



# Трансформация экосистем Ecosystem Transformation [www.ecosysttrans.com](http://www.ecosysttrans.com)

## Техноэкосистема водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС: динамика группировок и их трансформация

Т.Н. Новоселова\*, А.А. Силаева, Ю.Ф. Громова,  
Т.И. Меньшова, И.А. Морозовская, А.А. Протасов

Институт гидробиологии НАН Украины, 04210, Украина, г. Киев, пр. Героев Сталинграда, д. 12

\*[labtech-hb@ukr.net](mailto:labtech-hb@ukr.net)

Поступила в редакцию: 12.11.2019  
Принята к печати: 14.01.2020  
Опубликована онлайн: 17.02.2020

DOI: 10.23859/estr-191112  
УДК 574.5 (28)

ISSN 2619-094X Print  
ISSN 2619-0931 Online

Представлены результаты многолетних комплексных гидробиологических исследований одного из элементов водной техноэкосистемы Южно-Украинской АЭС (ЮУ АЭС) – водоема-охладителя. Уровень развития зоо- и фитопланктона вплоть до 1984–1985 гг. возрастал, летом 1986 г. на фоне экстремально высоких температур в водоеме произошло значительное (в 32 раза) снижение средней биомассы фитопланктона, тогда же была отмечена и минимальная численность зоопланктона. В последующие годы происходило восстановление обилия этих группировок, однако прежнего уровня развития они уже не достигли. На современном этапе в зоопланктоне отмечено существенное развитие термофильных видов. В зооперифитоне, по данным последних лет, полное доминирование принадлежало инвазивным брюхоногим моллюскам *Melanooides tuberculata* (Müller, 1774) и *Terebia granifera* (Lamarck, 1822). В эпифитоне количество НОТ и групп беспозвоночных было более чем в 2 раза выше по сравнению с эпифитоном (17 и 7 соответственно). На первых этапах развития экосистемы водоема-охладителя формировались сообщества перифитона с доминированием *Dreissena polymorpha* Pall., 1771, которые при повышении температуры элиминировались и не восстановились полностью при постоянно высокой термической нагрузке после введения в работу второго и третьего энергоблоков АЭС. В многолетнем аспекте по мере становления донных биотопов уровень развития зообентоса возрастал, а с увеличением техногенной нагрузки снижался. На современном этапе зообентос беден (9 таксонов), характеризуется низкими показателями обилия при доминировании в основном ювенильных тубифицид.

**Ключевые слова:** техногенная сукцессия, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, зооперифитон, брюхоногие моллюски, виды-вселенцы, р. Южный Буг.

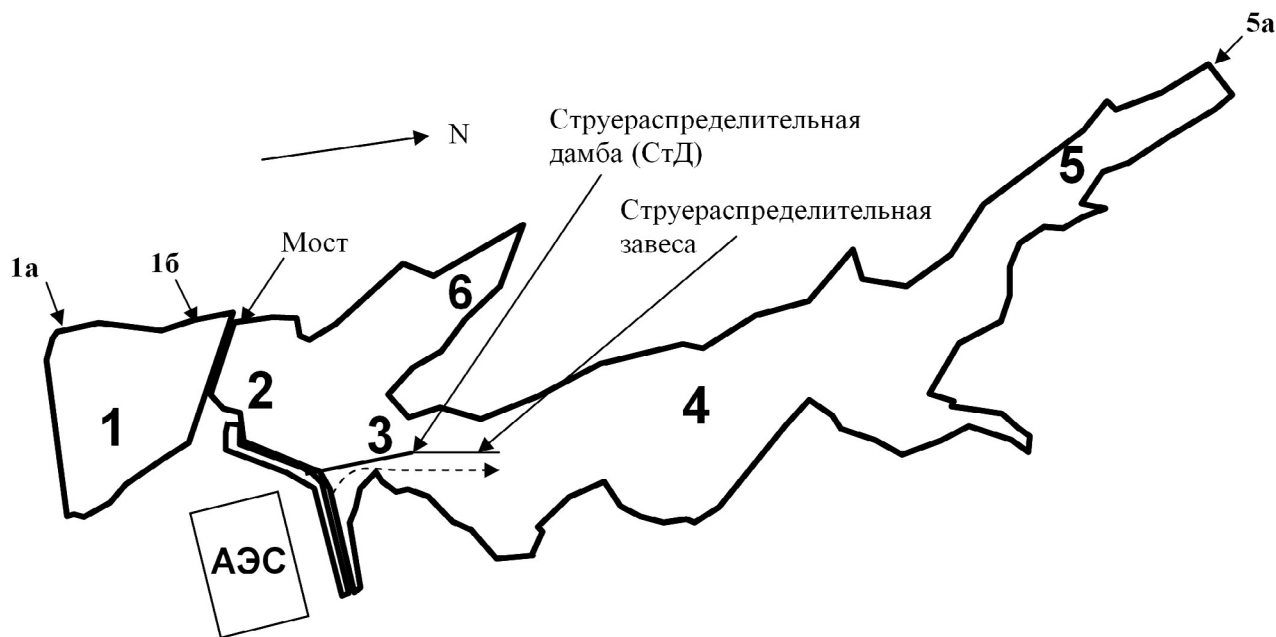
## Введение

Явление экологической сукцессии – закономерной трансформации структурно-функциональной организации – свойственно всем экосистемам. Однако для техноэкосистем важны не только, а иногда и не столько, естественные процессы, но и антропогенные: связанные с особенностями конструкции, характера эксплуатации различных систем водопользования и водоснабжения тех или иных промышленных предприятий, энергетических станций и т.п. (Безносков и Суздалева, 2005; Протасов и др., 2011). На гидробиологический режим водоемов-охладителей (ВО), входящих в состав техноэкосистем АЭС и ТЭС, воздействуют такие факторы, как изменение гидродинамического режима, поступление дополнительного тепла, а также органических и неорганических веществ с водами подпитки и различными техногенными стоками (Протасов и др., 1991, 2011; Протасов и Силаева, 2012; Protasov et al., 1994; Zdanowski and Protasov, 1998). Кроме того, в настоящее время определенное значение имеют процессы, связанные с климатическими изменениями. Массовое развитие некоторых гидробионтов может вызывать биологические помехи в работе технических систем электростанции (Protasov et al., 2009).

Цель данной работы – установить направленность трансформации техноэкосистемы водоема-охладителя атомной электростанции в условиях техногенной сукцессии.

## Материалы и методы исследования

Водоем-охладитель (ВО) ЮУ АЭС создан на р. Ташлык (левый приток р. Южный Буг, в 35 км южнее города Первомайск) посредством строительства плотины (в 1979–1980 гг.) и наполнен водами р. Южный Буг. При нормальном подпорном уровне, согласно проектным данным, площадь водоема составляет 8,6 км<sup>2</sup>, объем – 86,0 млн м<sup>3</sup>. Водоем-охладитель – водный объект каньонного типа, наибольшая глубина (до 46 м) отмечена в приплотинном районе; в центральной части и в верховье преобладают глубины 13–15 м. Для снижения волновой абразии берега укреплены каменной отсыпкой. Дополнительная подкачка воды осуществляется из р. Южный Буг. С 2004 г. выполняется постоянная продувка ВО со сбросом воды в р. Южный Буг (расход воды при этом составляет 0,5 м<sup>3</sup>/с). На станции эксплуатируются три энергоблока мощностью по 1000 МВт с реакторами ВВР-1000, введенными в эксплуатацию в 1982, 1985 и 1989 гг. Вода для охлаждения подается по подводным каналам (ПК). Для отвода подогретых циркуляционных вод существует отводящий канал небольшой протяженности (около 600 м). В 2017 г. в районе выхода из него была сооружена дамба и «тепловая завеса» длиной около 500 м из полимерного материала, подвешенная на понтонах от поверхности воды до дна, которая позволила направить поток подогретой воды в сторону верховья водохранилища.



**Рис. 1.** Схема водоема-охладителя ЮУ АЭС: 1 – приплотинный участок, 2 – район входа в подводный канал, 3 – район выхода отводящего канала за тепловой струераспределительной завесой, 4 – средняя часть ВО, 5 – верхняя часть ВО, 6 – кут большого залива. Пунктирная стрелка указывает направление сброса подогретых вод.

Гидробиологические исследования на водных объектах энергокомплекса ЮУ АЭС с большей или меньшей регулярностью осуществлялись с начала 1980-х гг. Последний отбор проб и наблюдения проводился в июле 2018 г. Для анализа ретроспективных данных использовали собственные, литературные и архивные материалы (база гидробиологических данных WaCo группы технической гидробиологии Института гидробиологии НАНУ).

