

УДК 574.63:591.524.12

О. В. Пашкова

**ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ДО И ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ
СТАНЦИИ**

Приведены результаты исследования качественного состава, количественного развития, структуры, горизонтального распределения и сезонной динамики зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС до и после остановки станции. Сделан вывод, что следствием снятия антропогенной нагрузки была смена более равномерного распределения зоопланктона по участкам водоема менее равномерным, а многократное обогащение, по-видимому, было проявлением свойственной этому сообществу межгодовой динамики.

Ключевые слова: зоопланктон, водоем-охладитель Чернобыльской АЭС, остановка станции, состав, развитие, структура, распределение, динамика.

Основными факторами, определяющими качественное и количественное развитие компонентов биоты водоема-охладителя атомной электростанции, являются тип водоема, источник водного питания, термическое, радионуклидное и токсическое загрязнение, а также евтрофирование и сапробизация. Наибольшее воздействие на зоопланктон производит повышение температуры воды, причиной которого является сбрасывание в водоем подогретых при охлаждении агрегатов электростанции вод. Это воздействие проявляется в стимулировании или ингибировании развития сообщества и, как следствие, в изменении хода межгодовой и, особенно, межсезонной динамики [7, 11]. Поступление же радиоактивных веществ не оказывает на зоопланктон заметного отрицательного влияния из-за их биологических особенностей, в частности, значительной радиорезистентности [5, 9]. Нужно также учесть, что радиационные показатели в водоеме-охладителе чаще всего не превышают природного фона [3]. К этим факторам присоединяются интенсивная циркуляция воды в водоеме и повреждение и разрушение планктонных беспозвоночных при прохождении через охлаждающую систему станции. Свой отпечаток накладывают также и метеорологические условия [7, 15].

После остановки атомной электростанции большинство описанных антропогенных факторов перестают оказывать влияние на экосистему водоема-охладителя, что влечет за собой смену его гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режима, на фоне чего изменяются и характеристики различных компонентов биоты.

© Пашкова О. В., 2009

Целью работы было исследование изменений в зоопланктоне водоема-охладителя Чернобыльской атомной электростанции, произошедших в результате прекращения ее эксплуатации осенью 2000 г. Для этого были изучены состав, развитие, структура, горизонтальное распределение и сезонная динамика этого сообщества в разные периоды — до и после остановки станции.

Материал и методика исследований. Водоем-охладитель Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) представляет собой искусственный водоем наливного типа, сооруженный путем обвалования участка правобережной поймы р. Припять, из которой в него постоянно подкачивается вода для пополнения расходов на испарение и фильтрацию (во время работы станции объем этой воды составлял $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$). Следует также подчеркнуть, что вода из реки сначала попадает в так называемый водоем подкачки и только потом — в собственно водоем-охладитель. Находящаяся в середине струенаправляющая дамба делит водоем на юго-западную и северо-восточную части, которые во время эксплуатации станции различались интенсивностью подогрева и являлись соответственно сильно обогреваемой и слабо обогреваемой [3, 8, 12]. После прекращения работы ЧАЭС температура воды на всей акватории остается практически одной и той же.

Общая длина пути, который проходит вода от водосбросного до водозаборного канала, составляет около 18 км (в то время как длина водоема равна 11 км, средняя ширина — 2 км и средняя глубина — 6,5 м). Скорости стоковых течений ранее составляли 3—5 см/с, в силу чего водные массы двигались по акватории около 8 суток, теперь — течение почти отсутствует. Водоем-охладитель ЧАЭС относился к типу водоемов с сильным перегревом — величина тепловой нагрузки составляла в 70—80-е годы $7,5 \text{ кал}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$, что превышало таковую на других тепловых и атомных электростанциях [8, 13].

В настоящее время значительные площади в водоеме (12% акватории) заняты зарослями высшей водной растительности, главным образом, воздушно-водной (тростника обыкновенного, рогоза узколистного) и погруженной (роголистника темно-зеленого, урути колосистой, рдеста блестящего). Наиболее заросшим является «теплый» участок, где сосредоточена большая половина площадей (60%), занятых погруженной растительностью, и более четверти (28%) — заросших воздушно-водной. Меньше всего зарослей находится на «горячем» участке [2].

Количественные сборы зоопланктона были проведены на разных участках водоема-охладителя ЧАЭС («горячем», «теплом» и «холодном») весной 1993 и 2001 гг. и летом 2000—2001 гг. (далее эти названия будут употребляться для всего периода исследований). До остановки станции поверхностная температура воды на «горячем» участке, начинающемся от водосбросного канала и тянущемся до половины юго-западной части водоема, составляла (лето 2000 г.) $30,0\text{—}33,5^\circ\text{C}$, на «теплом», охватывающем оставшуюся долю юго-западной и следующую за ней половину северо-восточной части, — $25,5\text{—}28,5^\circ\text{C}$, а на «холодном», занимающем оставшуюся долю северо-восточной части и заканчивающемся водозаборным каналом, — $24,0\text{—}25,0^\circ\text{C}$. После остановки станции температура варьировала (лето 2001 г.) от 25,0 до

29,0°C. Отбор проб зоопланктона производился с борта катера путем профильтровывания через планктонную сеть Апштейна зачерпнутой с поверхности водоема воды. Фиксировали и обрабатывали их по общепринятой гидробиологической методике [6]. Для сравнения с собственными материалами были использованы литературные данные [1, 3, 4, 12—15].

Результаты исследований и их обсуждение

В силу искусственного происхождения и регулируемого режима водоема-охладителя Чернобыльской АЭС его зоопланктон состоит как из автохтонных, местных видов, присутствие которых определяется условиями жизни в самом водоеме, так и постоянно поступающих из источника водоснабжения аллохтонных видов. Такое двойное происхождение и мощное многофакторное природно-антропогенное влияние, а также свойственная этому сообществу большая динамичность, обуславливали во время эксплуатации электростанции значительные изменения его качественных и количественных характеристик как в межгодовом, так и во внутрисезонном аспекте.

