

**ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**
NUCLEAR, RADIATION AND
ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 574.5: 621.311.25
DOI 10.26583/gns-2023-02-02
EDN MHRNWW

Совершенствование методов альголизации и биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища

О.И. Горская  

Ростовская атомная станция – филиал АО «Концерн Росэнергоатом», г. Волгодонск, Ростовская обл., Россия

 gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru

Аннотация. Интенсивное размножение цианобактерий, приводящее к появлению феномена «цветения воды», является одной из наиболее сложных и актуальных проблем многих водоемов. В наиболее уязвимом положении находятся высокоэвтрофные водоемы южных регионов, подверженные регулярному антропогенному воздействию. Уровень проявления «цветения воды» в приплотинной зоне Цимлянского водохранилища на наиболее продуктивных участках открытого и закрытого побережья, а также в центральной зоне зачастую является достаточно высоким и требует регулярного проведения комплекса мероприятий по улучшению качества воды. В настоящее время для борьбы со спектром негативных последствий, вызываемых процессами эвтрофикации и гиперпродукции цианобактерий, активно применяются методы биоремедиации, одним из которых является альголизация водоемов планктонными штаммами зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

Ключевые слова: Ростовская АЭС, водоем-охладитель, альголизация, система циркуляционного и технического водоснабжения, биолого-химический мониторинг, Цимлянское водохранилище, приплотинный участок, биологическая реабилитация, сине-зеленные водоросли, цианобактерий, «цветение», биологические обрастания, биопленка, кислород, хлорелла.

Для цитирования: Горская О.И. Совершенствование методов альголизации и биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища. *Глобальная ядерная безопасность*. 2023;13(2):14–24. <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02>

Improvement of methods of algolization and bioremediation of the Rostov NPP cooling pond and the near dam part of the Tsimlyansk reservoir

Olga Yu. Gorskaya  

Rostov Nuclear Power Plant – a branch of Rosenergoatom Concern JSC, Volgodonsk, Rostov region, Russia

 gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru

Abstract. The intensive multiplication of cyanobacteria which results in the phenomenon of «blooming of water» is one of the most complicated and urgent problems of many reservoirs. Highly eutrophic water bodies in southern regions subject to regular anthropogenic impact are in the most vulnerable position. The level of manifestation of «water bloom» in the upstream zone of the Tsimlyanskoye reservoir in the most productive areas of the open and closed coastal zone, as well as in the central zone is often quite high and requires regular implementation of a set of measures to improve water quality. At present, to combat the spectrum of negative effects caused by eutrophication processes and hyperproduction of cyanobacteria, bioremediation methods are actively applied, one of which is algolization of water bodies by planktonic strains of green microalgae *Chlorella vulgaris* Beijer.

Keywords: Rostov NPP, cooling pond, algolization, circulation and technical water supply system, biological and chemical monitoring, Tsimlyansk reservoir, near dam section, biological rehabilitation, blue-green algae, cyanobacteria, «blooming», biological fouling, biofilm, oxygen, chlorella.

For citation: Gorskaya O.Yu. Improvement of methods of algolization and biomelioration of the Rostov NPP cooling pond and the near dam part of the Tsimlyansk reservoir. *Global nuclear safety*. 2023;13(2):14-24 (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02>

При поступлении в водные объекты большого количества органических и биогенных веществ происходит перестройка сообществ водных организмов. Переизбыток органики может оказать негативное воздействие на сообщества гидробионтов за счет снижения концентраций растворенного кислорода в воде, что вызывает необходимость формирования ответной реакции экологической системы, направленной на поддержание ее гомеостаза и процесса самоочищения воды.

Закономерной ответной реакцией различных водных экосистем на обогащение биогенными и органическими веществами является рост развития популяций микроводорослей, которые являются фотосинтезирующим звеном, перерабатывающим органическое вещество в растительную биологическую массу. В контексте законов экологии эту реакцию гидробиологической системы можно рассматривать как адаптивную, выражающуюся в стремлении экосистемы сохранить свою жизнеспособность и стабилизировать биотический круговорот, на который непрерывно воздействуют внешние экстремальные воздействия. Подобными способами функционируют естественные пути регуляции экологического равновесия, за счет подобных механизмов происходит эволюция и развитие экологических систем [1].

