

УДК 577.1:502.3(470.56)

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В ЭКОСИСТЕМЕ Р. УРАЛ

Соловых Г.Н., Винокурова Н.В.

ГБОУ ВПО «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (46000, Оренбург, Советская 6), e-mail: gal.nik.solovix@mail.ru

Установлено широкое распространение ПХБ в воде и ДО р. Урал на территории Оренбургской области, содержание которых не превышало ПДК для почв и воды, но было выше зарубежных нормативов для донных отложений. Выявлены активная аккумуляция ПХБ донными отложениями и четкая сезонная динамика: повышение в летний и снижение в осенний период, а также тенденция к увеличению содержания ПХБ в период с 2009 по 2013 гг. Макрофиты служат накопителями ПХБ, поступающих в водные экосистемы. Не выявлено четкой корреляционной связи между содержанием ПХБ в воде, ДО и макрофитах, но показаны межвидовые различия в накоплении ПХБ в макрофитах. Установлены наиболее активные накопители токсиканта *Ceratophyllum demersum* (Кб-2967,74), *Lemna minor* (Кб-2933,33), *Hydrocharis morsus-ranae* (Кб-1225,81). В период вегетации происходит перераспределение поступающих в водоем полихлорированных бифенилов 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.е. осуществляются процессы миграции ПХБ в экосистеме водоема по цепи «вода — макрофиты — донные отложения».

Ключевые слова: экосистемы, вода, донные отложения, макрофиты, полихлорбифенилы, содержание и аккумуляция

CONTENT OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE ECOSYSTEM OF THE URAL RIVER

Solovykh G.N., Vinokurova N.V.

FSBEI HPE «Orenburg State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation (46000, Orenburg, 6, Sovetskaya Street), e-mail: gal.nik.solovix@mail.ru

The research has shown widespread polychlorinated biphenyls (PCBs) in the water and sediments of the river Ural in Orenburg region, the content of which does not exceed the maximum permissible concentration for soil and water, but it is above foreign standards for sediments. The analysis has revealed active accumulation of PCBs in the sediments and clear seasonal dynamics: an increase in summer and decrease in autumn, as well as a tendency for PCBs content increase within the period from 2009 to 2013. Macrophytes accumulate PCBs entering aquatic ecosystems. The paper contains no clear correlation between the content of PCBs in the water, benthic deposit and macrophytes, but it presents species differences in the accumulation of PCBs in macrophytes. The research has detected the most active collectors of toxicant *Ceratophyllum demersum* (kb-2967,74), *Lemna minor* (kb-2933,33), *Hydrocharis morsus-ranae* (kb-1225.81). During the growth period PCBs entering the water body redistribute between the ecosystem components: by autumn their content in the water and sediments is decreasing, but it is increasing in macrophytes; that contributes to the temporary removal of PCBs from the ecotope, i.e. PCBs are migrating in the water body ecosystem along the chain «water — macrophytes — sediments».

Keywords: ecosystems, water, sediments, macrophytes, polychlorinated biphenyls, content and accumulation

Несмотря на принятые ограничения и запрещения использования полихлорированных бифенилов (ПХБ) в промышленном производстве, снижения содержания этих токсикантов в окружающей среде не наблюдается [1]. Поэтому актуальной остается проблема загрязнения природных объектов ПХБ, так как они обладают высокой устойчивостью в окружающей среде [6] вследствие стабильности к внешним воздействиям, высокой температуры разложения, значительной фотоустойчивости, малой реакционной способности, что определяет их незначительный метаболизм в природных условиях [5], а главное —

благодаря наличию у ПХБ липофильных свойств они способны аккумулироваться и передаваться по пищевым цепям, при этом накопление поллютантов живыми организмами происходит очень быстро и определяется влиянием внешних условий, видовыми особенностями организмов в отношении поглощения и выведения химикатов, экологической характеристикой животных [4, 7, 8].

Неизученным остается вопрос о загрязнении ПХБ р. Урал, а также недостаточно изучен вопрос о потенциальных возможностях макрофитов к процессам аккумуляции данных токсикантов как одного из важнейших компонентов водных экосистем, что свидетельствует об актуальности проведения данного исследования.

Цель данного исследования

1. Определение содержания полихлорированных бифенилов в воде и донных отложениях реки Урал, изучение их межгодовой и сезонной динамики во временном и пространственном аспектах.

