

УДК 574.632

ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ ВОДНОЙ БИОТЫ НА ТЕПЛОВОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОТ ФОНОВОГО ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭКОСИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ МАКРОЗООБЕНТОСА)

В. А. Жигульский, директор
ООО «Эко-Экспресс-Сервис»,
ecoplus@ecoexp.ru,

В. Ф. Шуйский, начальник отдела
ООО «Эко-Экспресс-Сервис»,

Н. С. Царькова, начальник отдела
ООО «Эко-Экспресс-Сервис»,

Е. Ю. Максимова, инженер-эколог,
ООО «ЭКОПЛЮС»,

С. А. Бойкова, практикантка,
«Эко-Экспресс-Сервис»

Рассматриваются результаты сравнительного анализа реакции макрозообентоса на тепловое воздействие. В литературе часто даются очень противоречивые сведения о реакции биоты на термофикацию. Непредсказуемость последствий термофикации для водной экосистемы — почти общепринятая концепция. Однако систематизация материалов показывает, что эта противоречивость оказывается мнимой. Для оценки и прогнозирования реакции гидроэкосистемы на техногенное поступление теплоты необходимо учитывать фоновый термический режим и уровень подогрева. В этом случае реакция биотических характеристик поддается количественному описанию и прогнозу. Приводятся результаты количественного описания зависимости основных характеристик макрозообентоса от теплового воздействия.

Some results of the comparative analysis of the macrozoobenthos reaction on thermal effect are considered. Literary data on a biota response to termofikation are often very inconsistent. Unpredictability of termofikation consequences for an aquatic ecosystem is almost standard conception. However systematization of materials shows that this discrepancy proves to be imaginary. It is necessary to consider a background thermal regime and heating level for an assessment and reaction forecasting of hydroecosystem on technogenic receipt of warmth. In this case reaction of biotic characteristics yield to the quantitative description and forecast. Some results of the quantitative description of the dependence of main macrozoobenthos characteristics on thermal influence are given.

Ключевые слова: тепловое техногенное воздействие, реакции биоты на термофикацию, макрозообентос.

Keywords: thermal technogenic influence, biota response to termofikation, macrozoobenthos.

Введение. Тепловое воздействие на природные гидроэкосистемы встречается довольно часто. Наиболее ярко это вид антропогенного воздействия проявляется в водоемах-охладителях, специально используемых для сброса термальных вод электростанций. Условия обитания гидробионтов в водоемах-охладителях весьма специфичны, что определяется взаимодействием многих факторов. Наряду с тепловым воздействием, сброс вод с электростанций формирует и особый гидрологический режим. Сама термофикация также влияет на условия водной среды, изменяя действие многих абиотических факторов. Соответственно изменившимся условиям обитания значительно трансформируется и биота охладителей, причем существенные многоплановые изменения претерпевают все ее основные компоненты (продуценты, редуценты, консументы).

В тематической литературе встречается множество сведений о реакции биоты на тепловое техногенное воздействие. Однако сведения эти весьма противоречивы, причем часто различаются не только в количественных оценках этой реакции, но даже и в ее качественной характеристике, в определении общего направления изменений.

В значительной степени это объясняется не вполне адекватной оценкой уровня самого воздействия. Традиционно он характеризуется так называемой величиной подогрева — разностью синхронных (или усредненных за некий период времени) значений температуры в изучаемых и фоновых условиях (то есть в обогреваемой и необогреваемой зоне акватории). Общепринятая классификация теплового воздействия [1] также учитывает только величину подогрева. Однако очевидно, что для этого, наряду с величиной подогрева, должен учитываться также и фоновый температурный режим, к которому исходно адаптирована биота.

Некоторые особенности реакции водной биоты на подогрев в зависимости от фонового теплового режима удобно рассмотреть на примере сообществ макрозообентоса как наилучшего биоиндикатора [2]. Вследствие интенсивного водообмена структурно-функциональные особенности пелагических сообществ в охладителях характеризуют, в основном, общий уровень их термофикации. Бентос же, наоборот, сравнительно стабилен, четко локализован,

и его особенности закономерно изменяются в градиентах теплового воздействия.

Результаты. В имеющейся литературе содержится значительное количество сведений об особенностях биологии макрозообентоса водоемов-охладителей. Однако приводимые результаты исследований и выводы, к которым приходят их авторы, весьма противоречивы. Практически по всем изучаемым аспектам экологии зообентоса теплых вод разными исследователями не только дается различная оценка эффективности термического воздействия, но часто указываются и полярно противоположные тенденции.

Прежде всего, нет единого мнения о том, как следует классифицировать собственно термическое воздействие. Многие авторы пользуются вышеупомянутой классификацией М. Л. Пидгайко [1], выделяя зоны «максимального» подогрева (превышение естественной температуры воды в летний период на 6 и более градусов Цельсия), «умеренного» (на 4÷6 °С) и «минимального» (0,5÷3 °С). Нетрудно заметить, что эта классификация не учитывает фоновой температуры воды и, в сущности, неявно базируется на следующих двух допущениях:

— подогрев воды может считаться величиной постоянной, поскольку воде за единицу времени сообщается постоянное количество тепловой энергии при прохождении через систему охлаждения энергостанции (при условии ее функционирования в стабильном режиме);

— подогрев воды может считаться достаточно информативной мерой теплового воздействия, практически детерминирующей реакцию гидробионтов и термический режим их существования.

Однако оба эти допущения весьма сомнительны.

Во-первых, на самом деле режим функционирования энергостанции непостоянен, и количество теплоты, поступающей в воду за единицу времени при ее прохождении через конденсаторы станций, существенно варьирует во времени.

Во-вторых, даже при равномерном поступлении теплоты в систему охлаждения и при постоянной величине подогрева сбрасываемых термальных вод далее, при их распределении по акватории охладителя теплоотдача будет варьировать во времени. Она определяется, прежде всего, естественной, фоновой температурой воды (с которой смешиваются термальные воды) и температурой атмосферного воздуха. Ясно, что эти показатели значительно

изменяются в течение сезона, и локальные уровни подогрева воды в акватории охладителя будут, соответственно, непостоянны. Вследствие этого временная вариабельность величины подогрева воды в охладителях на самом деле настолько велика, что сопоставима с пространственной, и это делает практически невозможной сколько-нибудь корректную оценку локального теплового режима по одной лишь только величине подогрева вод [3].

Для оценки условий существования гидробионтов (организмов пойкилотермных) представляется гораздо более важной величина не подогрева воды, а ее температуры. Однако многие исследователи, количественно характеризующие степень термофикации вод, ограничиваются только величиной их подогрева, не указывая ни исходных, ни конечных абсолютных значений температуры. Не всегда указываются даже среднесезонные и среднегодовые значения температуры вод в фоновых и (или) импактных условиях. Все это затрудняет сопоставление данных, приводимых различными авторами.

Кроме того, классификация [1] искусственна, поскольку градации величин подогрева («максимальный», «умеренный» и «минимальный») ее автором выделены совершенно произвольно. Другие исследователи обычно тоже пользуются понятиями «максимального», «умеренного» и «минимального» подогрева. При этом используемые граничные значения его диапазонов также выбираются произвольно и притом варьируют довольно широко.

Так, например, нижним граничным значением диапазона «максимального» подогрева у разных авторов считается разность температур и 4—5 °С [4], и 6 °С [5], и 7 °С [6], и 8—10 °С [7], и 10 °С [8]. Более того, в некоторых работах, где используются понятия «минимального», «среднего» и «максимального» подогрева, вообще не поясняется, какие именно диапазоны разности температурных значений в импактных и фоновых условиях подразумеваются.

По-разному оценивается и тот верхний температурный порог, после которого наступает резкая деградация донных сообществ и происходит массовое отмирание бентонтов. Так, для водоемов-охладителей средней полосы приводятся следующие значения этой критической температуры: 23—25 °С [9], 25 °С [5, 10, 11], 25—26 °С [12]; 26 °С [13], 26—30 °С [14], 30 °С [6, 15] и др.

Сопоставим доступные литературные сведения об изменениях важнейших ценотических

характеристик макрозообентоса (видового богатства, разнообразия, биомассы сообществ, средней массы особи) при тепловом воздействии, используя данные о фоновом термическом режиме.

Видовой состав и видовое разнообразие. В условиях сравнительно слабого (до 3 °С) подогрева вод большинство авторов не обнаруживает существенных изменений видового состава и видового разнообразия донных сообществ [1, 16]. Известны данные о стимулирующем воздействии слабого подогрева на видовое богатство и разнообразие в условиях Заполярья [17] и в водоеме-охладителе Литовской ГРЭС [18].