В результате эвтрофирования водных объектов (повышение содержания в воде биогенных и органических веществ) происходит снижение концентраций растворенного кислорода в воде, особенно в придонных слоях водных объектов. Это, с одной стороны, вызывает заморы рыб, с другой стороны, способствует накоплению восстановленных форм биогенных и органических веществ (азота в виде аммиака и аммонийных ионов, серы в виде сульфидов и др.). Как известно, в состав живого организма азот и сера входят в виде восстановленных соединений аминных и сульфгидрильных групп. Поэтому усвоение и включение в процессы метаболизма экзогенных восстановленных соединений требуют значительно меньших энергетических затрат, чем окисленных [2].

В эвтрофировании природных водоемов особое место занимает фосфор. Это связано с тем, что фосфор в клетках растений непосредственно участвует в процессах фотосинтеза и дыхания, азотном, углеводном и липидном обменах, активировании ферментных систем. Фосфор входит в состав протоплазмы и ядра клетки.

При снижении степени кислородного насыщения придонных слоев воды соединения фосфора переходят из донных отложений в растворимую форму. Поскольку сине-зеленые водоросли периодически мигрируют в придонные слои воды (в ночное время), они аккумулируют восстановленный фосфор придонных слоев и таким образом полностью обеспечивают свои потребности в фосфоре даже при его дефиците в водной толще [3].

Привнос в водный объект большого количества органического вещества, особенно в условиях, когда прекратить или снизить интенсивность этого процесса не представляется возможным запускает биологические процессы, направленные на скорейшую и эффективную его переработку.

Фитопланктонные сообщества являются своего рода природной фабрикой, эффективно перерабатывающей органическое вещество. В состав фитопланктонных сообществ входят представители различных систематических групп водорослей. Возбудителями «цветения» воды являются, как правило, сине-зеленые водоросли из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* и *Microcystis*.

В летне-осенний период преобладающей группой фитопланктона Цимлянского водохранилища являются синезеленые водоросли (64-80% средневзвешенной

биомассы). Обычно в этот период доминируют виды родов *Microcystis*, *Aphanizomenon* и *Planktothrix*.

В фитопланктонном сообществе водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища вегетируют потенциально токсичные виды сине-зеленых водорослей *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa* spp, *Cuspidothrix issatschenkoi*, *Planktolynghya* spp., *Planktothrix agardhii*. Активная вегетация цианобактерий и экстремально высокие показатели их обилия регистрируются в водоемах района расположения Ростовской АЭС период с июня по октябрь, с пиком, приходящимся на середину лета. Массовое увеличение численности сине-зеленых водорослей может приводить к формированию в водоеме, внутренней части системы технического водоснабжения промышленных предприятий особых биологических структур – биопленок. Биопленки представляют собой совокупность микроводорослей и микроорганизмов, в которой клетки встроены в собственный внеклеточный полимерный матрикс и благодаря которому клетки водорослей и бактериальные клетки прикрепляются к друг другу или к поверхности субстрата.

В период «цветения» значительно ухудшаются органолептические характеристики воды, снижается рекреационный потенциал. Помимо этого, экологическое состояние ухудшается поступлением в воду тяжелых металлов (железа, марганца), нефтепродуктов, неорганических форм азота и других загрязняющих веществ. Разлагающиеся сине-зеленые водоросли вызывают негативные явления и в самом водоеме: снижение содержания кислорода, появление цианотоксинов в воде, которое может приводить к гибели всех аэробных организмов. Некоторые виды цианобактерий продуцируют специфические нейро- и гепатотоксины, представляющие серьезную угрозу здоровью людей и животных. Антидотов к токсинам цианобактерий не существует. Рост клеточной биомассы цианобактерий приводит к развитию биопомех на гидротехническом оборудовании и оборудовании системы технического водоснабжения промышленного предприятия. Экологическая реабилитация водоемов представляет собой систему мер, направленных на улучшение его экологического состояния и прилегающей территории с применением современных природоохранных технологий. Также экологическая реабилитация водоема предполагает комплексный подход, включающий улучшение качества воды, увеличение биологического разнообразия гидробионтов, очистку и укрепление берегов. [4]