2. Изучение возможности биоаккумуляции полихлорированных бифенилов макрофитами разных экологических групп и оценка уровня их накопления в растениях.

Материал и методы исследования

В качестве материала для исследования использовались вода, донные отложения и водные растения, собранные в 2009, 2011, 2013 гг. в реке Урал. Отбор проб воды производился в середине реки с глубины 0,3–0,5 м. Пробы донных отложений отбирали дночерпателем на максимальной глубине с горизонта 0–10 см. Пробы помещали в стеклянную посуду объемом 1 л из темного стекла и фиксировали н-гексаном.

Суммарное содержание ПХБ в исследуемых образцах определяли хроматографическим методом на хроматографе «Хромос ГХ-1000». Оценка содержания ПХБ в воде проводилась в сравнении с их ПДК в воде [2], в ДО — в соответствии с ПДК для почв [3], а также с зарубежными нормами, равными 0,02 мг/кг [9].

Для оценки аккумуляционной способности растений их сушили при комнатной температуре в затемненном месте, предварительно тщательно промыв в проточной водопроводной воде с тем, чтобы удалить с их поверхности возможные загрязнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка содержания ПХБ в воде и ДО р. Урал в районе Оренбурга в 2009, 2011 гг. не показала превышения ПДК по российским нормативам для воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования на всех изученных станциях р. Урал в районе Оренбурга, за исключением ст. «Очистные сооружения», где в июне 2009 г. было зафиксировано превышение показателя в 1,2 раз, а в ДО по нормативам для почв

Выявлено превышение в 1,17 раз и отмечена наиболее высокая концентрация ПХБ в ДО (табл. 1).

Таблица 1

Содержание ПХБ в воде и ДО, значения коэффициентов донной аккумуляции на станциях реки Урал в районе Оренбурга в 2009; 2011 гг.

Название станции	Концентрация ПХБ				КДА
	В воде		В донных отложениях		
	мг/л	нг/л	мг/кг	нг/г	
июнь 2009 г.					
Очистные сооружения	0,0012±0,0001	1200	0,07±0,003	70	58,33
Автомародоржнй мост	0,0008±0,00004	800	0,017±0,0008	17	21,25
Водозабор	0,0008±0,00005	800	0,04±0,0017	40	50,00
июнь 2011 г.					
Очистные сооружения	0,0010±0,00023	1000	0,065±0,027	65	65,00
Автомародоржнй мост	0,00074±0,00017	740	0,015±0,0063	15	20,27
Водозабор	0,0007±0,00016	700	0,037±0,015	37	52,86
сентябрь 2011 г.					
Очистные сооружения	0,0008±0,00018	800	0,05±0,021	50	62,50
Автомародоржнй мост	0,00061±0,00014	610	0,021±0,008	21	34,43
Водозабор	0,0005±0,00011	500	0,028±0,011	28	56,00

В то же время по зарубежным нормативам концентрация ПХБ в ДО в разные периоды исследования была превышена на ряде станций экосистем р. Урал, но максимальное превышение (2,5–3,5 раз) также выявлено на ст. «Очистные сооружения», а наиболее низкое содержание поллютантов отмечено на ст. «Автомародоржнй мост», где их значения либо не превышали норму, либо были увеличены незначительно.

Расчет и анализ коэффициента донной аккумуляции ПХБ (КДА) (табл. 1) показал, что в 2009 г. наибольшая аккумуляция ПХБ в донных отложениях наблюдалась на ст. «Очистные сооружения» (58,33), что полностью согласуется и с высоким содержанием данных загрязнителей в воде. Наиболее низкий показатель донной аккумуляции был зарегистрирован на ст. «Автомародоржнй мост», о чем свидетельствует значение КДА (21,25).

Анализ временной динамики процесса аккумуляции ПХБ на ст. «Очистные сооружения» выявил заметное его усиление, подтверждением чему является увеличение коэффициента накопления ПХБ с 58,33 в июне 2009 г. до 65,0 в июне 2011 г. В сентябре 2011 г. КДА снизился до 62,5, что говорит либо о снижении процесса накопления ПХБ, либо об уменьшении поступления данных токсикантов со сточными водами г. Оренбурга.