Воздействие умеренного (3—7 °С) подогрева также оценивается неоднозначно. Ряд исследователей считает, что заметных изменений при этом не происходит [19, 20]. Другие констатируют уменьшение данных показателей [1, 12, 14, 21]. Однако отмечается и стимулирующее воздействие умеренного подогрева [4, 17, 22].

Влияние сильного (на 7—10 °С) подогрева на изучаемые показатели большинством авторов однозначно оценивается как негативное [10, 11, 16, 18, 23, 24]. Впрочем, в озере Имандра (водоеме-охладителе Кольской АЭС) даже сильный подогрев (до 10 °С) стимулирует видовое богатство и разнообразие, поскольку значения абсолютной температуры при этом не превышают 25 °С [17]. Однако при более сильном подогреве и в этом водоеме также наблюдалось уменьшение видового разнообразия и богатства. Ю. А. Каратаев [6] отмечает, что при умеренном и сильном термическом воздействии в бентоценозах происходит смена доминантов.

В трансформированных бентоценозах водоемов-охладителей, причем даже в зонах максимального подогрева, как правило, доминируют аборигенные эвритермные или термофильные гидробионты [23, 24]. Многие из них характеризуются достаточно четко выраженными функциями отклика на тепловой режим и могут быть использованы в качестве тест-объектов [25]. По-видимому, преимущество в данном случае получают те виды, у которых под воздействием повышенной температуры рост ускоряется более интенсивно, чем метаболизм [26]. Так, в зонах умеренного и максимального подогрева обычно развиваются термофильные брюхоногие моллюски отряда *Bassomatomorpha (Pulmonata)* [27]. Весьма устойчивы к подогреву некоторые малощетинковые черви, в частности виды из родов *Limnodrillus* и *Tubifex* [17, 21] и некоторые на-

идиды [25]. По-видимому, самым устойчивым к подогреву представителем фауны средних широт является олигохета *Limnodrillushoffmeisteri*, длительно выносящая температуру до 37 °С [28] и обитающая в бентали водоемов-охладителей повсеместно, включая и сбросные каналы электростанций [2, 6, 29, 30, 31].

Многие исследователи пытаются определить тенденции изменения абсолютного и относительного обилия малощетинковых червей при подогреве и порой получают при этом полярные оценки. Так, по мнению К. Эдварда [32], олигохеты наименее устойчивы к подогреву по сравнению с другими гидробионтами. Результаты, полученные Л. А. Гуровой и Г. Д. Максимовой [14] на Иваньковском водохранилище, позволяют проследить отрицательную высокодостоверную корреляцию среднесезонных значений температуры и биомассы малощетинковых червей. Имеются сведения об обеднении видового состава олигохет при температуре свыше 30 °С [33]. Однако большинство авторов, наоборот, отмечает увеличение относительного, а иногда и абсолютного обилия малощетинковых червей при подогреве [2, 5, 6, 16, 17, 18, 29, 30, 34, 35 и др.]. По данным А. Ю. Каратаева, различные виды олигохет обладают весьма разной устойчивостью к термическому воздействию, и потому изменения общих показателей обилия олигохет при тепловом воздействии во многом определяются их видовым составом [25].

Относительное и, в большинстве случаев, абсолютное обилие личинок хирономид при подогреве обычно уменьшается [5, 21, 25], но иногда может и возрасти [14, 16]. В некоторых водоемах численность личинок даже сравнительно эврибионтных видов комаров-звонцов (в том числе и видов из группы *Chironomus f. l. plumosus*) может уменьшаться не только при сильном, но даже и при умеренном тепловом воздействии [16].

В целом личинки многих насекомых, в том числе и двукрылых [15, 18, 21, 33], весьма чувствительны к тепловому воздействию. Одними из первых при тепловом воздействии из сообществ бентоса исчезают виды из семейства *Chaoboridae* [16, 18]. Высокой чувствительностью к термофикации характеризуются и пиявки [6].

Помимо структурных перестроек сообществ, состоящих из аборигенных видов, в водоемах-охладителях часто происходит пополнение бентофауны интродуцентами — представителями более южных широт. Весьма интенсивно мо-

гут развиваться виды Понто-Каспийского комплекса [36], субтропической фауны [4, 27, 37]. Так, например, в подогреваемых озерах Конинских (Польша), Лиман (Украина) и Белое (Белоруссия) стабильно существуют целые комплексы инвазивных термофильных видов [6, 8, 38].

Биомасса. Сведения о термогенных изменениях биомассы зообентоса также противоречивы. Минимальный подогрев, по мнению ряда авторов, не вызывает заметных изменений биомассы или же приводит к некоторому ее увеличению [1, 4, 5, 10]. При умеренном подогреве отмечались и позитивные изменения биомассы бентоса [4, 17, 22, 29], и негативные [2, 5, 6, 9, 14, 18, 20, 21, 34, 35], и отсутствие видимой реакции [19, 20]. Сильный подогрев вызывал выраженное угнетение аборигенной бентофауны во всех описываемых водоемах, кроме озера Имандра — водоема-охладителя Кольской АЭС, где, как уже сообщалось, максимальная температура воды не превышает 25 °С даже в максимально обогреваемой зоне [17].

Весовая структура сообществ. Выводы разных авторов о тенденциях изменения весовой структуры донных сообществ различны. Так, по данным Л. Лещиньского [16, 34], средняя масса особи в бентосе Конинских озер увеличивалась пропорционально степени подогрева. При тепловом воздействии отмечалось и увеличение средней массы особей [14, 36], и ее уменьшение [39]. Ю. А. Каратаев [6], наоборот, отмечает закономерное уменьшение этого показателя при увеличении тепловой нагрузки в белорусских и некоторых других водоемах-охладителях, считает данную закономерность универсальной и рекомендует использовать ее при мониторинге водоемов-охладителей. Более того, оба автора утверждают, что тенденции изменений весовой структуры сообщества и популяций отдельных видов часто не совпадают, но при этом Л. Лещиньский отмечает уменьшение средней массы особи в популяциях при подогреве [16], а Ю. А. Каратаев — их увеличение [40]. По данным Каспржак [38], в подогреваемых озерах Конинского комплекса преимущества в развитии получают и реализуют организмы с малыми размерами тела, Ю. А. Каратаев [6, 40] указывает, что прослеживается не только обратная зависимость средней массы организма зообентоса от степени подогрева, но и прямая связь между размерами тела организма и доступной ему глубиной проникновения в субстрат. Следовательно, уменьшение средней массы (размера) организ-

ма бентоса, наблюдаемое автором при подогреве, должно способствовать повышению доступности бентоса для рыб-бентофагов.

Динамические характеристики сообществ. Многие авторы констатируют изменение динамических характеристик сообществ и популяций зообентоса при тепловом воздействии. Отмечается удлинение репродуктивного периода гидробионтов [35, 36, 41], а также более раннее размножение — у моллюсков [22], олигохет [30, 31], хирономид [6, 14] и других гидробионтов [19]. Происходит увеличение числа генераций вторичноводных беспозвоночных, более раннее начало и позднее окончание периода вылета их имаго [4, 9, 30, 31]. По наблюдению Л. Лещиньского [35], в Конинском комплексе озер-охладителей колебания численности олигохет и хирономид, связанные с тепловым воздействием, происходят в противофазе.

Под действием подогрева увеличивается амплитуда колебаний численности бентоса [6, 15], хотя динамика численности отдельных популяций при этом может, наоборот, выравниваться во времени [42].

По данным А. А. Филиппова и Н. Н. Широкой [15], диапазон изменений численности пропорционален степени подогрева, поскольку приближение температуры воды к критическому значению увеличивает значимость влияния термического фактора. Повышение температуры в зоне максимального подогрева может вызвать массовую гибель гидробионтов. Л. Лещиньским [16] отмечено, что ранний вылет имаго насекомых из подогретых вод может сопровождаться их гибелью в холодном воздухе. Таким образом, фактор подогрева может не только ускорять процессы популяционной и ценотической динамики бентоса, но и оказывать на него существенное негативное воздействие.

