

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

Macrophytes are capable to accumulate substances in the concentration exceeding its contents in the environment. These features of macrophytes have defined their use in the system of monitoring of the higher aquatic plants and control of a condition of reservoirs. The concentration and background heavy metals' content in macrophytes have been determined, the items of foreground elements and the list of species-indicators with high accumulative ability of heavy metals' salts have been outlined.

Водные экосистемы являются элементами окружающей среды, на которых в первую очередь проявляется наиболее сильное техногеохимическое воздействие человека. Сложившаяся система контроля и мониторинга аквальных экосистем базируется на анализе водной среды. Водная среда характеризуется динамичностью, неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает информативность и индикационную роль в мониторинговых исследованиях. В настоящее время в научных и прикладных исследованиях по эколого-геохимической оценке состояния водных объектов большее значение придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам.

Среди широкого спектра загрязнителей водной среды наиболее важное значение имеют тяжелые металлы, обладающие канцерогенными, мутагенными и патогенными свойствами даже при низких концентрациях, отличающиеся биологической активностью, высокой технофильностью, отсутствием природных процессов деструкции в ландшафте [1, 2].

Источниками поступления веществ антропогенного характера в водоемы являются: промышленные предприятия, сельскохозяйственные объекты, территории населенных пунктов и объектов рекреации, промышленные площадки и свалки отходов, емкости для хранения нефтепродуктов и химических веществ, системы канализации, объекты коммуникаций (автодороги, стоянки) и т. д.

Основными путями поступления загрязняющих веществ в водоемы служат: сосредоточенные (локальные) сбросы через канализационные системы и рассеянные (атмосферные осадки, поверхностный сток, склоновый сток) в составе различных видов стока (почвенные, грунтовые воды, плоскостной смыв и т. д.). Вещества могут поступать как в растворенной форме, так и в виде взвешенных частиц.

Способность макрофитов накапливать химические элементы положена в основу мониторинга за состоянием высших водных растений, а также среды их произрастания. В Беларуси и за рубежом появилось большое количество научных и прикладных разработок, посвященных проблеме индикаторной роли макрофитов и донных отложений для оценки степени загрязнения водных экосистем.

Материал и методика

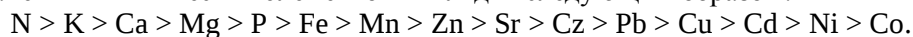
Многолетние исследования высшей водной растительности проводились согласно программе Национальной системы мониторинга окружающей среды на ключевых участках разнотипных водных объектов (водоемов и водотоков), обладающих уникальной флорой или находящихся под сильным антропогенным воздействием, имеющих большое природоохранное и народнохозяйственное значение и различающихся видовым составом, характером и степенью зарастания. Наблюдательная сеть включает 46 ключевых участков на озерах, 4 – на водохранилищах, 47 – на реках. Было проанализировано содержание химических элементов в тканях водных растений наиболее распространенных ассоциаций надводных, подводных растений и растений с плавающими листьями в период максимального развития биомассы и накопления химических веществ. Методом спектрального анализа в воздушно-сухой массе растений (без корней) определяли содержание 38 химических элементов тяжелых металлов. Содержание элементов пересчитывали в величину грамм вещества в тонне массы растений. Всего выполнен анализ около 800 проб.

Сравнительный анализ полученных результатов натурных исследований на объектах мониторинга позволил выделить перечень наиболее часто встречающихся тяжелых металлов Ni, V, Mn, Cr, Pb, Cu, Zn, определить величины их фонового содержания в макрофитах, выделить виды-индикаторы, отличающиеся наибольшей накопительной способностью макро- и микроэлементов, солей тяжелых металлов. Различия в величине содержания тяжелых металлов в растениях различных водоемов и водотоков свидетельствует о том, что высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении элементов. Для оценки загрязнения макрофитов в водных объектах используется коэффициент

концентрации (накопления), который служит мерой аномальности содержания элемента в водных растениях и донных осадках относительно фона. Для интегральной оценки степени загрязнения озер рассчитан индекс содержания тяжелых металлов в растениях, который представляет собой суммарное отношение величины коэффициентов концентрации (накопления) элементов к их числу [3].

Результаты и их обсуждение

Макрофиты отличаются различной способностью аккумулировать химические элементы в зависимости от вида и части растения, сезона года, времени вегетации и т. д. Накопление высшими водными растениями элементов проявляется часто в концентрациях, превышающих значения, зафиксированные в окружающей среде. Обобщенно ряд накопления высшей водной растительностью наиболее распространенных химических элементов выглядит следующим образом:



Свободноплавающие гидрофиты (*Lemna minor* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.) получают минеральное питание преимущественно из воды, поэтому интенсивность накопления в первую очередь зависит от концентрации определенного элемента в воде, а также от активной реакции среды. Высокая поглотительная способность растений делает их идеальными тестовыми объектами для количественного и качественного определения антропогенных химических нагрузок на водоем во время вегетационного цикла.

