

## РОЛЬ МАКРОФИТОВ Р. УРАЛ В ПРОЦЕССАХ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОТОКА ОТ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ

Макрофиты служат накопителями полихлорированных бифенилов (ПХБ), поступающими в водные экосистемы. Не выявлено четкой корреляционной связи между содержанием изучаемых загрязнителей в воде, донных отложениях и макрофитах, но показаны межвидовые различия в накоплении ПХБ в макрофитах. Анализ коэффициента поглощения ПХБ у макрофитов выявил четкие различия в процессах накопления данных поллютантов у разных видов.

Установлены наиболее активные накопители токсикантов *Ceratophyllum demersum* (Кб-2967,74), *Lemna minor* (Кб-2933,33), *Hydrocharis morsus-ranae* (Кб-1225,81). Группой специфических концентраторов ПХБ можно считать не укореняющиеся макрофиты, которые могут выступать в качестве основного объекта при проведении диагностического мониторинга современного экологического состояния реки Урал. Вероятно, удаление данной растительности из водной среды можно использовать для активации процессов самоочищения и снижения вторичного загрязнения ПХБ.

Показано, что в период вегетации происходит перераспределение поступающих в водоём полихлорбифенилов между компонентами экосистемы: снижение их содержания в воде и донных отложениях к осени, но увеличение в макрофитах, что способствует временному выведению ПХБ из экотопа, т. д. осуществляются процессы миграции ПХБ в экосистеме водоёма по цепи «вода – макрофиты – донные отложения». Выявление подобного факта определило практические рекомендации: для снижения загрязнения водоемов ПХБ необходимо проводить выкашивание (удаление) зарослей макрофитов из водоемов, что предотвратит возвращение загрязнителей в экосистемы в процессе их отмирания.

Ключевые слова: полихлорированные бифенилы, макрофиты, аккумуляция.

### Введение

Высшие водные растения благодаря своим морфологическим и экологическим особенностям могут служить биологическим фильтром для поступающих в водоем взвешенных и слабо растворимых органических и неорганических поллютантов [5].

При изучении негативных последствий загрязнения водных экосистем полихлорированные бифенилы (ПХБ) большое значение приобретают исследования взаимосвязи между накоплением и распределением данных поллютантов в компонентах водных экосистем, в том числе и в высших водных растениях.

Последние представляют собой удобный объект для наблюдения, так как они не мигрируют, концентрируют токсиканты в значительных количествах, живут на мелководьях.

Однако анализ имеющихся в литературе сведений показывает, что исследования, которые формируют базу мониторинга с использованием макрофитов, находятся в стадии накопления информации.

Не изученным остается данный вопрос и для р. Урал.

Все вышеизложенное и определило цель и задачи нашего исследования.

### Цель данного исследования

Изучить возможности биоаккумуляции полихлорированных бифенилов макрофитами разных экологических групп и оценить уровень их накопления в растениях.

### Материал и методы исследования

Полевые ботанические исследования проводились в период максимального развития растительности – в июне – августе.

Идентификация макрофитов осуществлялась до вида.

Определение растений производилось по определителю [2], [3], [6].

При описании фитоценозов использовались стандартные методики [1], [4].

Суммарное содержание ПХБ в исследуемых образцах макрофитов, воде и донных отложениях определяли хроматографическим методом на хроматографе «Хромос ГХ-1000» на базе испытательной лаборатории Федерального государственного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Оренбургский».

Для оценки содержания ПХБ в макрофитах проводились расчеты коэффициентов биологического поглощения (Кб).

### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты не выявили прямой корреляционной связи между содержанием ПХБ в воде и донных отложениях (ДО) и их содержанием в макрофитах, однако установлены межвидовые различия в накоплении ПХБ в макрофитах: более высокий Кб был отмечен в июне 2009 г. (от 11,38 до 1225), а в июне 2011 г. этот показатель колебался от 6,1 до 27,58.

В 2011 г. анализ накопления ПХБ в макрофитах был проведен в два сезона исследования и выявлено увеличение содержания ПХБ от лета к осени. В сентябре 2011 г. произошло значительное возрастание коэффициента поглощения поллютантов во всех макрофитах, так если в июне его значения колебались от 3,72 до 27,58, то в сентябре он составил 13,98–31,58, а превышение на отдельных станциях достигало 1,4; 4,26; 7,7 раза. Анализ коэффициента поглощения ПХБ у макрофитов выявил четкие различия в процессах накопления данных поллютантов у разных видов. Наиболее высокий Кб был отмечен для *Ceratophyllum demersum* – 1225, а также для *Potamogeton crispus* – 78,65 и *Typha angustifolia* – 89,89, а низким аккумулирующим эффектом обладали *Sagittaria sagittifolia* и *Butomus umbellatus*, о чем свидетельствуют более низкие коэффициенты биологического поглощения – 11,38 и 12,08 соответственно. Полученные данные позволяют сделать вывод об избирательной способности макрофитов к аккумуляции ПХБ.