Продуктивность. Сведения о влиянии подогрева на продукционные свойства бентоса малочисленны и, по-видимому, наиболее противоречивы. Продукция бентоценоза определяется его трофической структурой, динамикой численности и весовой структуры входящих в сообщество популяций, скоростью роста и размножения гидробионтов. Сочетание противонаправленных тенденций изменения всех этих составляющих в условиях подогрева чрезвычайно затрудняет изучение продукционных изменений, обуславливает их противоречивую оценку разными авторами [1, 14, 21, 43, 70]. Ситуация осложняется и тем, что совершенно

не ясно, насколько температурные поправки к уравнениям роста и R/V -коэффициентам, полученные в лабораторных условиях и при работе на водоемах с естественным температурным режимом, соответствуют сложным и специфическим условиям водоемов-охладителей. Как правило, авторы избегают каких-либо конкретных выводов о закономерностях термогенных изменений продуктивности бентоса в водоемах-охладителях и ограничиваются признанием необходимости дальнейших исследований в этом направлении.

Обсуждение. Итак, анализ литературных данных показывает, что по всем основным биологическим параметрам фактор подогрева может вызывать самую разную реакцию бентоценозов — от выраженного стимулирования до резкого угнетения.

Далее реакции ценологических показателей зообентоса на подогрев рассматриваются в зависимости от *фонового термического режима*.

К сожалению, литературные сведения часто неполны и отрывочны и не позволяют сопоставить изменения даже основных *характеристик зообентоса* во всех ситуациях теплового воздействия, описываемых разными авторами. Больше всего сведений имеется об изменениях *биомассы* бентоса. Реже бывают представлены также данные о *видовом богатстве* и *разнообразии* сообществ, об изменении их *весовой структуры*. Прочие же ценологические характеристики, к сожалению, приводятся исследователями слишком редко для того, чтобы их можно было подвергнуть сравнительной оценке с учетом фонового термического режима.

1. Меры теплового воздействия и реакции макрозообентоса

Простейшей *характеристикой фонового термического режима* за период наблюдения может служить средняя арифметическая температуры воды за этот период в необогреваемой части акватории ($t_{\text{ср}}^{\circ}$). При достаточной продолжительности наблюдений обычно используются значения температуры, усредненные за вегетационный сезон.

Мерой подогрева вод далее служит:

— при обработке результатов разовой съемки — разность значений температуры на станции наблюдения и в фоновых условиях (δ);

— при обобщении результатов серии наблюдений — средняя разностей синхронных значений температуры на станции наблюдения и в фоновых условиях ($\delta_{\text{ср}}$).

Меры реакции характеристик макрозообентоса соответствуют особенностям самих этих характеристик. Ясно, что мера реакции характеристики должна выражать ее изменение относительно исходного (фонового) значения. Однако многие количественные характеристики донных сообществ, представленные в традиционном выражении, имеют в разных водоемах совершенно несопоставимые значения. Так, например, фоновые значения биомассы бентоса в разных водоемах и биотопах варьируют в пределах нескольких порядков величин. Весьма изменчива и средняя масса особи в разных сообществах.

Для таких характеристик возможность сравнительной оценки их термогенных изменений в разных водоемах обеспечивается, во-первых, нормировкой измененных значений относительно фоновых, во-вторых, логарифмированием этого соотношения. Таковы использованные меры изменения *биомассы* сообщества и *средней массы* особи в сообществе:

Мера изменения биомассы макрозообентоса при тепловом воздействии:

$$\frac{\ln\left(\frac{B_2}{B_1}\right)}{\delta} \text{ [градус}^{-1}\text{]},$$

где B_1 и B_2 — биомасса макрозообентоса при подогреве δ и в фоновых условиях соответственно.

Мера изменения средней массы особи в сообществе макрозообентоса при тепловом воздействии:

$$\frac{\ln\left(\frac{W_2}{W_1}\right)}{\delta} \text{ [градус}^{-1}\text{]},$$

где W_2 и W_1 — средняя масса особи в сообществе при подогреве δ и в фоновых условиях соответственно.

Мера изменения видового богатства (количества низших идентифицируемых таксонов в сообществе) **макрозообентоса при тепловом воздействии:**

$$\frac{dS}{d\delta} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\frac{S_2 - S_1}{\delta} \right) \text{ [число видов} \times \text{градус}^{-1}\text{]},$$

где S_2 и S_1 — видовое богатство (количество низших идентифицируемых таксонов в сообществе) при подогреве δ и в фоновых условиях соответственно.

Данный показатель имеет меньшую вариативность в разных водных объектах, чем предыдущие, что позволяет обойтись без логарифмирования количества таксонов.

Мера изменения видового разнообразия при тепловом воздействии.

Наиболее часто употребляемой мерой видового разнообразия сообществ является, как известно, информационный индекс Шеннона-Уивера:

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{N_i}{N} \times \log_2 \frac{N_i}{N} \right) \text{ [бит} \times \text{экз.}^{-1}\text{]},$$

где s — видовое богатство, N_i — популяционная плотность i -го вида (или, при невозможности видовой идентификации, низшего идентифицируемого таксона), N — плотность сообщества

$$\left(N = \sum_{i=1}^s N_i \right).$$

Значения индекса находятся в прямой зависимости как от количества видов в сообществе, так и от степени схождения значений их популяционной плотности. Структура индекса такова, что его реальные значения могут варьировать в довольно узком диапазоне. Минимальное разнообразие свойственно ($H = 0$) «сообществам» из всего одной популяции ($s = 1$, что встречается нечасто). Максимальное реализуемое значение H в природных сообществах, по-видимому, не превышает 5,3 бит/экз. [44].

В связи с этим для выявления и сравнительной оценки изменений индекса видового разнообразия целесообразно нормализовать его значения относительно диапазона значений этого показателя, реализуемых в данной водной экосистеме:

$$\frac{(H - H_{\min})}{(H_{\max} - H_{\min})},$$

где H_{\min} и H_{\max} — минимальные и максимальные значения H , реализуемые в данном водоеме. При такой нормировке значения показателя варьируют от 0 до 1 (при минимальном и максимальном разнообразии, возможном для каждой из сопоставляемых экосистем).

Такая структура перечисленных показателей позволяет сопоставлять ситуации с различными фоновыми значениями температуры, с разными величинами подогрева и с существенно различающимися значениями характеристик зообентоса. Действительно, при использовании ненормализованных, абсолютных фоновых значений этих показателей такое сравне-

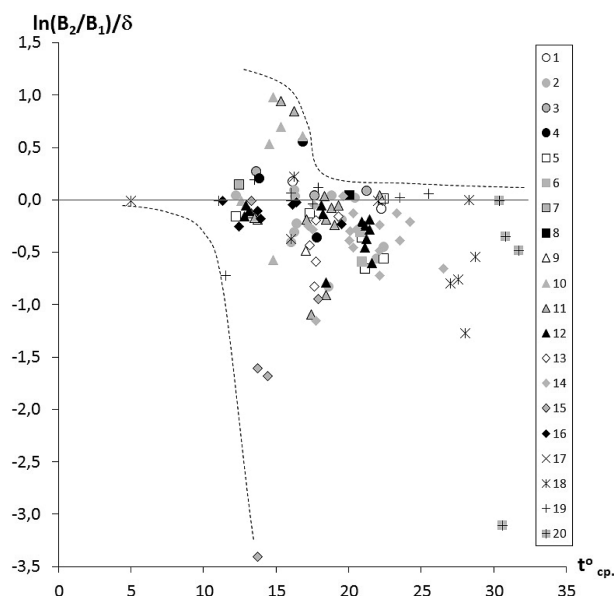


Рис. 1. Зависимость показателя изменения биомассы макрозообентоса («тотальной») при тепловом воздействии от фонового термического режима (пояснения — в тексте)

Примечание. Обозначения на рисунках 1—5:

1 — оз. Белое [6], 2 — оз. Лукомское [6], 3 — оз. Имандра [17], 4 — Пронское вдхр. [12], 5 — Черепетское вдхр. [45], 6 — Черепетское вдхр. [15], 7 — оз. Мичиган [46], 8 — Беловское вдхр. [47], 9 — Кучурганский лиман [21], 10 — Кучурганский лиман [48, 49], 11 — Ладыжинское вдхр. [5], 12 — Литовское вдхр. [18], 13 — Ивановское вдхр. [14], 14 — Конинский озерный комплекс [16, 34, 35], 15 — водоем-охладитель (ВО) Балаковской АЭС [50], 16 — р. Фальшивая [51], 17 — ВО Чернобыльской АЭС [52], 18 — ВО Запорожской АЭС [53], 19 — р. Топлица [54], 20 — залив Тутикорин [55]

ние оказалось бы просто невозможным в силу их весьма существенных различий в разных гидроэкосистемах.