В пелагической части водохранилища пробы фито- и зоопланктона отбирались по всей акватории (Рис. 1): фитопланктона – из поверхностного горизонта батометром, зоопланктона – методом тотального лова сетью Апштейна (размер ячеек 80 мкм) от глубины 3 м до поверхности воды. Параллельно с отбором проб проводились измерения температуры и прозрачности воды по диску Секки. Отбор проб зообентоса проводился на тех же станциях на глубине от 6.0 до 8.0 м, а также на прибрежных участках в верховье (станции 5 и 5а) и в большом заливе (станция 6) на глубине 0.6–1.1 м (Рис. 1). Грунты ВО ЮУ АЭС в настоящее время представлены заиленной глиной со значительным количеством раковин брюхоногих моллюсков *Melanooides tuberculata* (Müller, 1774) и *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822).

Зооперифитон исследовался на твердых субстратах (эпилитон): на каменном укреплении плотины (станция 1а), берега ВО (1б) и в районе выхода отводящего канала, а также на стеблях тростника южного *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, 1820 (эпифитон).

Для определения таксономического состава, биомассы и численности использовали общепринятые стандартные методы исследования (Арсант и др., 2006). При описании таксономического состава использовали термин низший определенный таксон (НОТ) – обозначение таксонов как видового, так и более высокого ранга, определенных в соответствии с возможностями идентификации. Названия и систематическая принадлежность таксонов фитопланктона приведены согласно базе данных Algaebase ([www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)). Расчет численности и биомассы эпифитона проводился на площадь растительного субстрата.

Сходство таксономического состава оценивалось по коэффициентам Серенсена и Смирнова (Песенко, 1982). Коэффициент Смирнова также использовался для расчета оригинальности состава НОТ ( $t_{xx}$ ). Для оценки неоднородности распределения показателей планктона и зообентоса по акватории использовали коэффициент вариации (CV) (Плохинский, 1970). Определение видового разнообразия (НОТ-разнообразия) проводился по индексу Шеннона (Песенко, 1982). Таксономическое разнообразие группировок гидробионтов (Протасов, 2002) рассчитывалось по количеству НОТ в таксономических группах с использованием формулы, аналогичной индексу Шеннона.

## Результаты и их обсуждение

В период исследований в 2018 г. работали два энергоблока АЭС. В районе выхода отводящего канала температура достигала 41.2 °С, на остальной акватории изменялась в пределах 32.7–35.4 °С. Температура воды в р. Южный Буг в этот период составляла 26.6–27.5 °С. Показатели прозрачности воды изменялись от 0.65 до 1.50 м. Минимальные значения наблюдались с «холодной» стороны тепловой завесы в районе выхода отводящего канала, максимальные – на приплотинном участке.

Вода в ВО характеризовалась относительно высокими значениями рН, на приплотинном участке (станция 1) этот показатель варьировал от 8.63 на поверхности до 8.42 на глубине 30 м. На остальной акватории в поверхностном горизонте его значение изменялось в пределах 8.60–8.77, максимальным оно было в верховье ВО (станция 5).

Показатели содержания растворенного кислорода на приплотинном участке на глубине от 0.5 до 30.0 м были достаточно высокими: 7.20–7.68 мг/дм<sup>3</sup>.

Характерной особенностью ВО ЮУ АЭС является высокое содержание в воде сульфат-ионов (Табл. 1). Для сравнения, в ВО Запорожской АЭС их содержание составляло около 70 мг/дм<sup>3</sup>, а в ВО Хмельницкой АЭС достигало 130 мг/дм<sup>3</sup> (2018 г., по данным эколого-химических лабораторий АЭС).

Высокие значения сухого остатка (Табл. 1) свидетельствовали о высокой минерализации. По данным, предоставленным эколого-химической

Табл. 1. Гидрохимические показатели ВО ЮУ АЭС, июль 2018 г.

Станция	рН	Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг P/дм <sup>3</sup>	ПО, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
1	8.63	350	1090	0.19	0.009	0.66	0.016	6.56
ПК № 1	8.75	354	1115	0.17	0.012	0.77	0.016	5.76
2	8.60	353	1089	0.18	0.009	0.62	0.023	7.52
4	8.67	353	1099	0.1	0.009	0.52	0.016	7.04
5	8.77	352	1084	0.1	0.009	0.54	0.016	7.52

лабораторией ЮУ АЭС, по величине минерализации ВО находится на границе олигогалинных и β-мезогалинных солоноватых вод, по концентрации главных ионов относится ко II типу, сульфатному классу, группе натрия ( $S_{II}^{Na}$ ).

Содержание биогенных элементов (азота и фосфора) в ВО было относительно невысоким (мезотрофные – эвтрофные воды). Содержание органического вещества в воде (по показателям перманганатной окисляемости, ПО) также невысоко, что соответствует мезоэвтрофным водам (Табл. 1).

В 2018 г. фитопланктон ВО насчитывал в своем составе 52 НОТ водорослей из пяти отделов. Наибольшее богатство фитопланктона наблюдалось в верхней, наименее подверженной подогретым сбросам части ВО (Табл. 2). Флористический спектр формировали зеленые ( $59.15 \pm 0.88\%$ ), диатомовые ( $18.05 \pm 1.85\%$ ), цианобактерии ( $11.42 \pm 1.06\%$ ), харофитовые ( $5.80 \pm 1.03\%$ ) и криптофитовые водоросли ( $5.58 \pm 0.66\%$ ). Состав фитопланктона на отдельных станциях был достаточно сходным: значения коэффициента Серенсена колебались от 0.50 до 0.85 (в среднем  $0.68 \pm 0.01$ ). Таксономическое разнообразие было невысоким ( $1.70 \pm 0.03$  бит/таксон) и мало изменялось по акватории водоема (коэффициент вариации  $CV = 3.83\%$ ). Относительно невысокие значения таксономического разноо-

бразия фитопланктона, связанные, как правило, с выраженным доминированием одного из отделов по количеству НОТ, являются особенностью водоемов-охладителей (Novoselova and Protasov, 2015).

Количественные показатели фитопланктона были достаточно равномерно распределены по акватории ВО ( $CV_N = 35.13\%$ ,  $CV_B = 26.61\%$ ). Уровень численности определялся главным образом цианобактериями ( $58.38 \pm 6.05\%$  от общей) и зелеными водорослями ( $31.70 \pm 4.68\%$ ). По всей акватории из цианобактерий доминировали *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek, 1994 и *Merismopedia minima* G. Beck, 1897; из зеленых на некоторых станциях в доминирующий комплекс входила *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) Proschkina-Lavrenko, 1966. На всех исследованных станциях в состав доминирующего комплекса по биомассе входил *Cosmarium* sp. (харофитовые). В верховье водоема (станция 5), на приплотинном участке (станция 1) и в большом заливе (станция 6) к составу доминантов присоединялась *B. lauterbornii*. Также на некоторых станциях в качестве доминантов выступали *Nitzschia kuetzingiana* Hilse, 1863 (диатомовые) и *Rhodomonas pusilla* (H. Bachmann) Javornicky, 1967 (криптофитовые).

На большинстве исследованных станций НОТ-разнообразие было достаточно высоким. В

**Табл. 2.** Структурные показатели пелагических экологических группировок ВО ЮУ АЭС, июль 2018 г.  $N_{Sp}$  – количество видов/НОТ;  $H_{tax}$  – таксономическое разнообразие, бит/таксон;  $N$  – численность, млн кл/дм<sup>3</sup> (для фитопланктона), экз./м<sup>3</sup> (зоопланктона), экз./м<sup>2</sup> (зообентоса и зооперифитона);  $B$  – биомасса, мг/дм<sup>3</sup> (для фитопланктона), мг/м<sup>3</sup> (зоопланктона), г/м<sup>2</sup> (зообентоса и зооперифитона);  $H_N$  – разнообразие по численности, бит/экз.,  $H_B$  – разнообразие по биомассе, бит/мг (для фитопланктона и зоопланктона), бит/г (зообентоса и зооперифитона);  $J/N$  – выравненность по численности;  $J/B$  – выравненность по биомассе.

№ станции	$N_{Sp}$	$H_{tax}$	$N$	$B$	$H_N$	$H_B$	$J/N$	$J/B$
Фитопланктон								
1	25	1.70	20.02	2.53	3.48	3.45	0.75	0.74
2	24	1.80	45.60	4.34	2.09	3.10	0.45	0.68
3	23	1.61	15.76	2.69	3.60	3.46	0.79	0.77
4	21	1.69	25.64	2.61	2.70	2.90	0.61	0.66
5	30	1.66	36.29	3.64	3.16	3.54	0.64	0.72
6	19	1.75	30.74	1.98	2.21	3.03	0.52	0.71
Зоопланктон								
1	12	1.56	477841	3872.76	2.32	2.604	0.65	0.73
2	13	1.53	335957	2405.43	2.41	2.35	0.65	0.63
3	13	1.53	54130	520.52	2.44	2.78	0.66	0.75
4	11	1.57	310290	2988.29	2.32	2.07	0.67	0.6
5	12	1.56	701913	7246.79	2.48	2.15	0.69	0.6
6	10	1.30	159520	1023.64	0.64	0.3	0.19	0.09

районе входа в подводный канал (станция 2) и в большом заливе (станция 6), где численность *M. minima* составляла 63.9 и 57.5% от общей, индекс Шеннона имел несколько меньшие значения. Показатели выравненности свидетельствовали о достаточно равномерном распределении НОТ в фитопланктоне (Табл. 2).

