

СООБЩЕСТВА МАКРОЗООБЕНТОСА В ГРАДИЕНТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

М.Ю. Воронин, М.В. Ермохин

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83*

Поступила в редакцию 25.06.05 г.

Сообщества макрозообентоса в градиенте температуры водоема-охладителя Балаковской АЭС. – Воронин М.Ю., Ермохин М.В. – Рассматриваются особенности структурной организации и размещения сообществ макрозообентоса в биотопах с различными температурными условиями. Прогнозируется последовательность смены одних сообществ другими при повышении температуры воды водоема-охладителя с пуском второй очереди энергоблоков Балаковской АЭС.

Ключевые слова: макрозообентос, сообщество, водоем-охладитель, температурные условия.

Macrozoobenthos communities in the temperature gradient of the Balakovo NPS cooling reservoir. – Voronin M.Yu., Yermokhin M.V. – The position and peculiarities of the macrozoobenthos community in different warm-up conditions are considered. Changes of the macrozoobenthos community conditions on putting the second phase of the Balakovo NPS power blocks in operation are forecasted.

Key words: macrozoobenthos, community, cooling reservoir of nuclear power station.

Влияние сброса подогретых вод тепловых и атомных электростанций приобретает глобальное значение (Мордухай-Болтовской, 1975), при этом условия существования биоты в водоемах-охладителях трансформируются по сравнению с естественными водоемами (Браславский и др., 1989). При известных общих закономерностях формирования гидробиологического режима экосистема каждого конкретного водоема-охладителя имеет свою специфику (Гидробиология водоемов-охладителей ..., 1991; Калиниченко и др., 1998).

На Балаковской АЭС (БАЭС) ожидается увеличение тепловой нагрузки на водоем-охладитель в результате пуска двух новых энергоблоков (при четырех действующих). Анализ изменения основных параметров экосистемы водоема-охладителя и прогноз ее развития позволит обеспечить эффективность работы станции (Браславский и др., 1989).

Системный анализ невозможен без проведения детальных исследований основных структурных компонентов экосистемы. Заметный вклад в биотический баланс водоемов вносит донное население, поэтому анализ состояния этой группировки позволит оценить состояние экосистемы в целом (Константинов, 1986). Применение биоценотического подхода, основанного на выделении сообществ по доминантному принципу, позволит изучить особенности их развития в разных экологических условиях, закономерности сукцессионной смены в градиенте экологических факторов, а также найти критические значения силы воздействия, которые будут лимитировать их развитие и приводить к трансформации.

Цель работы – установить особенности сообществ макрозообентоса водоема-охладителя БАЭС в зонах с разной среднегодовой температурой воды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Водоем-охладитель БАЭС создан на участке Саратовского водохранилища; его размеры составляют 7.6×3.3 км, площадь – 26.1 км², объем – 150 млн м³. Пуски энергоблоков БАЭС состоялись с декабря 1985 г. по май 1993 г. Характер трансформации химического состава воды обычен для замкнутых водоемов-охладителей – повышение pH, жесткости воды и содержания минеральных солей (Балаковская АЭС..., 2004).

Исследования макрозообентоса проводились на протяжении 2003 г. Пробы бентоса отбирались гидробиологическим скребком на постоянных станциях (рисунки) в прибрежной зоне на глубинах 0.7 – 1 м в трех повторностях зимой 1 раз в

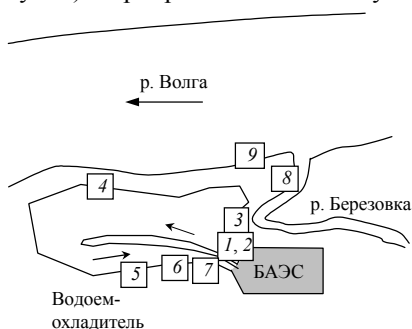


Схема расположения станций отбора проб (№1 – 9)

месяц, в течение вегетационного периода 1 раз в 10 дней. Было собрано и обработано 492 пробы объемом 0.03 м². Обработку проб осуществляли по общепринятым гидробиологическим методикам (Методика изучения..., 1975). Видовое определение проводили по Н.Б. Ломакиной (1958), «Атласу беспозвоночных Каспийского моря» (1968), «Определителю пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР» (1977), «Определителю пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий» (1994 – 2004).

