

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

АНТРОПОГЕННОЕ ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОДОЕМА — ОХЛАДИТЕЛЯ АЭС КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

С.В. Горюнова

Кафедра безопасности жизнедеятельности
Московский городской педагогический университет
2-й Сельскохозяйственный проезд, 4, Москва, Россия, 129226

Исследована динамика изменения структуры и пространственного распределения водных фитоценозов, обусловленная процессами эвтрофирования водоема — охладителя Курской АЭС. Дальнейшее эвтрофирование может стать причиной возникновения техногенной чрезвычайной ситуации вследствие интенсивного образования биологических помех.

Ключевые слова: эвтрофирование, биологические помехи, водоем — охладитель АЭС, фитоценозы, нитчатые водоросли, чрезвычайная ситуация, техногенная авария.

Атомные электростанции являются объектами, обеспечение экологической безопасности которых всегда представляет собой актуальную задачу. В регионах размещения АЭС постоянно осуществляется экологический мониторинг, причем особое внимание уделяется водоемам-охладителям, которые служат для отвода избытка тепловой энергии, вырабатываемой атомными реакторами.

Однако проблемой не менее важной, чем обеспечение экологической безопасности, является недопущение возникновения в водоемах-охладителях процессов, ведущих к образованию серьезных биологических помех в системе технического водоснабжения АЭС. Ухудшение экологических условий, сопровождающееся вспышкой развития нежелательных организмов, может привести к возникновению чрезвычайной ситуации на радиационно-опасном объекте [3] и даже создать угрозу выброса продуктов деления в окружающую среду (при перегреве и последующем разрушении ТВЭЛов). Подобная ситуация, например, может наблюдаться при «залповом» развитии в водоеме-охладителе плохоприкрепленной и свободноплавающей макрорастительности, которая с током воды поступает на водозабор АЭС и, не полностью задерживаясь на решетках и фильтрах (в отличие от плавающего мусора), может вызвать закупорку водоводов.

Гидрохимические и гидробиологические исследования проводились на водоеме — охладителе Курской АЭС (КАЭС). Основной задачей являлось исследование причин «залпового» зарастания водоема.

Водоем — охладитель Курской АЭС, именуемый иногда также Курчатовским водохранилищем, представляет собой искусственное наливное водохранилище, созданное в долине р. Сейм в месте впадения в нее р. Дичня и включающее участки ее старых русел. Река Сейм, служащая основным источником подпитки системы водоснабжения Курской АЭС, является левым притоком р. Десны и протекает через промышленные зоны и районы с интенсивным сельским хозяйством, поэтому ее воды в отдельные периоды могут быть сильно загрязнены [2].

В настоящий момент площадь водоема составляет 22 км², объем более 30 млн м³. Средняя глубина составляет приблизительно 4 метра. Водоем имеет форму вытянутого кольца, поэтому подавляющая часть объема его вод постоянно вовлечена в циркуляционное течение и периодически проходит через систему охлаждения АЭС.

Курчатовское водохранилище является водоемом многоцелевого пользования. Подогретые воды, сбрасываемые из системы охлаждения, используются для садкового разведения рыбы и в тепличном хозяйстве. Однако садковое разведение рыбы приводит к сильному загрязнению водной среды органическими веществами, содержащимися в фекалиях рыб и частицах недоиспользованного корма [2; 6].

Непосредственно на берегу водохранилища расположен относительно крупный город Курчатова (население около 50 тысяч человек), поверхностный сток с которого через систему ливневой канализации попадает в водоем-охладитель. В летнее время берега водоема-охладителя интенсивно используются местным населением в рекреационных целях. На городской территории, прилегающей к водоему-охладителю, создана зона отдыха, стадионы, яхт-клуб и оборудован ряд пляжей.

Начиная с 2000 года в этом водоеме стало наблюдаться бурное зарастание ряда прибрежных участков. Интенсивное зарастание водоемов свидетельствует об их эвтрофировании и разрушении структурно-функциональной организации водной экосистемы. Сильное эвтрофирование в большинстве случаев приводит к утрате рыбохозяйственного, водохозяйственного и рекреационного потенциалов водоема. Вспышка развития водной растительности не только обусловила серьезные проблемы в работе системы техводоснабжения АЭС, но и вызвала интенсивное вторичное загрязнение ряда участков акватории, сопровождающееся почти полной потерей их рекреационного потенциала и массовой гибелью гидробионтов. В частности, городской пляж г. Курчатова, в летнее время служивший местом массового отдыха, всего за 2 года превратился в заболоченный участок, малопригодный для купания.