В **высшей водной растительности** преобладал тростник южный. Его заросли были обнаружены практически по всему периметру водоема, за исключением подводного и отводящего каналов. В районе плотины встречались отдельные куртины и полосы шириной до одного метра, на остальной акватории ширина полос составляла 3–10 м. Плотность зарастания варьировала от 68 до 220 стеблей на м<sup>2</sup>, средняя биомасса по водоему составляла 3.40 ± 0.66 кг/м<sup>2</sup> с максимумом 5.37 кг/м<sup>2</sup> в куте большого залива. По нашим наблюдениям, тростник всегда доминировал в ассоциациях высшей водной растительности данного водохранилища. Вероятно, это связано с отсутствием здесь мелководий, что не способствует развитию погруженных форм.

**Зоопланктон** ВО в 2018 г. характеризовался невысоким богатством, что свойственно охладителям с высокой температурой воды (Животова, 2007). Всего в июле 2018 г. было обнаружено 17 НОТ беспозвоночных. Среди них 8 НОТ составляли коловратки, 6 – ветвистоусые, 3 – веслоногие ракообразные. Таксономическое разнообразие было невысоким (1.51 ± 0.04 бит/таксон) и мало изменялось по акватории водоема (CV = 6.64%). Сходство зоопланктона на участках с разным температурным режимом было высоким, индекс Серенсена составил 0.76–0.96.

В целом зоопланктон был копеподно-кладоцерным с доминированием по численности особей ювенильных стадий копепод, а также коловраток *Conochiloides delataicus* Rudscu, 1960 и *Moina micrura* Kurz., 1875. По биомассе преобладали особи ювенильных стадий копепод, коловратки *M. micrura*, ветвистоусые *Diaphanosoma dubium* Manuilova, 1964 и *D. orghidani* Negrea, 1982, веслоногие *Thermocyclops oithonoides* (Sars), 1863. Распределение обилия зоопланктона, в отличие от состава, по акватории было менее равномерным (CV<sub>N</sub> = 67.74%, CV<sub>B</sub> = 80.30%).

Показатели разнообразия и выравненности на большинстве станций (Табл. 2) свидетельствуют о достаточно равномерном распределении количественных показателей в группировках зоопланктона. Исключение составила станция 6 в большом заливе, где низкие значения разнообразия и выравненности являются отражением подавляющего доминирования Copepoda (99.2% по численности и 99.7% по биомассе).

**Зообентос** ВО характеризовался крайней бедностью таксономического состава. Отмечено лишь 9 НОТ беспозвоночных из 3 групп: олигохеты представлены 5 НОТ (4 НОТ тубифицид и *Dero* sp.), личинки хирономид – 3 НОТ, отмечены Ostracoda sp. Высокой встречаемостью характеризовались лишь ювенильные тубифициды (88%) и *Leptochironomus tener* (Kieffer, 1918) (75%). Ракушковые раки регистрировались только в верховье, однако на других участках отмечены их створки, по визуальной оценке принадлежавшие недавно отмершим рачкам. Возможно, организмы этой группы элиминируются в летний максимально жаркий период и возобновляют свою численность на протяжении осени – весны. Сходство таксономического состава зообентоса (индекс Серенсена) по станциям основной акватории ВО было достаточно высоким (до 0.8), за исключением прибрежных участков.

Количественные показатели зообентоса были низкими: численность составляла порядка тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса – порядка г/м<sup>2</sup> (Табл. 3). По численности и биомассе практически на всей акватории (в меньшей степени в верховье) преобладали ювенильные тубифициды. Показатели численности распределялись по акватории ВО довольно равномерно (значения CV составляли 32%), биомассы – более мозаично (55%). Отмечены половозрелые особи тубифицид *Limnodrilus claparedeanus* Ratzel, 1868 и *L. hoffmaisteri* Claparède, 1862, это подтверждает наблюдения (Каратаев, 1990), что эти виды устойчивы к высокой температуре. Среди личинок хирономид наиболее толерантными к действию повышенной температуры оказались *L. tener*, которые встречались не только в верховье, но и на центральных и приплотинных участках, характеризующихся значительным подогревом даже придонных горизонтов. На участке водоема с максимальной придонной температурой с подогреваемой стороны «тепловой завесы» (36 °С, глубина 8 м) в зообентосе отмечены только *L. claparedeanus* и ювенильные тубифициды; показатели обилия составили 4400 экз./м<sup>2</sup> и 2.24 г/м<sup>2</sup> при доминировании последних.

Таким образом, зообентос ВО ЮУ АЭС на современном этапе имеет очень низкий уровень развития по общей биомассе и средний по численности (в соответствии с грациями, представленными О.П. Оксюк и соавт. (2006)). Таксономический состав обеднен, по крайней мере, в летний, наиболее жаркий период. Такое состояние беспозвоночных зообентоса может быть относительно стабильным во времени и характерно для водоемов-охладителей со значительной техногенной нагрузкой, в частности термической. В Украине такими являются охладители ЮУ АЭС и Запорожской АЭС (Protasov et al., 2013).

**Табл. 3.** Структурные показатели контурных группировок ВО ЮУ АЭС, июль 2018 г. h – глубина, м.; СтД – струераспределительная дамба (Рис. 1). Прочие условные обозначения – как в Табл. 2. \*Поселение моллюсков с 90%-ным покрытием субстрата.

№ станции	h	N <sub>Sp</sub>	H <sub>tax</sub>	N	B	H <sub>N</sub>	H <sub>B</sub>	J/N	J/B
Зообентос									
1	7.3	4	0.81	5200	2.66	1.38	1.41	0.69	0.70
2	6.0	3	0	5100	5.02	0.56	1.14	0.35	0.71
3	8.0	2	0	4400	2.24	0.44	0.59	0.43	0.59
4	7.0	4	0.81	2000	0.90	1.52	1.29	0.75	0.64
5	0.7	7	1.59	4602	3.84	2.25	2.13	0.80	0.75
5a	7,0	3	0.99	2300	0.61	1.34	1.15	0.84	0.72
Эпилитон									
Плотина (1a)	0.3	8	1.75	10217	24.09	1.92	0.99	0.64	0.33
	0.5	4	1.50	1528	0.46	1.28	0.63	0.63	0.31
	3.0	2	0	333	0.001	1.00	1.00	1.00	1.00
	4.0	4	1.50	16795	1880.37	0.37	0.16	0.18	0.08
Отсыпка берега (1б)	0	2	1.00	11905	1739.39	0.14	0.00	0.14	0.00
	0.15	3	0.92	21333	283.57	0.34	0.20	0.21	0.12
	0.15*	3	0.92	51833	5837.49	0.36	0.41	0.22	0.26
СтД	0	3	0.92	2037	0.64	1.24	1.39	0.78	0.87
5	0.1	6	1.79	2051	3.44	1.62	0.13	0.62	0.05
5a	0.15	12	1.95	5183	3.22	3.52	2.34	0.92	0.61
Эпифитон									
16	0.5	2	1	696	13.35	0.34	0.00	0.33	0.00
6	0.35	3	0.92	428	0.004	1.50	1.33	0.94	0.83
5	0.4	4	0.81	193	0.001	1.92	0.96	0.95	0.48
5a	0.8	4	0.81	694	0.003	1.42	1.62	0.70	0.80

Отличительной чертой **зооперифитона** ВО ЮУ АЭС в 2018 г. было наличие массовых поселений тропических брюхоногих моллюсков-вселенцев *Melanoides tuberculata* и *Terebia granifera* в одновидовых и совместных поселениях (Рис. 2).

В эпилитоне количество НОТ и групп беспозвоночных было более чем в 2 раза выше по сравнению с эпифитоном (соответственно 17 и 7). На отдельных станциях количество НОТ колебалось от 2 до 8. Наиболее богатым был эпилитон в верховье ВО (станция 5a).

Численность эпилитона была в пределах 333–16795 экз./м<sup>2</sup>, общая биомасса – 0.001–1880.37 г/м<sup>2</sup>, а без учета моллюсков – 0.001–3.36 г/м<sup>2</sup> (Табл. 3).

На каменной отсыпке по периметру ВО и на плотине отмечены поселения брюхоногих моллюсков со значительными показателями обилия: 10217–16795 экз./м<sup>2</sup> и 1739.39–1880.7 г/м<sup>2</sup>.

В зоне наибольших отмеченных температур (41.2 °С) в пробах перифитона с камнями беспозвоночные обнаружены не были; здесь отмечены нитчатые цианобактерии биомассой 62.9 г/м<sup>2</sup>.

На плотине общая численность колебалась от 333 до 10217 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – от 0.46 до 24.09 г/м<sup>2</sup>, доля моллюсков в группировках была определяющей. Вне поселений моллюсков в обрастании нитчатыми водорослями (глубина до 3 м) беспозвоночные эпилитона были представ-



Рис. 2. Моллюски *Melanoides tuberculata* (слева) и *Tarebia granifera* (справа) из водоема-охладителя ЮУ АЭС, июль 2018 г.

