

УДК 581.526.3(621.311.22:621.311.25)(285.3)(477)

Т. Н. Дьяченко

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

**МАКРОФИТЫ В ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ
АТОМНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ УКРАИНЫ**

Акцентируется внимание на роли макрофитов в природно-техногенных экосистемах водоемов-охладителей, на особенностях взаимовлияния растений и систем водоснабжения станции. Рассматривается степень изученности макрофитов, указывается на необходимость мониторинга и контроля их состояния в водоемах-охладителях Украины.

Ключевые слова: макрофиты, водоемы-охладители, биологические помехи, экологический мониторинг.

Согласно обновленной Энергетической стратегии Украины, потребление электроэнергии к 2030 г. возрастет почти на 190 млрд. кВт·ч/год. Поскольку ресурсы крупной гидроэнергетики в стране практически исчерпаны, а выработка энергии из альтернативных источников (по прогнозам НАН Украины) не превысит 10 % общего ее производства, основная нагрузка ляжет на тепловую и ядерную энергетику [4]. Для увеличения производства электроэнергии потребуются строительство новых станций или введение в эксплуатацию дополнительных энергоблоков на уже имеющихся АЭС.

Общая особенность эксплуатации тепловых и ядерных энергоблоков — потребность в значительных объемах воды для их охлаждения. В настоящее время эта потребность удовлетворяется, главным образом, за счет создания водоемов-охладителей (ВО). Последние можно рассматривать как природно-техногенные системы. С одной стороны, они являются определенными элементами ландшафта и подвергаются воздействию тех же факторов, что и остальные водные объекты региона. С другой стороны, ВО испытывают значительный антропогенный пресс, усиливающийся при комплексном их использовании. Биота водоемов не только находится под действием природных и антропогенных факторов, но и, достигнув определенного развития, сама начинает создавать биопомехи в работе систем водоснабжения (обрастание различных поверхностей, засорение загрязняющих решеток насосных станций и т. д.).

Макрофиты и их роль в водных экосистемах. Термин «водные макрофиты» в русскоязычной литературе уточнен И. М. Распоповым [16]: это водные растения, хорошо различимые без применения увеличительных приборов. В пресных водах к ним относятся высшие водные растения (т. е. представители отделов мохообразных, плаунообразных, хвощеобразных, папоротникообразных и покрытосеменных), харовые, а также макроскопические красные, желто-зеленые сифоновые и зеленые нитчатые водоросли [14]. Среди макрофитов выделяют

настоящие водные растения (гидрофиты) и растения воздушно-водные (гелофиты).

Гидрофиты подразделяют на макроскопические водоросли и водные мхи; гидрофиты, плавающие в толще воды (например, *Ceratophyllum*, *Lemna trisulca*, *Utricularia*); укорененные погруженные гидрофиты (*Myriophyllum*, *Najas*, *Vallisneria* и др.); укорененные гидрофиты с плавающими листьями (*Nuphar*, *Nymphaea*, *Nymphoides*, *Potamogeton nodosus* и др.); свободноплавающие гидрофиты (*Lemna minor*, *Salvinia*, *Spirodela* и др.).

Гелофиты бывают низкотравные, средняя высота которых меньше 1 м (*Butomus*, *Sagittaria*, *Sparganium erectum* и др.), и высокотравные — со средней высотой 1 м и более (*Typha*, *Phragmites*, *Scirpus* и др.).

Макрофиты — один из основных компонентов биоты большинства экосистем мелководных акваторий, играющий важную роль в их функционировании. В результате процессов жизнедеятельности растения создают первичную продукцию, участвуют в процессах самоочищения и самозагрязнения водных объектов, формируя качество воды. Заросли, расположенные в прибрежной зоне, не только укрепляют берега, но и играют роль механических фильтров, перехватывая и задерживая биогенные вещества и взвешенные частицы, поступающие с водосбора. Большая часть этих частиц накапливается на поверхностях растений и создает условия для заселения сообществами эпифитона. Эпифитные группировки водорослей (сюда могут входить как микро-, так и макроводоросли) являются важными продуцентами кислорода, а бактериоэпифитону принадлежит основная роль в деструкции загрязнений органической природы. Согласно [5], бактериоэпифитон осуществляет до 70 % общей деструкции органических веществ. Растения в данном случае не только служат субстратом для обрастателей, они выделяют вещества-стимуляторы и поглощают ингибиторы роста бактерий, а также усваивают промежуточные продукты распада.