Согласно литературным данным [3, 13, 14], в конце 70-х — начале 80-х годов прошлого века в состав зоопланктона водоема-охладителя входило около 70 широко распространенных видов, среди которых было 34 вида коловраток, 26 видов ветвистоусых и 9 видов веслоногих ракообразных. Почти половину из них составляли зарослевые и зарослево-пелагические беспозвоночные, оставшуюся часть — пелагические. Ведущими (по биомассе) были: *Ploesoma truncatum* (Levander), *Asplanchna priodonta* Gosse, *Brachionus angularis* Gosse, *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin), *Daphnia longispina* O. F. Müller, *D. cucullata* Sars, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller), *Bosmina longirostris* (O. F. Müller), *B. coregoni* Baird, *Acanthocyclops americanus* (Marsh). Количество видов заметно варьировало не только по сезонам, но также и из года в год — в последнем случае разница составляла 1,5 раза.

Общие численность и биомасса зоопланктона в разные годы также очень сильно различались между собой, в частности, летняя биомасса изменялась от долей грамма до десятков граммов на кубический метр. По доминированию основного таксона сообщество было кладоцерно-копеподным. Для его сезонной динамики характерным было то, что максимум развития приходился на разные месяцы, чаще всего — на весенний и раннелетний периоды, в то время как во второй половине лета из-за высоких температур количественные показатели резко уменьшались — наступала летняя депрессия [1, 3, 4, 13, 15].

Горизонтальное распределение зоопланктона по акватории водоема-охладителя ЧАЭС, а именно по участкам с разной степенью подогрева, было практически равномерным, что было обусловлено в первую очередь интенсивной циркуляцией воды. Если же неравномерность и отмечалась, то ее характер был непостоянным — наибольшие показатели развития сообщества регистрировались как на участке с максимальной, так и на участке с минимальной температурой воды.

Согласно нашим материалам за весь период наблюдений, зоопланктон водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в целом отличался очень большим таксономическим богатством — в его составе было обнаружено 55 видов коловраток (Rotatoria), 41 вид ветвистоусых (Cladocera) и 20 видов веслоногих (Copepoda) ракообразных, а кроме того ракушковые ракообразные (Ostracoda) и личинки некоторых двустворчатых моллюсков — велигеры дрейссен и глохидии унионид — всего почти 120 видов (в том числе и таксонов другого ранга) водных животных. Как видим, ведущую роль в таксономическом спектре (соотношении основных систематических групп по количеству видов) играли коловратки, хотя и без большого преимущества, составляя 48% общего количества видов. Ветвистоусых ракообразных также было немало — 35%.

В составе Rotatoria были отмечены гидробионты из 13 семейств и 19 родов, среди которых больше всего видов насчитывалось в семействах Brachionidae (14 видов), Trichocercidae (10), Euchlanidae (8), Lecanidae (7) и Synchaetidae (5 видов). К Cladocera относились 7 семейств и 26 родов, среди которых самым большим количеством видов были представлены Chydoridae и Daphniidae (21 и 7 видов соответственно), а в составе Copepoda были выявлены представители 2 семейств и 11 родов, самым богатым из которых было семейство Cyclopidae (14 видов).

Зоопланктон водоема-охладителя характеризовался также экологическим и трофическим разнообразием. Кроме обычных для водной толщи глубоководной зоны пелагических организмов, занимающих в сообществе, хотя и с небольшим отрывом, первое место (40% количества видов), в него входили представители и других экологических групп — литорально-фитофильной, или прибрежной (35%) и бентосно-фитофильной, или придонной (25% количества видов). Среди прибрежных форм можно назвать *Trichotria pocillum* (Müller), *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Sida crystallina* (O. F. Müller), *Acroperus harpae* (Baird), *Ch. sphaericus*, *Macrocylops albidus* (Jur.) и *Acanthocyclops viridis* (Jur.), а среди придонных — *Trichocerca (Diurella) similis* (Wierzejski), *Rhynchotalona rostrata* (Koch), *Alona affinis* Leydig, *Alonella nana* (Baird) и *Eucyclops serrulatus* (Fisch.).

В трофическом спектре наибольшее значение имели мирные консументы, которыми являлись фактически все коловратки и почти все ветвистоусые ракообразные, причем перевес был очень большим — 77% количества видов. К группе всеядных относились коловратки *A. priodonta* и *Asplanchna sieboldi* (Leydig), ветвистоусый *Polyphemus pediculus* (Linné), веслоногие из семейства Temoridae и несколько придонных циклопов. Хищные консументы, составляющие 13% видов, были представлены коловраткой *P. truncatum*, ветвистоусыми *Leptodora kindtii* (Foscke) и остальными полифемидами и большинством пелагических представителей семейства Cyclopidae из веслоногих ракообразных.

Такие качественные состав и структура характерны для зоопланктонных сообществ пелагиали небольших, не очень глубоких и с несильным течением водоемов, в которых с открытой водой соседствуют обширные заросли водных растений. При таких условиях многие обитатели зарослей и придон-

ных горизонтов легко попадают в водную толщу и живут здесь какое-то время.