2. Сравнительная оценка изменений характеристик макрозообентоса при тепловом воздействии

На рис. 1—5 отражена зависимость вышеперечисленных показателей от среднесезонных¹ фоновых значений температуры в разнотипных водоемах-охладителях.

Биомасса макрозообентоса. Зависимость граничных значений показателя, характеризующего термогенные изменения биомассы, от фоновых значений температуры представлена на рис. 1. При всей вариативности реакции биомассы бентоса на подогрев в разных водо-

¹ Вместо среднесезонных значений иногда вынужденно используются значения, усредненные за иные периоды наблюдения — в зависимости от приводимых авторами данных.

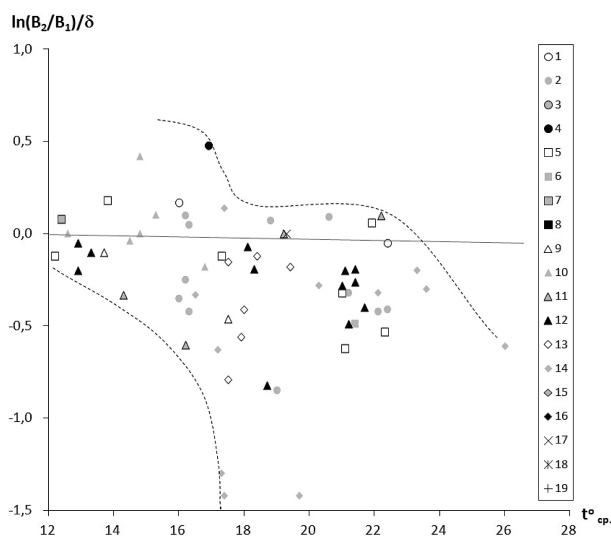


Рис. 2. Зависимость показателя изменения биомассы «мягкого» макрозообентоса при тепловом воздействии от фонового термического режима (пояснения — в тексте)

емах-охладителях все же прослеживаются следующие ее тенденции.

Имеющиеся в литературе данные позволяют отдельно рассмотреть эту реакцию:

— для так называемого тотального макрозообентоса (то есть при учете всех его организмов) (рис. 1);

— для так называемого мягкого, или кормового макрозообентоса (при учете только тех его организмов, которые доступны рыбам: не учитываются моллюски с длиной раковины свыше 1 см) (рис. 2).

У «тотального» макрозообентоса диапазон реакции биомассы на подогрев несколько более широк, чем у «мягкого» макрозообентоса. Это обусловлено тем, что наибольшую вариабельность отклика приносят именно крупные двусторчатые моллюски, в особенности эвритермные инвазивные виды понто-каспийского фаунистического комплекса из рода *Dreissena* (обычно — *D. polymorpha* Pall.).

При такой форме визуализации данных, имеющихся в литературе, заметно, что биомасса бентоса может значительно стимулироваться подогревом ($\ln(B_2/B_1)/\delta > 0,2$) только при значениях фоновой температуры меньших, чем 17 °С. При больших температурах значения показателя отрицательны или близки к нулю, что свидетельствует об уменьшении биомассы под воздействием подогрева или, реже, об отсутствии ее заметной реакции.

Видовое богатство (рис. 3) может увеличиваться ($dS/d\delta > 0$) при подогреве до тех пор,

пока значения температуры не достигли критического уровня, варьирующего в разных водоемах от 15 до 23 °С (в среднем — около 18,5 °С). При больших значениях фоновой температуры видовое богатство сообществ при тепловом воздействии закономерно уменьшается. Соответственно, в северных широтах в охладителях стимулирующее влияние на видовое богатство наблюдается, а в южных — нет.

Эта зависимость проявляется наиболее четко и хорошо поддается аппроксимации уравнением линейной регрессии (коэффициент корреляции $r = 0,68$; относительные величины ошибок средних значений параметров — 23 и 26 %; доля общей дисперсии признака, объясненная при аппроксимации, — 91 %).

$$dS/d\delta = -(1,51 \pm 0,35) \times t_{cp}^{\circ} + (27,71 \pm 7,21).$$

Следует добавить, что видовой состав бентоса — наиболее инертный показатель, поскольку исчезновение популяции из сообщества происходит лишь после того, как окажутся исчерпанными ее адаптивные возможности. Соответственно, видовой состав сообществ начинает изменяться лишь при подогреве воды не менее чем на 1,5 °С, а рассматриваемые количественные характеристики макрозообентоса начинают реагировать на подогрев сразу же, без латентного периода и без видимых пороговых значений подогрева [2; 56].

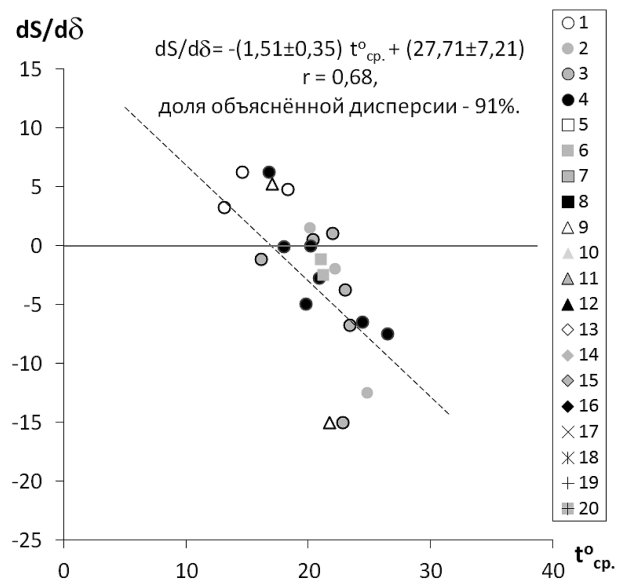


Рис. 3. Зависимость показателя изменения количества видов в сообществе макрозообентоса при тепловом воздействии от фонового термического режима (пояснения — в тексте)

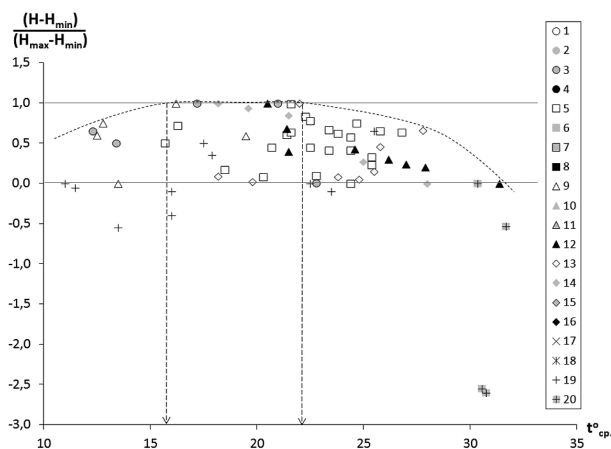


Рис. 4. Зависимость нормированного показателя видового разнообразия макрозообентоса от термического режима (пояснения — в тексте)

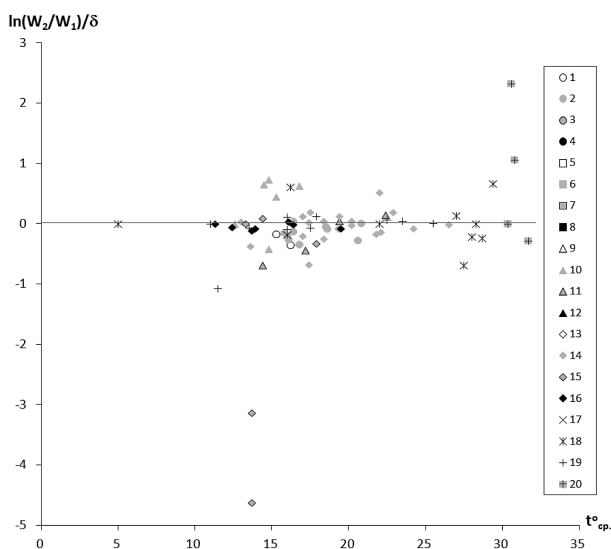


Рис. 5. Соотношение значений показателей изменения средней массы особи макрозообентоса при тепловом воздействии и фонового термического режима (пояснения — в тексте)

Видовое разнообразие (рис. 4) в водоемах достигает своего максимального уровня, возможного в условиях данного биотопа и водоема, в диапазоне значений температуры от 16 до 22 °С.