Главной особенностью периода 1999—2003 гг. были весьма быстрые изменения структуры и пространственного распределения водных фитоценозов, обусловленные процессами эвтрофирования водоема-охладителя. Наблюдалась принципиальная перестройка большинства ранее существовавших фитоценозов, причем эти процессы происходили после достаточно длительного периода их стабильного состояния [5]. В определенной мере наблюдавшиеся явления можно рассматривать как вторичную антроподинамическую сукцессию, поскольку причиной данных процессов явилось антропогенное эвтрофирование Курчатовского водохра-

нилища. Об этом свидетельствовала заметная интенсификация зарастания водоема-охладителя видами, массовое развитие которых характерно именно для эвтрофируемых водоемов. Например, в течение 2-х лет площадь формаций с доминированием роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum L.*) многократно возросла. Одновидовые и смешанные фитоценозы роголистника стали как занимать пустовавшие участки дна, так и развиваться в местах, где уже существовали фитоценозы других формаций. Ранее роголистник встречался в водоеме-охладителе довольно часто, но в большинстве обследованных участков значительных площадей не занимал. В июле—августе 2002 г. было отмечено бурное развитие роголистника на ряде участков, где его количество, по сравнению с предшествовавшими годами, увеличилось в несколько раз. На мелководье роголистник образовал отдельные скопления с проективным покрытием 100% и биомассой до 12 кг/м². Сплошная масса растений здесь заполняла все пространство от дна до поверхности. Такие скопления отмечены в августе 2002 г. вдоль берега, прилегающего к территории г. Курчатова, в районе Тарасовского затона и рыбхоза. На большинстве этих участков роголистник превратился в доминирующий вид. Следует отметить, что при отсутствии интенсивного эвтрофирования заросли роголистника, как правило, быстро исчезают. Подобное явление было описано в Десногорском водохранилище: в первые годы после его заполнения в условиях интенсивного эвтрофирования, вызванного разложением затопленных почв, заросли роголистника в течение 2—3 лет заполнили все мелководья. В последующий период при снижении эвтрофикационной нагрузки эти фитоценозы также быстро исчезли [5].

Другим, не менее характерным признаком эвтрофирования вод является весьма бурное развитие зеленых нитчатых водорослей в прибрежной зоне. Местами их биомасса в середине лета стала достигать нескольких кг/м². Особенно заметно эти явления наблюдались на участках акватории, прилегающей к территории городской застройки, а также в районе Тарасовского затона, в котором вода в конце июня 2002 г. была покрыта сплошной массой нитчаток, образовавших полосу шириной до 200 м и длиной более 1 км.

Вместе с тем в этот же период отмечалось весьма слабое развитие погруженной растительности на обогреваемых участках акватории. Так, в районе сброса подогретых вод погруженная растительность уже в конце июня 2002 и 2003 гг. была представлена лишь отдельными экземплярами. По-видимому, основным фактором отсутствия зарослей погруженной растительности в подогреваемой зоне водоема — охладителя КАЭС являлось периодическое экстремальное повышение температуры в теплое время года. Так, по нашим наблюдениям, в июле 2002 г. и в самом конце мая 2003 г. температура сбросных вод составляла 40 °С. На станциях, расположенных по ходу циркуляционного течения, температура в это время достигала 38 °С. Отмечалась массовая гибель погруженных растений, их побурение, дефолиация, опускание стеблей на дно.

Другой возможной причиной относительно слабого развития растительности в подогреваемой зоне (даже на тех участках, где повышение температуры не но-

сит столь катастрофичного характера) является ее выедание растительными рыбами (белым амуром и толстолобиками), температурные условия для которых здесь более благоприятны [1].

Однако на большинстве остальных участков акватории КАЭС в 2002—2003 гг. наблюдалось интенсивное зарастание прибрежной зоны, сопровождающееся обильным развитием зеленых нитчаток и существенной перестройкой водных фитоценозов.

Формация тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) относится к числу наиболее распространенных. Летом 2002 г. на участках, где наблюдалось интенсивное эвтрофирование вод (например, район городского пляжа), отмечено образование новой ассоциации тростника с зелеными нитчатками водорослями. Эта ассоциация существует в виде отдельных куртин тростника диаметром в несколько метров или узких полос. Почти все пространство между стеблями заполняется нитчатками, в связи с чем проективное покрытие достигает 100%, а биомасса иногда превышает 10 кг сырого веса/м², что на несколько кг больше средней биомассы одноярусных тростниковых ассоциаций. Тростниковые сообщества образуют полосу шириной до 30 м вдоль большей части береговой линии водоема-охладителя.