Сравнительная оценка состояния зоопланктонного сообщества в периоды до и после прекращения работы станции позволила установить следующее. Качественное богатство после остановки возросло — общее количество видов увеличилось с 77 до 111, то есть в 1,5 раза, хотя видовое сходство между разными периодами было достаточно высоким — индекс Жаккара по общему составу был равен 59. При этом напомним, что, согласно публикациям, межгодовая разница в видовом богатстве была точно такой же и во время прежних наблюдений, то есть такое изменение можно считать обычной флуктуацией. Соответственно увеличилось и количество родов и семейств (табл. 1). Минимальное количество видов на одной станции в первый период составляло 12, максимальное — 32, а во второй период эти числа были равны соответственно 19 и 60. Следует подчеркнуть, что последний показатель является очень высоким не только для небогатых сублиторальных зоопланктоценозов водоемов такого лимнологического типа, как водоем-охладитель ЧАЭС (искусственный пруд с регулируемым режимом), но и для богатых литоральных, и даже фитофильных планктонных ценозов естественных прудов и водохранилищ [10, 15]. Таксономическая, экологическая и трофическая структура сообщества в целом по сути не изменилась, только немного уменьшились доли ветвистоусых ракообразных и обитателей водной толщи (табл. 2).

Следует особо отметить единичное нахождение в районе исследований после остановки станции очень редких в водоемах бассейна Днепра ветвистоусых *Camptocercus lilljeborgii* Schoedler и *Chydorus gibbus* Lilljeborg. Но мы связываем это отнюдь не с прекращением работы АЭС, а всего лишь с более тщательной обработкой проб.

Также нами впервые в 1993 г. (судя по имеющимся литературным данным) в этом водоеме в течение обоих периодов были обнаружены многие планктонные представители солоноватоводного понто-каспийского фаунистического комплекса видов, причем они входили не только в общий состав, но и нередко становились доминантами. Это *Evadne trigona* Sars, *Corniger maeoticus* Pengo и *C. bicornis* Zern. из Cladocera и *Heterocope caspia* Sars и *Paraergasilus rilovi* Markewitch из Copepoda. Эти зоопланктонты в большом количестве обитают в находящемся неподалеку водохранилищах Днепра, но пути их проникновения в изолированный водоем-охладитель и причины дальнейшей натурализации пока неясны. Известно, что одним из способов естественного расселения гидробионтов является перенесение их стойких стадий (цист, покоящихся яиц, впавших в анабиоз взрослых особей), могущих существовать месяцы и годы, вместе с пылью на покровах водоплавающих птиц и животных или ветром. По нашему мнению, каспийские виды попали в водоем-охладитель ЧАЭС именно таким путем.

Процветание же здесь «каспийцев»-вселенцев обусловил, на наш взгляд, такой, в первую очередь, внешний фактор как замедленное течение. Внутренним же фактором явился их высокий жизненный и адаптивный потенциал, позволивший здесь, как и во многих других освоенных ими водных

1. Таксономический состав зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в разные периоды

| Семейства | Роды | |
|-----------------|--|---|
| | до остановки станции | после остановки станции |
| Rotatoria | | |
| Notommatidae | — | <i>Cephalodella</i> |
| Trichocercidae | <i>Trichocerca (Diurella)</i> | <i>Trichocerca (Diurella)</i> |
| Synchaetidae | <i>Synchaeta, Polyarthra, Ploesoma</i> | <i>Synchaeta, Polyarthra, Ploesoma</i> |
| Asplanchnidae | <i>Asplanchna</i> | <i>Asplanchna</i> |
| Lecanidae | <i>Lecane (Monostyla)</i> | <i>Lecane (Monostyla)</i> |
| Trichotriidae | — | <i>Trichotria</i> |
| Mytilinidae | — | <i>Mytilina</i> |
| Colurellidae | — | <i>Lepadella</i> |
| Euchlanidae | <i>Euchlanis</i> | <i>Euchlanis</i> |
| Brachionidae | <i>Brachionus, Keratella, Anuraeopsis</i> | <i>Brachionus, Keratella, Kellicotia, Notholca, Anuraeopsis</i> |
| Testudinellidae | — | <i>Testudinella</i> |
| Filinae | <i>Filinia</i> | <i>Filinia</i> |
| Hexarthridae | — | <i>Hexarthra</i> |
| Cladocera | | |
| Sididae | <i>Sida, Diaphanosoma</i> | <i>Sida, Diaphanosoma</i> |
| Daphniidae | <i>Simocephalus, Moina, Ceriodaphnia, Scapholeberis</i> | <i>Daphnia, Simocephalus, Moina, Ceriodaphnia, Scapholeberis</i> |
| Macrothricidae | <i>Ilyocryptus</i> | <i>Macrothrix, Ilyocryptus</i> |
| Chydoridae | <i>Acroperus, Monospilus, Graptoleberis, Leydigia, Chydorus, Rhynchotalona, Pleuroxus, Alona, Alonella</i> | <i>Eurycercus, Camptocercus, Acroperus, Monospilus, Graptoleberis, Chydorus, Rhynchotalona, Pleuroxus, Alona, Alonella, Oxyurella</i> |
| Bosminidae | <i>Bosmina</i> | <i>Bosmina</i> |
| Polyphemidae | <i>Polyphemus, Evadne, Corniger</i> | <i>Polyphemus, Evadne, Corniger</i> |
| Leptodoridae | — | <i>Leptodora</i> |
| Copepoda | | |
| Temoridae | <i>Hetercope</i> | <i>Eurytemora, Hetercope</i> |
| Cyclopidae | <i>Eucyclops, Paracyclops, Acanthocyclops, Thermocyclops</i> | <i>Macrocyclops, Eucyclops, Paracyclops, Acanthocyclops, Diacyclops, Microcyclops, Mesocyclops, Thermocyclops, Paraergasilus</i> |

2. Спектры биоразнообразия зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС в разные периоды, %

| Спектры | Группы | Количество видов | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | | до остановки станции | | после остановки станции | |
| | | общий состав | доминанты | общий состав | доминанты |
| Таксономический | Rotatoria | 47 | 45 | 48 | 20 |
| | Cladocera | 40 | 45 | 35 | 55 |
| | Copepoda | 13 | 10 | 17 | 25 |
| Экологический | Пелагическая | 47 | 72 | 42 | 70 |
| | Литорально-фитофильная | 31 | 18 | 35 | 15 |
| | Бентосно-фитофильная | 22 | 10 | 23 | 15 |
| Трофический | Мирная | 80 | 55 | 77 | 55 |
| | Всеядная | 10 | 10 | 10 | 25 |
| | Хищная | 10 | 35 | 13 | 20 |

объектах, не только не уступит коренным пресноводным видам, но даже и превзойти их.

