

УДК 628.394.17:631.862.2

Б.П. Власов

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ ИЗ РАССЕЯНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Макрофиты являются биологическим фильтром, влияют на круговорот химических веществ в экосистеме, качество воды в озерах. Заросли водных растений осаждают большое количество минеральных и органических взвесей. В тканях и субстрате они накапливают химические вещества, ионы тяжелых металлов и радионуклиды. Макрофиты способны накапливать вещества в концентрациях, превышающих их содержание в окружающей среде. Это свойство определило их использование в системе мониторинга высшей водной растительности и контроля состояния водоемов и водотоков в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

Введение

Источником поступления тяжелых металлов в объекты гидросети являются локальные сбросы, плоскостной сток и пылегазовые выбросы промышленных предприятий, тепловых электростанций, крупных городов и автотранспорта. В структуре промышленности Брестской области преобладают отрасли, которые характеризуются невысокой интенсивностью воздействия на природную среду – пищевая, легкая, машиностроение и металлообработка. Вместе с тем довольно высокий удельный вес (свыше 7%) имеет электроэнергетика, которая отличается повышенными удельными выбросами и сбросами загрязняющих веществ. Сбросы промышленных загрязненных вод в водные объекты на территории области локализованы и подвергаются контролю (озера Белое (Белозерский р-н), оз. Жлобинское). Наиболее распространенным и неконтролируемым источником загрязнения поверхностных вод являются атмосферные выпадения.

Сложившаяся система контроля загрязнения водоемов базируется на анализе водной среды. Водная среда характеризуется динамичностью и неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает информативность получаемых данных. В настоящее время для оценки состояния водных объектов большее внимание уделяется анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам. Способность высших водных растений и осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения, зафиксированные в окружающей среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды.

Материал и методы исследования

Анализировали видовой состав, количественное развитие и содержание химических элементов в тканях водных растений и донных отложениях 4 озер (Белое (Лунинецкий р-н), Выгонощанское, Мотольское, Ореховское) и 4 крупнейших рек (Западный Буг (г. Брест), Припять (г. Пинск), Лань (д. Мокрово), Ясельда (ж/д ст. Ясельда) Брестской области. В перечень вошли водные объекты различного генетического типа, с различным характером и степенью зарастания, а также имеющие большое природо-

охранное и народнохозяйственное значение, находящиеся на охраняемых территориях или испытывающие сильное антропогенное воздействие.

Изучение растительности и отбор проб растений и грунтов проводили согласно методике [1] на профилях, заложенных от уреза воды до границы распространения растительности на участках с самыми распространенными ассоциациями надводных, подводных и растений с плавающими листьями.

Наблюдения и отбор проб на ключевых участках соответствовал максимальному развитию биомассы и накоплению химических веществ растениями (июль – август). Одновременно определяли pH, прозрачность, содержание основных ионов в воде.

Анализировали состав 29 наиболее распространенных видов водных растений. Методом спектрального анализа в воздушно-сухой массе растений (без корней) и грунтов определяли содержание 38 химических элементов тяжелых металлов. Содержание элементов пересчитывали в величину грамм вещества в тонне (г/т) массы растений или осадков (воздушно-сухого веса). Выполнен анализ 60 проб растений и 10 донных отложений.

В качестве приоритетных загрязняющих элементов определены: Ni, Cu, Pb, Zn, Ti, Cr, V, Mn [3; 4]. Для оценки загрязнения водных растений в водных объектах использован коэффициент концентрации (накопления) (K_c) который служит мерой аномальности содержания элемента в водных растениях и донных осадках относительно фона:

$$K_c = K_i / K_f,$$

где K_i – содержание i -того элемента в пробе, г/т; K_f – среднее содержание того же элемента в фоновой выборке для озер Беларуси.

Для интегральной оценки степени загрязнения водных объектов рассчитан индекс содержания тяжелых металлов в растениях (I_{pm}), который представляет собой суммарное отношение величины коэффициентов концентрации (накопления) элементов (K_c) к числу элементов и рассчитывается по формуле:

$$I_{pm} = \frac{K_1 / K_{1f} + K_2 / K_{2f} + \dots + K_i / K_{if}}{n},$$

где $K_{1, 2, \dots, i}$ – содержание элемента (Ni, Cu, Pb, Zn, Ti, Cr, V, Mn);

$K_{1f, 2f, \dots, if}$ – фоновая величина для соответствующего элемента;

n – число показателей, используемых для расчета.