лены лишь 2 видами олигохет Naididae: *Pristina aequisetata* Bourne, 1891 и *P. longiseta* Ehrenberg, 1828, с минимальными показателями обилия.

Популяции *M. tuberculata* и *T. granifera* были представлены разноразмерными особями, что может свидетельствовать о натурализации видов в ВО, при этом в двухвидовых поселениях по показателям обилия значительно преобладала *T. granifera*.

На плотине (станция 1а) на малой глубине обнаружены одновидовые поселения *M. tuberculata*, размерный состав которых представлен 2 группами: 1–5 и 6–10 мм, с преобладанием первой (96%). На глубине 4 м найдены двухвидовые поселения, где особи *M. tuberculata* отмечены в 6-ти размерных группах: от 1–5 мм до 26–30 мм, при доминировании групп размером 6–10 мм (39%) и 16–20 мм (29%). Максимальная высота раковины *M. tuberculata* достигала 27 мм, минимальная – 2 мм. На этой же глубине особи *T. granifera* представлены тремя группами: от 1–5 мм до 11–15 мм, при этом доминировали группы размером 6–10 и 11–15 мм (по 38%); максимальная высота раковины составляла 13 мм, минимальная – 4 мм.

На каменной отсыпке берега (станция 1б) в эпилите встречались как одно-, так и двухвидовые поселения брюхоногих моллюсков. В одновидовых поселениях *M. tuberculata* морфометрические показатели популяции были сходными с таковыми на плотине: доминировали особи размерных групп 6–10 мм (29%) и 11–15 мм (33.7%), максимальная высота раковины достигала 28 мм, минимальная –

2 мм (Рис. 3). В двухвидовых поселениях популяция *M. tuberculata* была представлена мелкоразмерными особями (до 6 мм), а популяция *T. granifera* – группами от 2–5 до 11–12 мм при определяющем доминировании мелкоразмерных особей (доля моллюсков с высотой раковины 2–3 мм составила 73%). В двухвидовых массовых поселениях с 90% покрытием моллюсками субстрата доли размерных групп *T. granifera* (от 1–5 мм до 21–25 мм) распределялись относительно равномерно.

В эпифитоне ВО (на тростнике) отмечены 7 HOT беспозвоночных из 4 групп (Nematoda, Oligochaeta, Chironomidae, Gastropoda). На отдельных станциях отмечены по 2–3 HOT из 2 групп. Показатели обилия эпифитона были значительно ниже, чем у эпилитона. Численность колебалась от 193 до 696 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – от 0.001 до 0.004 г/м<sup>2</sup>, с учетом брюхоногих моллюсков – до 13.35 г/м<sup>2</sup>. На большей части станций в эпифитоне по показателям обилия доминировали олигохеты-наидиды (*P. aequisetata*, *P. longiseta*, *Nais pardalis* Piguët, 1906, *N. communis* Piguët, 1906). В верхушке по численности доминировали нематоды (67%). На прибрежных участках (станция 1б) структура эпифитона отличалась – по численности (94% от общей) и биомассе (99%) доминировали моллюски *T. granifera*, что и определило высокий уровень биомассы. Популяция моллюсков здесь была представлена мелкоразмерными особями групп 1–5 и 6–10 мм, при доминировании первой (67%). Максимальная высота раковины достигала 8 мм, минимальная составляла 1 мм.

Таким образом, в настоящее время ВО характеризуется достаточно напряженным термическим режимом и довольно бедным составом группировок, в особенности контурных. Однако за период своего существования экосистема прошла несколько этапов трансформации.

### Многолетняя динамика группировок

На начальных этапах исследований на фоне увеличения мощности электростанции наблюдался рост биомассы фитопланктона (Рис. 4). Летом 1985 г. были зарегистрированы максимальные за все время наблюдений показатели количественного развития (в среднем 9.6 мг/дм<sup>3</sup>), связанные с обильным размножением диатомовой водоросли *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, 1979. В 1986 г. в регионе, где расположена площадка АЭС, отмечалось увеличение среднегодовой температуры воздуха на 2 °С относительно предыдущего года (Алексенко та ін., 2017). При этом в связи с аварией на Чернобыльской АЭС, в летние месяцы ЮУ АЭС работала на полную мощность. В совокупности данные факторы оказали влияние на рост температуры не только в районе выхода отводящего

канала, но и по всему водоему. В этот период была зарегистрирован минимальный уровень биомассы фитопланктона (в среднем  $0.3 \text{ мг/дм}^3$ ). В последующие десять лет показатели обилия увеличились, однако диапазон колебания летней биомассы фитопланктона не выходил за пределы зафиксированных ранее величин. В 2018 г. относительно всего периода исследований уровень количественного развития был невысоким. Таким образом, для фитопланктона можно обозначить общую тенденцию снижения показателей.

Таксономическое богатство зоопланктона было невысоким на протяжении всего периода на-

блюдений (1981–2018 гг.), насчитывало от 13 до 28 НОТ в разные годы (Алексієнко та ін., 2017; Протасов и др., 2018; Сергеева и др., 1988). Существенных сдвигов в видовом составе не происходило до начала 90-х годов. Заметные изменения были зафиксированы в 1997 г., когда общность состава зоопланктона с предыдущими исследованиями (1990–1992 гг.) по индексу Серенсена составила 0.43. А к 2018 г. состав зоопланктона почти полностью сменился: обнаружен лишь один общий с предыдущими исследованиями вид – коловратка *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776. Изменения отмечались и в доминирующем комплексе. В пе-



Рис. 3. Размерная структура популяции *Melanoides tuberculata*, эпилитон, станция 16, июль 2018 г.

риод заполнения и на первых этапах становления водоема (1981–1983 гг.) при естественном температурном режиме зоопланктон был представлен копеподно-кладоцерным комплексом при доминирующей роли *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars, 1863), *Daphnia longispina* (O.F. Müller, 1776) или *D. cucullata* G.O. Sars, 1862. С увеличением температуры воды и формированием техногенных циркуляций, связанных с вводом в эксплуатацию первого энергоблока АЭС, произошла смена доминанта на более теплолюбивый вид *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848) (Сергеева и др., 1988). В настоящее время значительного развития стали достигать термофильные виды с преимущественно южным характером распространения – *M. micrura*, *D. dubium*, *D. orghidani*, *Keratella tropica* (Arstein, 1907) (Алексіенко та ін., 2017; Протасов и др., 2018). Количественное развитие зоопланктона достигло наибольшего развития после пуска АЭС в 1984 г., когда биомасса составила в среднем  $5.7 \text{ г/м}^3$  (при максимальном значении на одной из станций  $11.5 \text{ г/м}^3$ ). В последующие годы исследований биомасса в среднем изменялась в пределах  $0.5\text{--}2.7 \text{ г/м}^3$  (Рис. 5).

Динамика **зообентоса** также была связана с характером и режимом эксплуатации АЭС и климатическими факторами. В первый год заполнения ВО (1980 г.) резкое изменение условий существования (переход от малой речки к водоему, отсутствие сформировавшихся донных отложений) привело к значительному снижению богатства беспозвоночных, количество групп зообентоса уменьшилось от 14 (в р. Ташлык) до 2 – в ВО (олигохеты и личинки одного вида хирономид (*Procladius ferragineus*

Kieffer, 1919)). К 1983–1984 гг. в водоеме были отмечены гидры, нематоды, разноногие и кумовые раки, личинки стрекоз, поденок, ручейников и мокрецов (верховье), повсеместно встречалась дрейссена. В 1986 г. в зообентосе было зарегистрировано 48 НОТ из 15 групп. После летнего значительного повышения температуры в 1986 г. видовой состав зообентоса резко сократился (7 НОТ в 1988 г., до 11–13 НОТ в 1990–1997 гг.) После элиминации дрейссены (в 1988 г. не зарегистрирована) этот моллюск отмечался локально в 1989–1992 гг., с 1997 г. полностью исчез.