Используемые в мировой практике различные физические и химические методы «борьбы» с цианобактериями: спуск воды из водоемов с последующим механическим удалением биомассы, аэрирование водных масс, применение ультрафиолетового облучения и ультразвука, использование химических биоцидов – малоэффективны и вместе с тем связаны, с большими финансовыми затратами. Физические методы контроля численности микроводорослей направлены на создание условий, либо препятствующих их развитию, либо разрушающих уже образовавшиеся «маты». Ультразвуковая обработка «цветущей» воды приводит к нежелательным последствиям, хотя и является достаточно эффективной по альгоцидному действию. Обработка «цветущей» воды ультразвуком приводит к ее подкислению, снижает количество общего азота и фосфора в воде, а также повышает температуру воды. Для снижения численности водорослей могут быть использованы химические гербициды, оказывающие альгоцидный эффект. Однако отрицательное влияние на водные биоценозы фактически исключает возможность использования этих веществ, для борьбы с «цветением» и биообрастанием в водной экосистеме [5].

Сезонный цикл ежегодного развития фитопланктона можно описать следующим образом. Структура зимнего, ранневесеннего и позднесеннего альгоценозов характеризуется значительным преобладанием диатомовых водорослей, не требовательных к питательным веществам и редко достигающих массового развития.

Летом, происходит бурное развитие сине-зеленых водорослей, влекущее массу негативных экологических последствий. Метод коррекции альгоценоза является научно обоснованным и многократно практически подтвержденным способом улучшения экологического состояния любого континентального водоема. Биологическая реабилитация водоемов методом коррекции альгоценоза является составной частью экологической реабилитации. Меры по экологической реабилитации водных объектов включены в федеральные целевые программы по развитию водохозяйственного комплекса Российской Федерации. Известно, что между зелеными и сине-зелеными водорослями в фитопланктонном сообществе складываются антагонистические отношения, что учитывается при биологической реабилитации водоемов, используемых в качестве источников водоснабжения, разведения рыбы, приемников технико-бытовых сточных вод очистных сооружений сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Метод коррекции альгоценоза основан на введении в водоем оригинального штаммов одноклеточной зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* (альголизация). [4]

Хлорелла (*Chlorella* sp.) – род одноклеточных зеленых водорослей размером от 2 до 8 микрометров, относящийся к классу хлорофициевые (*Chlorophyceae*). Встречаются в воде различных пресноводных водоемов. Высокое содержание белка (до 50%), а также других полезных веществ в составе хлореллы (железо, некоторые витамины и др.) дало повод использовать ее как сырье для получения добавок в корма для рыб, а также в качестве корма для личинок некоторых видов рыб и живых кормов. Хлорелла применяется также для альголизации водоемов, очистки вод от различного рода загрязнений, а также для предотвращения цветения в них сине-зеленых водорослей.¹

Попадая в водоем, планктонный штамм хлореллы не осаждается на дно и не прилипает к высшей растительности, а удерживается в верхнем (40-120 сантиметров) слое воды, где клетки интенсивно делятся. За несколько дней хлорелла становится доминирующей микроводорослью в указанном биотопе. В результате фотосинтеза происходит насыщение воды кислородом. В процессе онтогенеза хлорелла активно потребляет органические и неорганические вещества, что приводит к улучшению качества воды. В результате насыщения воды кислородом происходит снижение содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов. Тяжелые металлы переходят в высшие степени окисления и образуют с анионами нерастворимые соединения. Кислород в период выделения, находясь в атомарном состоянии, обладает повышенной окислительной способностью. Именно в этом состоянии кислород окисляет (разрывает) длинные цепочки гидрофильных углеводов, входящих в состав нефтепродуктов, образуя гидрофобные обрывки радикалов нефтепродуктов, которые оседают на дно водоемов, где подвергаются дальнейшему разложению с помощью нефтеперерабатывающих бактерий.

Хлорелла препятствует цветению воды посредством прямой конкуренции с цианобактериями, а не только аллелопатии, как предполагалось ранее. Помимо существенного снижения степени «цветения» водоема, хлорелла насыщает воду кислородом (до 14 мг/дм³) и обеспечивает улучшение качества воды по содержанию загрязняющих веществ. В их числе – тяжелые металлы (Fe, Si, Mn, Pb, Zn), фенолы, нефтепродукты, неорганические формы азота и полифосфаты. Вследствие этого, происходит снижение значений таких важных показателей качества воды, как химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК). Также в результате альголизации улучшаются органолептические показатели и восстанавливается рекреационный потенциал водоема. Вместе с тем, ежегодная

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 08.10.2021 № 694 «О внесении изменений в справочник в области аквакультуры (рыбоводства)», утвержденный приказом Минсельхоза России № 247 от 05.06.2015.

