

УДК 574.632:574.633

ЗООПЛАНКТОН И ЗООБЕНТОС БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

© 2016 г. Д.В. Кулаков¹, М.Е. Макушенко¹, Е.А. Верещагина²¹ ФГБУН «Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: Белоярское водохранилище, атомная станция, водоем-охладитель, зоопланктон, зообентос, тепловое воздействие, антропогенное воздействие.



Д.В. Кулаков М.Е. Макушенко Е.А. Верещагина

Представлены результаты гидробиологических исследований в водоеме-охладителе Белоярской АЭС с целью определения особенностей развития зоопланктона и зообентоса водного объекта в

условиях влияния атомной станции. На основании проведенных исследований выявлены общие тенденции изменения структуры сообществ зообентоса Белоярского водохранилища в районе влияния БАЭС. Наиболее существенные изменения в сообществе обитателей дна отмечены в зоне, непосредственно прилегающей к сбросному каналу БН-600, где зарегистрированы худшее качество вод, уменьшение общей численности, биомассы и числа видов зообентоса и перифитона, наименьшие индексы видового разнообразия. Индексы сапробности соответствуют загрязненной зоне.

По совокупности индексов качества воды, рассчитанных по показателям гидробионтов, Белоярское водохранилище характеризуется как водоем эвтрофного типа, по степени сапробности – как β-мезосапробный с переходом в α-мезосапробную зону. В районе сброса подогретых вод отмечено худшее качество вод и невысокие индексы видового разнообразия.

Строительство и эксплуатация атомных электростанций (АЭС), относящихся к категории крупных промышленных объектов с большим потреблением воды, оказывают значительное техногенное воздействие на

экосистемы прилегающих акваторий. Сброс теплых и загрязненных вод влияет на жизнь водных организмов, а также способствует «термическому эвтрофированию» водоемов [1, 2].

Белоярское водохранилище, созданное в 1963 г. путем зарегулирования стока р. Пышмы и являющееся водоемом-охладителем Белоярской атомной станции (БАЭС), в настоящее время испытывает высокую антропогенную нагрузку. Наиболее значимыми факторами воздействия на экосистему Белоярского водохранилища в период проведенных исследований являлись: поступление сбросных вод с действующего энергоблока БН-600, строительство нового энергоблока БН-800, загрязнение вод химическими веществами, поступающими в водоем с водами р. Пышмы, а также поверхностный сток с территории г. Заречного. В условиях большой антропогенной нагрузки оценка текущего экологического состояния Белоярского водохранилища является весьма актуальной проблемой. Цель работы – исследование особенностей развития зоопланктона и зообентоса Белоярского водохранилища в условиях влияния атомной станции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование водоема-охладителя Белоярской АЭС (Белоярского водохранилища) проводилось в период с июня по октябрь 2012–2014 гг. на 13 станциях (рис. 1), расположенных в верхней части водохранилища (ст. 1, 2, 3, 4), в центральной части водохранилища (ст. 6, 8), в строящихся (не действующих) каналах энергоблока БН-800 (водозабор – ст. 7, водосброс – ст. 5), в действующих каналах энергоблока БН-600 (водозабор – ст. 9, водосброс – ст. 10) и в нижней части водохранилища (ст. 11, 12, 13).



Рис. 1. Расположение станций отбора проб.

Анализ гидрохимических проб был выполнен в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга (НПО «Тайфун» и ЗАО «Региональный аналитический центр Механобр инжиниринг аналит») по стандартным методикам [3–9].

Отбор гидробиологических проб, их фиксация и обработка производились по общепринятым методикам [10–12]. Пробы зоопланктона отбирали путем фильтрации 50–100 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм. Для отбора проб зообентоса применяли дночерпатель Петерсена (площадь захвата 1/40 м², две повторности на каждую станцию отбора проб). Гидробиологические пробы фиксировали 70-процентным спиртом, камеральную обработку выполняли по стандартной методике [10] с использованием соответствующих определителей [13–20].