На ст. «Автомародоржнй мост» максимальная способность накапливать ПХБ в ДО была зафиксирована в сентябре 2011 г. — КДА 34,43, тогда как в июне 2009 г. и июне 2011 г. этот показатель был ниже — КДА 21,25 и 20,27. Выявлено увеличение аккумулирующей

способности ДО от лета к осени 2011 г. в 1,7 раз. Установлена высокая аккумуляция данных токсикантов донными отложениями и на ст. «Водозабор», где в июне 2009 г. значение КДА составило 50,0, в июне 2011 г. — 52,86, а в сентябре 2011 г. — 56,0. За летний сезон 2011 г. усиление донной аккумуляции произошло в 1,06 раз.

Усиление процесса депонирования поллютантов происходит, по-видимому, из-за вторичного попадания ПХБ с отмирающими растениями или за счет увеличения их поступления в реку с водосборной площади. Одним из факторов, определяющих процессы аккумуляции ПХБ в реке, вероятно, является характер грунта. Так, наибольшая аккумулирующая способность выявлена на ст. «Очистные сооружения», где преобладало илистое дно, а более низкая способность накапливать ПХБ показана на ст. «Автомост», характеризующейся песчаным грунтом.

Впервые установленное присутствие ПХБ в воде и ДО р. Урал в районе Оренбурга и прослеженные динамические изменения их накопления по КДА как по разным станциям, так и по годам, вызвали необходимость более широкого исследования р. Урал (источника питьевого и хозяйственного водоснабжения Оренбургской области) на содержание данных токсикантов и на других участках реки.

Для решения поставленной задачи в ходе экспедиции 2013 г. был осуществлен забор проб воды и ДО реки Урал не только в районе Оренбурга, но и по среднему течению реки: от Оренбурга до Ириклинского водохранилища. Результаты анализа содержания токсикантов в воде и ДО представлены в таблице 2.

В содержании ПХБ в воде и ДО (по российским нормативам) на всех 18 станций в 2013 г. не были установлены превышения ПДК. Максимальная концентрация поллютантов в воде и в ДО была зафиксирована, как и в предыдущие годы исследования, на ст. «Очистные сооружения» в районе Оренбурга ($0,00081 \pm 0,00022$ мг/л и $0,056 \pm 0,03$ мг/кг). Наиболее низкие значения ПХБ в воде и в ДО ($<0,0003$ мг/л и $<0,01$ мг/л) были зарегистрированы для 10 станций: «Карьер», «Лагерь «Дубки»», «п. Южный Урал, Лагерь «Чайка»», «Турбаза «Прогресс», Оренбургский район», «с. Красногор, Саракташский район», «с. Алабайтал, Беляевский район», «с. Никольское, Кувандыкский район», «г. Орск (городской пляж)», «Ириклинское водохранилище», «отд. Уральское, Кваркенский район».

Таблица 2

Содержание ПХБ в воде и ДО и значения коэффициентов донной аккумуляции на станциях реки Урал в районе Оренбурга и на территории Оренбургской области в 2013 г.

Название станции	Концентрация ПХБ				КДА
	В воде		В донных отложениях		
	мг/л	нг/л	мг/кг	нг/г	
Очистные сооружения	$0,00081 \pm 0,00022$	810	$0,056 \pm 0,03$	56	69,14

Железнодорожный мост	0,00065±0,00018	650	0,018±0,009	18	27,69
Автомобильный мост	0,00075±0,0002	750	0,016±0,008	16	21,33
Водозабор	0,00068±0,00018	680	0,035±0,02	35	51,47
Карьер	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
Лагерь «Дубки»	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
п. Южный Урал, Лагерь «Чайка»	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
п. Черноречье, мост через р. Урал	0,00041±0,00011	410	0,017±0,009	17	41,46
Турбаза «Прогресс», Оренбургский район	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
с. Красногор, Саракташский район	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
с. Алабайтал, Беляевский район	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
с. Никольское, Кувандыкский район	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
с. Хабарное ниже г. Новотроицка	0,00035±0,00009	350	0,012±0,006	12	34,29
с. Ущелье выше г. Новотроицка	0,00031±0,00008	310	0,011±0,006	11	35,48
г. Орск (городской пляж)	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
п. Новоказачий выше г. Орска	0,00031±0,00008	310	0,012±0,006	12	38,71
Ириклинское водохранилище	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33
отд. Уральское, Кваркенский район	<0,0003	<300	<0,01	<10	33,33

Оценка содержания ПХБ в ДО по зарубежным нормативам выявила превышение показателя только на двух станциях: на ст. «Очистные сооружения» в 2,8 раза и на ст. «Водозабор» в 1,75 раза, а на остальных участках реки содержание токсикантов соответствовало нормам.