альголизация создаст предпосылки для организации на водохранилище весьма продуктивного ихтиоценоза. Ведь хлорелла является лучшим кормом для зоопланктона, увеличение численности которого приведет к увеличению рыбного стада, т.е. альголизация приводит к возрождению экологической системы водного объекта. [4]

Практика показала, что вегетативные формы и споры сине-зеленых водорослей уменьшаются в своем количестве за каждый год проведения биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза примерно в половину. Необходимо отметить, что отсутствие «цветения» водоема после проведенной альголизации не является признаком полного освобождения водоема от сине-зеленых водорослей. Через четыре года непрерывной альголизации водоема их остается порядка 6 % от начального количества, что не дает стать сине-зеленым водорослям доминирующими в альгоценозе в летний период. Биологическая реабилитация водоемов с использованием метода альголизации практически не имеет экономической альтернативы, так как затраты на ее осуществление на порядок ниже, чем при любом другом способе борьбы массовым развитием сине-зеленых водорослей.

На качество воды Цимлянского водохранилища большое влияние оказывают сточные воды промышленных и сельскохозяйственных объектов Воронежской и Волгоградской областей. Также, существенная часть загрязняющих веществ поступает в водоток с неорганизованными сбросами и стоками с площади водосбора реки Дон. Характер антропогенного влияния на нижнюю приплотинную зону водохранилища определяется, в основном, степенью развития индустрии и степенью урбанизации прилегающей к водоему территории. В отличие от основной части Цимлянского водохранилища, прибрежная зона Приплотинного плеса находится в зоне влияния ряда городов с достаточно развитой инфраструктурой, а также ряда крупных промышленных предприятий.

Ежегодно в Цимлянском водохранилище наблюдается сильное «цветение» воды за счет развития синезеленых водорослей, биомасса фитопланктона на протяжении нескольких месяцев (июль-октябрь) превышает уровень, при котором, как считается, наступает биологическое загрязнение водоема, более 11 мг/л. На отдельных участках и в заливах за счет нагонных явлений отмечается «гиперцветение», биомасса фитопланктона более 50 мг/л. Днем в таких участках слой синезеленых водорослей может быть настолько плотным, что по нему свободно перемещаются птицы. В подобных местах нагона водорослей отмечается массовая гибель гидробионтов, особенно молоди рыб. В Цимлянском водохранилище, для которого характерны постоянные и сильные перемешивания воды, вызванные ветрами, летние заморы локальны и кратковременны, поэтому не наносят заметного ущерба рыбным запасам [6].

Из акватории Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища осуществляется подпитка водоема-охладителя Ростовской АЭС. В этих условиях культура цианобактерий из Цимлянского водохранилища попадает в водоем-охладитель Ростовской АЭС, в котором отсутствуют интенсивные течения, поэтому формирование застойных участков акватории, в которых возможно массовое развитие цианобактерий весьма вероятно, особенно в зоне локусов высшей водной растительности в северной части водоема-охладителя.

Мероприятия по коррекции альгоценоза водоема-охладителя Ростовской АЭС и Приплотинной части Цимлянского водохранилища проводятся регулярно, начиная с

2007 года.² Информация об объемах вносимого в водоема альголизата хлореллы в период с 2014 по 2022 год приведена в таблице 1³.

Таблица 1. Данные о параметрах альголизации водоема-охладителя Ростовской АЭС приплотинного участка Цимлянского водохранилища в период 2014-2022 гг.

Table 1. Data on algolization parameters of the cooling pond of the Rostov NPP near the dam section of Tsimlyanskoye Reservoir in 2014-2022

Год	Объем вселения, л
2014	2100
2015	2400
2016	2340
2017	2610
2018	1440
2019	1380
2020	2070
2021	2520
2022	2480

Альголизация проводится на основании отдельной программы альголизации водных объектов района размещения Ростовской АЭС, в которой указаны оптимальные сроки и объемы ее проведения.