Результаты и их обсуждение

Анализ накопления тяжелых металлов различными видами растений разнотипных водоемов показал, что высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении солей тяжелых металлов. Концентрация в разных видах макрофитов зависит от химических и гидрофизических свойств водной среды, состава донных отложений, наличия источников загрязнения.

Поверхностные воды Брестской области по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, структуру ионного состава можно представить в следующем виде:



Летом вода рек и озер хорошо прогрета ($19 - 21\text{ }^{\circ}\text{C}$) и насыщена кислородом ($81 - 113\%$). Активная реакция воды изменяется от слабокислой в р. Лань (величина водородного показателя рН 6,7) до щелочной в оз. Выгонощанское (рН 8,9). Прозрачность воды изменяется от низкой 0,4 м (оз. Выгонощанское) до высокой – 3,5 м (оз. Белое), цветность воды изменяется от 14 (оз. Белое) до 246 (р. Лань) град Сг - Со шкалы. Минерализация воды озер изменяется от 29 мг/л (оз. Белое) до 360 мг/л (оз. Мотольское). Около 50 % объектов имеют минерализацию воды выше 300 мг/л. Содержание биогенных элементов в вегетативный сезон составляет 0,13–2,04 мг/л (сумма соединений) азота и 0,01–0,15 мг/л фосфатов. Количество органического вещества повышенное (окисляемость бихроматная 5, 0 – 78,0 мг/л).

Донные отложения, служащие субстратом произрастания макрофитов, представлены в основном в литорали песками и песками заиленными, глубже – илами опесчаненными.

Интенсивность накопления химических элементов макрофитами и донными отложениями описывается рядом: $\text{Mn} > \text{Ti} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Ni}$

Содержание элементов в грунтах колеблется в широком диапазоне. Наиболее высокие концентрации металлов отмечены в донных отложениях озер Мотольское, Ореховское, реки Западный Буг. Низкими концентрациями элементов характеризуются осадки литорали озер Белое, Выгонощанское, реки Лань (таблица 1).

Таблица 1 – Пределы изменения и средние значения величин содержания тяжелых металлов в водных растениях и отложениях водоемов и водотоков Брестской области, (мг/кг ВСВ)

Показатель	Значение ряда: $X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$			
	Водные растения	$\pm\text{SD}$	Донные осадки	$\pm\text{SD}$
Ni	$0,15 \leq 0,52 \leq 1,53$	0,54	$0,99 > 8,03 > 19,66$	6,3
V	$1,92 > 4,18 > 9,38$	0,38	$4,95 > 29,35 > 68,81$	22,9
Mn	$4,92 > 632,1 > 4064,0$	0,4	$73,50 > 1084,49 > 2949,00$	1319,7
Ti	$1,52 > 3927,0 > 203,20$	0,51	$24,15 > 1215,26 > 2949,00$	1122,3
Cr	$1,00 > 2,73 > 6,10$	0,48	$0,99 > 42,89 > 196,60$	59,7
Pb	$0,05 > 3,39 > 61,20$	0,49	$2,21 > 24,48 > 68,81$	21,7
Cu	$0,09 > 3,19 > 30,60$	0,49	$1,47 > 16,69 > 49,15$	16,6
Zn	$8,02 > 58,20 > 121,35$	0,5	$22,05 > 184,03 > 523,60$	194,8

Примечание: X , X_{\max} , X_{\min} – среднее, максимальное, минимальное значение

Исследования показали, что наибольшей способностью к накоплению химических элементов отличаются погруженные растения. Источником поступления веществ в ткани гидрофитов служат водная масса и современные осадки. Наиболее интенсивным накоплением отличаются гидрофиты: *Isoetes lacustris* L., *Lobelia dortmanna* L., далее следуют *Elodea canadensis* Michx., *Ceratophyllum submersum* L., *Stuckenia pectinata* (*Potamogeton pectinatus*), *Potamogeton lucens* L., *P. crispus* L., *P. natans* L., *P. Perfoliatus* L., *P. friesii* Rupr., *Myriophyllum spicatum* L., *Sparganium natans* L., *Sagittaria sagittifolia* L. Содержание тяжелых металлов в гелофитах, получающих питание в основном из песчаных и заиленных осадков мелководий (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Carex rostrata* Stokes, *Eleocharis mamillata* Lindb. fil., *E. acicularis* (L.) Roem. et Schult., *Acorus calamus* L., *Calla palustris* L.), в обследованных озерах относительно низкое. Нимфейные растения (*Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea candida* J. et C. Presl, *Hydrocharis morsus-ranae* L.) по накопительной способности поллютантов занимают промежуточное положение.