Оценка аккумуляющей способности донных отложений в 2013 г. показала, как и в предыдущие годы исследования (2009 и 2011 гг.), самый высокий показатель КДА (69,14) полихлорбифенилов на ст. «Очистные сооружения», а также высокие значения КДА были выявлены на ст. «Водозабор» — 51,47, на ст. «п. Черноречье, мост через р. Урал» — 41,46, на ст. «п. Новоказачий выше г. Орска» — 38,71 (рис. 1).

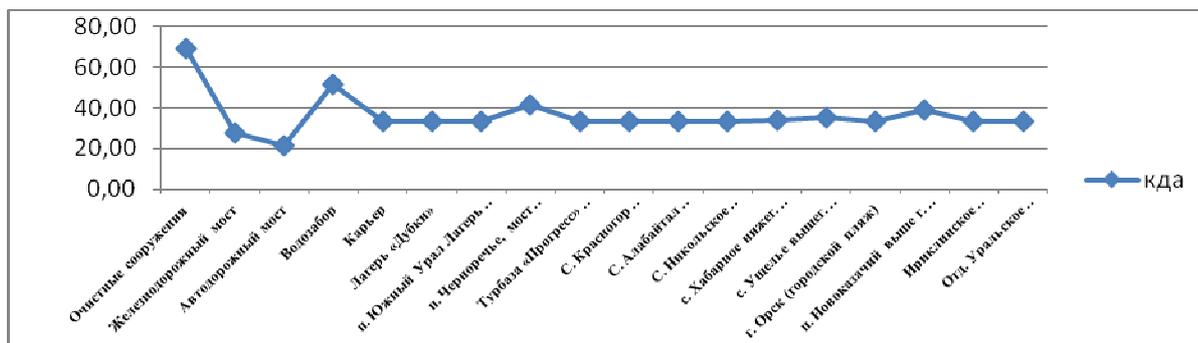


Рис. 1. Значение коэффициента донной аккумуляции ПХБ на станциях р. Урал, расположенных в районе Оренбурга и среднего течения реки на территории Оренбургской области

Более низкая способность накапливать поллютанты (КДА 33,33) выявлена для тех же 10 станций реки, где отмечено минимальное содержание ПХБ как в воде, так и в ДО.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на исследуемых участках реки во все годы исследования в содержании полихлорированных бифенилов не было существенного превышения ПДК в воде (на ст. «Очистные сооружения» в 2009 г. в 1,2 раза), в то время как в ДО на отдельных станциях их значения превышали зарубежные нормативы в несколько раз (на ст. «Очистные сооружения» в 2009 г. в 3,5 раза, в 2011 г. — 2,5–3,25 раза, а в 2013 г. — 2,8 раза).

Установление факта присутствия полихлорбифенилов на всем протяжении исследованного участка р. Урал определило следующий этап исследования: оценить содержание ПХБ в макрофитах доминантных и субдоминантных видов, характерных для отдельных станций реки Урал в разные периоды, и провести расчеты коэффициентов биологического поглощения (Кб) и относительного специфического накопления (Ксон) ПХБ макрофитам. Кб отражает уровень биогенной миграции загрязнителя и показывает, во сколько раз его содержание больше в золе растения по сравнению со средой обитания, а Ксон дает информацию о селективной способности макрофитов к накоплению токсикантов при произрастании в одинаковых экологических условиях и выявлению фитоиндикаторов. Результаты оценки миграции ПХБ между растениями и средой обитания по Кб не выявили прямой корреляционной связи между содержанием ПХБ в воде, ДО и их содержанием в макрофитах. Однако установлены межвидовые различия в накоплении ПХБ в растениях: более высокий Кб был отмечен в июне 2009 г. (от 11,38 до 1225), а в июне 2011 г. этот показатель снизился и колебался от 6,1 до 27,58 (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты биологического поглощения ПХБ в макрофитах, собранных в реке Урал в районе Оренбурга в 2009, 2011 гг.