В качестве альголизанта в данной работе используется альгологически чистая культура зеленой хлорококковой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer, штамм BIN. Альголизант выращивается по промышленной технологии «Algotec» Общий ежегодный объем внесения альголизанта ежегодно варьирует. В 2021 г. объем вносимого альголизанта составил 2520 л суспензии хлореллы. В водоем-охладитель Ростовской АЭС и прилегающую акваторию Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища внесено 1500 л суспензии хлореллы, в залив р. Дон в районе профилактория «Белая Вежа» – 1020 л.

Процесс проведения альголизации водоема-охладителя Ростовской АЭС сопровождается проведением анализа видовой структуры фитопланктона водоема-охладителя Ростовской АЭС и Приплотинной части Цимлянского водохранилища, а также его количественных характеристик (численность и биомасса отдельных таксономических групп и видов фитопланктона). Данный анализ проводится как в отношении водоема-охладителя Ростовской АЭС, так и водоема подпитки. В отношении Цимлянского водохранилища, анализируются параметры фитопланктона для Приплотинного плеса, подвергаемого альголизации и участков акватории, в которые суспензия хлореллы не вносится.

Результаты такого анализа показывают, что после внесения суспензии хлореллы происходит перестройка фитопланктонного сообщества, если до момента внесения альголизата в структуре фитопланктона доминируют цианопрокаритоты (рис. 1), то спустя месяц, после внесения в водоем альголизата хлореллы возрастает удельный вес цианобактерий существенно снижается, а преобладающими в структуре фитопланктонного сообщества становятся зеленые водоросли отдела *Chlorophyta* (рис. 2).

² Отчет «Проведение альголизации водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища с целью подавления биологических помех – предотвращения «цветения» водных объектов в 2015 году». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект». – 2015. – 62 с.

³ Отчет «Ростовская АЭС. Обоснование мер по сохранению биоресурсов и среды их обитания при осуществлении хозяйственной деятельности по эксплуатации энергоблока № 4 В 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной с вентиляторными градирнями». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект».

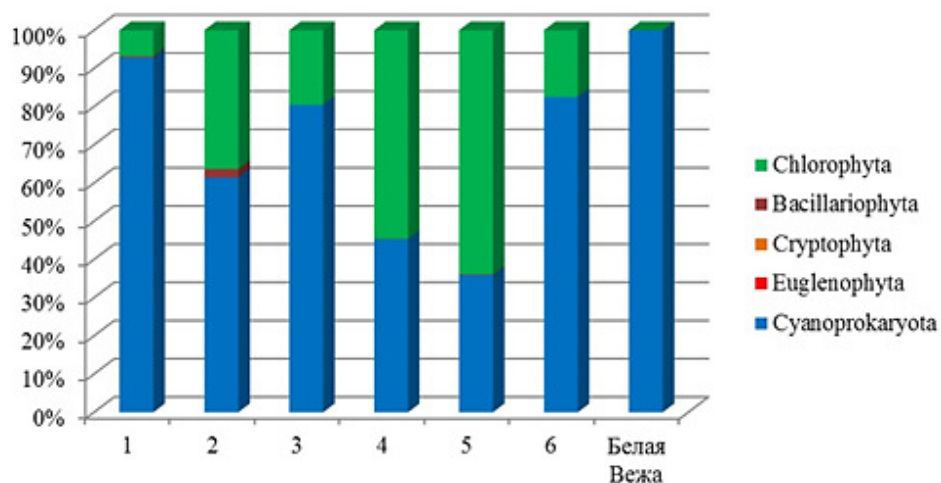


Рисунок 1. Соотношение крупных таксономических групп фитопланктона по численности в водоеме-охладителе Ростовской АЭС (июнь 2021 г.)

Figure 1. Ratio of large taxonomic groups of phytoplankton by number in the cooling pond of Rostov NPP (June, 2021)