Сообщества рассматривали как совокупность популяций разных видов сосуществующих в пространстве и времени (Бигон и др., 1989). Для анализа уровня количественного развития бентоса использовали среднегодовые показатели обилия, которые позволили избежать влияния на результат внутригодовых флуктуаций обилия отдельных видов. Роль вида в сообществе оценивали по индексу плотности. Сообщества макрозообентоса называли по виду-доминанту, имеющему максимальный индекс плотности, рассчитанный по формуле

$$I = p(b)^{1/2},$$

где p – встречаемость вида в пробах, %, b – биомасса, мг (Методика изучения..., 1975; Кравцова и др., 2003).

При отборе проб отмечались ведущие для распределения макрозообентоса экологические факторы: придонная температура воды и тип грунта (Константинов, 1986). Сравнение среднегодовых температур на разных станциях проводилось по t -критерию для выборок с попарно связанными вариантами (Лакин, 1990). Было определено процентное содержание органического вещества в донных отложениях по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (Александрова, Найденова, 1984).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На мелководьях водоема-охладителя сформировались 4 сообщества макрозообентоса: *Dreissena polymorpha*, *Chaetogammarus warpachowskyi* – *Corophium sowinskyi*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Pontogammarus robustoides* – *Orithetrum cancella-*

tum. В р. Березовке – сообщество *Viviparus viviparus*, а на участке Саратовского водохранилища – *Stenogammarus dzjubani*.

Средняя за 2003 г. температура придонных слоев воды на станциях отбора проб, расположенных в водоеме-охладителе БАЭС (станции №1 – 7, см. рисунок), отличается от водоемов, не подверженных подогреву (станции №8 и 9), при $p < 0.01$ (табл. 1). Внутри водоема-охладителя существует выраженный градиент температур. Среднегодо-

Таблица 1

Характеристика грунта и температурного режима на станциях отбора проб

№ станций	Тип грунта	Среднее содержание органики, %	Средневзвешенная за год t , °С
1	Песок	0.224±0.110	20.6
2	Щебень	–	20.6
3	Песок	5.540±0.118	14.4
4	Песок	0.250±0.059	17.9
5	Щебень	–	13.3
6	Песок	5.680±0.059	13.7
7	Ил	7.361±0.061	13.7
8	Глина	1.820±0.274	9.6
9	Песок с глиной	0.166±0.106	8.8

вые температуры большинства станций отличаются ($p < 0.05$), за исключением станций №1 и 2, 6 и 7, поскольку они расположены в непосредственной близости. Температурный режим на станциях №8 и 9 статистически достоверно не отличается друг от друга. Сетка отбора проб была разработана нами так, чтобы максимально охватить все температурные зоны водоема-охладителя и иметь в качестве контроля станции отбора проб на водоемах с естественным температурным режимом (см. рисунок). Это позволило сравнивать между собой группировки макрозообентоса, существующие на станциях с различным температурным режимом.

Помимо температуры существенное влияние на развитие бентоса оказывает характер грунта. Станции отбора проб зообентоса располагались на наиболее распространенных типах грунта. На тепловодном и холодноводном каналах были выбраны станции с одинаковым типом грунта. Группировки макрозообентоса здесь существовали в разных термических условиях, но на сходном грунте (см. табл. 1).