В доминирующем комплексе видов зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС (с охватом всех участков и учетом всех периодов), имеющих частоту встречаемости по всей акватории не менее 50% и преобладающих по биомассе, решающая роль среди таксономических групп принадлежала ветвистоусым ракообразным, составляющим 52% количества видов, что в 1,5 раза больше, чем в сообществе в целом, в то время как доля коловраток была почти вдвое меньше (27%) (табл. 3). Среди экологических групп в составе доминирующих видов ключевое положение занимали пелагические гидробионты, составляя 70% видов (то есть здесь их было почти вдвое больше, чем в общем видовом составе), а среди трофических — мирные консументы (65%), чья доля была немного меньше, чем в общем списке видов, в то время как всеядных было вдвое больше (22%).

Как видим, в отличие от зоопланктонного сообщества в целом, доминирующие комплексы видов после прекращения работы станции изменились достаточно ощутимо, о чем также свидетельствует небольшой индекс сходства Жаккара, составивший 35 между периодами. Видов, являющихся доминантами и субдоминантами в оба периода, было немного — 8 из 23: *A. priodonta*, *E. dilatata*, *B. calyciflorus*, *Ch. sphaericus*, *B. longirostris*, *E. trigona*, *C. maeoticus*, *A. americanus*. Если до остановки АЭС большинство доминирующих видов относилось в равной степени к коловраткам и ветвистоусым, то после остановки — только к ветвистоусым, при этом количество коловраток стало намного меньшим, а веслоногих — большим (см. табл. 2). Также увеличилась доля всеядных беспозвоночных и уменьшилась доля хищных.

3. Биомасса видов доминирующих комплексов зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС в разные сезоны года, мг/м³

| Виды | До остановки станции | | После остановки станции | |
|--|----------------------|------|-------------------------|-------|
| | весна | лето | весна | лето |
| <i>Synchaeta</i> sp. | 1,5 | 0,4 | — | — |
| <i>Ploesoma truncatum</i> (Levander) | 56,7 | 2,8 | — | — |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse | 10,2 | 4,2 | 262,3 | 2,3 |
| <i>A. sieboldi</i> (Leydig) | — | — | — | 18,3 |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg | 8,6 | — | 1,3 | — |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas | 119,5 | 1,7 | — | 16,4 |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin) | — | — | — | 11,2 |
| <i>Daphnia longispina</i> O. F. Müller | — | — | — | 27,4 |
| <i>D. cucullata</i> Sars | — | — | — | 106,7 |
| <i>Moina micrura</i> Hellich | — | — | — | 89,0 |
| <i>Acroperus harpae</i> (Baird) | — | — | — | 2,7 |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller) | 8,0 | — | 45,1 | — |
| <i>Rhynchotalona rostrata</i> (Koch) | 9,9 | — | — | — |
| <i>Alona affinis</i> Leydig | — | — | — | 2,5 |
| <i>Alonella nana</i> (Baird) | — | — | 11,5 | — |
| <i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller) | 205,0 | 4,8 | 146,9 | 6,1 |
| <i>Evadne trigona</i> Sars | — | 0,3 | — | 14,5 |
| <i>Corniger maeoticus</i> Pengo | — | 1,5 | — | 6,4 |
| <i>Eurytemora velox</i> (Lill.) | — | — | 59,1 | — |
| <i>Heterocope caspia</i> Sars | — | — | — | 4,1 |
| <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fisch.) | — | — | 45,4 | — |
| <i>Acanthocyclops americanus</i> (Marsh) | 39,7 | — | — | 30,7 |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus | — | — | 37,7 | 2,8 |

П р и м е ч а н и е. «—» — вид не является доминантом.

Более детальное, с учетом отдельных сезонов года, сравнение качественного состава зоопланктона продемонстрировало видовое сходство такого же порядка как общего состава, так и доминантов — в среднем соответствующие индексы Жаккара были равны 52 и 26 (табл. 4). Первые же пары доминирующих видов (виды-эдификаторы) в каждый из сезонов до и после остановки станции были, за некоторым исключением, достаточно подобными — весной 1993 г. это были *B. longirostris* и *B. calyciflorus*, летом 2000 г. — *B. longirostris* и *A. priodonta*, весной 2001 г. — *A. priodonta* и *B. longirostris*, летом 2001 г. — *D. cucullata* и *Moina micrura* Hellich.

4. Видовое сходство (по Жаккару) зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС в разные сезоны года

| Сезоны | Общий видовой состав | | | | Доминирующие виды | | | |
|--------|----------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | — | 61 | 38 | 52 | — | 45 | 31 | 20 |
| 2 | 61 | — | 47 | 61 | 45 | — | 15 | 29 |
| 3 | 38 | 47 | — | 53 | 31 | 15 | — | 15 |
| 4 | 52 | 61 | 53 | — | 20 | 29 | 15 | |

П р и м е ч а н и е. 1 — весна 1993 г.; 2 — лето 2000 г.; 3 — весна 2001 г.; 4 — лето 2001 г.