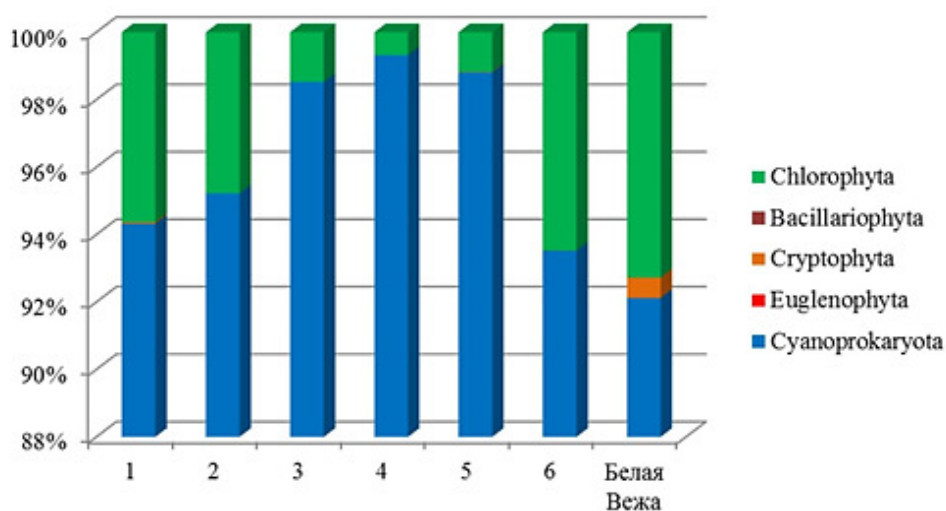


Рисунок 2. Соотношение крупных таксономических групп фитопланктона по численности в водоеме-охладителе Ростовской АЭС (июль 2021 г.)

Figure 2. Ratio of large taxonomic groups of phytoplankton by number in the cooling pond of Rostov NPP (July 2021)

Участки акватории водоема-охладителя Ростовской АЭС и Приплотинной части Цимлянского водохранилища, в которые вносится альголизат хлореллы, имеют ярко выраженные отличия в структуре фитопланктонного сообщества от тех участков акватории Цимлянского водохранилища, в которые альголизат не вносится. На фоне ежегодного интенсивного цветения воды в Цимлянском водохранилище в период с июня по октябрь фактов, свидетельствующих о массовом размножении цианобактерий в водоеме-охладителе и Приплотинном плесе и подавления ими всех других фитопланктонных групп в период с 2007 по 2022 год, не было отмечено ни разу.

Эксперименты по варьированию объема альголизата, вносимого в водоемы, показывают, что скорость развития популяции хлореллы в водных объектах находится в экспоненциальной зависимости от объема ее альголизата, вносимого в водоемы. В этих условиях специалистами Ростовской АЭС рекомендовано увеличить объем ежегодно вносимого альголизата в 1,5-2 раза, увеличив частоту его внесения с 2-3 до 4 раз в течение вегетационного периода. Данные меры будут способствовать

оптимизации гидробиологических параметров водоема-охладителя и водоема подпитки.⁴

Биологическая реабилитация водоема-охладителя Ростовской АЭС и Цимлянского водохранилища, проводимая специалистами Ростовской АЭС, не ограничивается их альголизацией. Ежегодно проводятся мероприятия по биологической мелиорации этих водоемов. Биологическая мелиорация водного объекта предполагает мероприятия, направленные на улучшение состава ихтиофауны и условий выращивания рыб: рациональная добыча ценных рыб и выборочный отлов малоценных, способствование воспроизводству ценных и угнетение размножения малоценных рыб, вселение хищных и растительноядных рыб (белого амура – для регулирования зарастаемости макрофитами, белого толстолобика – для регулирования развития фитопланктона, черного амура – для борьбы с моллюсками, карповых – для общего улучшения гидробиологического статуса водоемов и регулирования соотношения реперных групп гидробионтов)⁵.

В 2002 г. была разработана «Программа зарыбления водоема-охладителя растительноядными видами рыб с целью подавления биопомех», в которой предусматривалось зарыбление водоема, которое позволяет получить биомелиоративный эффект и поддерживать стандартные параметры гидробиологического режима водоема-охладителя, обеспечивающие безопасную эксплуатацию АЭС. С 2015 г. Ростовская АЭС активно участвует в программах зарыбления водоемов региона. Место выпуска и объемы зарыбления согласовываются Азово-Черноморским территориальным управлением.

