

УДК 574.58(470.44)

## СТАБИЛЬНОСТЬ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ВОДОЁМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

**М. Ю. Воронин, М. В. Ермохин**

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского  
Россия, 410026, Саратов, Астраханская, 83  
E-mail: voroninmj@yandex.ru*

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

**Стабильность сообществ макрозообентоса в водоёме-охладителе Балаковской АЭС.** – Воронин М. Ю., Ермохин М. В. – Сравнивается стабильность сообществ макрозообентоса в различных температурных зонах водоёма-охладителя Балаковской АЭС и водоемах с естественным температурным режимом. Показано, что естественные условия и зона умеренного подогрева воды наиболее благоприятна для развития макрозообентоса.

*Ключевые слова:* макрозообентос, стабильность, водоём-охладитель, Саратовская область.

**Stability of macrozoobenthos communities in the water reservoir-cooler of the Balakovo NPS.** – Voronin M. Yu. and Yermokhin M. V. – The stability of macrozoobenthos communities is compared in several thermal zones of the water reservoir-cooler of the Balakovo NPS and water bodies with a natural thermal regime. Natural thermal conditions and the zone with moderate water heating are shown to be more propitious for macrozoobenthos development.

*Key words:* macrozoobenthos, stability, reservoir-cooler, Saratov region.

### ВВЕДЕНИЕ

Водоёмы-охладители атомных электростанций – крупные антропогенные водные экосистемы современной биосферы. Условия существования биоты здесь коренным образом трансформируются по сравнению с естественными водоемами. На сегодняшний день известны некоторые общие закономерности реакции макрозообентоса и отдельных его компонентов на сброс подогретых вод электростанций (Биопродукционные процессы..., 1988; Яныгина и др., 2008). Изменения, происходящие в сообществах макрозообентоса разных водоёмов-охладителей при некотором сходстве имеют ряд отличий (Протасов и др., 2000), что определяет необходимость применять индивидуальные подходы при оценке состояния каждого конкретного водоёма-охладителя.

Макрозообентос вносит существенный вклад в биотический баланс водоёма. Резкие изменения состояния этой группировки, такие как массовая гибель гидробионтов, могут вызывать биологические помехи в работе электростанции. Стабильность существования макрозообентоса водоёма-охладителя на протяжении длительного времени важна для работы электростанции. Под стабильностью сообщества понимается неизменность во времени средних значений его структурных и функциональных показателей при действии определенных по силе и параметрам факторов среды (Алимов, 1989, 2000). Переход из одного стабильного состояния в

другое обусловлено изменениями внешних условий. Стабильные сообщества – это сообщества, долгое время формировавшиеся при неизменных или слабо меняющихся условиях (Федоров, Соколова, 1973).

Целью данного исследования явилось изучение стабильности существования макрозообентоса водоёма-охладителя Балаковской АЭС.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение макрозообентоса водоёма-охладителя Балаковской АЭС (БАЭС) проводили в 1999 – 2003 гг. Станции отбора проб были расположены в различных зонах, выделенных по степени трансформации теплового режима: № 1 – 4 – в тепловодной зоне водоёма-охладителя (отводящий канал); № 5 – 7 – в холодноводном (приводящем) канале; № 8, 9 – на смежных водоёмах с естественным температурным режимом (рисунок). Пробы бентоса отбирали количественно на глубине 0.7 –



Схема расположения станций (№ 1 – 9) отбора проб:  $\longrightarrow$  – направление течений

1 м гидробиологическим скребком с шириной полосы захвата 0.2 м. Скребок проводили по дну, по линейке 0.15 м, так что объем пробы составлял 0.03 м<sup>2</sup>.

Изучение проб, отобранных дночерпателем (ДАК-250), показывает, что на больших глубинах в центральной части водоёма-охладителя бентос значительно обеднен (Воронин и др., 2011). Поэтому для оценки стабильности существования экосистемы водоёма-охладителя в целом изучали контурные сообщества макрозообентоса на глубинах до 1 м.