Средняя масса особи в сообществе (рис. 5) реагирует на подогрев, в целом, неупорядоченно при любых фоновых значениях температуры. Отметим, однако, что случаи резкого уменьшения средней массы особи при подогреве наблюдаются лишь при низких фоновых

среднесезонных значениях температуры (менее 15 °С). И наоборот, резкое возрастание этого показателя происходит лишь при высоких фоновых значениях температуры. Оба явления преимущественно связаны с реакцией на тепловое воздействие двустворчатых моллюсков (в первом случае — лимитирование местных крупных видов из семейства *Unionidae*, во втором — экспансия видов из рода *Dreissena*).

По-видимому, изменения видовой структуры сообществ макрозообентоса при тепловом воздействии преимущественно определяются их фоновым видовым составом.

3. Реакция макрозообентоса континентальных водоемов средней полосы России

Как известно, среднесезонные значения температуры воды в континентальных водоемах средней полосы чаще всего принадлежат диапазону 17—22 °С. Согласно рис. 3, при этом реакция *видового состава* макрозообентоса на тепловое воздействие — слабо выраженная отрицательная или же нейтральная. Среднее значение показателя (при $t_{cp} = 19,5$ °С) соответствует $dS/d\delta = -1,7$. Иными словами, в ответ на каждый градус подогрева количество видов в сообществе убывает в среднем на 1,7 вида (иными словами, из сообщества исчезает примерно по одному виду по мере подогрева на каждые 0,6 °С).

Видовое разнообразие реализуется в этом температурном диапазоне наиболее полно во всех изучаемых водоемах (рис. 4). Увеличение температуры может вызвать только уменьшение видового разнообразия бентоса.

Среднее значение показателя $-\ln(B_2/B_1)/\delta$ в данном диапазоне фоновых значений температуры для «тотального» и «мягкого» зообентоса близко к $-0,4$, что соответствует уменьшению *биомассы* в среднем примерно в 1,5 раза при подогреве на каждый градус.

Выделить какую-либо тенденцию изменения *средней массы особи* при подогреве (рис. 5) в указанном фоновом температурном диапазоне весьма затруднительно. Примерно в равном соотношении встречаются ситуации как некоторого увеличения, так и некоторого уменьшения средней массы.

Обобщая изученные материалы, можно сказать, что наиболее типичным результатом теплового воздействия на макрозообентос водоемов умеренной зоны является умеренно выраженное лимитирование донных сообществ по качественным и количественным признакам.

4. Некоторые общие закономерности

Обобщение приведенных материалов тематической литературы (как представленных на иллюстрациях, так и не поддающихся визуализации) приводит к следующим выводам.

Тепловое воздействие увеличивает биомассу, видовое богатство и разнообразие донных сообществ при среднесезонной фоновой температуре воды, не превышающем определенного значения. Это значение закономерно увеличивается от северных широт к южным, изменяясь от 15—16 до 23—24 °С. Для водоемов умеренной зоны оно составляет в среднем около 18,5 °С.

Если значение среднесезонной температуры в фоновых условиях более велико, то тепловое воздействие лимитирует бентос, вызывая уменьшение указанных показателей, прямо зависящее от величины подогрева.

Максимальное значение температуры воды, при превышении которого макрозообентос угнетается, также меридионально изменяется, соответственно, от 26,5 до 30 °С (для водоемов умеренной зоны — 28—29 °С).

Количественные характеристики бентоценозов начинают изменяться при минимальном тепловом воздействии, качественные (видовой состав) — более инертны и изменяются при подогреве не менее чем на 1,5 °С.

Закключение. Итак, аналитический обзор тематической литературы показал, что данные о воздействии как термофикации, так и органического загрязнения на макрозообентос водоемов-охладителей весьма противоречивы (для многих показателей указываются даже противоположные тенденции). В значительной степени это связано с использованием неадекватных показателей теплового воздействия. Предложены способы нормировки значений основных структурно-функциональных характеристик бентоса и показателей теплового режима. Их использование при анализе данных литературы в значительной степени устраняет их мнимую противоречивость и про-

являет общие закономерности реакции макрозообентоса на термофикацию.

Таким образом, удалось выяснить, что стимуляция зообентоса (по основным характеристикам) происходит при среднесезонном значении фоновой температуры воды, не превышающем определенного порогового значения, которое закономерно увеличивается от северных широт к южным (от 15—16 до 23—24 °С, для водоемов умеренной зоны — в среднем около 19,5 °С). При более высоких значениях среднесезонной фоновой температуры тепловое воздействие, наоборот, лимитирует зообентос в прямой зависимости от степени подогрева. Максимальное значение температуры воды, при превышении которого характеристики макрозообентоса лимитируются, также меридионально изменяется от 26,5 до 30 °С (для водоемов умеренной зоны — 28—29 °С). Количественные характеристики сообществ макрозообентоса начинают изменяться при тепловом воздействии практически без латентного периода и без порога реакции. Видовой состав сообществ более инертен и начинает изменяться лишь при подогреве не менее чем на 1,5 °С.

Исходя из вышесказанного, следует подчеркнуть необходимость введения и нормативного закрепления адекватной классификации теплового воздействия на водные экосистемы (на основании соответствующих реакций биоиндикатора-макрозообентоса, с обоснованным выделением соответствующих градаций воздействия). Широко применяемое сейчас произвольное выделение градаций по величине одного лишь подогрева воды некорректно и практически бесполезно — необходимо учитывать также фоновый термический режим.

Проект классификации теплового воздействия на водные экосистемы в сочетании с иными антропогенными факторами рассматривается нами в других публикациях [2; 57 и др.], доступных на сайте компании «Эко-Экспресс-Сервис» (<http://ecoexp.ru/page/34>).

Библиографический список

1. Пидгайко М. Л., Гринь В. Г., Поливанная М. Ф., Виноградская Т. А., Сергеева О. А. Итоги изучения гидробиологического режима пресных водоемов-охладителей юга УССР // Гидробиол. ж. — 1970. — Т. 6, № 2. — С. 36—44.
2. Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Изоболеский метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. — СПб.: МАНЭБ, 2004. — 304 с.
3. Шуйский В. Ф., Евдокимов И. И., Домпальм Е. И. Оценка уровня локального «теплового загрязнения» в водоемах-охладителях // Сб. научных трудов ГосНИОРХ — 1995. — Вып. 314. — С. 82—86.
4. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Проблемы влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов // Тр. Ин-та биологии внутр. вод АН СССР — 1975. — вып. 27 (30). — С. 7—69.