Макрофиты, особенно настоящие водные, насыщают воду кислородом, который используется как на дыхание гидробионтов, так и на окисление содержащихся в ней химических веществ. Выделение кислорода погруженными растениями в поверхностных слоях воды в 2—3 раза превышает его потребление. Также погруженные растения играют важную роль в биогенной декарбонизации водоемов. В ходе фотосинтеза повышается рН, нарушается карбонатное равновесие и на поверхности растений происходит осаждение кальция в виде нерастворимых карбонатов, что способствует умягчению воды.

В процессе питания растения поглощают из воды и донных отложений, накапливают, утилизируют и трансформируют биогенные вещества, микроэлементы, а вместе с ними и разные токсиканты, соли тяжелых металлов, радиоактивные изотопы, фенолы, высокомолекулярные органические вещества и пр. Коэффициенты накопления различных веществ разными видами значительно отличаются. Этот факт можно использовать при подборе растений в искусственных биооплате для доочистки поступающих в ВО стоков.

Помимо непосредственного участия в формировании качества воды, макрофиты играют в водных экосистемах эдификаторную роль, создавая биогеоценологическую среду для связанных с ними гидробионтов. Биологически активные вещества, выделяемые высшими водными растениями (особенно манником, айром, ежеголовником, кубышкой), обладают высоким альгицидным и антибактериальным действием. Поэтому состав флоры микроводорослей и фауны беспозвоночных животных на заросших и свободных от зарослей участках существенно различается.

Заросли высших водных растений (ВВР) служат убежищами, местами нагула и нереста для многих видов рыб. Высшие растения, макроскопические водоросли и фитопланктон — конкуренты в борьбе за питательные вещества, поэтому развитие высших растений может сдерживать развитие водорослей, в том числе нитчатых, создающих серьезные помехи в работе ТЭС и АЭС.

Влияние техногенных факторов на состояние растений ВО. В процессе работы тепловых и ядерных реакторов температура воды в ВО несколько повышается, что особенно заметно в районе сбросных каналов. Температурный максимум, при котором встречаются высшие водные растения, лежит в интервале 30—40 °С [2]. Прогревание воды до 28—30 °С часто стимулирует процессы вегетативного роста (могут увеличиться площади зарослей), однако не всегда приводит к росту растительной продукции, поскольку вследствие интенсивного дыхания растения накапливают меньшую фитомассу.

Наиболее чувствительными физиологическими показателями температурных повреждений растений являются фотосинтез и дыхание [1]. Опытным путем установлено, что разница пороговых температур для различных видов растений незначительна. Так, теплоустойчивость, проявляющаяся на цитологическом уровне, для роголистника темно-зеленого составляет 43 °С, для рдестов гребенчатого и пронзеннолистного — 39,0 и 39,5, элодеи канадской — 40, а водокраса — 44 °С. Однако в природе растения таких температур, как правило, не выдерживают. Например, в ВО Литовской ГРЭС [13] повышение средней температуры воды с 18 до 28 °С на большинство видов водных растений оказало негативное воздействие (из 59 видов осталось 26), особенно пострадали растения с плавающими листьями и харовые водоросли. *Vallisneria spiralis*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton perfoliatus*, по данным В. М. Катанской [12], наоборот, повышение температуры переносят хорошо.

Повышение температуры воды может оказывать влияние и на глубину распространения макрофитов, но только в случае проникновения теплых вод на нижние горизонты, где процессы фотосинтеза лимитируются слабым освещением [3]. В поверхностных, достаточно освещенных слоях умеренно высокие температуры способствует усилению общего уровня метаболизма.