Укорененные гидрофиты с плавающими листьями помимо водной массы получают значительную часть химических элементов из донных отложений. Наличие развитой корневой системы и активного транспорта из корней к листьям позволяет использовать их для определения антропогенных химических нагрузок в течение не только текущего (по химическому составу листьев), но и предыдущих сезонов (корни, корневища). По накопительной способности поллютантов нимфейные растения (*Nuphar lutea* (L.) Sm., *Nymphaea candida* Presl., *Trapa natans* L.) занимают промежуточное положение.

Полностью погруженные гидрофиты, как укорененные, так и неукорененные, на протяжении вегетационного сезона могут менять источники поступления вещества в свои ткани: для растений с мощной корневой системой – донные отложения, а для растений, не имеющих связи с грунтом – водная масса. Это повышает эффективность их использования в качестве индикаторов антропогенной трансформации гидрохимического режима водоема при значительном уровне загрязнения водной среды. Наиболее интенсивным накоплением отличаются следующие виды: *Littorella uniflora* (L.) Aschers., *Isoetes lacustris* L., *Lobelia dortmanna* L., *Chara* sp., *Nitellopsis obtusa* (A.N.Desvaux) J. Groves, далее следуют *Elodea canadensis* Michx., *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton pectinatus* L., *Myriophyllum* L., *Staurogeton trisulcus* (L.) Schur., *Sparganium* L.

Содержание тяжелых металлов в гелофитах, получающих питание в основном из песчаных и заиленных осадков мелководий (*Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L., *Carex* L., *Juncus* L., *Eleocharis* R. Br., *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf., *Calla palustris* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Butomus umbellatus* L., *Sagittaria sagittifolia* L.) относительно низкое.

Проведенные исследования свидетельствуют, что наилучшими индикаторами являются погруженные растения. В озерах, не подверженных загрязнению, содержание поллютантов в макрофитах находится на уровне фоновых величин или незначительно их превышает. Растительность озер, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие и загрязнение, накапливает элементы в концентрациях, превышающих фоновые величины в десятки раз (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты концентрации и индексы содержания тяжелых металлов в индикаторных видах водных растений водоемов и водотоков Беларуси

Название растения	Коэффициент концентрации (накопления)							Индекс содержания
	Ni	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	
Белокрыльник болотный	1,44	0,00	0,18	0,00	1,84	0,92	30,57	4,39
Гидрилла мутноватая	24,29	5,13	2,42	107,15	10,71	5,23	25,84	26,40
Горец земноводный	1,51	0,83	1,59	6,66	0,17	0,58	16,06	4,27
Ежеголовник плавающий	7,17	3,11	4,11	23,59	1,18	1,97	23,46	10,30
Камыш озерный	1,41	0,61	0,48	2,18	0,26	0,56	16,14	2,96
Канареечник тростниковидный	2,01	2,70	0,42	8,79	0,51	1,74	18,77	5,24
Кубышка желтая	1,32	1,04	1,29	13,49	0,46	0,27	20,45	5,39
Лобелия Дортмана	0,72	0,00	0,87	7,15	3,74	4,34	76,49	12,99

Манник большой	1,64	4,62	0,82	27,41	0,80	0,60	13,04	7,07
Полушник озерный	0,50	0,00	1,31	0,00	2,01	2,29	44,83	6,60
Прибрежница одноцветковая	66,67	39,44	1,49	441,18	210,08	43,10	709,22	188,90
Рдест блестящий	3,09	1,43	2,26	15,76	0,80	0,98	9,73	5,54
Рдест гребенчатый	6,16	2,22	2,22	20,50	1,98	1,73	120,21	22,77
Рдест пронзеннолистный	3,80	2,10	2,95	8,19	1,73	0,95	12,21	5,70
Рдест узколистный	5,57	0,67	5,06	30,31	2,63	2,91	54,75	12,74
Роголистник погруженный	2,50	0,91	8,93	17,70	1,94	1,42	0,00	5,03
Сабельник болотный	4,06	5,36	4,87	11,21	4,08	12,08	7,57	6,19
Стрелолист обыкновенный	1,08	1,62	1,98	8,73	0,51	0,88	19,85	4,68
Сусак зонтичный	2,75	1,81	1,55	35,29	0,97	0,88	23,06	8,76
Уруть колосистая	12,56	4,55	10,13	36,94	9,05	7,58	50,92	20,48
Уруть мутовчатая	2,58	1,42	1,83	12,86	2,75	0,88	53,22	12,01
Элодея канадская	2,95	2,50	4,37	14,95	4,54	1,48	27,08	8,80

Результаты исследования накопления тяжелых металлов водными растениями озер, отличающихся замедленным водообменом, уже ранее приводились в публикациях [3, 5]. Отметим только, что наибольшей накопительной способностью обладают растения озер, находящихся в зоне влияния промышленных выбросов (Люхово, Лукомское, Шапор (г. Гомель), Святое, Белое Болото (г. Могилев), низкоминерализованных, кислых озер, кислая реакция среды которых увеличивает миграционную подвижность металлов и способствует их накоплению в тканях макрофитов, а также озер, расположенных в зоне влияния трансграничного переноса загрязненных воздушных масс (Свистязь, Волос Ю., Белое (Лунинецкий район), Белое (Сурмино). Для них установлено превышение фоновой величины концентрации для Ni в 14÷40 раз, Cr в 4÷30, Pb в 3÷37, Zn в 3÷48 раз.