В период 2015-2017 гг. проводится активная работа по зарыблению нижнего Дона в районе г. Азова. За указанный период в Дон выпущено более 64 миллионов штук молоди леща и более 2 миллионов штук молоди сазана. С 2019 г. Ростовская АЭС проводит зарыбление Цимлянского водохранилища. В октябре 2019 г. и сентябре 2020 г. в поселке Приморский (Котельниковский район, Волгоградская область) состоялся массовый выпуск мальков рыбы в Цимлянское водохранилище. В акваторию водоема были выпущены 717 тыс. мальков белого амура и 2,080 млн мальков сазана. В ноябре 2021 г. Ростовская АЭС осуществила выпуск 530 998 штук молоди сазана и 59 201 шт. молоди белого амура в районе хутора Харсеев, вблизи с насосной добавочной воды Ростовской АЭС. В сентябре 2022 г. Ростовская АЭС осуществила выпуск 34040 шт. молоди стерляди в районе поселка Топольки Азовского района (р. Дон). Затраты составили 791197,50 рубля. В сентябре 2022 г. Ростовская АЭС осуществила выпуск 856128 штук молоди сазана и 418807 шт. молоди белого амура в поселке Приморский (Котельниковский район, Волгоградская область (Цимлянское водохранилище).

Рыбопосадочный материал рыб-мелиораторов приобретался в хозяйствах-производителях Ростовской области, в соответствии с заключенными договорами на поставку. Выпуск рыбопосадочного материала в водоем-охладитель согласовывался с Управлением федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по

⁴ Отчет «Проведение альголизации водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища с целью подавления биологических помех – предотвращения «цветения» водных объектов в 2020 году». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект». – 2020. – 53 с.

⁵ Отчет ГТП–2021–09/13/660/9/158258–Д–01–СД «Проведение альголизации водоема-охладителя, приплотинного участка Цимлянского водохранилища и залива р. Дон в районе профилактория «Белая Вежа» с целью подавления биологических помех – предотвращения «цветения» водных объектов в 2021-2022 годах». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект» ; Отчет «Ростовская АЭС. Обоснование мер по сохранению биоресурсов и среды их обитания при осуществлении хозяйственной деятельности по эксплуатации энергоблока № 4. В 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной с вентиляторными градирнями». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект» ; Отчеты «Проведение альголизации водоема-охладителя и приплотинного участка Цимлянского водохранилища с целью подавления биологических помех – предотвращения «цветения» водных объектов в ... году» по годам: в 2014 г. (71 с.), в 2015 г. (62 с.), в 2020 г. (53 с.). – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект».

Ростовской области, осуществлялся в присутствии и под контролем представителей ФГУП «Цимлянскрыбвод» и Волгоградской инспекции отдела рыбнадзора по Ростовской области. Объем рыбопосадочного материала, его возрастные и размерные параметры определялись в соответствии с рекомендациями, подготовленными специалистами, на основании разработанных рыбоводно-биологических обоснований и проведенных в течение ряда лет мониторинговых исследований.

Поставщиками рыбопосадочного материала являются СПК «Рыбколхоз им. Абрамова», ООО Рыбхоз «Степной», Рыбхоз «Грачики», НПЦ «Взморье», ООО «Березовский».

Количество интродуцируемого в водоем-охладитель Ростовской АЭС биоматериала указано в таблице 2⁶.

Таблица 2. Параметры биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС, тыс. особей

Table 2. Parameters of biomelioration of the cooling pond of Rostov NPP, thousand individuals

Год	Виды рыб, тысяч особей			
	Белый амур, толстолобик, карп	Белый амур, толстолобик, черный амур	Карп	Белый амур
2002	89,8	–	–	–
2003	–	54,9	–	–
2005	9,1	–	66,9	
2009	–	–	1,7	–
2011	10,0	–	–	–
2013	10,0	–	–	–
2014	10,0	–	–	–
2017	–	–	1,0	–
2019	10,0	–	–	–
2020	10,0	–	–	–
2021	10,0	–	–	60,0

Эффективность проводимых мер по зарыблению водоема-охладителя Ростовской АЭС и Цимлянского водохранилища трудно переоценить. Благодаря зарыблению, зарастаемость водоема-охладителя Ростовской АЭС макрофитами путем вселений растительноядных видов рыб приведена к необходимым показателям 8 %, оцениваемым как оптимальные для поддержания нормального функционирования водоема.

Интродукция в ихтиоценоз отдельных ценных видов рыб позволяет гармонизировать гидробиологический режим водоемов, регулировать биомассу двустворчатого моллюска дрейссены, гармонизировать структуру фитопланктонных, зоопланктонных и зообентосных сообществ.