Формация рдеста гребенчатого (*Potamogeton pectinatus* L.) в настоящее время продолжает оставаться наиболее распространенной формацией высшей водной растительности. Однако на многих участках прибрежной зоны наблюдалось подавление рдеста гребенчатого зелеными нитчатками. Причем данный процесс идет несколькими путями. Во-первых, наблюдается обрастание листьев и стеблей рдестов эпифитными нитчатками, преимущественно из порядка *Cladophorales*. У сильно обросших экземпляров происходит побурение и отмирание покрытых нитчатками стеблей. Начиная с мая на многих мелководных участках образуется покров из всплывших к поверхности зеленых водорослей. В их составе уже, как правило, преобладают не кладофоровые, а зигнемовые водоросли. Часто нитчатки покрывают не только поверхность воды, но и захватывают значительную часть водной толщи, образуют тяжи от дна до поверхности. Оказавшиеся под этим слоем погруженные формы высшей растительности, в том числе и рдест гребенчатый, начинают отмирать.

Аналогичные изменения наблюдались в 2004 г. и в структуре разнотравных тростниковых ассоциаций. Развитие мезофитона угнетающе действовало почти на все формы присутствовавшей в тростниковых зарослях погруженной растительности: *Potamogeton perfoliatus*, *P. crispus*, *P. lucens*, уруть колосистую (*Myriophyllum spicatum*). В зоне интенсивного развития зеленых нитчаток представители этих видов летом 2004 г. либо не встречались совсем, либо сохранялись лишь отдельные особи, находившиеся в плохом физиологическом состоянии. Особенно заметно эти явления наблюдались на участках, прилегающих к территории г. Курчатова и в Тарасовском логе. Отмечалось и подавление ранее часто встречавшихся здесь плавающих макрофитов и высших растений с плавающими листьями, прежде всего горца земноводного (*Polygonum amphibium* f. *aquaticum*) и рдеста

плавающего (*Potamogeton natans* L.). Таким образом, в настоящее время на обширных участках прибрежной зоны происходит преобразование разнотравных тростниковых ассоциаций в ассоциацию «тростник — зеленые нитчатки». Наблюдается катастрофическое изменение фитоценоза, сопровождающееся гибелью ранее существовавших доминантов.

Формация роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.).

Данный вид ранее встречался в водоеме-охладителе довольно часто, но в 1999—2002 гг. отдельных значительных по своей протяженности массивов он не образовывал. В большинстве случаев относительно небольшие по площади фитоценозы с доминированием роголистника перемежались с растительными сообществами, где роголистник выступал в роли субдоминанта или компонента фитоценоза.

В последние годы в результате интенсивного эвтрофирования водоема-охладителя площади, занимаемые формацией роголистника, значительно увеличились. На участке рыбозаградительной дамбы полоса плотных зарослей *Ceratophyllum demersum* пересекает линию основной циркуляции вод. Именно данный вид макрофитов, пожалуй, наиболее часто является причиной образования биологических помех в водоемах умеренной зоны. Наличие зарослей роголистника непосредственно на пути движения вод к водозабору, по-видимому, обуславливает массовое попадание фрагментов растений в систему техводоснабжения АЭС. На многих мелководных участках этот вид образовал плотные одновидовые ассоциации с проективным покрытием 100% и фитомассой около 10 кг сырого веса/м².

Роголистник хорошо развивается в сильно эвтрофированных водоемах, иногда заполняя всю их водную толщу [4]. Другие виды водной растительности (например, рдест пронзеннолистный и рдест гребенчатый) при этом исчезают. Поэтому можно предположить, что в дальнейшем на этих участках также произойдет полное вытеснение рдестов.

Таким образом, в результате интенсивного эвтрофирования разнообразие фитоценозов погруженной высшей водной растительности в последние годы существенно сократилось. Если в начале 90-х годов XX века здесь были описаны 6 формаций погруженной растительности, то в настоящее время их осталось только две: формация рдеста гребенчатого и формация роголистника погруженного. Причем площади, занятые первой из них, сокращаются вследствие вытеснения рдеста гребенчатого на ряде участков роголистником и зелеными нитчатками.

