

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС С ПОМОЩЬЮ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ

© 2010 А.С. Жутов, С.М. Рогачева, Т.И. Губина

Саратовский государственный технический университет

Поступила в редакцию 01.10.2010

В данной работе изучена способность макрофитов элодеи (*Eloдея canadensis Rich. et Michx.*), ро­голистника (*Ceratophyllum demersum L.*) и эйхорнии (*Eichornia crassipes Mart.*) к деминерализации воды из водоема-охладителя Балаковской АЭС. Установлена высокая эффективность обессоливания воды с помощью эйхорнии.

Ключевые слова: макрофиты, фиторемедиация, деминерализация

Одной из основных проблем объектов атомной энергетики, использующих системы замкнутого водоснабжения для охлаждения, является повышение минерализации оборотной воды. Увеличение солесодержания обусловлено активным испарением воды с поверхности водоема из-за повышенной температуры и растворением подстилающих пород. Для обеспечения штатной работы энергообъектов необходимо или производить сброс воды с повышенной минерализацией в окружающие водные системы, или подпитывать водоем-охладитель водой из близлежащих источников, или применять для очистки водоема физико-химические методы. Сброс оборотной воды в естественные водоемы может привести к изменению их химического состава. Подпитка водой из других источников осуществима только в летнее время и ограничена периодами засухи. Существующие физико-химические методы слишком материально или энергозатратны и не могут использоваться для больших объемов воды. В последнее время для очистки водных систем применяются биологические методы, в частности фиторемедиация, в которой используется способность высших водных растений (ВВР) к накоплению, утилизации и трансформации веществ различной химической природы. В процессе фиторемедиации

токсичные вещества поглощаются растениями, инактивируются, после чего вместе с биомассой удаляются из водоемов.

Цель данной работы: изучить способность отдельных видов ВВР изменять солевой состав водоемов с повышенной минерализацией на примере водоема-охладителя Балаковской АЭС.

В качестве исследуемых растений нами были выбраны роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum L.*), элодея канадская (*Eloдея canadensis Rich. et Michx.*) и эйхорния (*Eichornia crassipes Mart.*). Анализ воды водоема-охладителя Балаковской АЭС (БалАЭС) показал, что содержание в нем солей составляет 1,2-1,3 г/л, что превышает фоновые показатели солесодержания в 4 раза. Повышенная минерализация ВО обусловлена присутствием сульфатов и хлоридов натрия, калия, кальция и магния. Чтобы установить возможность культивирования макрофитов в водоеме-охладителе, нами определялись пределы толерантности растений к солям, преобладающим в воде ВО БалАЭС. Исследования проводили на модельных растворах солей с известной концентрацией (0,5-2,5 г/л). В ходе эксперимента оценивались состояние каждого растения и изменение солесодержания в воде в зависимости от концентрации в растворах хлорида натрия, сульфата натрия и хлорида калия (рис. 1).

Показано, что роголистник и элодея в большей степени поглощают сульфат натрия, эйхорния – хлорид калия. Отмечено, что все растения интенсивно поглощают хлорид натрия до концентрации соли 1 г/л, после чего процесс обессоливания замедляется. По степени поглощения хлорида натрия растения можно расположить в следующей последовательности: эйхорния > роголистник > элодея. По

Жутов Александр Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Природная и техно­сферная безопасность». E-mail: zhutov@mail.ru

Рогачева Светлана Михайловна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Природная и техно­сферная безопасность». E-mail: smro13@land.ru

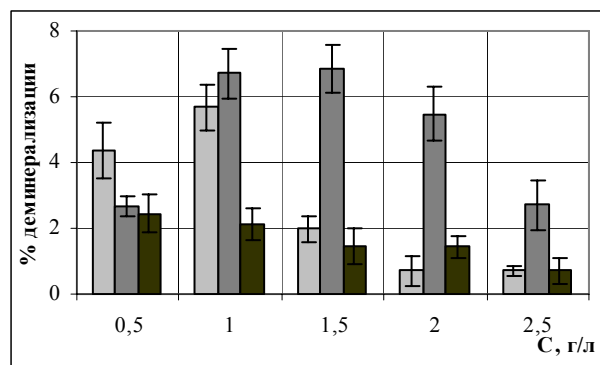
Губина Тамара Ивановна, доктор химических наук, профессор кафедры «Экология»

