ОК по трубопроводам поступают сточные воды из очистных сооружений г. Нетешин и площадки АЭС [1]. Скорость течения в ПК при работе одного энергоблока составляет 0,1 м/с, двух — 0,2 м/с, в ОК — до 0,6 м/с. Различия температурных условий при входе в ПК и при выходе из ОК составляли 0...8,5 °С.

В работе использованы материалы базы гидробиологических данных WaCo лаборатории технической гидробиологии Института гидробиологии НАНУ, которые частично опубликованы в [1, 15—18]. Выводы основываются на анализе 76 проб зоопланктона, которые были отобраны в 1998, 1999, 2001, 2005—2010, 2012—2014 годах и охватывают в отдельные годы все сезоны. Станции отбора проб находились при входе в ПК, при выходе из ОК и, в отдельные годы, в самих каналах. Отбор проб зоопланктона производился процеживанием 100 л воды, в основном с поверхности

(глубина — до 0,5 м), через планктонную сеть Апштейна (газ № 70); в периоды VII.2007, VIII.2008, IX.2008, VII.2009, IX.2012, IX.2014 (римскими цифрами обозначены месяцы, арабскими — годы) — способом вертикальных тотальных ловов планктонной сетью с последующим фиксированием формалином. В ОК в связи с высокой скоростью течения пробы отбирали на расстоянии 2,5—3,0 м от берега. Обработывали пробы в лаборатории по стандартным методикам [19]. Для расчетов сходства видового состава зоопланктона применяли коэффициент Серенсена [20].

**Результаты исследований.** Видовой состав зоопланктона, поступающего в каналы и выходящего из них, характеризовался высокой степенью сходства. Значения индекса Серенсена между исследуемыми участками в периоды работы блоков АЭС составляли 0,53—0,91.

Изменения видового богатства зоопланктона при прохождении каналов не были однонаправленными. Количество НОТ (низший определяемый таксон) зоопланктона, фиксируемое при выходе из ОК, в одних случаях было ниже поступающего в каналы, в других — выше (рис. 2). Снижение видового богатства в ОК наблюдалось в 47 % случаев. Отмеченное в ряде случаев увеличение количества видов зоопланктона в ОК можно объяснить возможным недоучетом отдельных малочисленных видов в ПК, обнаруживаемых затем в ОК, а также наличием специфических видов, приуроченных к отводному каналу. Во всяком случае, кардинального снижения количества НОТ зоопланктона в ОК, в том числе в районе сброса циркуляционных вод, относительно ПК отмечено не было.

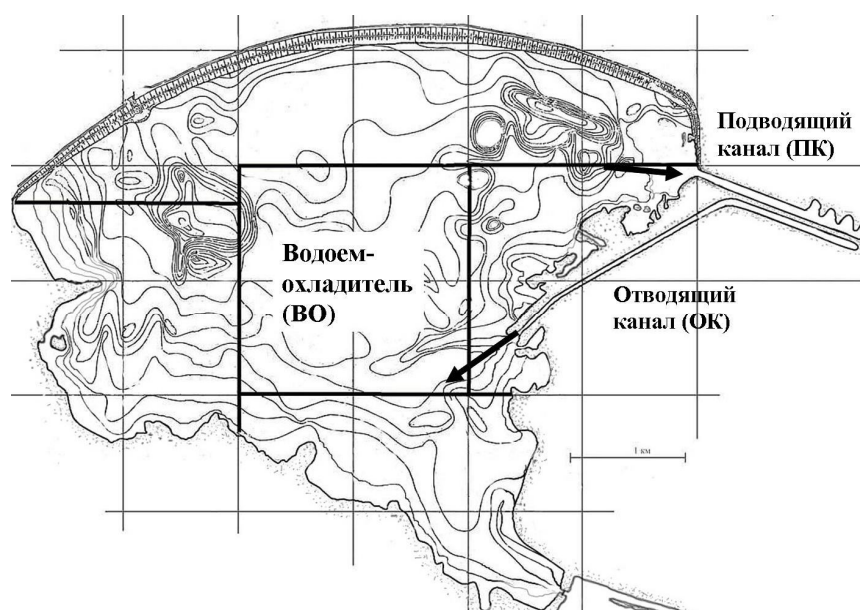


Рис. 1. Схема системы охлаждения ХАЭС: водоем-охладитель, подводящий канал (ПК), отводящий канал (ОК). На километровой сетке выделены границы районов. Стрелками указаны направления движения воды из ОК и в ПК