5. Кафтаникова О. Г. Зообентос // Водоем-охладитель Ладыжинской ГРЭС — М., 1978. — С. 92—100.
6. Каратаев А. Ю. Экология макробеспозвоночных водоемов-охладителей Белоруссии // Вестник Белорусского государственного ун-та им. В. И. Ленина. Серия 2: химия, биология, география. — Минск, 1988. — 179 с.
7. Коргина Е. М. Некоторые данные по распределению *Dreissenapolyomorpha Pallas* в Иваньковском водохранилище // Биология внутр. вод. — 1978. — № 37. — С. 55—60.
8. Шкорбатов Г. Л., Васенко А. Г., Быц И. Д. О влиянии сброса подогретых вод на биологический режим водоемов-охладителей // Вестн. Харьковского ун-та — 1976. — № 135. — С. 87—89.
9. Грабчук Н. Г. Зообентос водоема-охладителя Чернобыльской АЭС по материалам 1979 г. // Биологические ресурсы водоемов в условиях антропогенного воздействия. — Киев, 1985. — С. 25—29.
10. Кафтаникова О. Г., Виноградская Т. А., Гринь В. Г., Китицина Л. А., Ленчина Л. Г., Сергеева О. Р. Влияние тепловых электростанций на продуктивность водоемов-охладителей Украины // Антропогенное эвтрофирование природных вод. — Черноголовка, 1977. — Т. 1. — С. 134—139.
11. Пидгайко М. Л. Зоомакробентос Кураховского водохранилища и влияние на него подогрева // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. — Киев: Наукова думка — 1971. — С. 207—217.
12. Никаноров Ю. И. Разработать биологические обоснования к рыбохозяйственному освоению водоемов-охладителей ТЭС и АЭС: Научный отчет Фонды ГосНИОРХ — 1983.
13. Obrdlík P. Rozvojzoobentosu v tepelnězatížených tocích // Vodný hospod. — 1977. — Vd. 27, N 9. — P. 233—235.
14. Гурова Л. А., Максимова Г. Д. Влияние подогретых вод Конаковской ГРЭС на донную фауну прилегающих участков Иваньковского водохранилища // Сб. научных трудов ГосНИОРХ — 1981. — Вып. 165. — С. 34—45.
15. Филиппов А. А., Широкая Н. Н. Макрозообентос водоема-охладителя Черепетской ГРЭС. I. Распределение и динамика // Сб. научных трудов ГосНИОРХ — 1989. — Вып. 299. — С. 15—17.
16. Leszczyński L. Wpływ rzutu wodopodgrzanego na faunę denną jeziorokolic Konina. I. Stosunki ilościowe i skład jakościowy fauny jezior Konińskich // Roczn. Nauk Rol. — 1976a. — Ser. H — T. 97, Z. 3. — S. 7.
17. Крючков В. В., Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Экология водоемов-охладителей в условиях Заполярья. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1985. — 131 с.
18. Григалис А., Рачюнас Л. Изменение сообществ зообентоса в процессе формирования охладителя // Функционирование популяций и сообществ водных животных в охладителе Литовской ГРЭС: мат. конф. «Теплоэнергетика и окружающая среда». — Вильнюс, 1984. — Т. 4. — С. 27—36.
19. Жгарева Н. Н., Мордухай-Болтовской Ф. Д. Влияние подогретых вод Конаковской ГРЭС на фитофильную фауну рдестов Иваньковского водохранилища // Гидробиол. ж. — 1979. — Т. 15, № 6. — С. 40—45.
20. Митропольский В. И. Зообентос Иваньковского водохранилища в районе сброса подогретых вод Конаковской ГРЭС // Информ. бюлл. ин-та биол. внутр. вод. — 1974. — № 24. — С. 19—23.
21. Владимиров М. З., Тодераш И. К. Качественный состав и количественное развитие макрозообентоса // Биологические процессы в водохранилищах-охладителях ТЭС. — Кишинев, 1988. — С. 130—138.
22. Коргина Е. М. Влияние подогретых вод Костромской ГРЭС на фауну сферид // Биология внутр. вод. Инф. бюлл. — 1982. — № 56. — С. 30—33.
23. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Влияние тепловых и атомных электростанций на биологический режим водоемов // Биосфера и человек. — М., 1975. — С. 280—282.
24. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Исследования Института биологии внутренних вод АН СССР по влиянию теплоэлектростанций на биологию водоемов // Водные ресурсы. — 1975а. — № 6. — С. 88—95.
25. Каратаев А. Ю. Влияние подогрева на комплекс беспозвоночных литорали водоема-охладителя ТЭС оз. Лукомского // Биология внутр. вод — 1988. — № 80. — С. 32—35.
26. Хмелева И. Н., Голубев А. П., Лаенко Т. М. Экология брюхоногих моллюсков из горячих источников Камчатки // Ж. общ. биологии. — 1985. — Т. 46, № 2. — С. 230—240.
27. Kamler E., Mandrecki W. Ecological bioenergetics of Physacuta (Gastropoda) in heated waters // Pol. Arch. Hydrobiol. — 1978. — V. 25, N 4. — P. 833—868.
28. Chapman P. M., Farrell M. A., Brinkhurst R. O. Relative tolerance of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors // Aquat. Toxicol. — 1982. — V. 2, N 1. — P. 47—67.
29. Загубиженко Н. И. Донная фауна водоема-охладителя Криворожской ГРЭС-II // Освоение теплых вод энергетических объектов для интенсивного рыбководства. Материалы II Респ. научн. конф. — Киев, 1981. — С. 339—342.
30. Поддубная Т. Л. Донная фауна Иваньковского водохранилища в районе сброса теплых вод Конаковской ГРЭС // Тр. Ин-та биологии внутр. вод АН СССР. — 1971. — вып. 21 (24). — С. 96—103.
31. Скальская И. А. Состав и распределение зообентоса Горьковского водохранилища в районе Котромской ГРЭС // Тр. Ин-та биологии внутр. вод — 1975. — вып. 27. — С. 258—271.
32. Edward K. Bottom macrofauna of the dam reservoir at Rybnik remaining under the influence of hot discharged waters from the hot power station // Acta hydrobiol. — 1979. — V. 21, N 3. — P. 243—259.
33. Langford T. E. The biological assesment of thermal effects in some british rivers // Symp. freshwater biol. and electr. pow. gener. — 1971. — Pt. 1. — P. 9—35.
34. Leszczyński L. Wpływ rzutu wodopodgrzanego na faunę denną jeziorokolic Konina. II. Zmienność fauny dennej w czasie // Roczn. Nauk Rol. — 1976b. — Ser. H — T. 37, Z. 3. — S. 29—47.
35. Leszczyński L. Wpływ rzutu wodopodgrzanego na faunę denną jeziorokolic Konina. III. Probainterpretacji przyczyn skutków zmian fauny dennej pod wpływem rzutu wodopodgrzanego // Roczn. Nauk Rol. — 1976c. — ser. H — T. 97, Z. 3. — S. 49—68.
36. Золотарева В. И. Влияние подогретых вод на некоторые стороны биологии *Pontogammarus crassus* (Grimm.) Mart // Влияние тепловых электростанций на гидрол. и биол. водоемов. — Борок, 1974. — С. 72—74.
37. Obrdlík P. Rozvojzoobentosu v tepelnězatížených tocích // Vodný hospod. — 1977. — Bd. 27, N 9. — P. 233—235.
38. Obrdlík P. Teplotní tolerance zoobentosutekoucích vod. — Praha, 1980. — 130 pp.

39. Kasprzak K. Wpływ rzutowych wodopodgrzanych faunę dennajezior // *Gosp. wonda.* — 1976. — Н. 36, N 8—9. — С. 245.
40. Stanczykowska A., Lewandowski K., Ejsmont K. J. The abundance and distribution of the mussel *Dreissena polymorpha* (Pall.) in heated lakes near Konin (Poland) // *Ecol. polska* — 1988. — V. 36, N 1/2. — P. 261—273.
41. Каратаев А. Ю. Изменение средней массы гидробионтов как показатель воздействия подогрева на сообщества макробеспозвоночных водоемов-охладителей // *Биология внутр. вод. Инф. бюлл.* — 1989. — № 83. — С. 25—28.
42. Золотарева В. И. Размерно-весовая характеристика *Dreissena bugensis* Andr. из Запорожского водохранилища // *Гидробиол. ж.* — 1976. — Т. 12, № 1. — С. 113—114.
43. Ладыгина З. П. К вопросу о влиянии теплообменных вод электростанций на биологический режим водоемов // *Предупредительная медицина.* — Кемерово, 1973. — С. 20—22.
44. Поддубная Г. А. Продукция тубифицид Ивановского водохранилища в районе сброса теплых вод Конаковской ГРЭС // *Гидробиол. ж.* — 1973. — Т. 4, № 5. — С. 52—57.
45. Маргалеф Р. Облик биосферы. — М.: Наука, 1992. — 214 с.
46. Бабкина Н. Н. Бентос Черепетского водоема-охладителя в летне-осенний период 1987 года. Дипломная работа. Фонды ГосНИОРХ — 1988. — 45 с.
47. Stemberger R. S., Evans, M. S. Rotifer seasonal succession and copepod predation in Lake Michigan. // *J. Great Lakes Res.* — 1984. — N 10. — P. 417—428.
48. Кириллов В. В., Чайковская Т. С. Гидробиологический режим и пути оптимизации комплексного использования водохранилища-охладителя ГРЭС в условиях Западной Сибири // *Тез. докл. V Съезда ВГБО, Тольятти, 15—19 сент., 1986 г.* — Куйбышев, 1986. — Ч. 2. — С. 73—74.
49. Филипенко С. И. Высшие ракообразные Кучурганского водохранилища-охладителя в условиях нестабильного режима работы Молдавской ГРЭС // *Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия: Тезисы докладов 12 Международной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию назначения И. Д. Папанина директором Института биологии внутренних вод, Борок, 23—26 сент., 2002.* — Борок, 2002. — С. 100—101.
50. Филипенко С. И. Динамика биоразнообразия количественного развития основных групп макрозообентоса как показатель экологического состояния Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС: Автореф. ... канд. биол. наук. — СПб.: ЗИН РАН, 2003. — 22 с.
51. Воронин М. Ю., Ермохин М. В. Сообщества макрозообентоса в градиенте температуры водоема-охладителя Балаковской АЭС // *Поволжский экологический журнал.* — 2005. — № 3. — С. 207—213.
52. Сорокин Ю. В. Реакция речной бентофауны на изменение температуры и химизма воды в ходе долговременного эксперимента по сбросу геотермальных вод (р. Фальшивая, Юго-Восточная Камчатка). // *Чтения памяти В. Я. Леванидова.* — Владивосток, 19—21 марта, 2008. — Владивосток, 2008. — С. 66—75.
53. Лукашев Д. В., Северенчук Н. С. Изменение структуры макрозообентоса водоема-охладителя Чернобыльской АЭС в условиях уменьшения тепловой нагрузки на экосистему // *Гидробиол. ж.* — 2004. — Т. 40, № 4. — С. 64—72.
54. Калинин Р. А., Сергеева О. А., Протасов А. А., Силицына О. О. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС // *Гидробиол. журн.* — 1998. — Т. 32, № 1. — С. 15—25.
55. Zivic I., Markovic Z., Brajkovic M. Influence of the temperature regime on the composition of the macrozoobenthos community in a thermal brook in Serbia // *Biol. Sec. Zool.* — 2006. — V. 61, N 2. — P. 179—191.
56. Kailasam M., Sivakami S. Effect of thermal effluent discharge on benthic fauna off Tuticorin bay, south east coast of India // *Indian J. Mar. Sci.* — 2004. — V. 33, N 2. — P. 194—201.
57. Золотарева В. И. Размерно-весовая характеристика *Dreissena bugensis* Andr. из Запорожского водохранилища // *Гидробиол. ж.* — 1976. — Т. 12, № 1. — С. 113—114.
58. Жигульский В. А., Шуйский В. Ф., Потапов А. И., Соловей Н. А., Царькова Н. С., Былина Т. С. Основы биологического мониторинга: учебное пособие. — СПб.: Нестор-История, 2012. — 70 с.