Зоопланктон и зообентос оценивали по видовому составу, численности (N), биомассе (B). Видовое разнообразие сообществ водных беспозвоночных определяли по информационному индексу Шеннона – Уивера, который рассчитывали по численности (H_N) и биомассе (H_B) [21–24]. Для оценки качества вод по показателям гидробионтов был использован индекс сапробности Пантле–Букк в модификации Сладечека (S) [25, 26]. Оценка трофического статуса водоема осуществлялась с использованием фаунистического коэффициента трофности Мяэметса (E) [27]. Классы качества определяли согласно классификации качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям [28–30]. Доминантные виды гидробиоценозов выделяли по относительной численности и биомассе, принимая за нижнюю границу доминирования обилие $\geq 10\%$ от суммарного количества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

По химическому составу воды Белоярского водохранилища относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы первого типа [31]. Величина минерализации в период наблюдений варьировала от 180 мг/л в паводок до 450 мг/л в зимнюю межень, что характеризует водохранилище как водоем со средней минерализацией. Величина рН изменялась в пределах от 6,7 до 8,1.

Режим течений в водохранилище определяется, в основном, циркуляцией водных масс между подводящим и сбросным каналами, ветровым режимом и, в меньшей степени, стоком р. Пышмы. Скорость течения в районе сбросного канала БАЭС составляет 0,1–0,15 м/с. По мере удаления от водовыпуска скорости течения снижаются.

Естественный термический режим водоема также во многом определяется его морфометрическими характеристиками. Сравнительно небольшая глубина (в среднем 7 м) обуславливает хороший прогрев водных масс в летний период. Наибольшая среднемесячная температура воды (за период

с 1939 по 1986 гг.) составила 23,7 °С. Максимальные значения температуры воды наблюдались, как правило, в июле [32].

Наблюдения за ледовым режимом Белоярского водохранилища не проводились. На участке между существующими сбросным и подводящим каналами БАЭС в течение всей зимы сохранялась полынья, размеры которой изменялись в зависимости от количества сбрасываемой воды.

Качество поверхностных вод водохранилища в значительной степени формируется под влиянием хозяйственной деятельности, прежде всего, сбросов промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Наиболее распространенными загрязняющими веществами в водных объектах Свердловской области, в т. ч. р. Пышме и Белоярском водохранилище, являются соединения меди, марганца, цинка, железа, легкоокисляемые и трудноокисляемые органические вещества (по показателям БПК₅ и ХПК), азот аммония и азот нитритов. В целом гидрохимический состав воды Белоярского водохранилища, включая район сброса подогретых вод, достаточно однороден. В настоящее время водоем можно характеризовать как гидрокарбонатно-кальциевый со средней степенью минерализации и нормальным кислородным режимом [32].

За период натуральных наблюдений концентрация биогенных элементов (азот, фосфор), как и содержание основных химических компонентов, изменялись в течение года в зависимости от расхода воды и сезона: в летний период отбора проб при уменьшении расхода воды концентрация данных элементов возрасла, в большинстве случаев превышая ПДК_{рх}, установленные нормативными документами [33].

В период отбора проб в воде наблюдалась высокая концентрация азота и фосфора. Содержание фосфатов во всех отобранных пробах превышало ПДК_{рх}, варьируя от 0,3 до 5,5 мг/л, при среднем значении 1,0 мг/л, достигая максимальных значений в период летнего отбора проб 2013 г. Это, вероятно, связано с интенсивной хозяйственной деятельностью на водосборе р. Пышмы.

Зафиксировано превышение ПДК_{рх} по содержанию аммонийного азота в летний период на ст. 7, что связано с застойными явлениями на данном участке водохранилища в период строительства энергоблока БН-800. Превышение ПДК_{рх} по содержанию азота нитритов зарегистрировано на большинстве станций опробования в осенний период, что характерно для переходного сезона.