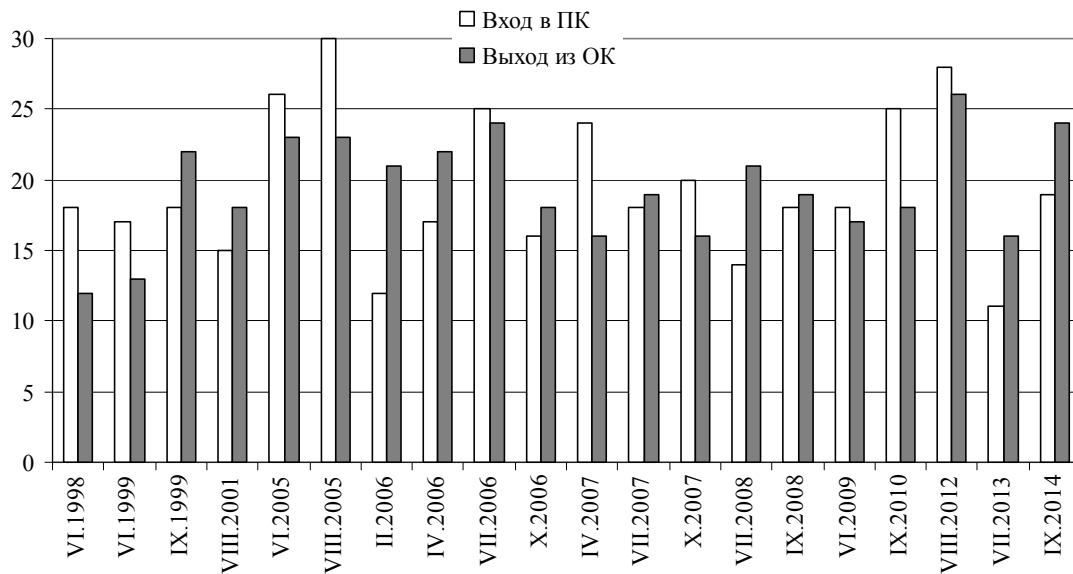
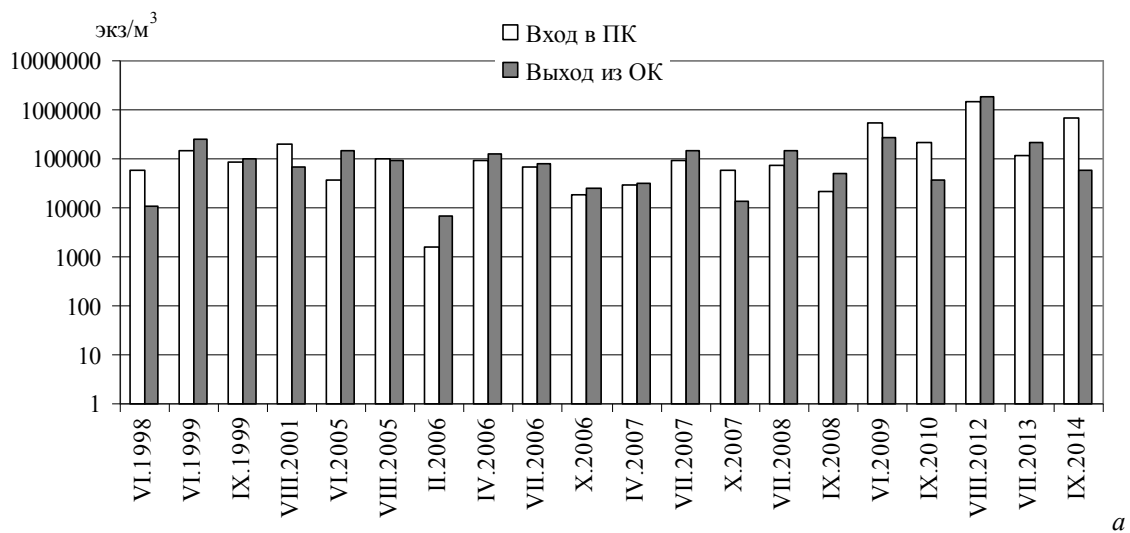
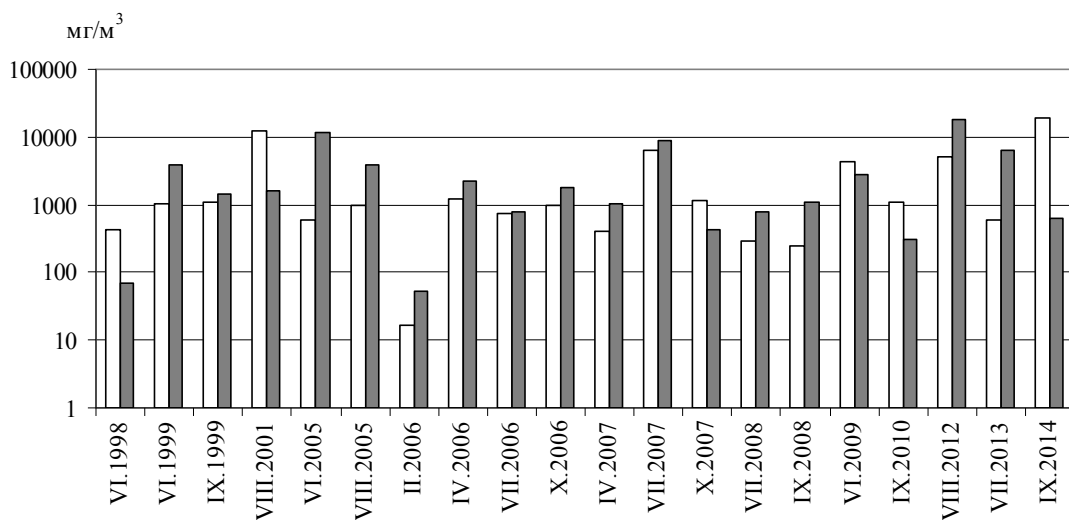