DEPENDENCE OF AQUATIC BIOTA REACTION ON THERMAL TECHNOGENIC INFLUENCE FROM BACKGROUND THERMAL REGIME OF ECOSYSTEM (ON THE EXAMPLE OF A MACROZOOBENTHOS)

V. A. Zhigulsky, Ph. D. in Technology, LLC «Eco-Express-Service», Director, ecoplus@ecoexp.ru,

V. F. Shuisky, Dr. of Biological Sciences, Professor, LLC «Eco-Express-Service», Head of Department, shuisky.v@mail.ru,

Tsarkova N. S., LLC «Eco-Express-Service», Head of Department, carkova@ecoexp.ru,

Maksimova E. Yu., LLC «Eco-Express-Service», ecologist, e.maximova@ecoexp.ru,

Bojkova S. A., LLC «Eco-Express-Service», probationer, hydroecology2011@gmail.com

References

1. Pidgajko M. L., Grin' V. G., Polivannaja M. F., Vinogradskaja T. A., Sergeeva O. A. Results of studying a hydrobiological regime of fresh-water reservoirs-coolers of the South of USSR. — *Hydrobiological journal.* — 1970. — V. 6, N 2. — P. 36—44.
2. Shuisky V. F., Maksimova T. V., Petrov D. S. The isobolic method of multifactor anthropogenic impact on fresh-water ecosystems evaluation and standard-setting by macrozoobenthos state. — *St. Petersburg: International Academy of Ecology, Man and Nature Protection Sciences, 2004.* — 304 pp.

3. Shuisky V. F., Evdokimov I. I., Dompal'm E. I. Assessment of local «thermal pollution» in reservoirs-coolers. — Collection of scientific papers of National Research Institute of Lake and River Fisheries. — 1995. — Issue 314. — P. 82—86.
4. Morduhaj-Boltovskoj F. D. Problems of influence of thermal and nuclear electric power stations on a hydrobiological regime of reservoirs // Materials of Institute of Biology of inland waters of Academy of Sciences of the USSR. — 1975. — Issue 27 (30). — P. 7—69.
5. Kaftannikova O. G. Zoobenthos — Reservoir-cooler of Ladyzhinskaja state regional power station. — M., 1978. — P. 92—100.
6. Karataev A. Ju. Ecology of macroinvertebrates of reservoirs-coolers of Belarus // The bulletin of the Belarusian state university of V. I. Lenin. Series 2: chemistry, biology, geography. — Minsk, 1988. — 179 pp.
7. Korgina E. M. Some data on Dreissenapolyomorpha Pallas distribution in the Ivankovskoye Reservoir. — Biology of inland waters — 1978. — No. 37 — P. 55—60.
8. Shkorbatov G. L., Vasenko A. G., Byc I. D. About influence of dumping of the warmed-up waters on a biological regime of reservoirs-coolers — The bulletin of the Kharkov university. — 1976. — No. 135. — P. 87—89.
9. Grabchuk N. G. Zoobenthos of reservoir-cooler of Chernobyl atomic electric power station based on materials of 1979. — Biological resources of reservoirs in the conditions of anthropogenic influence — Kiev, 1985. — P. 25—29.
10. Kaftannikova O. G., Vinogradskaja T. A., Grin' V. G., Kiticina L. A., Lenchina L. G., Sergeeva O. R. Influence of thermal electric power stations on the productivity of reservoirs—coolers of Ukraine — Anthropogenic eutrophication of natural waters. — Chernogolovka, 1977. — V. 1. — P. 134—139.
11. Pidgajko M. L. Zoomacrobenthos of the Kurahovskoe reservoir and influence of heating on it // Hydrochemistry and hydrobiology of reservoirs-coolers of thermal electric power stations of the USSR — Kiev: Naukovadumka. — 1971b. — P. 207—217.
12. Nikanorov Ju. I. To develop biological justifications to fishery development of reservoirs-coolers of thermal and nuclear electric power stations: scientific report of National Research Institute of Lake and River Fisheries' funds. — 1983.
13. Obrdlik P. Rozvojzoobentosu v tepelnězatíženýchctoch // Vodnýhospod. — 1977. — Bd. 27, N 9. — P. 233—235.
14. Gurova L. A., Maksimova G. D. Influence of warmed-up waters of Konakovskaja state regional power station on a ground fauna of surrounding areas of the Ivan'kovskoe reservoir — Collection of scientific papers of National Research Institute of Lake and River Fisheries. — 1981. — Issue 165. — P. 34—45.
15. Filippov A. A., Shirokaja N. N. Macrozoobenthos of a reservoir-cooler of Cherepetskaja state regional power station. I. Distribution and dynamics. — Collection of scientific papers of National Research Institute of Lake and River Fisheries. — 1989. — Issue 299. — P. 15—17.
16. Leszczyński L. WpływzrzutuwodpodgrzanychnafaunędennajeziorkolicKonina. I. Stosunkiilościoweiskładjakościowyfaunyjeziorkonińskich — Roczn. Nauk. Rol. — 1976a. — Ser. H — T. 97, Z. 3. — S. 7.
17. Krjuchkov V. V., Moiseenko T. I., Jakovlev V. A. Ecology of reservoirs-coolers in the Polar region. Apatity: Kola branch of Academy of Sciences of the USSR, 1985. — 131 pp.
18. Grigjalis A., Rachjunas L. Changing of the zoobenthos communities in the course of cooler formation — Functioning of populations and communities of aquatic organisms in a cooler of the Lithuanian state regional power station: materials of the conference «Heat-power engineering and environment». — Vilnius, 1984. — V. 4. — P. 27—36.
19. Zhgareva N. N., Morduhaj-Boltovskoj F. D. Influence of warmed-up waters of Konakovskaja state regional power station on phytophilous fauna of pondweed of the Ivan'kovskoe reservoir. — Hydrobiological journal. — 1979. — V. 15, No. 6. — P. 40—45.
20. Mitropol'skij V. I. Zoobenthos of the Ivan'kovskoe reservoir in surrounding of dumping of the warmed-up waters of Konakovskaja state regional power station // Information Note of Institute of Biology of inland waters — 1974. — No. 24. — P. 19—23.
21. Vladimirov M. Z., Toderash I. K. Qualitative composition and quantitative development of a macrozoobenthos. — Biological processes in reservoirs-coolers of a thermal electric power station. — Kishinev, 1988. — P. 130—138.
22. Korgina E. M. Influence of warmed-up waters of Kostroma state regional power station on sphaeridium fauna — Information Note of Institute of Biology of inland waters. — 1982. — No. 56. — P. 30—33.
23. Morduhaj-Boltovskoj F. D. Influence of thermal and nuclear electric power stations on a biological regime of reservoirs. — Biosphere and human. — M., 1975v. — P. 280—282.
24. Morduhaj-Boltovskoj F. D. Researches of Institute of biology of inland waters of Academy of Sciences of the USSR devoted to an influence of thermal electric power stations on biology of reservoirs. — Water resources. — 1975a. — No. 6. — P. 88—95.
25. Karataev A. Ju. Influence of heating on a complex of invertebrates widespread at littoral area of a reservoir-cooler of thermal electric power station of the Lukomskoe lake. — Biology of inland waters. — 1988. — No. 80. — P. 32—35.
26. Hmeleva I. N., Golubev A. P., Laenko T. M. Ecology of gastropods from hot springs of Kamchatka. — Journal of general biology. — 1985. — V. 46, No. 2. — P. 230—240.
27. Kamler E., Mandecki W. Ecological bioenergetics of Physaacuta (Gastropoda) in heated waters. — Pol. Arch. Hydrobiol. — 1978. — V. 25, N 4. — P. 833—868.
28. Chapman P. M., Farrell M. A., Brinkhurst R. O. Relative tolerance of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors // Aquat. Toxicol. — 1982. — V. 2, N 1. — P. 47—67.
29. Zagubizhenko N. I. The benthic fauna of a reservoir-cooler of Krivorozhskaja state regional power station-II — Development of warm waters of power assets for intensive fishing industry. Materials of II republican scientific conference. — Kiev, 1981. — P. 339—342.