Сравнительный анализ концентрации тяжелых металлов в макрофитах рек основных бассейнов в целом соответствует значениям средней концентрации для водоемов Беларуси, однако для некоторых элементов наблюдаются отклонения от фоновых величин, что является результатом приуроченности объектов гидросети к различным педогеохимическим провинциям: северной (бассейн р. Западная Двина), центральной (бассейны рек Неман и Днепр) и южной (бассейн р. Припять) и наличием локальных источников химического загрязнения промышленными производствами различных типов [2, 4].

Среднее содержание фитотоксичных металлов в тканях водных растений на ключевых участках в **бассейне р. Неман** в целом соответствует фоновым величинам для Беларуси. Превышения наблюдаются по содержанию никеля, молибдена, марганца, цинка и хрома. Наибольшей способностью к поглощению тяжелых металлов обладают погруженные растения, среди которых можно выделить узколистный рдест (реки Виля, Щара, Западная Березина), концентрация ряда тяжелых металлов в которых значительно превышает фоновые величины. Надводные растения характеризуются меньшей накопительной способностью. Выделяются лишь канареечник тростниковидный (Щара), сусак зонтичный (Виля), осоковые (Неман).

Средняя величина содержания большинства тяжелых металлов в макрофитах рек **бассейна Припяти** не превышает фоновых величин для Беларуси. Наибольшее количество накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержание таких элементов, как хром, цинк, титан в растениях превышает фоновые величины для региона в 4÷6 раз.

На реках **бассейна Березины** содержание фитотоксичных элементов – хрома, молибдена, никеля, марганца, цинка – превышает в растениях фоновые величины для региона; больше всего токсичных веществ накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержание других тяжелых металлов в макрофитах рек не превышает его максимального значения в чистых водотоках.

В реках **бассейна Днепра** установлено, что содержание в растениях таких элементов, как ванадий и титан, находится на уровне максимальных зафиксированных значений для водотоков Беларуси, не подверженных антропогенному воздействию. Больше всего токсичных веществ накапливают погруженные растения и растения с плавающими листьями. Содержания других тяжелых металлов не превышает средних величин для водотоков и водоемов других бассейнов (рисунки).

Высокими коэффициентами концентрации в бассейнах рек характеризуются цинк и хром, содержание которых многократно превышает фоновые значения для территории Беларуси, наименьшими – медь, свинец и марганец. По величине индекса содержания металлов заметно выделяется бассейн

р. Неман, величина индекса для которого вдвое превышает значения для Беларуси в целом. Специфика такого распределения кроется в особенностях водосборов рек и наличия источников поступления металлов, связанных главным образом с загрязненными атмосферными осадками (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициенты концентрации и индексы содержания тяжелых металлов в водных растениях
в реках основных бассейнов Беларуси**

Бассейны	Коэффициент концентрации							Индекс содержания
	Ni	V	Mn	Cr	Pb	Cu	Zn	
Припять	1,63	0,92	0,73	10,24	0,74	0,56	21,39	5,0
Неман	4,73	2,49	1,75	24,46	4,59	1,86	135,85	25,8
Западный Буг	2,41	1,87	2,75	17,93	0,50	1,28	5,69	5,1
Западная Двина	4,73	1,83	1,29	14,00	1,13	1,82	13,23	5,3
Днепр	7,50	2,32	2,35	39,87	1,56	1,69	20,01	10,9
Беларусь	4,20	1,88	1,78	21,30	1,70	1,44	39,23	10,4

1. Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Луковенко В.П. Тяжелые металлы во внешней среде. Мн., 1994.

2. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М., 1987.

3. Vlasov B.P., Gigevich G. // Limnological review. 2006. Vol. 6. P. 289.

4. Петухова Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Мн., 1987.

5. Власов Б.П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз. Мн., 2004.

Поступила в редакцию 16.06.11.

Борис Павлович Власов – доктор географических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией озераведения. Область научных интересов – история происхождения, развитие и современное состояние озер. Автор более 200 научных публикаций.

Наталья Дмитриевна Грищенко – аспирант кафедры географической экологии. Научный руководитель – Б.П. Власов. Область научных интересов – геоэкологическое состояние озер и территорий их водосборов. Автор 30 научных публикаций.