Сообщество *D. polymorpha* развито в водоеме-охладителе. Существование на станциях с различными экологическими условиями (табл. 2, станции №3, 5, 7) отражается на особенностях его структуры. Распространение вида-доминанта этого сообщества связано с наличием твердых субстратов для прикрепления. Соответственно оптимальные условия (обилие вида-доминанта максимально) отмечены на станции №5, в холодноводном канале водоема-охладителя БАЭС на каменистом грунте, где в значительном количестве имеются необходимые для прикрепления этого моллюска субстраты. Комплекс субдоминантов на этом типе грунта представлен ракообразными *Dikerogammarus villosus*, *Dikerogammarus hemobaphes*. На станции №7 развивающееся в аналогичных температурных условиях, но на илистом грунте сообщество *D. polymorpha* имеет другой состав видов субдоминантов: *Ch. warpachowskyi*, *C. sowinskyi*, *Polypedilum nubeculosum*. На каменистом грунте эти виды находятся в числе обычных. Это сообщество, как и предыдущее, богато видами. Сообщества *D. polymorpha*, существующие на станциях №5 и 7, очень сходны, и некоторые различия в их структуре могут объясняться характером грунта. При тех же температурных условиях сформировалось сообщество *Ch. warpa-*

chowskyi – *C. sowinskyi*, очень богатое видами и хорошо выровненное по обилию (см. табл. 2, станция №6). Субдоминанты – *L. hoffmeisteri*, *D. polymorpha*, *Micruropus wohli*. Однако по биомассе здесь также доминирует дрейссена. Следовательно, холодноводный канал водоема-охладителя в целом можно рассматривать как зону распространения сообщества дрейссены.

Таблица 2

Изменение ранга видов-доминантов и субдоминантов
в сообществах макрозообентоса в градиенте температуры

№ станции	5	6	7	3	4	1	2
Среднегодовая температура, °С	13.3	13.7	13.7	14.4	17.9	20.6	20.6
Название вида	Ранг вида в сообществе и его статус в структуре						
<i>Dreissena polymorpha</i>	1 Д	4 С	1 Д	1 Д	12	–	8
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	17	3 С	11	2 С	1 Д	1 Д	12
<i>Chaetogammarus warpachowskyi</i>	8	1 Д	2 С	10	13	7	5
<i>Corophium sowinskyi</i>	4	2 Д	3 С	28	14	10	10
<i>Pontogammarus robustoides</i>	6	6	9	3 С	5 С	3	1 Д
<i>Orithetrum cancellatum</i>	30	13	7	–	–	9	2 Д
<i>Dikerogammarus villosus</i>	2 С	–	22	–	–	–	–
<i>Dikerogammarus hemobaphes</i>	3 С	–	19	–	–	–	6
<i>Micruropus wohli</i>	7	5 С	5	–	–	–	–
<i>Polypedilum nubeculosum</i>	25	12	4 С	18	11	–	–
<i>Tubifex newaensis</i>	–	15	18	13	2 С	–	–
<i>Pontogammarus maeoticus</i>	–	–	–	–	3 С	–	–
<i>Ophidonais serpentine</i>	–	–	–	–	4 С	–	–
Общее число видов за год	34	41	40	29	17	14	12
$N, \text{экз./м}^2$	5834.3	9585.3	10717.4	828.7	350.6	574.1	262.9
$B, \text{г/м}^2$	140.421	36.010	74.020	22.150	1.843	0.702	1.818

Примечание. Цифрами обозначен ранг вида в сообществе по индексу плотности; Д – вид-доминант или содоминант; С – вид-субдоминант.

Сообщество *D. polymorpha*, развивающееся в тепловодной части водоема-охладителя, уже существенно отличается от холодноводного канала (см. табл. 2, станция №3). Сообщество здесь находится в условиях, далеких от оптимума (обилие вида доминанта невысоко). Видовое богатство ниже, чем на станциях холодноводного канала. На развитии сообщества угнетающе сказывается искусственный подогрев воды, несмотря на то, что течение от водосброса станции проходит в стороне и среднегодовая температура здесь еще не слишком высока. Виды-субдоминанты – эврибионтные *L. hoffmeisteri* и *P. robustoides* – в холодноводном канале относятся к числу обычных.