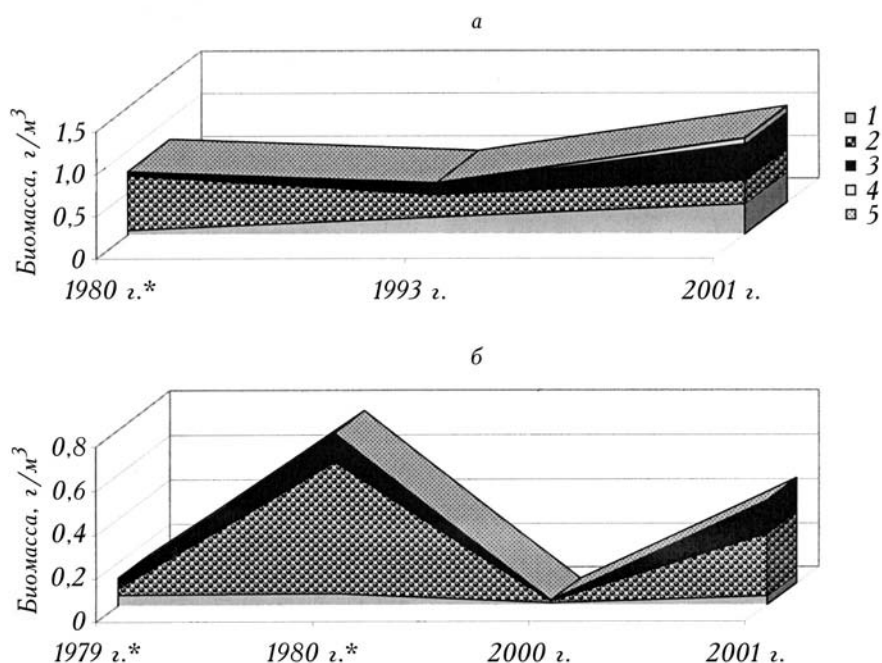
Следует также отметить, что фаунистическое сходство по Жаккару группы ведущих видов прежних лет с группой доминантов каждого из рассмотренных периодов было практически одинаковым — индекс составил соответственно 31 и 32. Иными словами, доминирующий комплекс видов зоопланктона водоема-охладителя менялся постоянно, независимо от того, работала или не работала станция, что дает полное право полагать, что такое поведение этого комплекса укладывается в рамки свойственных ему межгодовых флуктуаций.

Количественное обилие и структурная организация зоопланктонного сообщества водоема-охладителя ЧАЭС до и после прекращения эксплуатации электростанции в среднем за год различались не очень сильно — общие численность и биомасса составляли в соответствующие периоды 49,1 тыс. экз/м³ и 0,318 г/м³ и 72,4 тыс. экз/м³ и 0,809 г/м³, то есть численность после остановки станции увеличилась в 1,5, а биомасса — в 2,5 раза, в то время как среди основных систематических групп по биомассе все время господствовали ракообразные (Crustacea) — в первый период представители Cladocera (составляя 43%) и Copepoda вместе с Cladocera (36 и 35%) — во второй.

Но уровень этих различий был очень разным в разные сезоны года. Так, средние весенние количественные характеристики зоопланктона после остановки АЭС изменились мало — было 92,2 тыс. экз/м³ и 0,611 г/м³, стало — 104,7 тыс. экз/м³ и 1,136 г/м³, то есть численность осталась прежней, а биомасса увеличилась всего вдвое, что для зоопланктона не принципиально. По структуре сообщество осталось крустацейным, хотя и преобразовалось из кладоцерного в копеподное (рис. 1, 2).

Зато летние количественные параметры и структурная организация изменились очень существенно — общая численность зоопланктона увеличилась в 7 (с 5,9 до 40,0 тыс. экз/м³), а биомасса — в 20 раз (с 0,024 до 0,482 г/м³), а преобладать по биомассе среди основных таксономических групп вместо Rotatoria вместе с Cladocera стали только Cladocera.

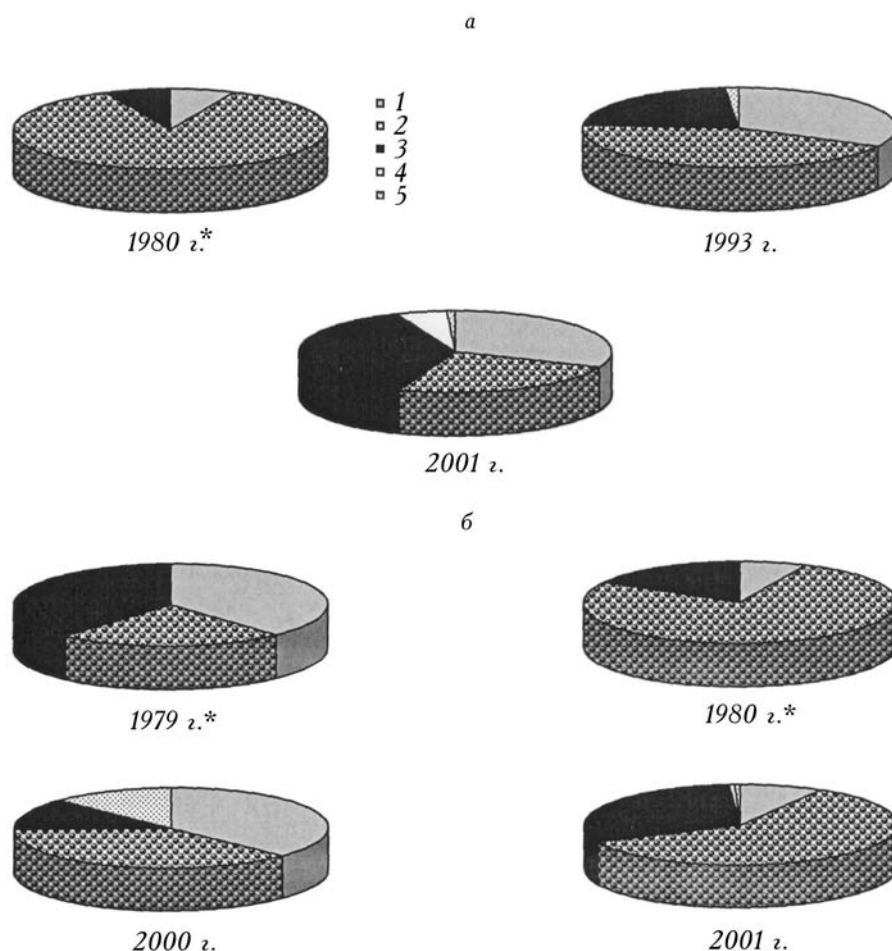
Такие различия в состоянии зоопланктона летом до и после остановки станции можно объяснить в первую очередь тем, что исследования первого периода совпали с депрессией сообщества, обусловленной высокой температурой (достигающей 33,5°C), которая установилась в водоеме в связи с ра-