По мере становления ВО и формирования зообентоса, его показатели обилия возрастали (Рис. 6). Так, на приплотинном участке в 1980 г. численность и биомасса составляли лишь  $90 \text{ экз./м}^2$  и  $0.21 \text{ г/м}^2$ , а в 1981 г. – уже 7900 и 1.4 соответственно. В 1983–1984 гг. численность колебалась в пределах 1785–8013 экз./м<sup>2</sup>, биомасса «мягкого» зообентоса –  $0.77\text{--}2.1 \text{ г/м}^2$ , с учетом моллюсков – до  $150.87 \text{ г/м}^2$ . В верховье основную часть «мягкого» зообентоса составляли личинки хирономид, на центральных участках – личинки хирономид и олигохеты, по биомассе доминировала дрейссена. На участке сброса в 1984–1985 гг. в массе развивались олигохеты (до  $34929 \text{ экз./м}^2$ ), а биомасса дрейссены достигала  $339.82 \text{ г/м}^2$ . Летом 1986 г. показатели обилия существенно снизились (на мелководьях биомасса уменьшилась более чем в 1000 раз), и только в верховье биомасса достигала  $139.62 \text{ г/м}^2$ . К осени 1987 г. показатели обилия оставались на невысоком уровне, хотя на некоторых участках начался процесс возобновления зообентоса. В 1988 г. его группировки были представлены только личинка-

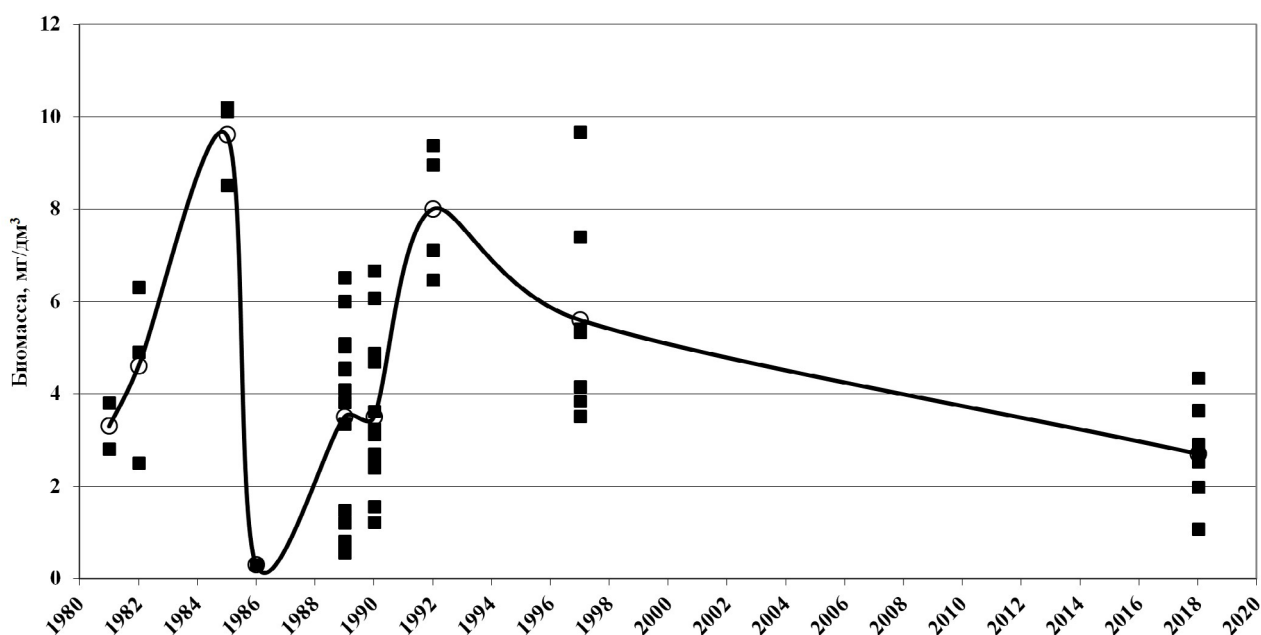


Рис. 4. Изменения биомассы фитопланктона в летний период 1981–2018 гг., ВО ЮАЭС: Квадраты – показатели на отдельных станциях исследований, круги – средний уровень биомассы по всему водоему.

ми хирономид и олигохетами; численность составляла 1160–2120 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0.60–1.39 г/м<sup>2</sup>. В 1989–1992 гг. зообентос ВО составляли в основном личинки хирономид и тубифициды, только к 1992 г. локально на центральных участках была отмечена дрейссена (1.14 г/м<sup>2</sup>, 82% общей биомассы); на участке сброса дрейссена доминировала как по численности, так и по биомассе.

В августе 1997 г. зообентос ВО ЮУ АЭС был крайне обеднен: всего зарегистрировано 15 НОТ из 6 групп при преобладании личинок хирономид и олигохет (по 5 НОТ), остальные группы были представлены одним таксоном, моллюски не зарегистрированы. В подводном канале был отмечен гидроидный полип *Cordilophora caspia* Pallas, 1771, вероятно, попадающий из перифитонных поселений. На отдельных станциях количество таксонов колебалось от 1 до 6. Более богатым зообентос был в верховье ВО (9 НОТ из двух групп): личинки хирономид – 5 НОТ (встречались только здесь) и олигохеты – 4 НОТ. Этим и объясняется значительная оригинальность таксономического состава зообентоса данного участка ( $t_{xx} = 186$ ).

Показатели обилия зообентоса были 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 зарегистрирована в верховье на заиленном гравии с растительными остатками; по биомассе доминировал *Chironomus plumosus* L., 1758 (64% общей), по численности – олигохеты сем. Naididae (56%).

В летний сезон 2006 г. зообентос насчитывал 17 НОТ: Hydrozoa, Nematoda, Hydracarina, ручейник *Ecnomus tenellus* (Rambur, 1842), *M. tuberculata*, олигохеты были представлены 8 НОТ, личинки хирономид – 4.

Количественные показатели в среднем по ВО составляли 12180 экз./м<sup>2</sup> и 358.06 г/м<sup>2</sup>, основу биомассы (до 99%) составляли *M. tuberculata*, встречающиеся в средней и приплотинной частях. Следует отметить, что такие величины биомассы близки к уровню 1986 г. Показатели обилия «мягкого» бентоса были низкими – в среднем 7220 экз./м<sup>2</sup> и 2.07 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, относительно результатов исследований предыдущих лет можно констатировать обеднение таксономического состава зообентоса ВО ЮУ АЭС. Следует отметить, что в работе В.Р. Алексиевко и соавт. (Алексієвко та ін., 2017) указывается, что в разные сезоны в период 2003–2010 гг. общее количество НОТ достигало 35. Вероятно, осенью и весной может происходить некоторое возобновление группировок беспозвоночных за счет организмов с коротким жизненным циклом или вторичноводных.

В зооперифитоне в период до начала эксплуатации водоема в качестве охладителя (1983 г.) доминирование дрейссены в сообществах перифитона составляло до 60% по численности и 93% – по биомассе (Протасов и Силаева, 2012). В перифитоне было отмечено около 20 НОТ из 9 групп: 5 видов олигохет, личинки хирономид, ручейников, поденок, гаммариды, гидры, губки. Средняя численность беспозвоночных достигала 20200 экз./м<sup>2</sup>, биомас-

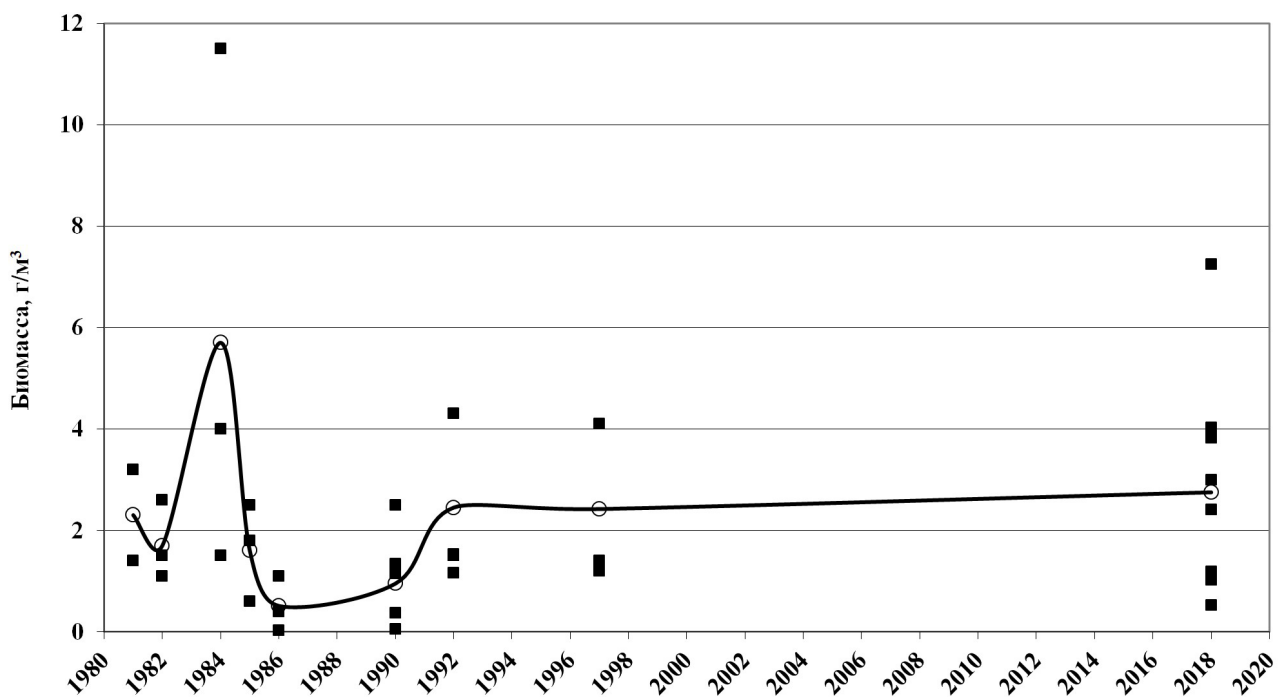


Рис. 5. Изменения биомассы зоопланктона ВО ЮУ АЭС в летний период 1981–2018 гг. Квадраты – показатели на отдельных станциях исследований, круги – средний уровень биомассы по всему водоему.