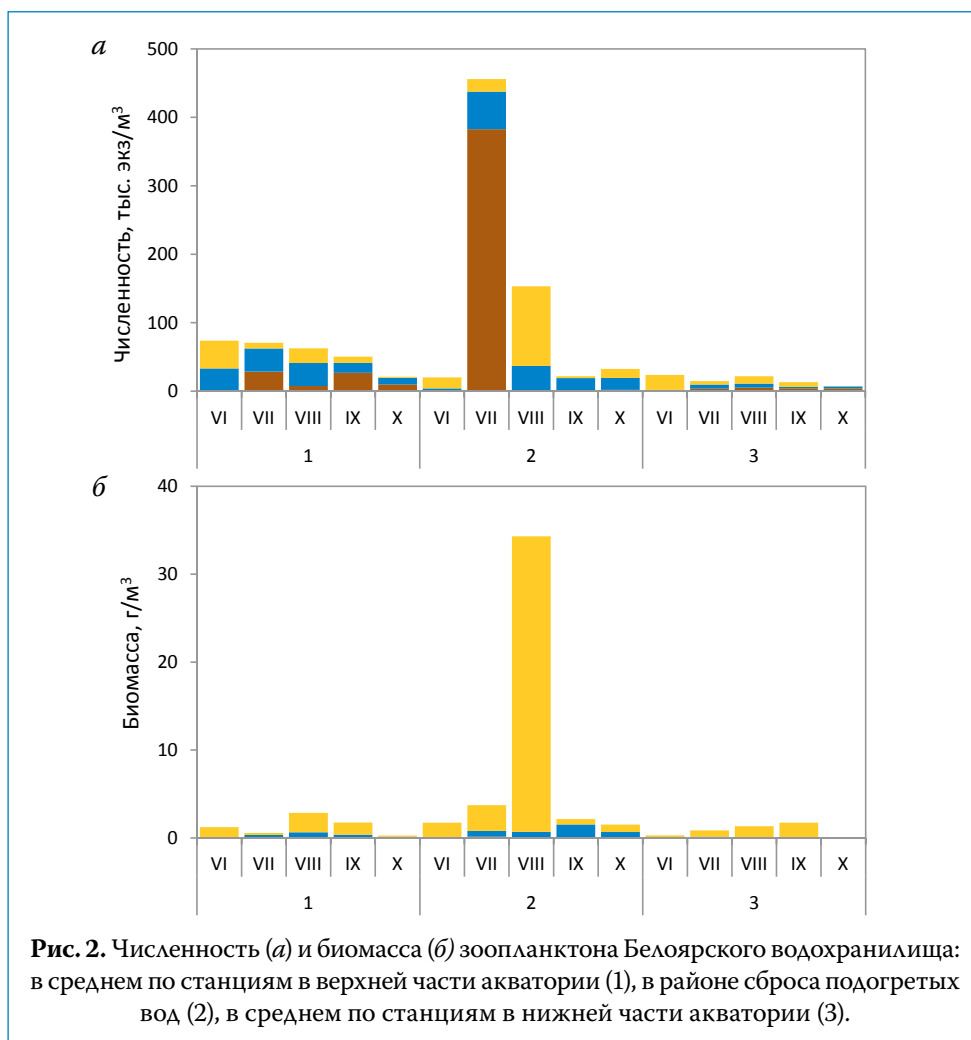
В сравнении с данными 1980-х годов [32], в настоящее время вода в Белоярском водохранилище характеризуется снижением концентрации биогенных элементов (азота и фосфора), т. к. сброс загрязненных вод от предприятий в последние годы резко сократился.

В результате исследований в зоопланктоне Белоярского водохранилища обнаружено 64 вида беспозвоночных (Rotifera – 30, Copepoda – 6, Cladocera – 28 видов). На большинстве станций по численности доминировали коловратки: *Keratella quadrata* (O.F. Müller), *K. cochlearis* (Gosse), *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, *Lecane bulla* (Gosse), *Trichotria pocillum* (O.F. Müller), *Asplanchna girodi* De Geurne и ракообразные: *Daphnia galeata* G.O. Sars, *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), *B. kessleri* Uljanin, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), *Mesocyclops leuckarti* (Claus), ювенильные особи Copepoda.

По биомассе в водохранилище повсеместно доминировала *Daphnia galeata*, доля которой изменялась от 13,5 % в верхней части водохранилища (ст. 1) до 92,1 % в районе сброса подогретых вод (ст. 10). Кроме того, в комплекс доминирующих по биомассе видов входили *D. cristata* G.O. Sars, *D. cucullata* G.O. Sars, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *B. kessleri*, *Graptoleberis testudinaria* G.O. Sars, *Alona affinis* (Leydig), *Leptodora kindtii* (Focke), *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops vernalis* (Fischer), *Macrocyclus albidus* (Jurine), *Eudiaptomus graciloides*, науплиусы и копепоиды веслоногих ракообразных.

В необогреваемой верхней акватории водохранилища численность зоопланктона в среднем за вегетационный сезон варьировала от 7,4 до 73,8 тыс. экз/м³, биомасса – от 0,1 до 2,9 г/м³. Максимальные значения (в июле 455,9 тыс. экз/м³, в августе 153,2 тыс. экз/м³) численности зоопланктона наблюдались в районе сброса подогретых вод. Биомасса здесь также была велика (рис. 2) и достигала в августе 34,3 г/м³. Увеличение численности и биомассы зоопланктона происходило за счет массового развития коловратки *Keratella quadrata* (81,4 % от общей численности в июле) и ветвистоусого рачка *Daphnia galeata* (62,5 % от общей численности в июле и 92,1 % от общей биомассы в августе). Различий в зоопланктоне в верхней части водохранилища и в водах недействующих каналов энергоблока БН-800 не выявлено.