Из сказанного следует, что дополнительное прогревание водоема изменяет участие разных видов в его зарастании. В первую очередь угнетаются харовые водоросли, которые могут и отмереть. Преобладающие условия для развития получают *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton perfoliatus*, *P. pectinatus*, *P. lucens*, *Elodea canadensis*, возможно, и *Ceratophyllum demersum*. При занесении растительных зачатков здесь могут развиваться и виды, характерные для более южных регионов Украины, — *Vallisneria spiralis*, *Salvinia natans*, *Trapa natans*.

Воздействие повышенных температур вызывает также более раннее, в сезонном аспекте, прогревание воды и донных отложений, что приводит к смещению фенологических фаз в развитии макрофитов и сказывается на протекании всех биологических процессов в водоеме. Согласно [3], ускоренное развитие и раннее отмирание наблюдаются только у гидрофитов, на гелофиты нагревание воды влияет мало, разве что ускоряет накопление фитомассы видами, растущими в воде.

Состояние изученности макрофитов ВО тепловых электростанций Украины. Макрофитная растительность ВО тепловых станций изучена недостаточно. В литературе встречаются сведения, фрагментарно описывающие растительность некоторых ВО в конце 60-х — начале 70-х годов прошлого века [8, 11], часть из них посвящена борьбе

с зарастанием [19—21]. Наиболее подробно растительность ВО описывается в монографии В. М. Катанской [12], где анализируются литературные данные почти за 50-летний срок изучения ВО тепловых электростанций Советского Союза и материалы собственных исследований автора, также проведенных в первой половине 70-х годов XX века. К сожалению, в данной монографии описываются лишь пять (охладители Змиевской, Бурштынской, Кураховской, Добротворской и Мирановской ТЭС) из 19 ВО тепловых электростанций Украины [17], причем в трех из пяти (Бурштынской, Добротворской, Змиевской ТЭС) незадолго до обследования проводилась очистка от растительности.

Современная работа С. М. Голубничей [6] посвящена флоре макрофитов ВО Кураховской и Зуевской ТЭС в Донецкой области и ее всестороннему анализу. Однако ни характер зарастания, ни даже список видов в статье не приводится.

Согласно В. М. Катанской, флора ВО близка к флоре естественных водоемов. Во вновь созданных ВО ее формирование осуществляется за счет растительных зачатков затопленных территорий и заносных видов. Дальнейшее развитие флоры и формирование растительного покрова определяются особенностями водоема (зональными факторами, условиями биотопа, степенью и характером антропогенной нагрузки). От этого зависят состав видов, проективное покрытие, густота травостоя и фитомасса растений. Поэтому растительность ВО, расположенных в одной зоне, и даже растительность в разных частях одного и того же водоема могут различаться. Географический анализ флористических списков ВО, расположенных в лесной, лесостепной и степной зонах, свидетельствует об их сходстве, однако степень распространения видов неодинакова. Например, из погруженных растений в ВО лесной зоны почти постоянно встречается *Ceratophyllum demersum*, в лесостепи и степи он отмечается значительно реже; во всех зонах одинаково хорошо развита *Myriophyllum spicatum*, часты тут и *Potamogeton lucens*, *P. perfoliatus*, *P. pectinatus*, причем в лесостепи и степи они развиты лучше, чем в лесной зоне. Распространена в них и *Elodea canadensis*, а *Potamogeton crispus*, наоборот, — массовый вид для степных ВО, чего нельзя сказать про лесостепную и лесную зоны. Из воздушно-водных растений в ВО всех зон встречаются *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*, *Schoenoplectus lacustris*. В лесной и лесостепной зонах обычны *Butomus umbellatus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Sparganium erectum*, в степи они отмечены значительно реже. В ВО Украины преобладают виды, имеющие космополитный, голарктический и евразийский ареалы. С увеличением прозрачности воды количество

погруженных видов возрастает. В растительном покрове доминируют воздушно-водная и погруженная растительность. Сообщества, в основном, просто устроены, одноярусные, маловидовые [12].