Сообщество *L. hoffmeisteri* развивается в зонах с более высокими значениями среднегодовых температур. Сообщество бедно видами. Виды-субдоминанты: *Tubifex newaensis*, *Pontogammarus maeoticus*, *Ophidonais serpentine*, *P. robustoides* (см. табл. 2, станция №4). Сообщество *L. hoffmeisteri* развито и на песчаном грунте станции №1. Здесь у водосброса электростанции отмечается максимальный для водоема-охладителя БАЭС прогрев воды. В отличие от станции №4 комплекс субдоминантов здесь не развит. Сообщество очень бедно видами (см. табл. 2, станция №1).

На станции №2, также находящейся у водосброса, но на каменистом грунте, существует сообщество *P. robustoides* – *O. cancellatum*. Эти виды входят в комплекс субдоминантов сообществ *D. polymorpha* и *L. hoffmeisteri*, развивающихся в более мягких термических условиях (см. табл. 2, станция №2).

С повышением температуры воды упрощается структура сообществ макрозообентоса, а комплекс видов субдоминантов, как правило, выделить невозможно. Последовательно исчезают прежде доминировавшие виды. Их место занимают другие виды, которые в сообществах более благоприятных температурных зон играли роль субдоминантов. При этом на каждом новом этапе упрощения структуры обилие сообщества снижается.

Работа БАЭС привела к формированию в водоеме-охладителе сообществ, по структуре существенно отличающихся от р. Березовки и прилежащего участка Саратовского водохранилища. На исследованном участке Саратовского водохранилища близ БАЭС (см. рисунок, станция №9) существует сообщество *St. dzjubani* (субдоминанты *Pontogammarus sarsi*, *Lipiniella arenicola*). Сходных с ним сообществ в водоеме-охладителе нет.

На р. Березовке близ БАЭС (см. рисунок, станция №8) развито своеобразное сообщество *V. viviparus* (субдоминанты – *Polypedilum nubeculosum*, *Fleuria lacustris*, *D. polymorpha*, *Hypania invalida*, *Chironomus* sp.). Сходных по структуре сообществ в водоеме-охладителе нами также не обнаружено. Однако присутствие здесь в числе субдоминантов *P. nubeculosum*, как и в сообществе *D. polymorpha* водоема-охладителя станции №7, говорит о некотором влиянии на формирование этого сообщества фактора грунта.

После пуска в строй 5-го и 6-го энергоблоков БАЭС (при ныне действующих четырех) подогрев водоема-охладителя усилится. Существуют детальные математические модели, позволяющие прогнозировать с высокой степенью точности изменения гидрологического и гидрохимического режима (Браславский и др., 1989). Из-за большой сложности биологических процессов в нашем распоряжении до настоящего времени нет общих моделей, описывающих состояние экосистем водоемов-охладителей. Экологическая ситуация в каждом конкретном водоеме, при некоторых общих для водоемов этого типа чертах, будет специфична.

При нынешнем уровне технологической нагрузки на водоем-охладитель сообщества макрозообентоса, обитающие в нем, существенно отличаются от соседних водоемов с естественным температурным режимом. На мелководьях прибрежной зоны водоема-охладителя со среднегодовой температурой 13.3 – 14.4°C существуют сообщества *D. polymorpha* или *Ch. warpachowskyi* – *C. sowinskyi* (правда и в этом сообществе дрейссена доминирует по биомассе). При среднегодовой температуре 17.9 – 20.6°C их сменяет сообщество *L. hoffmeisteri*, при той же температуре, но на каменистых субстратах, где существование этого грунтоедов невозможно, развивается сообщество *P. robustoides* – *O. cancellatum*.