По соотношению численности и биомассы основных таксономических групп зоопланктона на станциях, расположенных вне зоны подогрева, ракообразные значительно преобладали над коловратками. Наибольшую долю составляли Cladocera (до 76,5 %), однако в июле в районе сброса подогретых вод БАЭС (ст. 10) численность коловраток достигла максимальных значений (83,9 % в сообществе). По биомассе на большинстве станций в акватории Белоярского водохранилища ракообразные преобладали над коловратками, массово развиваясь в районе сброса подогретых вод, где их доля в сообществе составляла 97,9 % от общей биомассы зоопланктона. В конце лета и осенью в зоопланктоне наблюдалось сокращение доли коловраток в общей численности и биомассе в нижней части водохранилища и в каналах БАЭС (ст. 10), где преимущество в развитии получали веслоногие (представленные ювенильными особями) и ветвистоусые ракообразные.



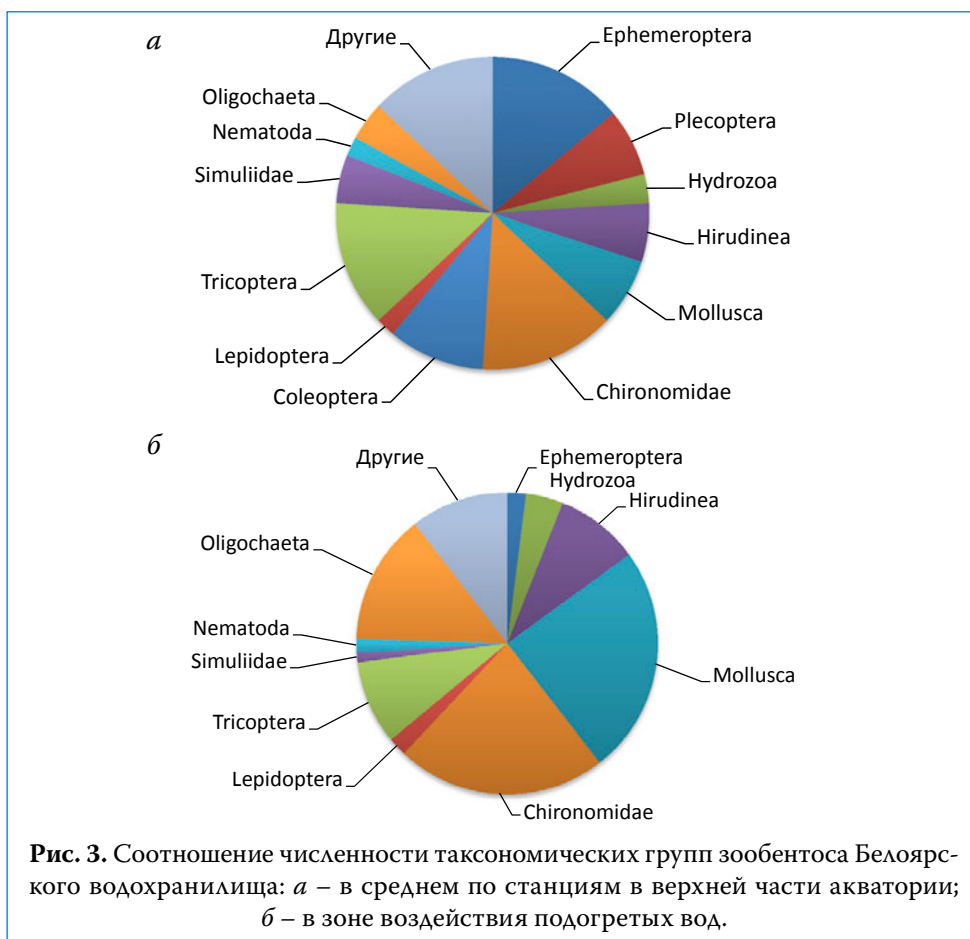
Средние значения индекса Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности и биомассе зоопланктона (H_N, H_B), в акватории водохранилища в период исследований составляли 2,2 бит/экз и 1,6 бит/г соответственно. На станции, расположенной в районе сброса подогретых вод, отмечены минимальные значения индекса видового разнообразия: по численности в июле (1,2 бит/экз), по биомассе – в августе (0,5 бит/г). Величина коэффициента трофности Мяземтса (E), в среднем равная 2,5, характеризует Белоярское водохранилище как водоем эвтрофного типа [22]. Средняя величина индекса сапробности Пантле–Букк (S) 1,6, что характерно для слабозагрязненных водоемов β -мезосапробной зоны.