Специалистами подрядной организации в качестве мер, направленных на оптимизацию биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС в краткосрочной перспективе предложено выполнять зарыбление водоема-охладителя посадочным материалом молоди рыб-планктофагов – белый и пестрый толстолобики, навеской не менее 0,1 кг в объеме – белый толстолобик (2 т/год), пестрый толстолобик (2 т/год) в течение 2-3 ближайших лет, карпом, интродуцируя в водоем-охладитель не более 1-2 тонн молоди карпа (навеской не менее 1 кг) в ближайшие 1-2 года, поскольку

⁶ Отчет «Обоснование мер по сохранению биоресурсов и среды их обитания при осуществлении хозяйственной деятельности по эксплуатации энергоблока № 4 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной с вентиляторными градирнями». – СПб.: ООО НПО «Гидротехпроект». – 2022. – 155 с.

высокие значения биомассы карпа в водоеме могут негативно отразиться на численности и биомассе зоопланктона в водоеме.

Зарыбление водоема-охладителя белым амуром и черным амуром в настоящий момент было признано нецелесообразным, ввиду невысоких показателей развития биомассы дрейссены в водоеме-охладителе и стабильности уровней развития высшей водной растительности (особенно погруженной) в водоеме-охладителе.

Непрерывный анализ лучших мировых практик по поддержанию экологического благополучия водных объектов, борьбы с биологическими обрастаниями, по предупреждению интродукции в биоценозы чужеродных инвазивных видов, проводимых специалистами Ростовской АЭС в сотрудничестве со специализированными подрядными организациями, позволяет непрерывно совершенствовать методы альголизации и биомелиорации водоема-охладителя и водоема подпитки, а также поддерживать их экологические и эксплуатационные параметры на оптимальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Мелихов В.В., Кузнецов П.И., Московец М.В., Каменев В.М., Каренгина Т.В., Мелихова М.В., Смирнов С.В. Патент №2350570 Российская Федерация. МПК C02F 3/32. Способ регулирования биологического загрязнения водоемов. *Заявитель и патентообладатель ВНИИ орошаемого земледелия РАСХН*; заявл. 07.12.2007; опубл. 27.03.2009.
2. Иванцова Е.А., Карабская А.С. Процессы эвтрофикации в Волгоградском водохранилище и пути их предотвращения. *Современные проблемы повышения продуктивности аридных территорий: материалы международной научно-практической конференции, 14-16 мая 2014 года*. Москва: Вестник РАСХН; 2014. С. 170–173.
3. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и эвтрофирование. Киев: Наукова Думка; 1978. 231 с.
4. Ушакова И., Лухтанов В., Кульнев В. Биологическая реабилитация водных объектов и сточных вод методом коррекции альгоценоза. *Коммунальный комплекс России*. 2019. URL: <http://gkhprofi.ru/biologicheskaya-reabilitatsiya-vodnyh-obektov-i-stochnyh-vod-metodom-korreksii-algotsenoza/>
5. Азизбекян Р.Р., Кузнецова Н.И., Григорьева Т.М. Патент №2382075 Российская Федерация. МПК A01N 63/00, C12N 1/20, C12R 1/07. Штамм бактерий *brevibacillus laterosporus*, подавляющий и предотвращающий развитие планктонных и биопленочных форм микроскопических водорослей в водных системах. *Заявитель и патентообладатель Государственный НИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов*; заявл. 09.10.2008; опубл. 20.02.2010.
6. Голоколенова Т.Б. Современное состояние фитопланктона в Цимлянском водохранилище. В кн.: *Экологические проблемы загрязнения водоемов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Волгоград: ВГСХА; 2004. С. 31-32.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ольга Ивановна Горская, начальник отдела охраны окружающей среды, Ростовская атомная станция – филиал АО «Концерн Росэнергоатом», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3377-4654> ; e-mail: gorskaya-oi@vdnpp.rosenergoatom.ru

Поступила в редакцию 30.11.2022
После доработки 14.04.2023
Принята к публикации 25.04.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Olga I. Gorskaya, Head of Environmental Protection Department of RoNPP, Rostov Nuclear Power Plant – branch of Rosenergoatom Concern JSC, Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3377-4654> ; e-mail: gorskaya-oi@vdnpp.rosenergoatom.ru

Received 30.11.2022
Revision 14.04.2023
Accepted 25.04.2023