1. Биомасса зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в разные сезоны года (*a* — весна; *b* — лето). Здесь и на рис. 2, 3: 1 — Rotatoria; 2 — Cladocera; 3 — Copepoda; 4 — Ostracoda; 5 — larvae Mollusca; * — расчет сделан по данным [13].

ботой станции и жаркой погодой, так как известно, что повышение температуры сверх порога 28—30°C губительно для живого [6]. Наблюдения же во второй период пришлось на нормальное функционирование при температуре 25,0—29,0°C. А вот весной развитие и структура в разные периоды были достаточно сходными в силу того, что в этом сезоне избыточного перегрева почти никогда не бывало. Но при этом следует помнить также и о свойственной этому сообществу большой динамичности, проявляющейся в постоянном чередовании подъемов и спадов развития, причем как в межгодовом аспекте, так и в течение одного вегетационного сезона.

При привлечении литературных данных по сезонной и межгодовой динамике зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС оказалось, что показатели его количественного развития и их динамика двадцать лет назад были очень близкими к таковым в период наших наблюдений [13]. Так, весной общая биомасса составляла приблизительно 0,750 г/м³ при доминировании ветвистоусых, а летом — 0,130 г/м³ в год с чрезмерным перегревом воды и 0,750 г/м³ в год, когда температура была умеренно высокой, то есть разница составляла 6 раз, при этом в первом случае лидировали коловратки вместе с веслоногими, а во втором — ветвистоусые (см. рис. 1, 2). Иначе говоря, обнаруженные нами различия между летними параметрами зоопланктона в до- и послеостановочный период имели такой же масштаб, что и диапазон их варьирования во время работы станции.



2. Соотношение по биомассе таксонов зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в разные сезоны года (*a* — весна; *b* — лето).

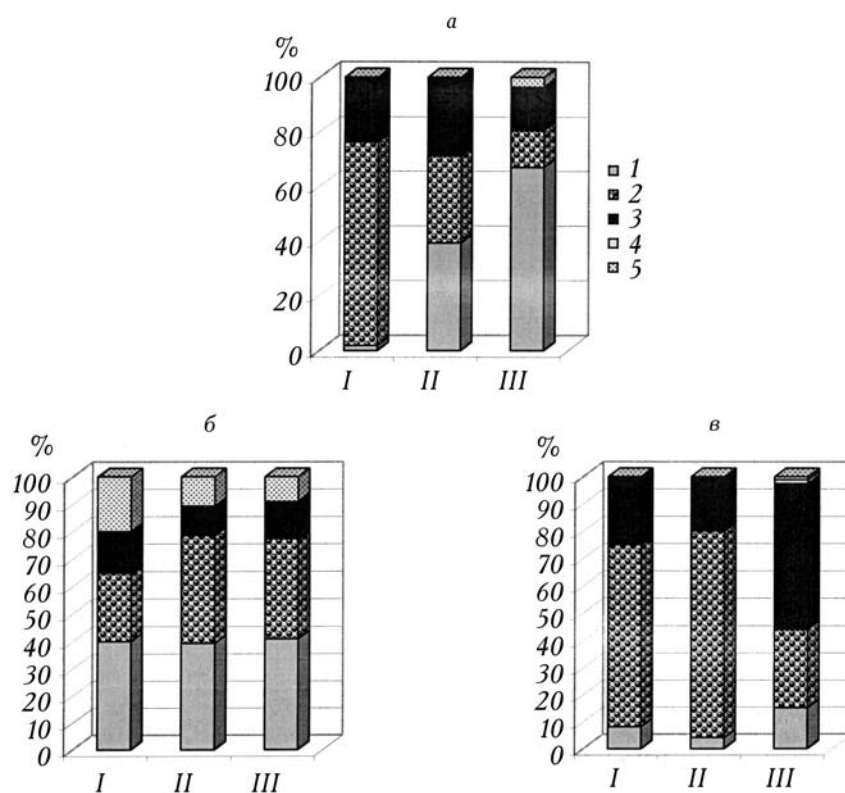
Таким образом, можно предположить, что многократное увеличение летнего количества зоопланктона после остановки станции только отчасти было связано с прекращением подогрева воды и тем самым не являлось прямым следствием снятия антропогенной нагрузки, а представляло собой всего лишь «волну жизни» зоопланктона, иначе говоря, было проявлением свойственной этому сообществу межгодовой динамики. Вместе с тем, вполне возможно, что в будущем в результате прекращения эксплуатации электростанции резких колебаний уровня развития зоопланктона на протяжении лета, имевших место в прошлом из-за наступления периодов его депрессии, больше не будет.