В вегетационные периоды 2012–2013 гг. в зообентосе и перифитоне Белоярского водохранилища зафиксировано более 62 видов беспозвоночных. Основными группами, вносящими вклад в численность и биомассу сообщества, являлись моллюски, пиявки, ручейники, поденки и хирономиды. Многочисленными видами были *Heptagenia sulphurea* (O.F. Müller), *Caenis horaria* Linnaeus, *Polypedilum nubeculosum* (Meigen), *Chironomus fl. plumosus* (Linnaeus), *Procladius choreus* (Meigen).

Средняя численность донных беспозвоночных в необогреваемых участках водохранилища составила 298,0 экз/м², биомасса – 2,3 г/м². Численность организмов зообентоса в центральной части водоема в среднем была равна 216,0 экз/м², биомасса – 3,7 г/м². В зоне подогрева средняя численность – 100,0 экз/м², биомасса – 2,1 г/м². Видовой состав макрозообентоса на различных участках Белоярского водохранилища был неоднороден. Наибольшее число видов встречалось в верхней части водоема на ст. 1 и 5. Средние значения рассчитанного по численности зообентоса (H_N) индекса Шеннона–Уивера на этих станциях варьировали от 1,7 до 2,3 бит/экз. Основной вклад в численность и биомассу вносили Mollusca, Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera (рис. 3).

Наименьшее количество видов зафиксировано в районе сбросного канала БН-600 (ст. 10) и в районе г. Заречного (ст. 11). Здесь наблюдались минимальные значения индекса видового разнообразия по численности зообентоса (среднее значение H_N составило 1,3 бит/экз). На фоне увеличения доли Oligochaeta, Chironomidae, Mollusca и Hirudinea в общей численности донных беспозвоночных на этих станциях отмечалось снижение вклада личинок амфибиотических насекомых (рис. 3). Обеднение качественного и количественного состава гидробионтов происходило от неустойчивых к загрязнению и повышению трофического статуса водоема таксонов (ручейники, поденки) к более устойчивым формам (олигохеты, личинки комаров-звонцов).

В необогреваемой акватории водохранилища средняя величина индекса сапробности Пантле–Букк (S) составила 2,0, что характерно для слабозагрязненных водоемов β -мезосапробной зоны. Величина данного индекса на ст. 5, 9, 11, 12 варьировала от 2,3 до 2,8. По структурным характеристикам зообентоса и перифитона водам Белоярского водохранилища на этих станциях можно присвоить переходный III–IV класс качества [29, 30]. Вода характеризуется как «умеренно загрязненная», «загрязненная», β -мезосапробная с переходом в α -мезосапробную. На станции отбора проб в районе сброса подогретых вод (ст. 10), величина индекса S составляла 3,5, что характерно для загрязненных вод α -мезосапробной зоны [29, 30].



Результаты исследования теплового воздействия АЭС на гидробионтов водоемов-охладителей достаточно хорошо освещены в литературе [2, 34–41]. Обычно отмечается, что в качественном отношении фауна водоемов-охладителей изменяется незначительно, формируясь в основном из эвритермных и более теплолюбивых видов исходного населения. В зимний период список обнаруживаемых видов становится несколько шире, чем в непогреваемых водоемах (за счет видов, не имеющих возможность вести активную жизнь при низких температурах), летом наблюдается обратная картина (выпадение холодолюбивых форм). Резкое обеднение фауны и флоры начинается при повышении температуры до 30 °С и более. Для гидробионтов существенна не только степень подогрева воды, но и скорость температурных изменений. Благодаря акклиматизации медленное нагревание воды переносится гидробионтами легче, верхний летальный порог

становится выше. Особенно плохо переносят гидробионты быстрое понижение температуры. Холодовой шок опаснее теплового и это необходимо учитывать даже при кратковременных остановках работы АЭС. Особенно чувствительны к термическому стрессу гидробионты на ранних стадиях развития. Прохождение воды через системы охлаждения БАЭС и влияние термофикации являются определяющими факторами в процессах формирования сообществ гидробионтов Белоярского водохранилища.