Макрофиты водоемов-охладителей атомных электростанций Украины. В настоящее время в Украине в эксплуатации находятся 15 ядерных реакторов [18] на четырех атомных станциях — Ровенской, Южно-Украинской, Запорожской, Хмельницкой. На трех из них (кроме Ровенской) для охлаждения реакторов используют воду ВО. Чернобыльская АЭС выведена из эксплуатации в 2000 году и в настоящее время ее ВО готовят к спуску.

На водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС специальные гидробиологические исследования не проводились. Можно отметить, что характерной особенностью этого водоема является резкое увеличение глубины от берега, поскольку создан он в глубокой балке. Берега по всему периметру укреплены щебнем. Мелководья составляют около 17 % площади водного зеркала, т. е. 1,1 км². При достаточной прозрачности и не слишком высокой температуре воды эти площади, особенно в верхней части водоема, могли бы зарастать. В водоеме отмечены *Phragmites australis* и нитчатые водоросли.

Водоем-охладитель Запорожской АЭС достаточно глубок, площадь мелководий невелика, берега по периметру отсыпаны крупным камнем. Водоем характеризуется повышенной температурой воды в течение всего года. Растительность представлена тростниковыми зарослями куртинного сложения и большой плотности, что позволяет им противостоять разрушающему действию волн. Распространены здесь и нитчатые водоросли [15].

Растительность ВО Чернобыльской АЭС изучалась в 1989 [7], 2003 [10] и 2013 годах в связи с предполагаемым его спуском. Водоем-охладитель условно поделен на три части — холодную, теплую и новую, заполненную в 1981 году. В донных отложениях ВО, особенно в первые годы после его создания, преобладали бедные питательными веществами пески. Поэтому зарастает он очень медленно. Спустя 8 лет после окончательного заполнения в нем было отмечено всего пять видов ВВР (табл. 1).

Заросшие площади не превышали 1 га. Исследования, проведенные в 2003 году, показали, что количество видов возросло до 13. Участки с глубинами от 2,5 до 3,5—4,0 м занимали сообщества роголистника, урути колосистой и рдеста блестящего (в бывшей холодной части), на глубинах до 2 м преобладали группировки наяды морской и рдеста гребенчатого. Массово развивались зеленые нитчатые водоросли. В 2013 году в ВО

Таблица 1. Высшие водные растения ВО Чернобыльской и Хмельницкой АЭС

Экологическая группа, вид / ВО	Водоем-охладитель			
	ЧАЭС		ХАЭС	
	1989 г.	2003 г.	2013 г.	2010 г.
<i>Гелофиты высокотравные</i>				
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud — Тростник обыкновенный	+	+	+	+
<i>Typha angustifolia</i> L. — Рогоз узколистный	+	+	+	+
<i>T. latifolia</i> L. — Рогоз широколистный	+		+	+
<i>T. laxmannii</i> Lepech — Рогоз Лаксмана				
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla — Схеноплект озерный		+	+	+
<i>Гелофиты низкотравные</i>				
<i>Butomus umbellatus</i> L. — Сусак зонтичный	+	+	+	+
<i>Acorus calamus</i> L. — Аир обыкновенный			+	
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L. — Стрелолист стрелолистный				+
<i>Гидрофиты с плавающими листьями</i>				
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith — Кубышка желтая		+	+	
<i>Potamogeton gramineus</i> L. — Рдест злаколистный		+		
<i>P. x fluitans</i> Roth — Гибридный вид рдеста		+	+	
<i>Polygonum amphibium</i> L. — Горец земноводный				
<i>Гидрофиты свободноплавающие</i>				
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Shleid — Многокоренник обыкновенный			+	+
<i>Lemna minor</i> L. — Ряска маленькая				+
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L. — Водокрас обыкновенный			+	+
<i>Salvinia natans</i> L. — Сальвиния плавающая			+	
<i>Гидрофиты, плавающие в толще воды</i>				
<i>Lemna trisulca</i> L. — Ряска трехбороздчатая				+
<i>Ceratophyllum demersum</i> L. — Роголистник темно-зеленый		+	+	+
<i>Гидрофиты погруженные</i>				
<i>Elodea canadensis</i> Michx. — Элодея канадская				+
<i>Najas marina</i> L. — Наяда морская		+	+	+
<i>Caulinia minor</i> (All.) Coss. et Germ. — Каулиния малая			+	+
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L. — Рдест пронзеннолистный		+	+	+
<i>P. lucens</i> L. — Рдест блестящий		+		+
<i>P. pectinatus</i> L. — Рдест гребенчатый	+	+	+	+
<i>P. compressus</i> L. — Рдест сплюснутый				+
<i>P. berchtoldii</i> Fieb. — Рдест Берхтольда				+
<i>Myriophyllum spicatum</i> L. — Уруть колосистая		+	+	+
И т о г о	5	13	17	20