Сравнение содержания ПХБ в воде, до и накопления поллютантов в макрофитах показали, что за период вегетации происходит перераспределение ПХБ между компонентами водной экосистемы: их содержание снижается в среде (в воде и донных осадках), но увеличивается в макрофитах, в которых происходит накопление данных поллютантов, и это способствует их выведению из водной среды и ведет к биологическому самоочищению воды природных водных экосистем от данных загрязнителей в этот период.

Рассчитанные коэффициенты биологического поглощения ПХБ макрофитами, собранными в реке Урал в районе Оренбурга и на территории Оренбургской области в 2013 г. показали, что разные виды макрофитного сообщества в биоценозах реки Урал обладали различной способностью аккумулировать данные поллютанты. Так, среди всех исследуемых представителей растительного сообщества, *Ceratophyllum demersum* обладает наилучшей способностью к накоплению ПХБ, т. к. коэффициент биологического поглощения варьировал от 984,62 на ст. «Железнодорожный мост» до 2967,74 на ст. «с. Ущелье, выше г. Новотроицка», а в среднем на исследуемых станциях, где было обнаружено данное растение, коэффициент составлял 1695,32. Несколько ниже Кб был зарегистрирован для *Lemna minor* (от 2096,77 на ст. «п. Новоказачий, выше г. Орска» до 2933,33 на ст. «Турбаза «Прогресс», Оренбургский район») или в среднем по стан-

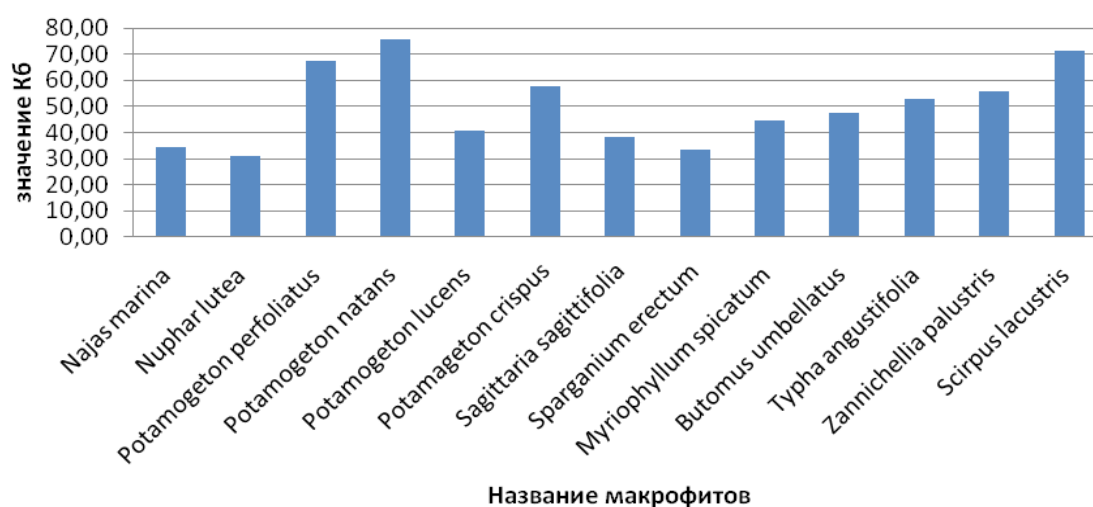


Рисунок 1. Средние значения коэффициентов биологического поглощения ПХБ укореняющимися макрофитами (2013 г.)

циям – 2440,14. Также высокой способностью поглощать ПХБ отличался и вид *Hydrocharis morsus-ranae*, для которого Кб колебался от 677,42 (ст. «п. Новоказачий, выше г. Орска») до 1225,81 (ст. «с. Ущелье, выше г. Новотроицка») или в среднем 1023,3. Все эти виды растений относятся к не укореняющимся гидрофитам и извлекают ПХБ только из водной толщи.

Среди укореняющихся макрофитов (рис. 1) наибольшая способность поглощать ПХБ характерна для *Potamogeton natans* со средним Кб 75,55 и для *Scirpus lacustris* с Кб, равным 71,31. Наименьшая способность накапливать ПХБ отмечена у *Nuphar lutea* со средним значением Кб 31,07 и у *Sparganium erectum* с Кб 33,52.