Рис. 2. Количество НОТ зоопланктона, поступающего в ПК и выходящего из ОК (в периоды исследований VI.1998, VI.1999, VII.2008 гг. энергоблоки не работали)



a



b

Рис. 3. Изменения численности (a) и биомассы зоопланктона (б) в каналах ХАЭС в разные годы

Обилие зоопланктона, как и видовое богатство, в одних случаях было выше при выходе из ОК относительно поступающего в ПК, в других — ниже (рис. 3), что может быть обусловлено целым рядом факторов. Более низкие показатели численности зоопланктона при выходе из ОК наблюдалось в 35 % случаев, биомассы — в 29 %. Наиболее существенным снижением обилия проходящего по каналам зоопланктона было отмечено в сентябре 2014 г., когда численность снизилась на порядок (рис. 3, а), а биомасса — почти на 3 порядка (рис. 3, б).

Имеющиеся у нас данные по зоопланктону средних участков ПК и ОК не позволяют выявить четкую зависимость между количеством зоопланктона этих участков. Наблюдается некоторая тенденция увеличения обилия зоопланктона в ОК. В то же время, прослеживается достоверная прямая зависимость между численностью и биомассой зоопланктона в ПК (средняя часть канала) и обилием зоопланктона на выходе из ОК. Это говорит

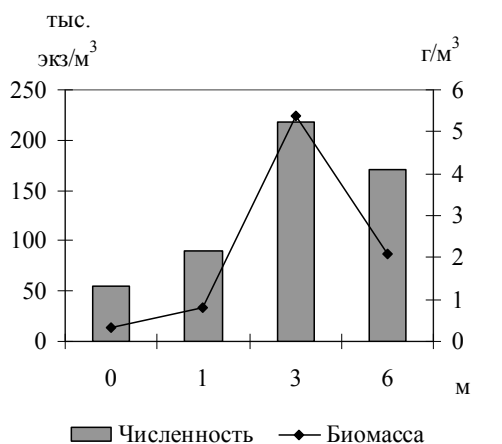
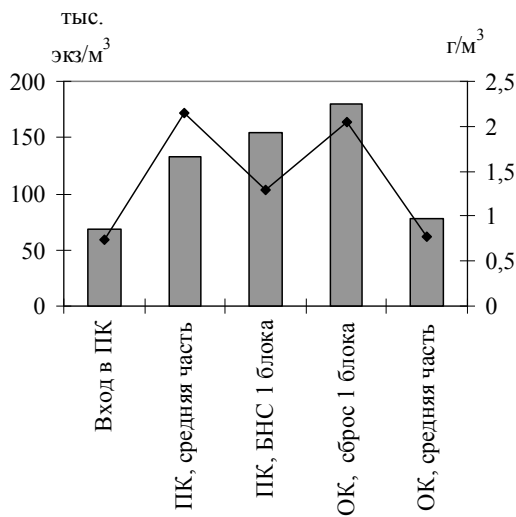


Рис. 4. Изменения численности и биомассы зоопланктона в поверхностном слое по длине ПК и ОК (а) и по глубине в средней части ПК (б) в июле 2006 г.