Корреляционный анализ зависимости содержания химических элементов в высших водных растениях и донных отложениях показал, что наименее значимая связь прослеживается для надводных растений ($r = 0,21-0,38$). Максимально достоверная корреляционная зависимость выявлена для содержания элементов в донных отложениях и подводных растениях по никелю (0,66), ванадию (0,49), меди (0,46) и свинцу (0,44).

Концентрация никеля (Ni) в макрофитах обследованных водоемов и водотоков колеблется от следовых количеств до 1,53 мг/кг сухого веса (*Lobelia dortmanna*, оз. Белое), что в 4 раза превышает среднее фоновое для озер республики (таблица 2).

Среднее фоновое содержание меди (Cu) в макрофитах составляет 5,58 мг/кг сухого веса. Максимальные концентрации меди (30,6 мг/кг) зафиксированы в погруженных растениях оз. Белое (*Lobelia dortmanna*).

Максимальное содержание свинца (Pb) отмечается в подводных растениях оз. Белое (*Lobelia dortmanna* – 61,2 мг/кг) при средней фоновой величине для Беларуси 4,43 мг/кг.

Среднее фоновое содержание цинка (Zn) в макрофитах озер республики 6,77 мг/кг, а максимальное содержание зафиксировано в *Lobelia dortmanna* оз. Белое (121,35 мг/кг), что в 18 раз выше среднего значения по республике.

Наибольшее содержание титана (Ti) отмечено в *Sparganium natans* (203,2 мг/кг сухого веса) в р. Западный Буг при среднем фоновом содержании 16,21 мг/кг.

Среднее содержание хрома (Cr) в водных растениях республики 1,59 мг/кг, что в 3 раза ниже уровня естественного содержания хрома в растениях, приводимого в литературе. Однако в растениях р. Западный Буг (*Sparganium natans*) зафиксированы концентрации хрома, в 4 раза превышающие средние фоновые по республике.

Среднее фоновое содержание ванадия (V) в макрофитах республики зафиксировано на уровне 3,55 мг/кг сухого веса, что в 3,5 раза выше приводимого в литературе естественного его содержания в растениях. Максимальное содержание этого элемента имеет *Potamogeton natans* в оз. Ореховское (9,38 мг/кг).

Концентрация марганца (Mn) колеблется в фитомассе водных растений в очень широких пределах: от следовых до 4064 мг/кг в р. Западный Буг (*Sparganium natans*), что превышает как естественные фоновые, так и критические (содержание более 500 мг/кг) величины.

Среднее содержание фитотоксичных металлов в тканях водных растений в водоемах и водотоках Брестской области в целом соответствует фоновым величинам для Беларуси. Незначительные превышения наблюдаются по содержанию цинка, марганца и титана (рисунок 1).

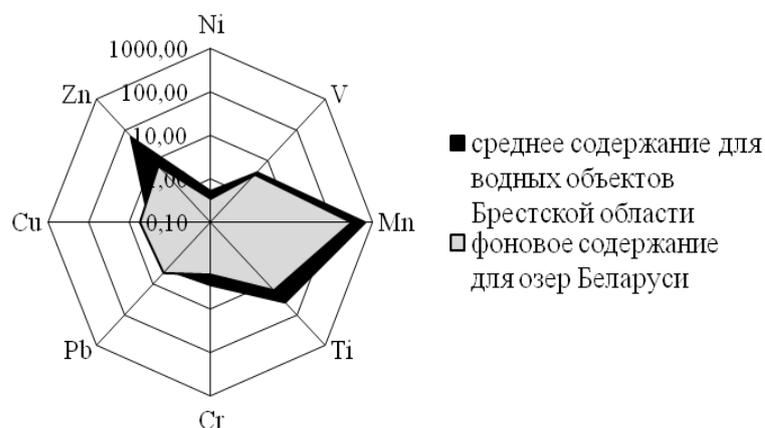


Рисунок 1 – Среднее содержание фитотоксичных металлов в тканях водных растений озер и рек Брестской области, мг/кг ВСВ

Индекс содержания тяжелых металлов в растениях (I_{pm}), рассчитанный для обследованных водных объектов Брестской области в различной степени подверженных антропогенному воздействию, варьирует в пределах от 0,36 до 6,28.