поглощению сульфата натрия при его концентрации до 1 г/л растения располагаются аналогичным образом: эйхорния > роголистник > элодея. При концентрации Na_2SO_4 больше 1 г/л отмечается высокая степень его поглощения роголистником и элодеей. По степени поглощения хлорида калия до концентрации 1 г/л растения можно расположить в последовательности: эйхорния > элодея > роголистник. При содержании KCl 1,5-2,5 г/л наблюдается увеличение интенсивности его поглощения роголистником. Концентрации солей выше 1 г/л угнетают рост и развитие растений, вероятно, увеличение интенсивности их поглощения при высоком содержании связано с усилением транспорта ионов в растительную клетку и вызываемым ими токсическим эффектом [1]. Однако содержание солей NaCl , Na_2SO_4 и KCl в ВО БалАЭС гораздо меньше указанных значений, что свидетельствует о возможности применения выбранных растений для деминерализации данного водоема.

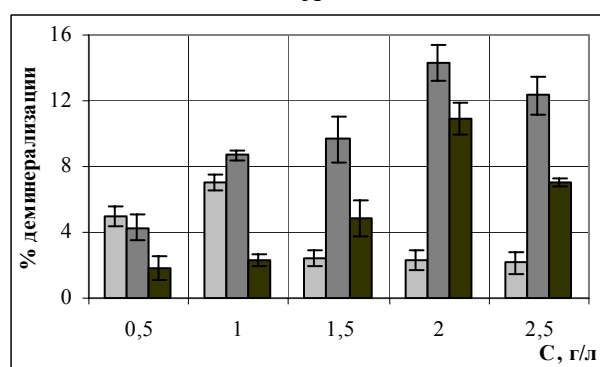
Известно, что температура водоемов и освещенность являются основными лимитирующими факторами для функционирования ВВР. Поэтому представляло интерес изучить влияние температуры и освещенности (длины светового дня) на способность ВВР к экстракции солей. Эксперименты проводились в воде из ВО БалАЭС. Содержание солей оценивалось по данным гравиметрического анализа. Влияние температуры на рост растений изучено при температурах 14°C, 20°C, 24°C при 10- и 12-часовом световом дне. Исключение составляла эйхорния, поскольку, являясь растением тропического климата, не способна переносить длительное понижение температуры. Исследования с эйхорнией проводились при температурах 20 и 24°C. Результаты экспериментов представлены на рис. 2. При 10-часовом световом дне максимальные значения деминерализации для всех растений отмечены при температуре 24°C: поглощение элодеей составляет 2,3%, роголистником – 2,1%, эйхорнией – 5,9%. Для всех видов ВВР прослеживается тенденция к увеличению степени обессоливания при повышении температуры. При удлинении светового дня до 12 часов поглощение солей макрофитами становится более интенсивным с сохранением тенденции к росту степени деминерализации с ростом температуры (рис. 2).

Наиболее значимые результаты в процессах деминерализации получены при использовании эйхорнии. Так, культивирование эйхорнии в течение 10 суток при 20°C приводит к снижению содержания солей на 6,3%; при температуре 24°C – на 11,5%, для элодеи в тех же условиях отмечается уменьшение солесодержания на 1,1 и 2,6% соответственно, для роголистника – на 0,8% и 2,9%. У всех растений в этих опытах не наблюдается морфологических изменений.

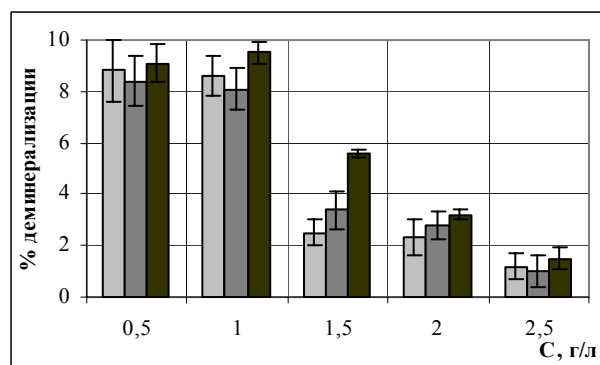
дерхания на 1,1 и 2,6% соответственно, для роголистника – на 0,8% и 2,9%. У всех растений в этих опытах не наблюдается морфологических изменений.