Ощутимые изменения в зоопланктонном сообществе водоема-охладителя ЧАЭС после прекращения антропогенного воздействия претерпел характер горизонтального распределения. До остановки станции, несмотря на большую разность температур на разных участках водоема, распределение

5. Горизонтальное распределение зоопланктона водоема-охладителя ЧАЭС в разные сезоны года (над чертой — численность, тыс. экз/м³, под чертой — биомасса, г/м³)

| Участки | Rotatoria | Cladocera | Copepoda | Ostracoda | Larvae Mollusca | Вместе |
|-------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------------|--------|
| Весна 1993 г. | | | | | | |
| «Горячий» | 16,9 | 54,8 | 20,5 | 0 | 0,9 | 93,1 |
| | 0,014 | 0,550 | 0,174 | 0 | 0,003 | 0,741 |
| «Теплый» | 88,0 | 9,5 | 9,4 | 0 | 0 | 106,9 |
| | 0,208 | 0,170 | 0,152 | 0 | 0 | 0,530 |
| «Холодный» | 60,4 | 4,5 | 9,7 | 0 | 2,1 | 76,7 |
| | 0,377 | 0,076 | 0,090 | 0 | 0,020 | 0,563 |
| Лето 2000 г. | | | | | | |
| Водосброс- ной канал | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 0 | 1,0 | 2,3 |
| | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0 | 0,003 | 0,009 |
| «Горячий» | 4,0 | 0,2 | 0,4 | 0 | 1,3 | 5,9 |
| | 0,008 | 0,005 | 0,003 | 0 | 0,004 | 0,020 |
| «Теплый» | 4,0 | 0,8 | 0,4 | 0 | 1,0 | 6,2 |
| | 0,011 | 0,011 | 0,003 | 0 | 0,003 | 0,028 |
| «Холодный» | 3,7 | 0,7 | 0,2 | < 0,1 | 0,7 | 5,3 |
| | 0,009 | 0,008 | 0,003 | < 0,001 | 0,002 | 0,022 |
| Лето 2001 г. | | | | | | |
| Водосброс- ной канал | 0,9 | 0,9 | 3,8 | 0 | 0,1 | 5,7 |
| | 0,004 | 0,017 | 0,036 | 0 | < 0,001 | 0,057 |
| «Горячий» | 16,1 | 15,2 | 18,8 | 0 | 0,6 | 50,7 |
| | 0,071 | 0,575 | 0,214 | 0 | 0,002 | 0,862 |
| «Теплый» | 20,0 | 6,4 | 10,3 | 0 | 0,6 | 37,3 |
| | 0,018 | 0,325 | 0,083 | 0 | 0,002 | 0,428 |
| «Холодный» | 15,3 | 2,8 | 18,4 | 0,1 | 1,4 | 38,0 |
| | 0,054 | 0,102 | 0,188 | 0,005 | 0,004 | 0,353 |

зоопланктона по акватории в силу интенсивной циркуляции воды было довольно равномерным — количество видов в среднем по участку варьировало от 28 до 32 весной и от 18 до 25 летом, а максимальные значения общей численности и биомассы и весной, и летом были больше минимальных не более, чем в 1,5 раза. Вместе с тем, если летом соотношения таксонов на разных участках как по численности, так и по биомассе были очень похожими (везде доминировали коловратки вместе с ветвистоусыми ракообразными), то весной доли коловраток и ветвистоусых были неравными — количество первых заметно увеличивалось от «горячего» участка к «холодному», а вторых — соответственно уменьшалось (табл. 5, рис. 3). Это скорее всего было



3. Соотношение по биомассе таксонов зоопланктона разных участков водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в разные сезоны года: *a* — весна 1993 г.; *б* — лето 2000 г.; *в* — лето 2001 г.; *I* — «горячий»; *II* — «теплый»; *III* — «холодный» участок.

обусловлено значительной концентрацией коловраток в подкачиваемых водах, что очень характерно для весеннего речного зоопланктона. Поэтому и индексы видового сходства были достаточно большими летом, составляя в среднем 55 по общему составу и 52 по доминирующим видам, и меньшими — весной (соответственно 38 и 25) (табл. 6, 7).

Весной наибольшее во всех отношениях богатство зоопланктона было зафиксировано на «горячем» участке, поскольку в этот сезон года подогрев оказывал на биоту позитивное влияние. Летом же сообщество этого участка было самым бедным, что было обусловлено в первую очередь негативным воздействием повышенной температуры, а также поступлением сюда из водобросного канала водных масс, прошедших через охлаждающую систему станции и несущих мало планктонных беспозвоночных (15 видов, 2,3 тыс. экз/м³, 0,009 г/м³).

После остановки станции фаунистическая общность зоопланктона на разных участках водоема-охладителя летом осталась такой же высокой, как на протяжении предыдущего периода, — индексы сходства Жаккара были равны в среднем 63 для сообщества в целом и 46 для доминирующих комплексов. В то же время количество видов стало изменяться в широких преде-

6. Видовое сходство (по Жаккару) общего состава зоопланктона разных участков водоема-охладителя ЧАЭС в разные сезоны года

| Участки | Весна 1993 г. | | | Лето 2000 г. | | | Лето 2001 г. | | |
|---------|---------------|----|----|--------------|----|----|--------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | — | 50 | 38 | — | 61 | 45 | — | 68 | 56 |
| 2 | 50 | — | 26 | 61 | — | 58 | 68 | — | 64 |
| 3 | 38 | 26 | — | 45 | 58 | — | 56 | 64 | — |

Примечание. Здесь и в табл. 7: 1 — «горячий»; 2 — «теплый»; 3 — «холодный» участок.

7. Видовое сходство (по Жаккару) доминантов зоопланктона разных участков водоема-охладителя ЧАЭС в разные сезоны года

| Участки | Весна 1993 г. | | | Лето 2000 г. | | | Лето 2001 г. | | |
|---------|---------------|----|----|--------------|----|----|--------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | — | 40 | 17 | — | 63 | 50 | — | 67 | 32 |
| 2 | 40 | — | 17 | 63 | — | 44 | 67 | — | 39 |
| 3 | 17 | 17 | — | 50 | 44 | — | 32 | 39 | — |

лах — от 28 на «теплом» участке до 40 на «холодном». Кроме того, достаточно неравномерным стало и горизонтальное распределение количественных характеристик — разница между наибольшими и наименьшими средними по участку величинами численности и биомассы стала достигать 2,5 раз. Разными стали и соотношения таксонов, и виды-эдификаторы — по численности преобладали то Rotatoria, то Copepoda, по биомассе — то Cladocera, то Copepoda, а первыми в доминирующем комплексе видов были то *M. micrura* и *A. sieboldi*, то *D. cucullata* и *E. trigona*, то *A. americanus* и *B. calyciflorus*.