Станция	Растение	Коэффициент биологического поглощения (Кб)		
		Июнь 2009 г	Июнь 2011 г	Сентябрь 2011 г
Очистные сооружения	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	11,38	-	-
	<i>Butomus umbellatus</i>	12,08	-	-
	<i>Carex riparia</i>	40,45	9,70	13,98
Автодорожный мост	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	78,65	6,1	24,99
	<i>Typha angustifolia</i>	89,89	-	-
	<i>Butomus umbellatus</i>	54,49	-	-
	<i>Carex riparia</i>	-	3,72	28,69
	<i>Zannichellia palustris</i>	-	4,48	-
Водозабор	<i>Potamogeton crispus</i>	25,25	-	-
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	1225	-	-
	<i>Zannichellia palustris</i>	25,25	-	-
	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	31,86	27,58	31,58
	<i>Carex riparia</i>	-	22,02	26,67

«-» растения не были обнаружены

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 процесса поглощения поллютантов во всех макрофитах: в июне Кб колебался от 3,72 до 27,58, а в сентябре он составил 13,98–31,58, для отдельных растений (*Carex riparia*, *Potamogeton perfoliatus*) коэффициент повышался в 1,4; 4,26; 7,7 раза.

Выявлена избирательная способность макрофитов к накоплению ПХБ у разных видов. Наиболее высокие показатели Кб были отмечены для *Ceratophyllum demersum* — 1225, *Potamogeton crispus* — 78,65 и *Typha angustifolia* — 89,89, а низким аккумулярующим эффектом обладали *Sagittaria sagittifolia* — 11,38 и *Butomus umbellatus* — 12,08.

Для оценки способности к накоплению полихлорбифенилов макрофитами, произрастающими в одинаковых экологических условиях, были рассчитаны коэффициенты специфического относительного накопления ПХБ — Ксон (табл. 4).

Установлено, что в 2009 г. более высокий коэффициент был зарегистрирован у *Typha angustifolia* (1,55) на ст. «Автомарожный мост», а самый низкий — в том же году у *Carex riparia* (0,54) на ст. «Очистные сооружения».

Процесс относительного накопления ПХБ в макрофитах в оба сезона 2011 г. варьировал, о чем свидетельствуют рассчитанные показатели Ксон: в июне от 0,68 до 1,44, в сентябре 0,84 до 1,18. Для всех растений, за исключением *Potamogeton perfoliatus*, для которого отмечено уменьшение коэффициента в 1,06 раз, наблюдалась тенденция к увеличению относительного накопления ПХБ от лета к осени. Так, на ст. «Автомарожный мост» для *Potamogeton perfoliatus* возрастание составило 1,19 раз, для *Carex riparia* — 1,3 раза, на ст. «Водозабор» для *Carex riparia* – 1,05 раза.

Таблица 4

Значение коэффициентов специфического относительного накопления ПХБ макрофитами, собранными в реке Урал в районе Оренбурга в 2009, 2011 гг.

Станция	Растение	Коэффициент специфического относительного накопления (Ксон)		
		Июнь 2009 г	Июнь 2011 г	Сентябрь 2011 г
Очистные сооружения	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	0,94	-	-
	<i>Butomus umbellatus</i>	1,06	-	-
	<i>Carex riparia</i>	0,54	-	-
Автомарожный мост	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	1,28	0,97	1,15
	<i>Typha angustifolia</i>	1,55	-	-
	<i>Butomus umbellatus</i>	0,78	-	-
	<i>Carex riparia</i>	-	0,68	0,87
	<i>Zannichellia palustris</i>	-	1,44	-

Водозабор	<i>Potamogeton crispus</i>	0,93	-	-
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	1,28	-	-
	<i>Zannichellia palustris</i>	0,88	-	-
	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,93	1,25	1,18
	<i>Carex riparia</i>	-	0,80	0,84

«-» растения не были обнаружены

Исследования уровня миграции ПХБ из среды в растения в 2013 г. показали, что среди всех изученных растений наилучшей способностью к накоплению обладает *Ceratophyllum demersum*, так как его Кб варьировал от 984,62 на ст. «Железнодорожный мост» до 2967,74 на ст. «с. Ущелье, выше г. Новотроицка», а в среднем для данного растения коэффициент составлял 1695,32 на всех станциях, где оно было обнаружено.

Несколько медленнее поллютанты мигрировали в растение *Lemna minor* (Кб от 2096,77 на ст. «п. Новоказачий, выше г. Орска» до 2933,33 на ст. «Турбаза «Прогресс», Оренбургский район») или в среднем по станциям для растения — 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 неукореняющимся гидрофитам и извлекают ПХБ только из водной толщи.