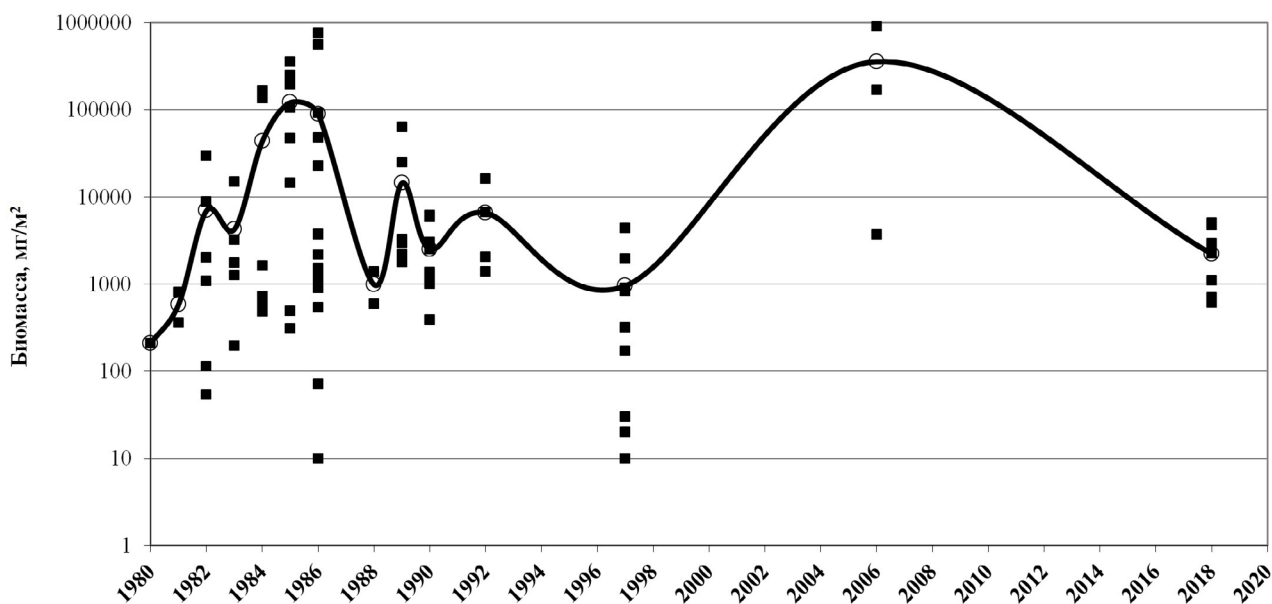


Рис. 6. Изменения биомассы зообентоса ВО ЮУ АЭС в летний период 1981–2018 гг. Квадраты – показатели на отдельных станциях исследований, круги – средний уровень биомассы по всему водоему.

са – 1850 г/м<sup>2</sup> (Рис. 7). Разнообразие, рассчитанное по численности, в связи с достаточно высокой выравненностью составило 2.229 бит/экз., разнообразие по биомассе было низким – 0.396 бит/г. В водоеме сформировалось достаточно типичное сообщество с доминированием дрейссены, характерное для водохранилищ. Несмотря на то, что сформировалось оно из организмов, поступающих из р. Южный Буг, в охладителе отсутствовали такие типичные для реки организмы, как брюхоногие моллюски-лунки (*Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus, 1758) и фаготии (*Fagotia esperi* (Ferussac, 1823).

В 1984, 1985 и весной 1986 г. общая картина распределения и макроструктуры перифитона практически не изменилась. Среди нитчатых водорослей в большом количестве обитали олигохеты, личинки хирономид и ручейников. На глубине более 2 м сообщество дрейссены было доминирующим во всех биотопах. Показатели обилия беспозвоночных на плотине и в районе сброса (глубина около 3 м) были сходными: 64880 и 51650 экз./м<sup>2</sup>, 3850 и 4540 г/м<sup>2</sup> соответственно.

В начальный период существования техноэкосистемы ЮУ АЭС при относительно невысокой степени воздействия техногенных факторов структура перифитона была достаточно однородной и стабильной. Она сохранилась до начала лета 1985 г. В этот период температура воды в районе сброса составляла 34 °С, и структура перифитона стала приобретать черты, характерные для участков с максимальным подогревом в других водоемах-охладителях. В районе сброса дрейссена не обнаруживалась до глубины 3 м, и

только на глубине 5 м ее поселения в виде щеток занимали до 80% субстрата.

Сообщество дрейссены, которое занимало каменные субстраты на плотине, в глубоководной части отсыпки возле сброса, на отсыпке укрепления берегов, по показателям обилия отличалось от такового, отмеченного в 1984 г. Биомасса была в два раза ниже – 1700 г/м<sup>2</sup>, численность – около 20000 экз./м<sup>2</sup>. Таким образом, сильное влияние подогретых сбросных вод на перифитон было достаточно локальным и распространялось на небольшую глубину.

Летом 1986 г. термический режим в охладителе был экстремальным. В условиях повышения температуры воды на сбросе до 40 °С и более в сообществах произошли катастрофические изменения – массовая гибель дрейссены до глубины 6–7 м, где при температуре 34 °С были отмечены лишь отдельные живые особи. Биомасса нитчатых цианобактерий превышала 500 г/м<sup>2</sup>. Было отмечено лишь 6 НОТ беспозвоночных из олигохет и ракообразных. Характерные для зон наибольших температур олигохеты *Pristina aequisetata* при температуре 40 °С были обнаружены на малой глубине с наибольшей численностью около 800 экз./м<sup>2</sup>, однако глубже (при температуре 39 °С) их численность возрастала до 100 тыс. экз./м<sup>2</sup>. На плотине также произошло вымирание поселений дрейссены. К осени 1986 г. сообщество дрейссены, столь обширное в предыдущие годы, практически исчезло.

Позднее наблюдалось определенное восстановление структуры сообществ. Летом 1988 г. общий габитус сообществ с преобладанием

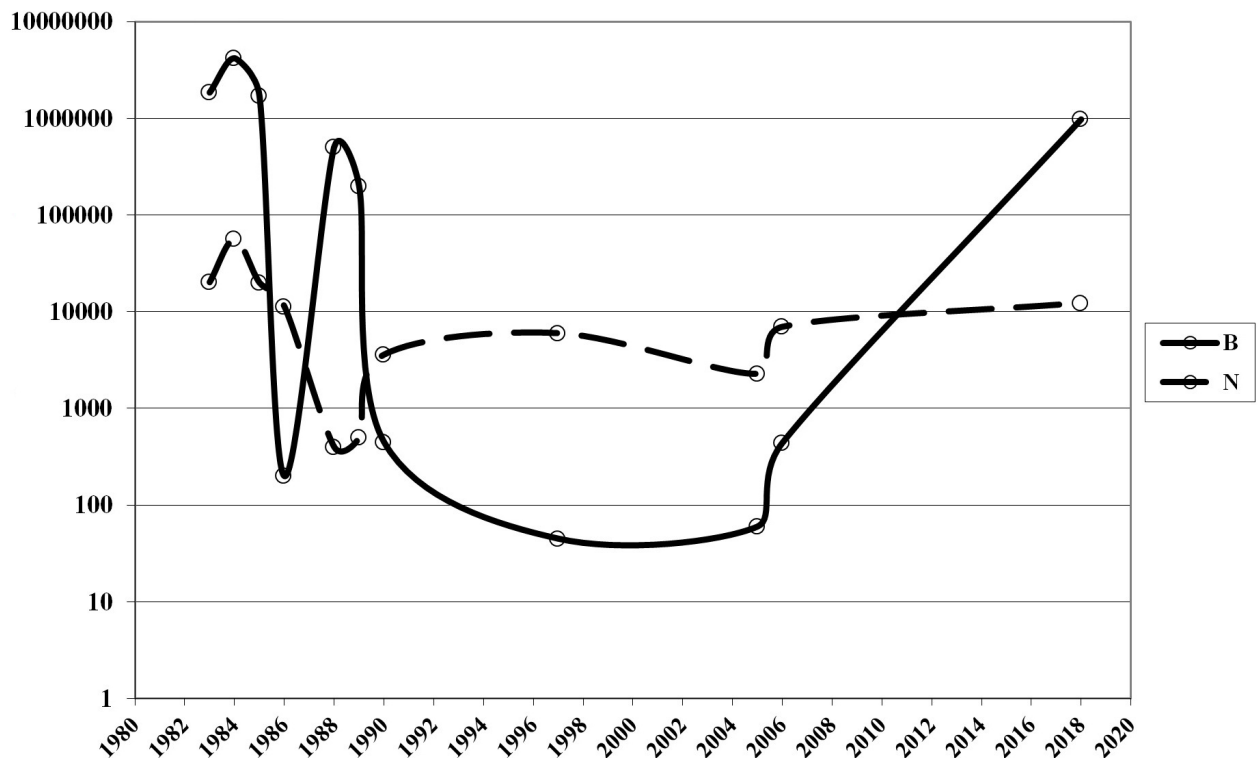


Рис. 7. Количественные показатели зооперифитона ВО ЮУ АЭС в разные годы исследований. N – численность, экз./м<sup>2</sup>; B – биомасса, мг/м<sup>2</sup>.