встречалось 17 видов высших водных растений; площади, занятые гелофитами, увеличились (произошло смыкание отдельных куртин тростника и продвижение его на большие глубины). Площади гидрофитов, наоборот, значительно сократились, в основном за счет исчезновения зарослей роголистника и рдеста блестящего в глубинном интервале 2,5—4,0 м. Причиной могут быть годовые флюктуации растительности, связанные с погодными условиями, или же уменьшение прозрачности воды. Запасы фитомассы и продукция нитчатых водорослей остались практически на уровне 2003 года, однако в осенний период они могут на порядок возрасти.

Гидробиологические исследования Хмельницкой АЭС проводились в 2007 году [9]. В водоеме обнаружено 18 видов высших водных растений, харовые и зеленые нитчатые водоросли. Последние массово развиваются в сообществах высших растений, отличаются высокими продукционными показателями и могут быть источником биопомех в работе энергоблока.

Водоем условно поделен на пять районов, различающихся глубинами, характером береговой линии, донными отложениями, тепловой нагрузкой. Заращение каждого района также отличается. Гелофиты занимают прибрежный пояс, выдвигаясь на плес до глубины 0,8 м. Преобладают ценозы тростника, рогозов узколистного и широколистного, схеноплекта озерного. Сообщества гидрофитов отмечаются на глубинах до 2,5 м, глубже встречались лишь отдельные побеги роголистника и урути. На глубине до 2 м распространены ценозы рдеста пронзеннолистного с элодеей канадской, урутью, рдестом гребенчатым или роголистником, от 2 до 2,5 м — сообщества рдеста блестящего. Обследование водоема в 2010 году показало, что в нем продолжают появляться новые виды: были найдены рогоз Лаксмана и наяда морская, характерные для солоноватых вод. Наяда уже сейчас встречается в подводном канале, а при массовом развитии может вызвать серьезные помехи в водоснабжении станции.

Директива 2000/60/ЕС [22] рассматривает макрофиты как один из показателей экологического состояния водного объекта. Поэтому для определения экологического потенциала техногенно измененного водоема и определения воздействия станции на окружающую среду следует проводить мониторинг видового состава, площади зарастания и проективного покрытия макрофитов как самого ВО, так и фонового водоема. Такой же мониторинг состояния макрофитов необходим для своевременного реагирования на массовое развитие того или иного вида и для предотвращения биопомех в работе систем водоснабжения станции.