30. Poddubnaja T. L. The benthic fauna of the Ivan'kovskoe reservoir in surrounding of warm waters dumping of Konakovskaja state regional power station — Materials of Institute of Biology of inland waters of Academy of Sciences of the USSR — 1971. — Issue 21 (24). — P. 96—103.
31. Skal'skaja I. A. The composition and distribution of a zoobenthos of Gor'kovskoe reservoir around Kostroma state regional power station — Materials of Institute of Biology of inland waters of Academy of Sciences of the USSR. — 1975. — issue 27. — P. 258-271.
32. Edward K. Bottom macrofauna of the dam reservoir at Rybnik remaining under the influence of hot discharged waters from the hot power station — Actahydrobiol. — 1979. — V. 21, N 3. — P. 243—259.
33. Langford T. E. The biological assessment of thermal effects in some british rivers // Symp. Fresh-water biol. and electr. pow. geneur. — 1971. — Pt. 1. — P. 9—35.
34. Leszczyński L. Wpływ rzutu wodopodgrzanych na faunę denną jeziorokolic Konina. II. Zmienność fauny dennej w czasie — Rocz. Nauk. Rol. — 1976b. — Ser. H — T. 37, Z. 3. — S. 29—47.
35. Leszczyński L. Wpływ rzutu wodopodgrzanych na faunę denną jeziorokolic Konina. III. Probainterpretacji przyczyn skutków zmian fauny dennej pod wpływem rzutu wodopodgrzanych // Rocz. Nauk. Rol. — 1976c. — ser. H. — T. 97, Z. 3. — S. 49—68.
36. Zolotareva V. I. Influence of the warmed-up waters on some aspects of Pontogammarus crassus (Grimm.) Mart's biology. — Influence of thermal electric power stations on reservoirs' hydrology and biology. — Borok, 1974. — P. 72—74.
37. Obrdlík P. Rozvoj zoobentosu v tepelně zatížených tocích // Vodný hospod. — 1977. — Bd. 27, N 9. — P. 233—235.
38. Obrdlík P. Teplotní tolerance zoobentosu teokoucích vod. — Praha, 1980. — 130 pp.
39. Kasprzak K. Wpływ rzutowych wodopodgrzanych na faunę denną jezior. — Gosp. wonda. — 1976. — H. 36, N 8—9. — S. 245.
40. Stanczykowska A., Lewandowski K., Ejsmont K. J. The abundance and distribution of the mussel *Dreissena polymorpha* (Pall.) in heated lakes near Konin (Poland). — Ecol. polska. — 1988. — V. 36, N 1/2. — P. 261—273.
41. Karataev A. Ju. An alteration of average weight of aquatic organisms as an indicator of impact of heating on macroinvertebrate communities of reservoirs-coolers. — Information Note of Institute of Biology of inland waters. — 1989. — No. 83. — P. 25—28.
42. Zolotareva V. I. Size and weight characteristics of *Dreissena bugensis* Andr. from the Zaporozhskoe reservoir — Hydrobiological journal. — 1976. — V. 12, No. 1. — P. 113—114.
43. Ladygina Z. P. To a question of influence of heat-exchange waters of electric power stations on a biological regime of reservoirs. — Preventive medicine. — Kemerovo, 1973. — P. 20—22.
44. Poddubnaja G. A. Production of tubificidae of the the Ivan'kovskoe reservoir in surrounding of warm waters' dumping at Konakovskaja state regional power station — Hydrobiological journal — 1973. — V. 4, No. 5. — P. 52—57.
45. Margalef R. The biosphere image. — M.: Science, 1992. — 214 pp.
46. Babkina N. N. Benthos of the Cherepeckij reservoir-cooler during the aestivo-autumnal period of 1987. Graduation work. National Research Institute of Lake and River Fisheries' funds. — 1988. — 45 pp.
47. Stemberger R. S., Evans, M. S. Rotifer seasonal succession and copepod predation in Lake Michigan. — J. Great Lakes Res. — 1984. — N 10. — P. 417—428.
48. Kirillov V. V., Chajkovskaja T. S. Hydrobiological regime and ways of optimization of a reservoir-cooler's at state regional power station complex usage in Western Siberia — Abstracts of Vth All-Union Hydrobiological Society conference, Tol'jatti, 15—19 of September, 1986. — Kuibyshev, 1986. — P. 2. — P. 73—74.
49. Filipenko S. I. Malacostracans of the Kuchurganskoe reservoir-cooler under conditions of unstable regime of the Moldavian state regional power station — Biology of inland waters: ecology and biodiversity problems: Abstracts of 12th international conference of young scientists devoted to 50th anniversary of the appointment of I. D. Papanin as director of Institute of Biology of inland waters, Borok, 23—26 of September, 2002. — Borok, 2002. — P. 100—101.
50. Filipenko S. I. The dynamics of biodiversity of main groups' of a macrozoobenthos quantitative development as an indicator of the ecological state the Kuchurganskoe reservoir-cooler of the Moldavian state regional power station: dissertation abstract ... Ph. D. — St. Petersburg: Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, 2003. — 22 pp.
51. Voronin M. Ju., Ermohin M. V. Macrozoobenthos communities in a temperature gradient of Balakovskaja nuclear power station's reservoir-cooler. — Povolzhskiy ecological journal. — 2005. — No. 3. — P. 207—213.
52. Sorokin Ju. V. The response of river benthofauna to temperature and water chemistry changing during long-term experiment of dumping geothermal waters (river Fal'shivaja, South-East Kamchatka). — Conference devoted to a memory of V. Ja. Levanidov. — Vladivostok, 19—21 of March, 2008. — Vladivostok, 2008. — P. 66—75.
53. Lukashov D. V., Severenchuk N. S. An alteration of macrozoobenthos structure of a Chernobyl atomic electric power station's reservoir-cooler under conditions of reduction of thermal loading on ecosystem — Hydrobiological journal. — 2004. — V. 40, No. 4. — P. 64—72.
54. Kalinichenko R. A., Sergeeva O. A., Protasov A. A., Sinicyna O. O. The structure and functional characteristics of pelagian and planimetric groups of aquatic organisms in a reservoir cooler of the Zaporozhskaja atomic electric power station. — Hydrobiological journal. — 1998. — V. 32, No. 1. — P. 15—25.
55. Zivic I., Markovic Z., Brajkovic M. Influence of the temperature regime on the composition of the macrozoobenthos community in a thermal brook in Serbia. — Biol. Sec. Zool. — 2006. — V. 61, N 2. — P. 179—191.
56. Kailasam M., Sivakami S. Effect of thermal effluent discharge on benthic fauna off Tuticorin bay, south east coast of India — Indian J. Mar. Sci. — 2004. — V. 33, N 2. — P. 194—201.
57. Zolotareva V. I. Size and weight characteristics of *Dreissena bugensis* Aadr. from the Zaporozhskoe reservoir. — Hydrobiological journal. — 1976. — V. 12, No. 1. — P. 113—114.
58. Zhigul'sky V. A., Shuisky V. F., Potapov A. I., Solovej N. A., Tsarkova N. S., Bylina T. S. Biological monitoring: textbook. — St. Petersburg: Nestor-History, 2012. — 70 p.