По концентрации поллютантов и величине индекса (I_{pm}) водные объекты можно разделить на пять групп. Очевидно, что величина индекса близкая к 1 соответствует фоновому содержанию элементов. Величина индекса менее 0,1 характеризует очень чистые водоемы и водотоки (группа I), от 0,1 до 1,0 – чистые (группа II), от 1,01 до 2,0 – слабо загрязненные (группа III), от 2,01 до 3,0 – умеренно загрязненные (группа IV), выше 3,0 – сильно загрязненные (группа V) [4], (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициент концентрации (K_c) элементов в водных растениях и индекс загрязнения (I_{pm}) озер и рек Брестской области

Озеро/ река	Индекс загрязнения (I_{pm})	Коэффициент концентрации (накопления) (K_c)							
		<i>Ni</i>	<i>V</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
Белое	6,06	3,94	1,16	1,35	8,49	2,26	13,80	5,41	12,04
Выгонощанское	1,35	-	0,29	5,63	0,14	-	0,37	0,34	-
Мотольское	2,94	-	-	8,19	1,91	0,74	0,83	1,16	4,80
Ореховское	1,52	0,19	1,28	4,68	2,59	-	0,27	0,42	1,18
Западный Буг	6,28	3,48	-	13,13	12,36	3,83	1,34	3,51	-
Лань	0,59	-	0,65	0,62	1,18	-	0,42	0,08	-
Припять	0,36	-	0,26	0,25	0,66	-	0,55	0,08	-
Ясельда	1,18	-	0,15	0,64	3,76	1,75	0,63	0,15	-
Фоновая величина для озер Беларуси (K_f)		0,35	3,55	301,15	16,21	1,59	4,43	5,58	6,77

Заключение

Основное количество обследованных водных объектов (озера Выгонощанское, Ореховское, реки Лань, Припять, Ясельда) относятся к чистым и слабозагрязненным (II и III группы), с градацией индекса содержания тяжелых металлов в водных растениях от 0,36 до 1,52. К сильнозагрязненным относятся озеро Белое и река Западный Буг.

Озеро Белое, отличающееся повышенным содержанием тяжелых металлов в растениях, низко минерализованное, кислотное озеро мезотрофного типа (водородный показатель pH воды 4,0–6,8), кислая реакция среды которого увеличивает миграционную подвижность металлов и способствует их накоплению в тканях макрофитов. Западный Буг же расположен на пути переноса загрязненных воздушных масс. Содержание таких элементов, как хром, никель, цинк, свинец, в этих водных объектах превышает естественные фоновые величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов, Б.П. Концепция и методика мониторинга водной растительности / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич, Н.Д. Грищенко // Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси; под ред. А.В. Пугачевского. – Минск : Право и экономика, 2011. – С. 28–39.

2. Мур, Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж. В. Мур, С. Рамамурти. – М : Мир, 1987. – 288 с.
3. Трахтенберг, И. М. Тяжелые металлы во внешней среде / И. М.Трахтенберг, В.С. Колесников, В.П.Луковенко. – Минск : Наука, 1994. – 288 с.
4. Vlasov, V.P. Estimation of pollution of lakes of Belarus under the contents of heavy metals in water plants and bottom sediments / V.P. Vlasov, G. Gigevich // *Limnological review*. – 2006. – Vol. 6. – P. 289–294.

V.P. Vlasov Assessment of Pollution of Reservoirs and Streams in Brest Region by Heavy Metals' Content in Aquatic Plants and Sediments

Macrophytes and sediments are capable to accumulate substances in the concentration exceeding its contents in the environment. These features have defined their use in the system of monitoring of the higher aquatic plants and control of a condition of reservoirs and streams. The concentration and background heavy metals' content in macrophytes and sediments 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.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.12.2013