Среди укореняющихся макрофитов наибольшей способностью поглощать ПХБ характеризовались виды *Potamogeton natans* (среднее Кб 75,55) и *Scirpus lacustris* (среднее Кб 71,31), а низкой — *Nuphar lutea* (среднее Кб 31,07) и *Sparganium erectum* (Кб 33,52).

Ряд, построенный по интенсивности накопления ПХБ для выявленных макрофитов по среднему значению Кб, выглядит 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*.

Сравнение средних значений коэффициентов специфического относительного накопления ПХБ для макрофитов показало, что более высокое значение Ксон зафиксировано для *Scirpus lacustris* (1,71), *Potamogeton perfoliatus* (1,54) и *Potamogeton natans* (1,51), которые относятся к группе укореняющихся макрофитов. Самые низкие значения наблюдались у укореняющегося с плавающими на поверхности листьями гидрофита *Nuphar lutea* (0,54) и неукореняющегося, свободно плавающего гидрофита *Hydrocharis morsus-ranae* (0,55).

Ряд изучаемых макрофитов по среднему значению коэффициентов специфического накопления ПХБ выстраивается следующим образом: *Scirpus lacustris* > *Potamogeton perfoliatus* > *Potamogeton natans* > *Potamogeton crispus* > *Lemna minor* > *Butomus umbellatus* >

Typha angustifolia > *Zannichellia palustris* > *Ceratophyllum demersum* > *Myriophyllum spicatum* > *Sparganium erectum* > *Potamogeton lucens* > *Sagittaria sagittifolia* > *Najas marina* > *Hydrocharis morsus-ranae* > *Nuphar lutea*.

Заключение

Проведенный анализ содержания ПХБ в воде, донных отложениях и накопления токсикантов в макрофитах позволяет сделать выводы о том, что: во-первых, в воде, донных отложениях и макрофитах р. Урал присутствуют ПХБ; во-вторых, за период вегетации растений происходит перераспределение ПХБ между компонентами водной экосистемы — осенью их содержание снижается в среде, но увеличивается в макрофитах, а это способствует временному выведению токсиканта из водной среды и биологическому самоочищению воды природных водных экосистем от данных загрязнителей. Выявление подобного факта свидетельствует о возможности использования макрофитов для фиторемедиации водоемов и снижения их загрязнения полихлорированными бифенилами, что предотвратит возвращение загрязнителей в экосистемы в процессе их отмирания.

Список литературы

1. Авхименко М.М. Медицинские и экологические последствия загрязнения окружающей среды полихлорированными бифенилами // Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века М.:ВИНИТИ, 2000.— № 5. — С. 14–30.
2. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03 от 28 сен. 2007 г. — М., 2007. — 12 с.
3. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М., 2006
4. Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Ушакова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Евсева И.С., Ушаков Д.И., Цапкова Н.Н. К вопросу о безопасном регулировании содержания полихлорированных бифенилов в почве // Научно-методологические и законодательные основы совершенствования нормативно-правовой базы профилактического здравоохранения: проблемы и пути их решения. Материалы пленума Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды Российской Федерации. 13–14 декабря 2012 г. — С. 230–235
5. Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Ушакова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Евсева И.С., Ушаков Д.И., Туркова И.С. Регулирование безопасных уровней содержания полихлорированных бифенилов в почве: российский и международный опыт // Гигиена и санитария. — 2013. — № 6. — С. 52–57.

6. Майстренко В.Н. Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. — 323 с.
7. Никонова А.А., Горшкова А.Г. Современные уровни накопления полихлорированных бифенилов в объектах Байкальской природной территории // Химия в интересах устойчивого развития. — 2007. — № 3. — С. 363–369.
8. Ревич Б.А., Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Сергеев О.В., Михалюк Н.С. Содержание полихлорированных бифенилов и хлорорганических пестицидов в куриных яйцах, полученных в различных регионах России // Вопросы питания. — 2007. — Т. 76. — № 4. — С. 58–64.
9. Neue Niederlandische Liste, Altlasten Spektrum 3/1995 // PTS limits and levels of concern in the environment, food and human tissues. — Ch.3. — P. 29–32.

Рецензенты:

Сафонов М.А., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой общей биологии, экологии и методики обучения биологии ГБОУ ВПО «Оренбургский государственный педагогический университет», г. Оренбург;

Немцева Н.В., д.м.н., профессор, заведующая лабораторией водной микробиологии Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, г. Екатеринбург.