В вегетационные сезоны 1999 и 2000 гг. периодичность отбора составляла 1 – 1.5 мес (в 1999 г. – 38 проб, в 2000 г. – 26 проб). В вегетационный период 2003 г. пробы отбирали в трех повторностях 1 раз в 10 сут. (330 проб). Обработку проб осуществляли по общепринятым гидробиологическим методикам (Методика изучения..., 1975). Видовое определение гидробионтов проводили по «Атласу беспозвоночных...» (1968), «Определителю пресноводных...» (1977), «Определителю пресноводных беспозвоночных...» (1994 – 2004).

Проведенное на постоянных станциях исследование позволило рассмотреть стабильность сообществ. Сравнивали средние за вегетационный сезон значения обилия бентоса в разные годы. Для количественного выражения стабильности сообществ использовали отношение средней геометрической к средней арифметической ( $St_{GM}$ ) и среднее значение отклонения от средней ( $I_{St}$ ). Чем выше стабильность сообществ, тем больше значения  $St_{GM}$  и меньше  $I_{St}$ :

$$I_{St} = \frac{\sum |(\sum k_i)/n - k_i|}{\sum k_i}$$

## СТАБИЛЬНОСТЬ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА

где  $k_i$  – средняя численность или биомасса сообщества в  $i$  год,  $n$  – количество лет наблюдений (Федоров, 1974; Федоров, Соколова, 1973).

Для выяснения способности сообществ сохранять постоянство своих общих характеристик при изменении структуры рассчитывали «коэффициент компенсации»:

$$Z = 1 - (D(\sum x_j)) / (\sum (D(x_j))^{1/2})^2,$$

где  $x_j^i$  – обилие  $j$  группы в  $i$  год,  $D(x_j)$  – дисперсия обилия  $j$  группы за период исследования,  $D(\sum x_j)$  – дисперсия суммарного обилия за период исследования (Ердаков, Рябко, 1981).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В водоёме-охладителе БАЭС имеется широкий температурный градиент, поэтому сообщества бентоса в разных его частях испытывают температурное воздействие разной интенсивности. Температурный режим станций на водоёме-охладителе иной (для средних за 2003 г. температур;  $P < 0.01$ ), чем в водоёмах, не подверженных подогреву. Кроме того, среднегодовые температуры разных станций водоёма-охладителя отличаются ( $P < 0.05$ ), за исключением станций № 1 и 2, 6 и 7, поскольку они расположены в непосредственной близости друг от друга. Сетка отбора проб охватывала весь градиент температуры, что позволило сравнивать между собой сообщества в различных температурных условиях (табл. 1).

**Таблица 1**  
Средние за вегетационный сезон численность ( $N$ , экз./м<sup>2</sup>), биомасса ( $B$ , г/м<sup>2</sup>) макрозообентоса и характеристика условий обитания на разных станциях

Температурные зоны	№ станции	Годы наблюдений			Средне-взвешенная за 2003 г. $t$ , °С	Тип грунта	
		1999	2000	2003			
Тепловодный канал	1	$N$	–	837.5	617.9	37.1	Песок
		$B$	–	9.92	0.86		
	2	$N$	3579.8	–	275.4	37.1	Щебень
		$B$	143.26	–	2.06		
	3	$N$	800.0	2550.0	–	–	Песок
		$B$	1.05	110.98	–		
	4	$N$	283.5	–	493.7	33.2	Песок
		$B$	0.94	–	2.46		
Холодноводный канал	5	$N$	4420.0	3132.0	5641.3	29.6	Щебень
		$B$	127.31	149.54	106.28		
	6	$N$	1908.0	2584.0	8647.9	31.3	Песок
		$B$	50.68	19.64	28.92		
	7	$N$	1304.0	774.0	9256.6	30.2	Ил
		$B$	9.2	15.5	29.0		
Водоёмы с естественным температурным режимом	8	$N$	2698.0	1510.0	–	–	Песок с глиной
		$B$	336.47	334.74	–		
	9	$N$	830.0	1285.0	5632.6	24.2	Песок с глиной
		$B$	4.97	3.48	13.71		

Помимо температуры существенное влияние на развитие бентоса оказывает характер грунта. Станции отбора проб зообентоса располагались на наиболее распространенных типах грунта в тепловодном, холодноводном канале водоёма-охладителя и водоемах с естественным температурным режимом (см. табл. 1).