А



Б



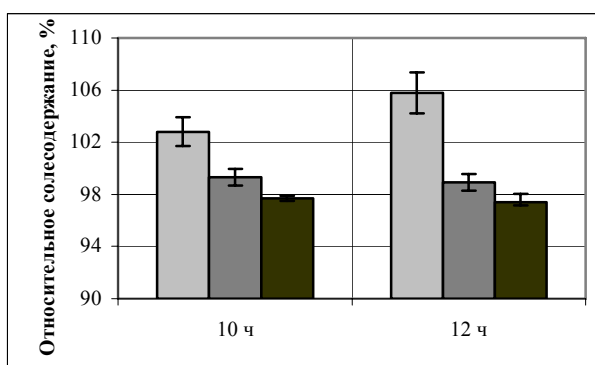
В

□ - NaCl ; ▒ - Na_2SO_4 ; ■ - KCl

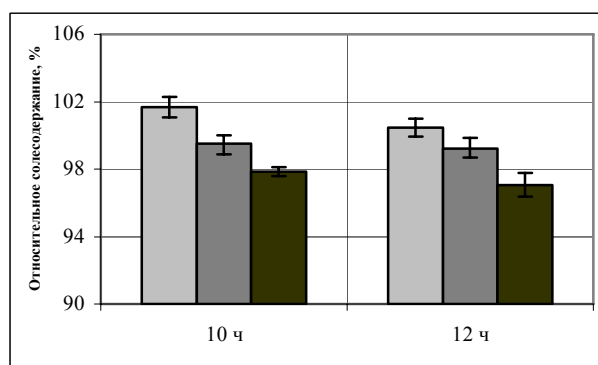
Рис. 1. Зависимость степени деминерализации (%) от концентрации и состава соли при культивировании элодеи (А), роголистника (Б) и эйхорнии (В)

При понижении температуры воды до 14°C нами обнаружен выброс поглощенных солей элодеей и роголистником, о чем свидетельствует повышение их концентрации в воде. Так, в экспериментах с элодеей при указанной температуре и продолжительности светового дня 10 ч увеличение солесодержания в воде составляет 2,8%, а при освещенности 12 ч – 5,8%. В опытах с роголистником аналогичные показатели составляют, соответственно, 1,7% и 0,46%. Для элодеи определено, что по-

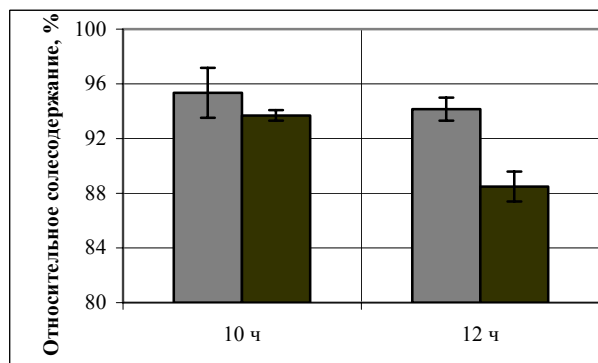
вышение солесодержания связано с увеличением концентрации ионов Mg^{2+} - на 56%, Ca^{2+} - на 12% и K^+ - на 4,6%, при этом содержание ионов Na^+ уменьшается на 3,3%. Выброс солей элодеей и роголистником при понижении температуры, возможно, связан с механизмами адаптации макрофитов к низкой температуре. Подобное явление для температур около $0^{\circ}C$ описано для наземных растений [1, 2]. Авторы объясняют его выделением свободной воды из клетки, что предотвращает образование кристаллов льда. При этом из растения выводятся не только вода, но и соли, которые находятся в составе клеточного сока.



А



Б



В

■ - $t=14^{\circ}C$; ■ - $t=20^{\circ}C$; ■ - $t=24^{\circ}C$

Рис. 2. Изменение солесодержания (в % от контроля) в воде ВО при инкубации элодеи (А), роголистника (Б), эйхорнии (В) в зависимости от температуры и длины светового дня (10 ч, 12 ч). Солесодержание в контрольном образце – 100 %