Зоопланктон исследованного водоема представлен пелагическими лимнофильными видами с широким или всесветным распространением, эврибионтами по отношению к факторам среды, с доминированием по биомассе на всей акватории водоема теплолюбивых и ценных в кормовом отношении для рыб представителей рода *Daphnia* и других ветвистоусых ракообразных. По численности в водохранилище повсеместно доминировали мелкие коловратки.

В самые жаркие летние месяцы, когда температура сбрасываемой воды превышала среднюю температуру в непогреваемых зонах водохранилища на 8–10 °С, достигая 30 °С в июле, сброс подогретых вод оказывал стимулирующее влияние на развитие коловратки *Keratella quadrata*, численность которой была в 59 раз выше, чем в среднем по акватории водоема. Биомасса ветвистоусого рачка *Daphnia galeata* в зоне подогрева увеличивалась в 13 раз. Однако различия по численности и биомассе между остальными видами в зоне подогрева и в необогреваемой зоне были минимальны. Один пик в сезонной динамике структурных показателей зоопланктона исследуемого водоема отмечался также в исследованиях 1986–1988 гг. [32, 38], в которых на основании достоверного снижения численности и биомассы зоопланктона по сравнению с необогреваемой зоной был сделан вывод о явном угнетении зоопланктона в зоне подогрева.

Значения индекса видового разнообразия Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности и биомассе зоопланктона, в период 2012–2013 гг. в зоне подогрева были минимальными, что свидетельствует о снижении выравненности и упрощении структуры сообщества. В начале лета и осенью структурные показатели зоопланктона в зоне сброса теплых вод соответствовали таковым в необогреваемой акватории (рис. 2), либо наблюдалось незначительное угнетение развития сообщества планктонных беспозвоночных.

На основании проведенных исследований можно выявить общие тенденции в изменении структуры сообществ зообентоса Белоярского водохранилища в районе влияния БАЭС. В верхней, необогреваемой части Белоярского водохранилища, отмечено лучшее качество воды, определяемое по структурным показателям зообентоса. Наиболее существенные

изменения в сообществе обитателей дна отмечены в зоне, непосредственно примыкающей к сбросному каналу БН-600. Здесь зарегистрировано худшее качество вод, уменьшение общей численности, биомассы и числа видов зообентоса и перифитона, наименьшие индексы видового разнообразия. Индексы сапробности соответствуют загрязненной зоне. В показателях обилия зообентоса наблюдается увеличение роли устойчивых форм (олигохет, хирономид, моллюсков и пиявок) при снижении доли амфибиотических насекомых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество поверхностных вод Белоярского водохранилища, образованного на р. Пышме, в значительной степени формируется под влиянием хозяйственной деятельности, прежде всего, сбросов промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. На фоне этих антропогенных изменений, влияние сбросов оборотных вод с действующего энергоблока (с реактором БН-600) на качество поверхностных вод относительно невелико в гидрохимическом отношении. Однако на фоне общей высокой антропогенной нагрузки сброс подогретых вод атомной станции приводит к возникновению в Белоярском водохранилище зоны интенсивного воздействия на гидробионтов.

В зоне, непосредственно примыкающей к сбросному каналу действующего энергоблока, по сравнению с необогреваемой акваторией в период исследований наблюдалось сокращение видового разнообразия зоопланктона, зообентоса и перифитона и, как следствие, снижение выравненности и упрощение структуры гидробиоценозов. Сброс подогретых вод приводил к увеличению доли *Oligochaeta*, *Mollusca*, *Hirudinea* и *Oligochaeta* в сообществе донных беспозвоночных, при этом наблюдалось уменьшение общей численности и биомассы зообентоса и перифитона. В зоопланктоне в летний период происходило значительное увеличение численности и биомассы *Keratella quadrata* и *Daphnia galeata* на фоне бедного видового состава и низких значений количественных показателей других видов. Среди доминирующих видов в гидробиоценозах преобладали эврибионты, имеющие обширные ареалы или являющиеся космополитами.