Ряд накопления ПХБ для выявленных макрофитов по среднему значению Кб выстраивается следующим образом: *Ceratophyllum demersum* > *Lemna minor* > *Hydrocharis morsus-ranae* > *Potamogeton natans* > *Scirpus lacustris* > *Potamogeton perfoliatus* > *Potamogeton crispus* > *Zannichellia palustris* > ***Typha angustifolia*** > ***Butomus umbellatus*** > ***Myriophyllum spicatum*** > *Potamogeton lucens* > *Sagittaria sagittifolia* > *Najas marina* > *Sparganium erectum* > *Nuphar lutea*.

Полученные данные показали, что *Ceratophyllum demersum*, характеризующийся исключительным доминированием на 8 исследуемых станциях, обладал наибольшей способностью аккумулировать ПХБ. Укореняющиеся макрофиты извлекают ПХБ как из донных отложений, так и воды. Замечено, что не укореняющиеся растения (*Ceratophyllum demersum*, *Lemna minor*) накапливают большие количества ПХБ, нежели укореняющиеся. Повидимому, это связано с их физиологическими и морфологическими особенностями, которые обеспечивают высокие сорбционные свойства стеблей и листьев, задерживающие и поглощающие токсиканты из воды, а также способностью мигрировать на значительные расстояния и аккумулировать загрязнители на большей площади водной экосистемы.

Таким образом, не укореняющиеся макрофиты можно считать группой специфических концентраторов ПХБ, и она нами выделена в качестве основного объекта при проведении диагностического мониторинга современного экологического состояния реки Урал. Вероятно, удаление данной растительности из водной среды можно использовать для активации процессов самоочищения и снижения вторичного загрязнения ПХБ.

Полученные данные подтверждают предположение о том, что доступность ПХБ из донных осадков и воды для растений зависит от их биологических особенностей, которые определяют процесс регулирования их содержания в различных видах растений, даже при одинаковом количестве поллютантов в исследуемых водном объекте.

### Выводы

1. Макрофиты благодаря своим морфологическим и экологическим особенностям служат накопителями ПХБ, поступающих в водные экосистемы.

2. Не выявлено четкой корреляционной связи между содержанием ПХБ в воде, до и макрофитах, но установлены межвидовые различия в накоплении ПХБ в макрофитах.

3. Установлено, что за период вегетации происходит перераспределение ПХБ между компонентами водной экосистемы: их содержание снижается в воде и донных отложениях, но увеличивается в макрофитах, что способствует выведению поллютантов из экотопа, способствуя процессу биологической очистки водной экосистемы от токсикантов.

4. Выявление подобного факта определило практические рекомендации: для снижения загрязнения водоемов ПХБ необходимо проводить выкашивание (удаление) зарослей макрофитов из водоемов, что предотвратит возвращение загрязнителей в экосистемы в процессе их отмирания.

4.09.2015

### Список литературы:

1. Белавская А.П. Высшая водная растительность // Методика изучения биогеоценозов пресных водоемов. – М.: Наука, 1975. С. 117–132.
2. Губанов И.А., Киселёва К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Том 1. Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). – М: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2002. – 526 с.

3. Губанов И.А., Киселёва К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Том 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – М: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. – 665 с.
4. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР / В.М. Катанская // Л.: Наука, 1981. – 187 с.
5. Король В.М. Реагирование водных растений на химическое загрязнение воды: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.18, Москва, 1985. – 19 с.
6. Лисицына Л.И., Папченков В.Г., Артеменко В.И. Флора водоемов волжского бассейна. Определитель сосудистых растений. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 219 с.

**Сведения об авторах:**

**Соловых Галина Николаевна**, заведующая кафедрой биологии  
Оренбургского государственного медицинского университета, доктор биологических наук, профессор  
г. Оренбург, пр. Парковый, 7, тел.: 8(3532) 77-58-78, e-mail: bio\_orgma@mail.ru

**Винокурова Наталья Викторовна**, старший преподаватель кафедры биологической химии  
Оренбургского государственного медицинского университета  
г. Оренбург, пр. Парковый, 7, тел.: 8(3532) 77-48-67, e-mail: nschustova@mail.ru

**Голинская Людмила Владимировна**, доцент кафедры биологической химии  
Оренбургского государственного медицинского университета, кандидат биологических наук  
г. Оренбург, пр. Парковый, 7, тел.: 8(3532) 77-48-67, e-mail: gol.lv@mail.ru