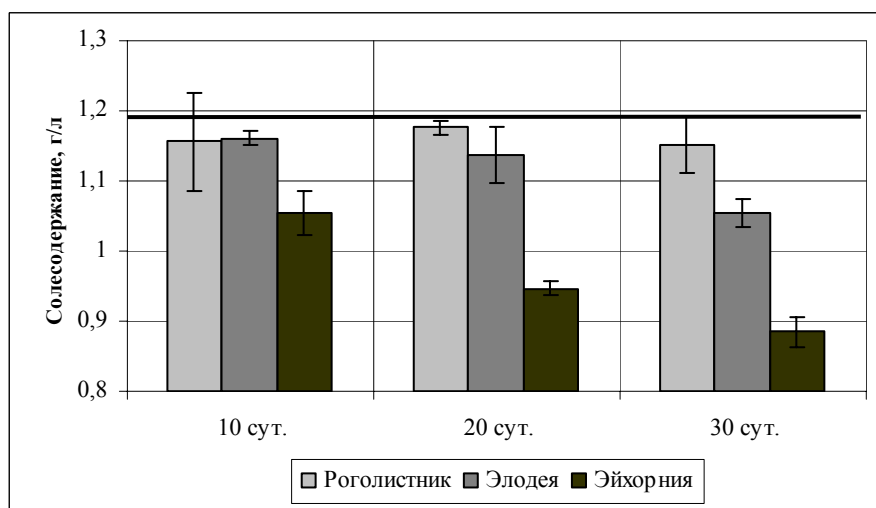


Рис. 3. Динамика изменения солесодержания в воде ВО при культивировании макрофитов. Жирная линия – начальное значение солесодержания в ВО

Исследована динамика процесса деминерализации. Для этого растения культивировали в воде из ВО в течение 30 суток при температуре $24^{\circ}C$ и 12-часовом световом дне, каждые 10 дней измеряя содержание солей (рис. 3). Отмечено стабильное уменьшение солесодержания в

водных образцах только при культивировании эйхорнии: на 30-е сутки оно составляло 25,8% от первоначального значения. Элодея и роголистник за то же время культивирования снижали содержание солей в воде ВО, соответственно, на 11,4% и 3,5%.

Изучена также динамика изменения концентрации ионов, определяющих засоленность ВО, а именно, ионов натрия, кальция и хлора. Анализ проведен с помощью ионоселективных электродов. Определено, что в пробах с эйхорнией концентрация всех определяемых ионов монотонно убывает во времени, причем скорость поглощения ионов в течение наблюдаемого периода различна. Наиболее интенсивно поглощение ионов протекает в первые 10 суток. В последующий период наблюдения скорость поглощения замедляется. Данный факт можно объяснить эффектом насыщения растительной клетки ионами солей и «включением» механизмов, предотвращающих токсическое действие солей на растение. Подобное явление описано для процесса фиторемедиации водоемов с высоким содержанием тяжелых металлов (Cd^{2+} , Cu^{2+}) [3]. Для *C. demersum* и *E. canadensis* значимого снижения концентрации исследуемых ионов не обнаружено.

Выводы: из трех изученных растений наилучшие показатели обессоливания воды получены для эйхорнии. Мы полагаем, что применение *E. crassipes* позволит снизить минерализацию водоема-охладителя БалАЭС. Поскольку эйхорния является плавающим неукореняющимся тропическим макрофитом, произрастающим в интервале температур 16-32°C, ее культивирование и сбор в условиях района расположения АЭС не представляется сложным. Данные исследования будут продолжены в природных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ипатова, В.И.* Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды. – М.: Графикон-принт, 2005. 224 с.
2. *Полевой, В.В.* Физиология растений. – М.: Высш. шк., 1989. 464 с.
3. *Тарушкина, Ю.А.* Высшие водные растения для очищения сточных вод / *Ю.А. Тарушкина, Л.Н. Ольшанская, О.Е. Мечева, А.С. Лазуткина* // Экология и промышленность России. 2006. №5. С. 36-39.

STUDY OF THE POSSIBILITY TO USE THE MACROPHYTES FOR DEMINERALIZATION OF BALAKOVO NUCLEAR POWER STATION RESERVOIR-COOLER

© 2010 A.S. Zhutov, S.M. Rogacheva, T.I. Gubina

Saratov State Technical University

It was studied the possibility of macrophytes *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum* and *Eichornia crassipes* to demineralize water of Balakovo nuclear power station reservoir-cooler. High efficiency of water demineralization by *E. crassipes* was established.

Key words: *macrophytes, phytoremediation, demineralization*

Alexander Zhutov, Candidate of Biology, Associate Professor at the Department "Natural and Technosphere Safety". E-mail: zhutov@mail.ru

Svetlana Rogacheva, Doctor of Biology, Professor, Head of the Department "Natural and Technosphere Safety". E-mail: smro13@land.ru

Tamara Gubina, Doctor of Chemistry, Professor at the Ecology Department