о том, что в каналах зоопланктон неоднороден по показателям обилия и сами каналы не являются простыми транзитными логическими элементами техно-экосистемы. Чтобы понять причины этой неоднородности, необходимы детальные исследования различных участков каналов. В любом случае, закономерного снижения обилия зоопланктона по направлению от ПК к выходу из ОК в каналах ХАЭС, по имеющимся данным, в целом не происходит.

Одной из причин различий в количестве НОТ, численности и биомассы зоопланктона при входе в ПК и при выходе из ОК, вероятно, являлось то, что в условиях высокой турбулентности в каналах происходили перманентные изменения зон концентрации зоопланктеров. Так, в июле 2006 г., когда количество НОТ зоопланктона при входе в ПК и при выходе из ОК было почти одинаковым (25 и 24 НОТ, соответственно), внутри каналов богатство НОТ изменялось в широких пределах: 15—23 по длине ПК, 15—27 по вертикали (средняя часть ПК), 16—28 вдоль ОК. Неоднородным было и распределение обилия зоопланктона (рис. 4). Изменения численности и, особенно, биомассы зоопланктона в каналах часто определялись динамикой крупных ракообразных, например, *Daphnia longispina* O. F. Müller, численность которой на разных участках ПК и ОК могла отличаться на 1—2 порядка.

Отмечены случаи, когда снижение или увеличение количества НОТ, обилия зоопланктона происходило непосредственно в районе выхода из ОК (IV.2006, IV.2007, VIII.2012), что может быть обусловлено взаимодействием водных масс канала и водоема-охладителя, в частности, поступлением планктона из придонных слоев воды. Так, в феврале 2006 г. количество НОТ в районе выхода из ОК увеличилось почти вдвое (рис. 1), в основном, благодаря появлению придонных видов. Отмеченное повышенное обилие планктона на этом участке могло быть обусловлено благоприятным термическим режимом в зимний период.

На зоопланктон ОК, вероятно, оказывало влияние поступление в верхнюю часть канала сточных вод из очистных сооружений, которое было более выражено во время отсутствия течения, когда в воде канала происходило накопление фосфатов, нитратов и других веществ, что повлекло за собой значительное развитие фитопланктона [1]. Так, в июле 2008 г., когда отсутствовали техногенная циркуляция и поступление подогретых вод, в ОК в районе сброса очистных сооружений отмечалось резкое возрастание таксономического богатства зоопланктона: количество НОТ в ПК составляло 14, в ОК ниже сброса очистных сооружений — 25, при выходе из ОК — 21. Подобные различия наблюдались в распределении численности и биомассы зоопланктона: 71,16 тыс. экз/м³ и 0,29 г/м³ в ПК;

287,59 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 1,94 г/м<sup>3</sup> в ОК; 145,10 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 0,80 г/м<sup>3</sup> при выходе из ОК (рис. 4, а). В ПК резкое снижение богатства и обилия как фито-, так и зоопланктона обусловлено фильтрационной деятельностью дрейссены [1]. В зоопланктоне ОК в большом количестве были отмечены коловратки (78,5 % численности и 70,5 % биомассы зоопланктона), среди которых 5 видов из рода *Brachionus*, что характерно для загрязненных и сточных вод [21]. Наиболее многочисленный среди них *Brachionus calyciflorus* Pallas (137,93 тыс. экз/м<sup>3</sup>) составлял 48 % численности всего сообщества. Массовое развитие коловратки *B. calyciflorus* (до 536 тыс. экз/м<sup>3</sup>) отмечалось также на участках рек, испытывающих влияние сточных вод [22]. На этом участке ОК получили развитие эвритопные виды *B. longirostris* и *Moina rectirostris* (Leydig). При выходе из ОК структура зоопланктона снова изменялась в сторону преобладания копепоид, которые доминировали в ПК.