Согласно публикациям, работы, проведенные в водоеме через несколько лет после остановки АЭС (в 2002—2003 гг.), подтвердили, что зоопланктон в нем характеризуется значительной гетерогенностью [12].

Таким образом, после снятия антропогенной нагрузки более равномерное горизонтальное распределение зоопланктона водоема-охладителя сменилось менее равномерным. Скорее всего это произошло в связи с замедлением течения и ослаблением перемешивания водных масс и тем самым повышением роли конкретных местообитаний в формировании отдельных сообществ (в частности, станций, заросших водной растительностью, расположенных вблизи водоема подкачки или водосбросного канала и др.).

Заключение

После прекращения эксплуатации Чернобыльской АЭС многие качественные и количественные параметры зоопланктона водоема-охладителя претерпели изменения, которые были особенно существенными летом. Так, общее количество видов увеличилось в 1,5 раза, летняя общая численность — в 7 (с 5,9 до 40,0 тыс. экз/м³), биомасса — в 20 раз (с 0,024 до 0,482 г/м³), а преобладать по биомас-

се вместо Rotatoria вместе с Cladocera стали только Cladocera. Но это многократное обогащение, по-видимому, только отчасти было связано с прекращением подогрева воды и тем самым не являлось следствием снятия антропогенной нагрузки, а было проявлением свойственной этому сообществу межгодовой динамики.

В то же время после остановки станции более равномерное распределение зоопланктона по участкам водоема сменилось менее равномерным (разница между наибольшими и наименьшими характеристиками стала достигать 2,5 раз), что произошло в связи с замедлением течения и повышением роли конкретных местообитаний в формировании отдельных сообществ.

**

Наведено результати дослідження якісного складу, кількісного розвитку, структури, просторового розподілу та сезонної динаміки зоопланктону водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС перед і після зупинки станції. Зроблено висновок, що наслідком зняття антропогенного навантаження була заміна більш рівномірного розподілу зоопланктону по ділянках водойми менш рівномірним, а багаторазове збагачення, певно, було проявом властивої цьому угрупованню міжрічної динаміки.

**

The results of investigation of qualitative composition, quantitative development, structure, horizontal distribution and seasonal dynamics of zooplankton of the Chernobyl NPS cooling reservoir before and after stop of station are given. The conclusion has been made, that the consequence of anthropogenic press cancellation was the change of more even distribution of zooplankton on the reservoir plots by less even, and many-time enrichment apparently was the display of this community proper inter-annual dynamics.

**

1. Виноградская Т.А., Кошелева С.И., Ленчина Л.Г., Сергеева О.А. Планктон водоема-охладителя атомной электростанции // Материалы VI Всесоюз. лимнол. совещ. «Круговорот вещества и энергии в водоемах», Лиственничное-на-Байкале, 4—6 сент. 1985 г. — Иркутск: Б. и., 1985. — Вып. 1. — С. 93—95.
2. Дьяченко Т.Н., Насвит О.И. Макрофиты водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 3. — С. 32—36.
3. Кафтанникова О.Г., Коробейников В.Л., Калиниченко Р.А. та ін. Санітарно-біологічний режим водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС // Вісн. АН УССР. — 1982. — № 3. — С. 86—93.
4. Кафтанникова О.Г., Протасов А.А., Сергеева О.А. и др. Влияние сбросных подогретых вод на экосистему водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // V съезд Всесоюз. гидробиол. об-ва: Тез. докл., Тольятти, 15—19 сент. 1986 г. — Куйбышев: Б.и., 1986. — Ч. 1. — С. 191—192.
5. Лебедева Г.Д. Влияние радиоактивного загрязнения на биоту водоемов // Вод. ресурсы. — 1989. — № 1. — С. 135—143.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д.Романенка — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.

7. *Мордухай-Болтовской Ф.Д.* Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов (Обзор) // Экология организмов водоемов-охладителей: Тр. Ин-та биологии внутр. вод. — 1975. — Вып. 27(30). — С. 7—69.
8. *Новиков Б.И.* Гидрологические и гидрофизические характеристики водоемов-охладителей // Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 5—24.
9. *Онанко Ю.И.* Радиорезистентность планктонных ракообразных // Рыб. хоз-во. — 1973. — № 3. — С. 18—20.
10. *Пигайко М.Л.* Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. — М.: Наука, 1984. — 208 с.
11. *Поливанная М.Ф., Сергеева О.А.* Зоопланктон водоемов-охладителей тепловых электростанций Украины // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. — Киев: Наук. думка, 1971. — С. 188—206.
12. *Протасов А.А.* Сообщества беспозвоночных водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. Сообщение 1. Сообщества зоопланктона, их состав и структура // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 5. — С. 3—23.
13. *Сергеева О.А.* Сезонная динамика зоопланктона водоема-охладителя Чернобыльской атомной электростанции // Там же — 1985. — Т. 21, № 1. — С. 32—36.
14. *Сергеева О.А.* Многолетняя динамика и запасы зоопланктона водоема-охладителя атомной электростанции // XIX конф. «Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана»: Тез. докл., Ашхабад, 9—11 окт. 1986 г. — Ашхабад: Ылым, 1986. — С. 121—122.
15. *Сергеева О.А.* Зоопланктон // Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. — Киев: Наук. думка, 1991. — С. 80—92.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 17.10.08