Сообщества рассматривали как совокупность популяций разных видов, сосуществующих в пространстве и времени (Бигон и др., 1989). Сообщества макрозообентоса называли по виду-доминанту, имеющему максимальный индекс плотности. На мелководьях водоёма-охладителя сформировались 4 сообщества макрозообентоса: *Dreissena polymorpha*, *Chaetogammarus warpachowskyi* – *Corophium sowinskyi*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Pontogammarus robustoides* – *Orithetrum cancellatum*. В р. Березовке – сообщество *Viviparus viviparus*, а на участке Саратовского водохранилища – *Stenogammarus dzjubani* (Воронин, Ермохин, 2005). Всего за период исследования в составе бентоса водоёма-охладителя БАЭС обнаружено 83 вида гидробионтов, в р. Березовка (ст. № 8) выявлено 64 вида, на участке Саратовского водохранилища вблизи БАЭС (ст. № 9) – 30 видов.

Средняя за вегетационный сезон численность макрозообентоса на исследованных станциях на протяжении трех лет наблюдений изменялась довольно значительно. На станции № 2 в тепловодной части водоёма-охладителя средняя за вегетационный сезон численность макрозообентоса изменялась в 13 раз. В холодноводной части водоёма-охладителя на станции № 7 – в 12 раз (см. табл. 1). Индексы стабильности сообществ, рассчитанные на основе анализа численности, также варьировали в широких пределах. Отличий стабильности существования между тепловодной и холодноводной частями водоёма-охладителя не отмечено (табл. 2).

**Таблица 2**

Значения индексов стабильности ( $St_{GM}$  и  $I_{St}$ ) и коэффициента компенсации ( $Z$ ) бентоса на разных станциях

Температурные зоны	№ станции	$St_{GM}$		$I_{St}$		$Z$	
		$N^*$	$B^{**}$	$N$	$B$	$N$	$B$
Тепловодный канал	1	0.99	0.54	0.15	0.84	0.96	0.22
	2	0.51	0.24	0.86	0.97	0.01	0.00
	3	0.85	0.19	0.52	0.98	0.56	0.02
	4	0.96	0.90	0.27	0.45	0.86	0.73
Холодноводный канал	5	0.97	0.99	0.19	0.11	0.78	0.50
	6	0.80	0.93	0.65	0.36	0.13	0.63
	7	0.56	0.90	0.97	0.41	0.03	0.57
Водоёмы с естественным температурным режимом	8	0.96	1.00	0.28	0.00	0.26	1.00
	9	0.70	0.84	0.79	0.57	0.49	0.60

*Примечание.* Индекс рассчитан по: \* – средней за вегетационный сезон численности общего бентоса, \*\* – его биомассе.

Сравнение средних за вегетационный сезон биомасс бентоса в разные годы показало, что стабильность сообществ водоёмов с естественным температурным режимом (станции № 8, 9), холодноводного канала и станции № 4 тепловодного канала, удаленной от водосброса БАЭС, оцененная по  $I_{St}$ , характеризуется значе-

## СТАБИЛЬНОСТЬ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА

ниями менее 0.6, а прочих станций тепловодного канала – более 0.8 (см. табл. 2). Это свидетельствует о нестабильности существования сообществ в тепловодном канале. Выводы по обоим индексам аналогичны.

Биологические системы способны противостоять изменениям внешних условий, сохранять постоянство экологического «выхода» (например, общего обилия сообщества) за счет компенсации обилия одних групп организмов другими (Ердаков, Рябко, 1981). Способность сообществ, находящихся в разных температурных условиях, сохранять постоянство общих характеристик анализировалась по средним значениям численности и биомассы в вегетационные сезоны 1999, 2000, 2003 гг. для разных таксономических групп (полихет, олигохет, пиявок, мизид, кумовых раков, корофиид, гаммарид и т. п.). Коэффициенты компенсации, рассчитанные по численности, варьируют от 0.01 до 0.96. Как минимальные, так и максимальные возможности компенсации численности одних групп организмов другими отмечены для тепловодной части водоёма-охладителя.