Список использованной литературы

1. *Александров В. Д.* Клетка, макромолекула и температура / В. Д. Александров. — Л. : Наука, 1975. — С. 13—102.
2. *Библь Р.* Цитологические основы экологии растений / Р. Библь. — М. : Мир, 1965. — 463 с.
3. *Биочино А. А.* Действие подогретых вод ГРЭС на высшие водные растения / А. А. Биочино // Тр. ИБВВ. — 1985. — № 52 (055). — С. 3—12.
4. Розвиток ядерної енергетики в Україні / В. М. Васильченко, М. І. Константинов, Л. Л. Литвинський, О. А. Пуртов // Ядерна енергетика та довкілля. — 2013. — № 1. — С. 7—13.
5. Гидробиология каналов Украинской ССР. — К. : Наук. думка, 1990. — 240 с.
6. *Голубнича С. М.* Флора макрофітів водосховищ-охолоджувачів Донецької області / С. М. Голубнича // Укр. ботан. журн. — 2000. — Т. 57, № 1. — С. 45—47.
7. *Горбик В. П.* Растительность водоема-охладителя ЧАЭС / В. П. Горбик // Гидроэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС. — К. : Наук. думка, 1992. — С. 63—64.
8. *Гринь В. Г.* Донная альгофлора водоемов-охладителей Украины / В. Г. Гринь // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. — К., 1971. — С. 154—173.
9. *Дьяченко Т. Н.* Макрофиты водоема-охладителя Хмельницкой АЭС / Т. Н. Дьяченко // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 4, № 4. — С. 24—30.
10. *Дьяченко Т. Н.* Макрофиты водоема-охладителя Чернобыльской АЭС / Т. Н. Дьяченко, О. И. Навит // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 3. — С. 9—14.
11. *Журавель П. А.* К экологии теплолюбивых гидробионтов в водоемах с теплыми водами ГРЭС Днепропетровской области / П. А. Журавель // Влияние тепловых электростанций на гидролог. и биол. водоемов: Тез. докл. второго симпозиума, Борок, 26—28 авг. 1974 г. — Борок: [Б. и.], 1974. — С. 65—67.
12. *Катанская В. М.* Растительность водохранилищ-охладителей тепловых электростанций Советского Союза / В. М. Катанская. — Л. : Наука, 1979. — 278 с.
13. Влияние термического режима водоема на гидрофитоценозы / Д. П. Марчюленене, Р. Ф. Душаускене-Дуж, Э. Б. Мотенюнене и др. // Экология. — 1982. — № 2. — С. 49—55.
14. *Папченков В. Г.* О классификации растений водоемов и водотоков / В. Г. Папченков // Материалы школы по гидрботанике, Борок, 8—12 апр. 2003 г. — Рыбинск: ОАО Рыбинский дом печати, 2003. — С. 23—26.
15. Гидробиологические исследования техно-экосистемы Запорожской АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева, Л. П. Ярмошенко и др. // Гидробиол. журн. — 2013. — Т. 49, № 2. — С. 78—94.
16. *Распопов И. М.* О некоторых понятиях гидрботаники / И. М. Распопов // Гидробиол. журн. — 1978. — Т. 14, № 3. — С. 20—26.
17. *Романенко В. Д.* Основы гидроэкологии / В. Д. Романенко. — К. : Генеза, 2004. — 664 с.
18. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — К. : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. — 234 с.
19. *Шиманский Б. А.* Активные меры борьбы с зарастанием водохранилищ-охладителей / Б. А. Шиманский // Тр. ВГБО. — 1963. — Т. 4. — С. 74—114.
20. *Шиманский Б. А.* Высшая и низшая растительность в водохранилищах-охладителях ТЭС, предотвращение ее развития и меры борьбы / Б. А. Шиманский // Всесоюз. науч.-технич. совещ. : Тез. докл. — М. : [Б. и.], 1970. — С. 117—121.
21. *Шиманский Б. А.* Высшая водная растительность Кучурганского лимана до и после использования его в качестве водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС / Б. А. Шиманский // Гидротерм. и химико-гидробиол. исследования охладителей циркуляционной воды тепловых электростанций. — Л., 1971. — С. 214—242.
22. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 // Official Journal of the European Communities. — L. 327. — 22.12.2000. — 72 p.

Получено 20.11.2013