На сегодняшний день можно считать, что в водоеме-охладителе существует, по крайней мере, два типа фитоценозов зеленых нитчатых водорослей.

1. В обрастаниях подводных предметов, погруженной растительности, а также на участках открытого грунта преобладают кладофоровые (порядок *Cladophorales*). Наиболее часто встречались: *Cladophora glomerata* (L.) Kutz.; *Cladophora fracta* (Vahl.) Kutz.; *Cladophora crispata* (Roth.) Kutz. В некоторых случаях в состав доминантов входили также представители улотриксковых водорослей (порядок *Ulotrichales*): *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link и *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr.) Kutz.

При массовом развитии этих водорослей в воде образуются пучки нитей светло-зеленого и зеленого цвета, постепенно сплошным ковром толщиной 20—50 см

покрывающим дно и поверхность погруженных предметов. Биомасса кладофоровых в чистых зарослях при 100%-м покрытии может превышать 2 кг сырого веса/м². Обрастание нитями кладофоровых погруженных форм высшей водной растительности (рдесты, уруть, режа — роголистник) значительно ухудшает состояние последних. При волнении небольшие фрагменты скоплений кладофоровых и улотриксковых водорослей могут отрываться и подхватываться течением. Таким образом, развитие этих фитоценозов может привести к возникновению биологических помех в системе технического водоснабжения. Развитие кладофоровых может отрицательно сказаться и на рыбохозяйственном потенциале водоема: в плотном ковре нитей этих водорослей запутывается и гибнет молодь рыб.

2. На затишных участках (например, в полосе воды за внутренней стороной зарослей тростника), а также между зарослями погруженных форм высшей водной растительности развивается второй тип фитоценозов, в котором доминируют зигнемовые водоросли (порядок *Zygnematales*), главным образом из рода *Spirogyra* (наиболее часто встречалась *Spirogyra crassa* Kutz.) и эдогониевые водоросли (порядок *Oedogoniales*), наиболее массовый вид — *Oedogonium capilliforme* Kutz.

Развитие этого сообщества начинается с образования небольших дерновинок, состоящих из переплетения нитей, свободно лежащих на дне или слабо прикрепленных к частицам грунта. Наиболее часто в водоеме-охладителе КАЭС скопления зигнемовых возникают на песчаном грунте в прогалинах между зарослями погруженной растительности. При наличии благоприятных условий из водорослевых нитей образуется сплошная пленка. В этой пленке происходит накопление пузырей кислорода, выделяемого водорослями, и в определенный момент это плотное образование всплывает к поверхности. Сами по себе подобные скопления довольно прочны, но их прикрепление к субстрату относительно слабое. Поэтому, в отличие от кладофоровых сообществ, зигнемовые водоросли отрываются большими фрагментами, которые также могут попасть в систему технического водоснабжения. В составе описанных выше образований в значительном количестве могут также присутствовать кладофоровые, улотриксковые и эдогониевые водоросли. От «кладофоровых» сообществ их отличает главным образом более слабая связь с субстратом.

Проективное покрытие на участках, где развиваются зигнемовые водоросли, обычно составляет 100%, а фитомасса достигает 10 кг сырого веса на м².

Непременным условием развития нитчатых водорослей является интенсивное эвтрофирование вод в данной точке акватории: крупные скопления зигнемовых в 2003—2005 гг. были отмечены только вдоль берегов Курчатовского водохранилища, либо прилегающих к территории г. Курчатов, либо подверженных интенсивной рекреационной нагрузке. Большая площадь занята водорослями и в районе Тарасовского лога, куда периодически сбрасываются стоки с очистных сооружений. Кроме того, на берегу впадающего в водоем-охладитель ручья существует обширная свалка, постоянно пополняемая отбросами из расположенных на склоне оврага многочисленных гаражей. Напротив, на участках прибрежной зоны, где эвтрофирования не происходит (например, прибрежная зона струенаправляющей

дамбы), образования значительных массивов водорослевых скоплений пока не наблюдается. Однако в дальнейшем, благодаря интенсивному внутреннему водообмену (точнее, внутренней техногенной проточности), подобные процессы могут распространиться и на эти участки.