В целом по совокупности индексов качества воды, рассчитанных по показателям гидробионтов, Белоярское водохранилище характеризуется как водоем эвтрофного типа, по степени сапробности – β -мезосапробный с переходом в α -мезосапробную зону. В районе сброса подогретых вод, по сравнению с необогреваемой акваторией, отмечалось худшее качество вод и невысокие индексы видового разнообразия, характерные для водоемов, испытывающих антропогенную нагрузку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веригин Б.В.* О явлении термического евтрофирования водоемов // Гидробиол. журн. 1977. Т. 13. № 5. С. 98–105.
2. *Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.А.* Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 610–615.
3. ГОСТ 8.556-91. ГСИ. Методики определения состава и свойств проб вод. Общие требования к разработке. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 8 с.
4. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 7 с.
5. ГОСТ Р 8.563-2009. ГСИ. Методики (методы) измерений. М.: Стандартинформ, 2010. 27 с.
6. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2005. 32 с.
7. РД 52.18.598-98. Аккредитация лабораторий (центров) мониторинга загрязнения окружающей природной среды. Общие требования к «Руководству по качеству аккредитованной лаборатории (центра)». СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 24 с.
8. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Р.-на-Д.: Росгидромет, 2002. 49 с.
9. Р 52.24.353-94. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. М.: Гидрометеиздат, 1995. 21 с.
10. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
11. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод: сб. научн. тр. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 2. 277 с.
12. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР. 1984. 33 с.
13. *Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.
14. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Chironominae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipedidae). Л.: Наука, 1983. 296 с.
15. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Orthocladiinae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipedidae). Л.: Наука, 1970. 344 с.
16. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Podonominae и Tanypodinae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipedidae). Л.: Наука, 1977. 154 с.
17. *Лукин Е.И.* Фауна СССР. Пиявки. Т. I. Пиявки пресных и солоноватоводных водоемов. Л.: Наука, 1976. 484 с.
18. *Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С.* Определитель Calanoida пресных вод СССР. СПб.: Наука, 1991. 503 с.
19. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
20. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Высшие насекомые: двукрылые / под ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 1999. 998 с.
21. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1963. 117 p.
22. *Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
23. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
24. Методы биологического анализа пресных вод: сб. науч. работ. Л. 1976. 167 с.

25. *Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserbach. 1955. 96 (18). 604 p.
26. *Sladec̆ec V.* System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. Vol. 7. 218 p.
27. *Мязметс А.Х.* Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
28. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. М.: Изд-во СЭВ, 1976. 186 с.
29. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водоотокв. Введ. Постановление Госстандарта СССР 19.03.1982 № 1115.
30. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
31. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 206 с.
32. *Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н., Гусева В.П., Николин О.А.* Влияние АЭС на радиоэкологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: АкадемНаука, 2008. 400 с.
33. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2010.
34. Влияние теплового и органического загрязнения на биоту водоемов-охладителей: сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1995. 358 с.
35. *Лулева Е.В.* Оценка влияния атомных электростанций России на экосистемы водоемов-охладителей // Известия КГТУ. Калининград, 2014. № 34. С. 20–33.
36. *Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И., Кафтанникова О.Г., Ленчина А.Г., Калининченко Р.А., Виноградская Т.А., Новиков Б.И., Афанасьев С.А., Синецкина О.О.* Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных станций Украины. Киев: Наук. думка, 1991. 192 с.
37. *Силаева А.А., Протасов А.А.* Состав и структура зообентоса р. Стырь в зоне Ровенской АЭС и оценка ее влияния на донные группировки // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41. № 4. С. 25–45.
38. *Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В.* Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 173 с.
39. *Barnett P.R.O.* 1972. Effect of warm water effluents from power stations on marine life // Proceed. Roy. Soc. London B. 180. No 1061. P. 495–509.
40. *De Nie H.W.* Effects of thermal effluents from the Bergum Power Station on the zooplankton in the Bergumermeer // Hydrobiologia. 1982. No 95. P. 337–349.
41. *Heinle D.R.* 1976. Effect of passage through power plant cooling system on estuarine copepods // Environ. Pollut. 11. No 1. P. 39–58.

Сведения об авторах:

Кулаков Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии Российской академии наук» (СПБО ИГЭ РАН), Россия, 199004, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 41, оф. 519, а/я № 107; e-mail: dvkulakov@mail.ru

Макушенко Мария Евгеньевна, научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии Российской академии наук» (СПБО ИГЭ РАН), Россия, 199004, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 41, оф. 519, а/я № 107; e-mail: maria@hgepro.ru

Верещагина Елена Андреевна, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: ea.grigorieva@gmail.com