Было отмечено, что количественные показатели развития зоопланктона непосредственно ниже сброса энергоблоков были выше, чем в подводящем канале. Подобное явление наблюдали и другие исследователи, объясняя это тем, что непосредственно вблизи сброса происходит накопление неподвижных, травмированных и разлагающихся рачков, которые при обработке фиксированных проб часто не отличаются от живых [5]. Другой причиной превышения количества зоопланктона в сбросной воде по сравнению с водозаборной является возможное накопление и последующее вымывание планктонтов с плоских вращающихся сеток при их запуске [7]. Многие авторы отмечают, что в стандартных фиксированных пробах зоопланктона присутствуют мертвые особи без видимых признаков разложения, ошибочно учитываемые в качестве живых. Их доля составляет от нескольких процентов на участках с благоприятными для зоопланктона условиями до 100 % в крайне экстремальных условиях [14]. В данной работе не применяли методики, позволяющие выявить погибшие, но морфологически не изменившиеся организмы планктона. Вероятно, по этой причине показатели обилия зоопланктона непосредственно ниже сброса энергоблоков более высокие, чем таковые на входе. Так, в июле 2006 г. (рис. 4, а) ниже сброса 1-го блока ХАЭС отмечены несколько более высокие показатели обилия зоопланктона (179,65 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 2,04 г/м<sup>3</sup>), по сравнению с таковыми в районе водозабора (154,37 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 1,3 г/м<sup>3</sup>). В сентябре 2010 г. в ОК ниже сброса второго блока общая численность зоопланктона снижалась, при этом численность крупных кладоцер и калянид была выше, что приводило к увеличению биомассы зоопланктона в 2 раза.

В отличие от ракообразных, беспанцирные формы коловраток быстрее подвергаются разрушению.

Снижение численности беспанцирных коловраток (родов *Synchaeta*, *Polyarthra* и др.) в результате прохождения каналов отмечали в большинстве случаев. Наиболее заметным это снижение зафиксировано в июне 2009 г., когда коловратка, численность которой в ПК составляла 87,00 тыс. экз/м<sup>3</sup>, отсутствовала в составе планктона при выходе из ОК.

Как отрицательное влияние работы станции на зоопланктон отмечено абортывание яиц у кладоцер. Их численность в водоеме-охладителе в сентябре 2014 г. достигала 11,64 тыс. экз/м<sup>3</sup>.

Среди таксономических групп зоопланктона в каналах ХАЭС по численности чаще всего доминировали веслоногие, по биомассе — ветвистоусые, реже — веслоногие ракообразные. В отдельные периоды внутри каналов наблюдались таксономические перестройки с увеличением доли коловраток. В ОК это, вероятно, было вызвано влиянием стоков очистных сооружений. Несмотря на это, соотношение таксономических групп зоопланктона при входе в каналы и при выходе из них, как правило, было сходным.

Различия в составе и обилии зоопланктона исследуемых участков каналов в периоды, когда энергоблоки не работали (VI.1998, VI.1999, VII.2008), являются отражением условий в прилегающих участках водоема-охладителя.

## Выводы

В результате прохождения каналов ХАЭС количественные показатели развития зоопланктона изменялись разнонаправленно и, в большинстве случаев, незначительно. Это может свидетельствовать о том, что специфичные для каналов циркуляционного водоснабжения ХАЭС факторы (скорость течения, турбулентность, температура воды, протяженность каналов и др.) влияют отрицательно на состав и структуру зоопланктона только в случаях определенного сочетания неблагоприятных условий, изучение которых является задачей дальнейших исследований.

Результаты исследований показывают, что в каналах не происходит простого механического транзита зоопланктона, его количество колеблется, изменяясь во времени и пространстве. Различия в количестве НОТ и обилии зоопланктона при входе в ПК и при выходе из ОК, в основном, были обусловлены турбулентностью потока, приводящей к неоднородности распределения зоопланктона в каналах, влиянием сточных вод очистных сооружений на зоопланктон отводящего канала, а также взаимодействием с водными массами водоема-охладителя в прилегающих к каналам участках.

В отдельные периоды в результате прохождения каналов и циркуляционной системы ХАЭС

наблюдались снижение обилия зоопланктона и численности беспанцирных коловраток, а также выброс яиц из выводковых камер у кладоцер. Для выявления влияния работы агрегатов станции (механического

и теплового) на гибель зоопланктона необходимы дальнейшие исследования с применением методик, позволяющих выявить погибшие, но морфологически не изменившиеся организмы планктона.