Оценка многолетних изменений биомассы различных таксономических групп указывает на то, что сообщества исследованных участков водоёмов с естественным температурным режимом, холодноводной части и станции № 4 тепловодной части водоёма-охладителя БАЭС испытывают влияние возмущающих факторов с силой, результат воздействия которой может быть компенсирован структурными перестройками системы (значения коэффициентов компенсации, рассчитанные по биомассе, составляют более 0.5). Уменьшение обилия в ряду одних таксонов компенсируется увеличением обилия других (см. табл. 2). При смене доминирующего по биомассе таксона общая биомасса бентоса остается относительно постоянной. Напротив, в тепловодном канале биомасса разных групп меняется синхронно – сообщества испытывают воздействие силы, которой не способны противостоять ( $Z < 0.22$ ).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сообщества макрозообентоса сильно подогреваемой зоны водоёма-охладителя Балаковской АЭС нестабильны по сравнению с холодноводным каналом и водоёмами с естественным температурным режимом. Многолетние изменения биомассы сообществ сильно подогреваемой зоны водоёма-охладителя не компенсируются перераспределением количественного развития между разными таксономическими группами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А. Ф.* Введение в продукционную гидробиологию. Л. : Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
- Алимов А. Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб. : Наука. С.-Петербург. отд-ние, 2000. 152 с.
- Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М. : Пищевая пром-сть, 1968. 415 с.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология : в 2 т. М. : Мир, 1989. Т. 2. С. 115–159.
- Биопродукционные процессы в водохранилищах-охладителях ТЭС. Кишинев : Штиинца, 1988. 272 с.

*Воронин М. Ю., Демин А. Г., Емельянова Н. В.* Оценка экологического состояния водоема-охладителя Балаковской АЭС по некоторым показателям макрозообентоса // Биологический мониторинг природно-техногенных систем : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Изд-во Вят. гос. гуманит. ун-та, 2011. С. 181 – 185.

*Воронин М. Ю., Ермохин М. В.* Сообщества макрозообентоса в градиенте температуры водоема-охладителя Балаковской АЭС // Поволж. экол. журн. 2005. № 3. С. 207 – 213.

*Ердаков Л. Н., Рябко Б. Я.* Количественная мера эффективности механизмов стабилизации сообщества // Журн. общ. биологии. 1981. Т. XLII, № 4. С. 512 – 518.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 240 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л. : Гидрометеоздат, 1977. 512 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1994. Т. 1. Низшие беспозвоночные. 396 с.; 1995. Т. 2. Ракообразные. 628 с.; 1997. Т. 3. Паукообразные. Низшие насекомые. 444 с.; 1999. Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. 1000 с.; 2001. Т. 5. Высшие насекомые. Ручейники. Чешуекрылые. Жесткокрылые. Сетчатокрылые. Большекрылые. Перепончатокрылые. 840 с.; 2004. Т. 6. Моллюски. Полихеты. Немертины. 528 с.

*Протасов А. А., Синицына О. О., Калинин Р. А., Сергеева О. А., Силаева А. А., Голубкова Е. Н.* Планктон, бентос и перифитон водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиол. журн. 2000. Т. 36, № 1. С. 14 – 29.

*Федоров В. Д.* Устойчивость экологических систем и ее измерение // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1974. № 2. С. 402 – 415.

*Федоров В. Д., Соколова С. А.* Опыт оценки устойчивости водной экосистемы // Гидробиол. журн. 1973. Т. IX, № 2. С. 11 – 14.

*Яныгина Л. В., Кириллов В. В., Крылова Е. Н.* Оценка современного состояния зообентоса и зооперифитона водоема-охладителя Беловской ГРЭС // Проблемы региональной экологии. 2008. № 6. С. 37 – 42.