Сравнение результатов, полученных в 2001—2004 гг., свидетельствует о том, что площади скоплений зеленых нитчатых водорослей постепенно увеличиваются, захватывая все новые участки. Причем если раньше полоса нитчаток располагалась исключительно в прибрежной зоне, то в летний период 2004 г. на некоторых участках были отмечены «языки» водорослей, вдававшиеся в водоем на несколько десятков метров. В двух небольших заливах, прилегающих к городской территории, зелеными водорослями были покрыты не только их берега, но центральные части. Если процесс зарастания будет идти теми же темпами, то в течение нескольких лет на месте этих заливов могут возникнуть прибрежные болота, поверхность которых будет постоянно покрыта сплывиной. Аналогичные явления отмечены и на других участках, зарастание которых сопровождается заболачиванием прибрежной зоны. Очевидно, что процессы заболачивания и образования сплавин в прибрежной зоне водоема-охладителя, наблюдающиеся на протяжении последних лет, обусловлены не только развитием нитчатых водорослей. Однако вклад данной группы растительности, несомненно, весьма значителен.

В целом, результаты, полученные при исследовании развития водной растительности в водоеме — охладителе КАЭС, позволяют сделать следующие выводы.

1. На современном этапе происходит интенсивное зарастание прибрежной зоны водоема-охладителя. Причиной является антропогенное эвтрофирование.

2. Характер распространения массивов зеленых нитчатых водорослей неопровержимо свидетельствует о том, что основным источником эвтрофирования является загрязнение водоема с территории г. Курчатова, неорганизованное использование прибрежной зоны и сброс стоков по ручью в Тарасовском логе.

3. Зарастание водоема — охладителя КАЭС в условиях его интенсивного эвтрофирования сопровождается снижением разнообразия его фитоценозов.

4. В последние годы наблюдается значительное увеличение площади участков, занятых зарослями роголистника и зеленых нитчатых водорослей. Эти водные растения и являются главным источником биологических помех в системе водоснабжения АЭС.

5. Дальнейшее эвтрофирование водоема-охладителя приведет к образованию массивов нитчатых водорослей и в частях акватории, удаленных от основных источников эвтрофикации.

6. В небольших заливах, прилегающих к городской территории, наблюдается зарастание не только прибрежной зоны, но центральных частей, что является явным признаком заболачивания этих участков. Образование небольших заболоченных зон отмечено и в некоторых других прибрежных частях водоема.

Забор воды в системы промышленного водоснабжения из водного объекта, находящегося под воздействием сильного антропогенного эвтрофирования, может стать причиной возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера вследствие интенсивного образования биологических помех.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Безносков В.Н., Горюнова С.В., Кацман Е.А., Кучкина М.А., Суздалева А.Л.* Особенности эвтрофирования водоема — охладителя АЭС // Сб. научных трудов «Актуальные проблемы экологии и природопользования». — М.: Изд-во РУДН, 2004. — Вып. 5. — Ч. 2. — С. 174—184.
- [2] *Бондаренко Т.А., Васенко А.Г., Игнатенко Л.Г., Лунгу М.Л., Старко Н.В.* Экологические аспекты функционирования водохозяйственного комплекса при Курской АЭС // Экология регионов атомных станций. — М.: ГНИПКИИ Атомэнергопроект, 1994. — Вып. 2. — С. 141—147.
- [3] *Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л., Безносков В.Н.* Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах // Вестник РУДН. Серия «Сельскохозяйственные науки. Агрономия». — 2002. — № 8. — С. 10—16.
- [4] *Катанская В.М.* Растительность водохранилищ — охладителей тепловых электростанций Советского Союза. — Л.: Наука, 1979.
- [5] *Кацман Е.А.* Развитие высшей водной растительности в водоемах-охладителях АЭС: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: МГУ, 2004.
- [6] *Суздалева А.Л.* Особенности загрязнения водоемов — охладителей тепловых и атомных электростанций / Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. — М.: МГУП, 1999. — С. 61—62.

ANTHROPOGENIC EUTROPHICATION OF ATOMIC POWER STATION'S COOLING WATER RESERVOIR AS A POSSIBLE CAUSE OF TECHNOGENIC EMERGENCY

S.V. Goryunova

Department of life safety
Moscow City Teachers' Training University
2nd Sel'skokhozyaystvenny Proezd, 4, Moscow, Russia, 129226

Change of structure and spatial distribution of water plant association caused by eutrophication processes of Kursk Atomic power station's cooling water reservoir is studied. Further eutrophication can lead to technogenic emergency due to extensive development of biological disturbances.

Key words: eutrophication, biological disturbances, atomic power station's cooling water reservoir, phytocenosis, filamentous alga, extraordinary situation, technogenic emergency.