### Список использованной литературы

1. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / А. А. Протасов, В. П. Семенченко, А. А. Силаева и др.; под ред. А. А. Протасова. — К.: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. — 234 с.
2. Protasov A. A. Biological hindrances in power stations exploitation, their typization and main hydrobiological control / A. A. Protasov, G. A. Panasenko, S. P. Barbariga // Hydrobiol. Journal. — 2009. — V. 45, No. 1. — P. 32—46.
3. Экосистема водоема-охладителя Лукомской ГРЭС / П. А. Митрахович, В. М. Самойленко, З. К. Карташевич и др. — Минск: Белорусский гос. ун-т, 2008. — 144 с.
4. Водоем-охладитель Ладзьинской ГРЭС / Н. В. Пикуш, С. И. Кошелева, Л. Г. Ленчина и др. — К.: Наук. думка, 1978. — 132 с.
5. Ривьер И. К. Зоопланктон Иваньковского водохранилища в зоне влияния подогретых вод Конаковской ГРЭС / И. К. Ривьер // Экология организмов водохранилищ-охладителей. — Л.: Наука, 1975. — С. 220—243.
6. Горобий А. Н. О зоопланктоне Иваньковского водохранилища и влиянии на него сброса подогретых вод Конаковской ГРЭС / А. Н. Горобий // Биологический режим водоемов-охладителей ТЭЦ и влияние температуры на гидробионтов. — М., 1997. — С. 43—62.
7. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / А. А. Протасов, О. А. Сергеева, С. И. Кошелева и др.; под ред. А. А. Протасова. — К.: Наук. думка, 1991. — 192 с.
8. Бусева Ж. Ф. Влияние сбросных вод Березовской ГРЭС на структуру сообществ зоопланктона и оценка его смертности в водоеме-охладителе (оз. Белое, Беларусь) / Ж. Ф. Бусева // Доклады НАН Беларуси: биология. — 2013. — Т. 57, № 3. — С. 95—99.
9. Поливанная М. Ф. Зоопланктон водоемов-охладителей ТЭС юга Украины / М. Ф. Поливанная, О. А. Сергеева // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей ТЭС СССР. — К., 1971. — С. 188—207.
10. Гидробиология каналов Украинской ССР / О. П. Оксьюк, Г. Н. Олейник, Л. В. Шевцова и др.; под ред. Н. В. Кондратьевой. — К.: Наук. думка, 1990. — 240 с.
11. Дубовская О. П. Сток лимнического зоопланктона через высоконапорную плотину и его судьба в реке с быстрым течением (на примере плотины Красноярской ГЭС на р. Енисей) / О. П. Дубовская, М. И. Гладышев, О. Н. Махутова // Журн. Общей биологии. — 2004. — Т. 65, № 1. — С. 81—93.
12. Сергеева О. А. Влияние системы технического водоснабжения Трипольской ГРЭС на зоопланктон водоемисточника / О. А. Сергеева. — К., 1988 — 12 с. — Рукопись деп. в ВИНТИ, 27.12.88, № 9006 — В88.
13. Елагина Т. С. Зоопланктон Горьковского водохранилища в районе Костромской ГРЭС / Т. С. Елагина // Экология организмов водохранилищ-охладителей. — Л.: Наука, 1975. — С. 244—257.
14. Дубовская О. П. Естественная смертность зоопланктона в водохранилищах бассейна Енисея: дис. ... доктора биол. наук: спец. 03.00.18 / О. П. Дубовская. — Красноярск, 2006. — 336 с.
15. Гулейкова Л. В. Зоопланктон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС в условиях увеличения техногенного влияния и вселения дрейссены / Л. В. Гулейкова, А. А. Протасов // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 45, № 1. — С. 19—37.
16. Планктон, бентос и перифитон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Протасов, О. О. Сеницына, Р. А. Калиниченко и др. // Гидробиол. журн. — 2000. — Т. 36, № 1. — С. 14—29.
17. Протасов А. А. Состав и распределение зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Протасов // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 4. — С. 35—44.
18. Протасов А. А. Разнообразие зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / А. А. Протасов, Л. В. Гулейкова // Гидробиол. журн. — 2011. — Т. 47, № 1. — С. 33—42.
19. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод: Розд. 1.6. "Зоопланктон" / О. В. Пашкова; під ред. В. Д. Романенко. — К.: Логос, 2006. — С. 85—100.
20. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. — М.: Наука, 1982. — 287 с.
21. Крючкова Н. М. Динамика численности зоопланктона в гиперэвтрофном водоеме / Н. М. Крючкова // Вестник БГУ. Серия 2. — 1993. — № 2. — С. 38—42.
22. Ковалева О. В. Зоопланктон — индикатор состояния экосистемы реки, подверженной различным видам хозяйственного воздействия / О. В. Ковалева, И. Ф. Рассашко // Материалы междунар. науч. конф., 25—26 нояб. 1999 г. — Минск, 1999. — С. 126—130.

Получено 15.04.2015