Очевидно, что с пуском второй очереди энергоблоков АЭС существенно расширится температурная зона со среднегодовой изотермой 18°C и увеличится площадь дна, на которой развито сообщество *L. hoffmeisteri*, а площади, занятые сообществом дрейссены, сократятся. Соответственно из-за уменьшения фильтрационной активности бентоса может снизиться качество воды в водоеме-охладителе,

что приведет к засорению и обрастанию охлаждающих агрегатов станции, а следовательно, понизится эффективность их работы.

Поскольку биологические системы обладают высокой сложностью, неоднозначностью и нелинейностью реакции на какое-либо воздействие, мы не можем с высокой точностью экстраполировать состояние сообществ макрозообентоса за пределы диапазона температуры, исследованного нами. В этом смысле неясна перспектива трансформации макрозообентоса при повышении температуры в современной зоне максимально высокого подогрева вблизи водосброса БАЭС, но на большей части акватории водоема-охладителя при повышении температуры воды в известных пределах обоснованный прогноз возможен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На исследованном участке Саратовского водохранилища близ БАЭС выделено сообщество *St. dzjubani*; в р. Березовке – *V. viviparus*; а в водоеме-охладителе – 4 сообщества: *D. polymorpha*; *Ch. warpachowskyi* – *C. sowinskyi*; *L. hoffmeisteri*; *P. robustoides* – *O. cancellatum*. В водоеме-охладителе БАЭС происходит последовательная смена сообществ в градиенте температуры. С повышением среднегодовой температуры сообщества *Dreissena polymorpha* и *Chaetogammarus warpachowskyi* – *Corophium sowinskyi* трансформируются в сообщества *Limnodrilus hoffmeisteri* или *Pontogammarus robustoides* – *Orithetrum cancellatum*. Смена доминантов сопровождается снижением количественного развития и видового богатства. С пуском в строй второй очереди энергоблоков БАЭС площадь дна, заселенного сообществом *L. hoffmeisteri*, увеличится, а заселенного сообществом *D. polymorpha* – сократится. Связанное с этим уменьшение седиментации взвесей может привести к ухудшению технически важных параметров качества воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Агромедиздат, 1984. 294 с.
- Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М.: Пищ. пром-сть, 1968. 415 с.
- Балаковская АЭС. Общие сведения // www.balaes.ru. 2004.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: В 2 т. М.: Мир, 1989. Т. 2. С. 115 – 159.
- Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду. М.: Гидрометиздат, 1989. 256 с.
- Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред. М.Ф. Поливанная. Киев: Наук. думка, 1991. 192 с.
- Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Протасов А.А., Синицина О.О. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС // Гидробиол. журн. 1998. Т. 34, №1. С. 15 – 25.
- Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1986. 472 с.
- Кравцова Л.С., Карабанов Е.Б., Камалтынов Р.М., Механикова И.В., Ситникова Т.Я., Рожкова Н.А., Слугина З.В., Ижболдина Л.А., Вейнберг И.В., Акинишина Т.В., Кривонозов С.К., Щербаков Д.Ю. Макрозообентос субаквальных ландшафтов мелководной зоны южного Байкала. 2. Структура сообществ макробеспозвоночных животных // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 5. С. 547 – 557.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

СООБЩЕСТВА МАКРОЗООБЕНТОСА В ГРАДИЕНТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ломакина Н.Б. Кумовые раки (*Сипасеа*) морей СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1958. 296 с.

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

Мордохай-Болтовской Ф.Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоёмов // Тр. ин-та биологии внутренних вод АН СССР. 1975. №27 (30). С. 7 – 69.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: В 6 т. СПб.: Наука, 1994 – 2004. Т. 1. 1994. 396 с.; Т. 2. 1995. 628 с.; Т. 3. 1997. 444 с.; Т. 4. 1999. 1000 с.; Т. 5. 2001. 840 с.; Т. 6. 2004. 528 с.