дрейссены был довольно сходен с существовавшим ранее. Температура воды в верхних слоях на сбросе достигала 33 °С, в глубинных горизонтах при температуре 30 °С и ниже покрытие субстрата дрейссеной достигало 80–100%. В 1989 и 1990 г. восстановление структуры сообществ перифитона также продолжалось, однако летом при высокой температуре вновь произошло отмирание дрейссены до глубины 6–8 м. Численность сообщества в эти годы составляла 3600 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса была всего 0.45 г/м<sup>2</sup> при доминировании *Ostracoda* по численности и биомассе. Отмечено всего 6 НОТ беспозвоночных. Летом 1997 г. исследования показали, что зооперифитон в качественном отношении оставался бедным. В подводящем канале было отмечено лишь 3 НОТ, на сбросе подогретых вод – 5, в охладителе – 17.

Показатели обилия зооперифитона были крайне низкими: в подводящем канале численность достигала 2700 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0.05 г/м<sup>2</sup>. В районе сброса на глубине 2.5 м биомасса достигала 1.17 г/м<sup>2</sup> в основном за счет крупных тубифицид, однако в других микробиотопах (приустьевная зона, боковые стороны камней на глубине 0.5 м) она составляла всего 0.03–0.15 г/м<sup>2</sup>. На плотине при температуре воды 32 °С на верхних сторонах камней при 100% покрытии нитчатками цианобактериями было отмечено всего 2 НОТ беспозвоночных, численность которых была равна 4500 экз./м<sup>2</sup>, а био-

масса – 0.03 г/м<sup>2</sup>. На глубине 2.5 м было отмечено 3 НОТ; биомасса составила 0.08 г/м<sup>2</sup>, так же низки были показатели биомассы на глубине 6–7 м – 0.02 г/м<sup>2</sup> при доминировании *Ostracoda*.

Исследования, проведенные в 2005 г. (Воликов и др., 2006), показали, что состав перифитона оставался бедным: было отмечено 17 НОТ (на отдельных станциях от 2 до 6). Олигохеты и личинки хирономид были представлены 5 видами. Показатели обилия были низкими: численность составляла 9800 экз./м<sup>2</sup> (в верховье водохранилища), максимальная биомасса – до 1.85 г/м<sup>2</sup> (в средней части ВО). На плотине значения биомассы были одними из наименьших – 0.26 г/м<sup>2</sup>. Средний показатель биомассы по водоему составила 0.54 г/м<sup>2</sup>.

В 2006 г. богатство перифитона несколько возросло – был отмечен 21 НОТ. Олигохеты были представлены 9 видами, личинки хирономид – 6. Из ракообразных были отмечены два вида гаммарид, корофииды, мизиды, из гастропод только один вид – *M. tuberculata*. Значения показателей обилия на отдельных станциях варьировали от 3230 до 10760 экз./м<sup>2</sup> и от 0.05 до 8.14 г/м<sup>2</sup>. Увеличение биомассы по сравнению с предыдущим годом было в основном за счет олигохет, личинок хирономид, а в средней части водохранилища – брюхоногих моллюсков (Воликов и др., 2007). Как ранее указывалось, в 2018 г. основу сообществ перифитона составляли инвазивные *Gastropoda*.

## Заключение

Как отмечено выше, летом 2018 г. в районе отводящего канала наблюдалась крайне высокая температура, около 40 °С. В этих условиях в перифитоне были отмечены лишь единичные экземпляры олигохет. По имеющимся данным (Протасов и Силаева, 2012; Протасов и др., 1991), в зонах максимальных температур в водоемах-охладителях формируются вполне устойчивые и обширные сообщества; например, в летний период в сбросном канале водоема ЧАЭС, где температура достигала 37–39 °С, развивались достаточно обильные сообщества с доминированием мшанки *Plumatella emarginata* Allman, 1844. В районе сброса циркуляционных вод в водоеме Криворожской ГРЭС было отмечено сообщество *Plumatella emarginata* + *Aelosoma hempichi* (выделено по степени доминирования). Здесь при температуре до 33 °С было обнаружено 10–12 видов беспозвоночных, биомасса составила 2–40 г/м<sup>2</sup>. В водоеме-охладителе ЮУАЭС в 1986 г. при температуре 40 °С среди нитчатых цианобактерий были найдены олигохеты. При снижении температуры всего на один градус численность их возрастала. Таким образом, зона максимально высоких температур отнюдь не является безжизненной. Не исключено, что при более стабильном режиме здесь могло бы сформироваться более богатое сообщество термофилов.

В техноэкосистемах высокая температура (33–36 °С) в донных группировках регистрируется достаточно редко и отмечается в течение непродолжительного времени (в максимально жаркий период лета), чаще всего на локальных участках. По результатам наших многолетних исследований, высокая температура приводит к крайнему обеднению таксономического состава зообентоса, на таких участках часто отмечаются лишь ювенильные тубифициды, а показатели обилия изменяются в значительных пределах – от минимальных до достаточно высоких.

Зона максимальных температур в водоемах-охладителях локализована непосредственно в отводящем канале и на небольшом по площади участке в районе выхода отводящего канала. Пелагические группировки не имеют привязки к этим биотопам в силу гидродинамических причин, а именно гомогенизации техногенным потоком. В то же время контурные группировки на участках, подверженных максимальному обогреву, формируют своеобразные сообщества. Так, установлено, что в водоемах-охладителях ТЭС и АЭС Украины в зонах максимальных температур формируются однотипные сообщества фитоперифитона, которые относятся к ассоциации *Lyngbyo putealis* – *Oscillatorietum brevis* (Shevchenko, 2012). Характерной особенностью данной ассоциации является наличие среди диагностических таксонов термофильных видов цианобактерий.

Экосистема водоема-охладителя в составе водной техноэкосистемы АЭС за десятилетия своего существования прошла определенные этапы. Рассматривая развитие подобных техноэкосистем с точки зрения анализа экологических рисков (Розенберг и др., 2019), их следует отнести к системам с крайне высоким уровнем экологического риска. Если считать, что степень экологического риска обратно пропорциональна вероятности достижения климаксового состояния, то очевидно, что оценка риска стремится к максимуму, поскольку достижение экосистемой климакса (в классическом понимании) вряд ли возможно. Будет вернее сказать, что некое более или менее стационарное состояние (псевдоклимакс) определяется не столько совокупностью климатических условий, сколько комплексом техногенных факторов. Состояние техногенного псевдоклимакса может сохраняться достаточно продолжительное время, пока относительно стабильными будут технические условия. В данном случае – стабильная работа трех энергоблоков АЭС, постоянные подкачка и продувка водоема. При этом не следует упускать из виду, что техногенные факторы накладываются на изменяющиеся климатические условия.

Согласно первоначальному проекту данный ВО должен был быть включен в состав энергокомплекса и связан с гидроаккумулирующей электростанцией (ГАЭС), выполняя функции как охладителя, так и верхового водоема ГАЭС. Однако отказ от такой схемы после аварии на Чернобыльской АЭС привел к тому, что при относительно небольшой охлаждающей поверхности ВО температура в нем в летний период существенно возросла при введении второго и третьего энергоблоков. Уже в 1986 г. началась коренная перестройка экосистемы ВО. Было отмечено резкое снижение средней биомассы фитопланктона (в 32 раза): с 9.6 мг/дм<sup>3</sup> летом 1985 г. до 0.3 мг/дм<sup>3</sup> в аналогичный период 1986 г. Минимум средней биомассы зоопланктона (0.51 г/м<sup>3</sup>) также приходился на лето 1986 г. Элиминирование моллюсков-фильтраторов не только изменило облик сообществ перифитона, но и затронуло другие блоки экосистемы. Вселение экзотических рыб (*Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852)) и брюхоногих моллюсков (*M. tuberculata*, *T. granifera*) привело к тому, что инвазивные виды стали наиболее существенными компонентами сообществ гидробионтов.

До 1986 г. экосистема находилась в некотором более или менее стабильном состоянии. Видовой состав фито- и зоопланктона существенных изменений не претерпевал, коэффициент общности планктона по годам исследований был довольно высок – 62–65% (Сергеева и др., 1988). Здесь, как и в других водоемах-охладителях (например, в водоеме Чернобыльской АЭС), в зонах малого вли-

яния подогретых сбросов в перифитоне и бентосе сформировались сообщества с доминированием дрейссены (Протасов и др., 1991; Протасов и Силаева, 2012). В настоящее время экосистема также находится в квазистационарном состоянии, однако ее устойчивость, несомненно, крайне низка.

### Благодарности

Исследование поддержано Программой развития приоритетных направлений научных исследований НАН Украины, проект № 1230-2019-2020.

### Список литературы

- Алексієнко, В.Р., Бойченко, С.Г., Бугера, М.А., Буйновська, Н.А., Булгаков, В.П., Варламов, Є.М., Верховцев, В.Г., Вірич, П.М., Дудар, Т.В., Жолуденко, О.О., Кендзера, О.В., Ковач, О.В., Ландау, Ю.О., Лесь-Меридонова, О.В., Линник, П.М., Лисиченко, Г.В., Лисиченко, О.Г., Палієнко, В.П., Свіденюк, М.О., Спиця, Р.О., Сташук, І.В., Тищенко, Ю.Є., Трохимець, В.М., 2017. Комплексний геоекологічний моніторинг зони впливу Ташлицької гідроакумуючої електростанції та Олександрівського водосховища: 1998–2016 роки. Наукова думка, Київ, Україна, 360 с.
- Арсан, О.М., Давидов, О.А., Дьяченко, Т.М., Євтушенко, М.Ю., Жукинський, В.М., Кирпенко, Н.І., Кіпніс, Л.С., Кленус, В.Г., Коновець, М.І., Линник, П.М., Ляшенко, А.В., Олійник, Г.М., Пашкова, О.В., Протасов, О.О., Силаева, А.А., Ситник, Ю.М., Стойка, Ю.О., Тімченко, В.М., Шаповал, Т.М., Шевченко, П.Г., Щербак, В.І., Юришинець, В.І., Якушин, В.М., 2006. Методи гідробіологічних досліджень поверхневих вод. Логос, Київ, Україна, 408 с.
- Безносков, В.Н., Суздалева, А.Л., 2005. Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов. В: Филенко, О.Ф. (ред.), *Антропогенные влияния на водные экосистемы. Сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения Н.С. Строганова*. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 120–129.
- Воликов, Ю.Н., Ляшенко, А.В., Слепнев, А.Е. 2006. Зооперифитон водных объектов зоны влияния Южно-Украинского энергокомплекса (ЮУ ЭК). *Материалы Международной научной конференции «Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований»*. Херсон, Украина, 34–37.
- Воликов, Ю.Н., Ляшенко, А.В., Слепнев, А.Е. 2007. Оценка качественных показателей развития макрозооперифитона водных объектов зоны влияния Южно-Украинского энергокомплекса (ЮУ ЭК). *Материалы III Международной научной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды»*. Минск – Нарочь, Беларусь, 209.
- Животова, Е.Н., 2007. Использование зоопланктона в биоиндикации теплового загрязнения водоемов-охладителей АЭС. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация* 1, 73–75.
- Каратаев, А.Ю., 1990. Воздействие подогрева на пресноводные экосистемы. Деп. в ВИНТИ № 2440–В90, Минск, Беларусь, 133 с.
- Оксиюк, О.П., Зимбалевская, Л.Н., Протасов, А.А., Плигин, Ю.В., Ляшенко А.В., 1994. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон и зоофитос. *Гидробиологический журнал* 30 (4), 31–35.
- Песенко, Ю.А., 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Наука, Москва, Россия, 287 с.
- Плохинский, Н.А., 1970. Биометрия. Издательство Московского университета, Москва, Россия, 367 с.
- Протасов, А.А., 2002. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. Институт гидробиологии НАНУ, Киев, Украина, 105 с.
- Протасов, А.А., Силаева, А.А., 2012. Контурные группировки гидробионтов в техноэкосистемах ТЭС и АЭС. Институт гидробиологии НАНУ, Киев, Украина, 274 с.
- Протасов, А.А., Семенченко, В.П., Силаева, А.А., Тімченко В.М., Бузевич, І.Ю., Гулейкова, .В., Дьяченко, Т.Н., Морозова, А.А., Юришинець, В.І., Ярмошенко, Л.П., Примак, А.Б., Морозовская, І.А., Масько, А.Н., Голод, А.В., 2011. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки. Институт гидробиологии НАНУ, Киев, Украина, 234 с.
- Протасов, А.А., Сергеева, О.А., Кошелева, С.И., Кафтанникова, О.Г., Ленчина, Л.Г., Калиниченко, Р.А., Виноградская, Т.А., Новиков, Б.И., Афанасьев, С.А., Сеницына, О.О., 1991. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Наукова думка, Киев, Украина, 192 с.

- Протасов, А.А., Силаева, А.А., Громова, Ю.Ф., Новоселова, Т.Н., Морозовская, И.А., 2018. Многолетние изменения пелагических и контурных группировок в Ташлыкском водохранилище – охладителе Южно-Украинской АЭС. *Тези доповідей VII Всеукраїнської наукової конференції, присвяченій 100-річчю від дня заснування Національної академії наук України «Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології»*. Київ, Україна, 19–20.
- Розенберг, Г.С., Зибарев, А.Г., Костина, Н.В., Кудинова, Г.Э., Розенберг, А.Г., 2019. Оценки рисков и ущербов как инструмент социальной экологии. *Биосфера* **11** (2), 75–86.
- Сергеева, О.А., Калиниченко, Р.А., Кошелева, С.И., Ленчина, Л.Г., 1988. Химический состав воды и планктон водоема-охладителя Южно-Украинской АЭС. *Гидробиологический журнал* **24** (6), 8–14.
- Algaebase. Электронный ресурс. URL: [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org) (дата обращения: 07.10.2019).
- Novoselova, T.N., Protasov, A.A., 2015. Phytoplankton of Cooling Ponds of Techno-Ecosystems of Nuclear and Thermal Power Stations (a Review). *Hydrobiological Journal* **51** (3), 37–52.
- Protasov, A., Afanasjev, S., Sinicyna, O., Zdanowski, B., 1994. Composition and functioning of benthic communities. *Archiw Rybactwa Polskiego* **2** (2), 257–284.
- Protasov, A.A., Panasenko, G.A., Babariga, S.P., 2009. Biological Hindrances in Power Stations Exploitation, Their Typization and Main Hydrobiological of Control. *Hydrobiological Journal* **45** (1), 32–46.
- Protasov, A.A., Silayeva, A.A., Yarmoshenko, L.P., Novoselova, T.N., Primak, A.B., Savitskiy, A.I., 2013. Hydrobiological Studies on the Techno-Ecosystem of the Zaporozhye Nuclear Power Station. *Hydrobiological Journal* **49** (4), 75–92.
- Shevchenko, T.F., 2012. Thermophilous communities of periphyton algae in the cooling pond of thermal and nuclear power stations of Ukraine. *Hydrobiological Journal* **48** (5), 31–45.
- Zdanowski, B., Protasov, A.A., 1998. Structura i funkcjonowanie podgrzanych jezior Koninskich – wnioski dla ochrony i zagospodarowania zbiornikow. In: Zdanowski, B. (ed.), *Jeziora Koninskie – 40 lat badan stan aktualny oraz wnioski dla ochrony*. Wojowodski Inspektorat Ochrony Srodowiska w Koninie, Konin, Poland, 54–58. (In Polish).

# **Technoecosystem of the cooling pond of the South Ukrainian Nuclear Power Plant: group dynamics and transformation**

Tatyana N. Novoselova\*, Anzhelika A. Sylaieva,  
Yuliya F. Gromova, Tanita I. Menshova,  
Irina A. Morozovskaya, Aleksandr A. Protasov

*Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, 04210 pr. Geroev Stalingrada, 12, Kiev, Ukraine*

*\*labtech-hb@ukr.net*

The results of long-term complex hydrobiological studies of the cooling pond of the South Ukrainian Nuclear Power Plant (NPP) are presented. The abundance of zoo- and phytoplankton increased until 1984–1985, and then in the summer of 1986, against a background of extremely high temperatures in the reservoir, there was a significant (32-fold) drop in the mean biomass of phytoplankton, coinciding with the minimum abundance of zooplankton. In subsequent years, the abundance of these groups recovered, but has not reached previous levels. At present, the zooplankton contains a considerable amount of thermophilic species. Research in recent years indicates that the zooperiphyton is dominated by the invasive gastropods *M. tuberculata* (Müller, 1774) and *Terebia granifera* (Lamarck, 1822). In the epilithon, the number of LDT (lowest determined taxa) and groups of invertebrate was more than double that in the epiphyton (17 and 7, respectively). At the first stages of the development of the pond ecosystem, the periphyton communities were dominated by zebra mussel *Dreissena polymorpha* Pall. These communities were eliminated as temperature increased, and after the commissioning of the NPP, the second and third power units were not completely restored in the environment of a constantly high thermal load. Over years, with the formation of bottom biotopes, the abundance of zoobenthos increased, and with an increase in the technogenic load, it decreased. At the present stage, the zoobenthos is impoverished (nine taxa) and is dominated by mainly juvenile tubificids.

**Keywords:** technogenic succession, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, zooperiphyton, gastropods, invaders, river Southern Bug.