УДК: 549.25/.28:581.526.3(282.247.32)(476.2-21)

МИНИМАЛЬНОЕ И МАКСИМАЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИБРЕЖНО–ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ВОДОЕМОВ ВБЛИЗИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА Г. РЕЧИЦА

MAXIMUM AND MINIMUM ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY RIVERSIDE AND WATER VEGETATION CLOSE TO INDUSTRIAL CENTER OF THE CITY OF RECHITSA

©Дайнеко Н. М.
канд. биол. наук
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
г. Гомель, Беларусь, Dajneko@gsu.by
©Daineko N.
Ph.D., Skorina Gomel State University
Gomel, Belarus, Dajneko@gsu.by
©Тимофеев С. Ф.
канд. сел.–хоз. наук
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
г. Гомель, Беларусь, sertimo@mail.ru
©Timofeev S.
Ph.D., Skorina Gomel State University
Gomel, Belarus, sertimo@mail.ru
©Жадько С. В.
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
г. Гомель, Беларусь, Zhadkosv@mail.ru
©Zhadko S.
Skorina Gomel State University
Gomel, Belarus, Zhadkosv@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ проб воды, почвы, растительных образцов изучаемых объектов. В пробах воды во всех изучаемых объектах не отмечалось превышения предельно допустимой концентрации по железу, меди, цинку, свинцу, хрому. Содержание кадмия, кобальта, никеля, марганца в отдельных объектах было выше ПДК. Все пробы почвы содержали медь, цинк, кобальт, марганец, свинец, никель, хром ниже ПДК, а кадмия во всех пробах было выше ПДК в 1,75 раза. Наименьшее содержание Cu в растительных образцах обнаружено у рдеста блестящего, Zn — у кубышки желтой, Mn — у стрелолиста обыкновенного, Ni — ежеголовника прямого. У большинства растительных образцов минимальное накопление Cr было в пределах 0,010 мг/кг — 0,030 мг/кг. Минимальное содержание Pb, Cd у многих растительных образцов оказалось сходным. Максимальное содержание Cu обнаружено у ряски малой, Zn, Cr и Pb — у роголистника погруженного, Mn и Ni — у телореза алоевидного. Максимальное содержание Cd во всех растительных образцах оказалось сходной величиной.

Методы исследования: флористический, геоботанический, химический

Abstract. Water, soil and plant samples were analyzed. In water, the content of iron, copper, zinc, lead and chromium did not exceed the threshold limits in all studied sites. On the contrary, the content of cadmium, cobalt, nickel and manganese exceeded the threshold limits in some sample plots. All soil samples contained copper, zinc, cobalt, manganese, lead, nickel, chromium below the threshold limits; however, the content of cadmium in all samples was 1.75 times higher than the threshold limits. Plant samples of *Potamogeton natans* had the lowest content of Cu, *Nuphar lutea*

— Zn, *Sagittaria sagittifolia* — Mn, *Sparganium erectum* — Ni. Most plant samples had a minimum accumulation of Cr within 0,010 — 0,030 ppm. Many plant samples had the similar minimum content of Pb and Cd. *Lemna minor* had the highest content of Cu, *Ceratophyllum demersum* — Zn, Cr, Pb, and *Stratiotes aloides* — Mn and Ni. All the plant samples had the similar maximum content of Cd.

Methods: floral, geobotanical, chemical

Ключевые слова: тяжелые металлы, прибрежно–водная растительность, максимальное накопление, минимальное накопление.

Keywords: heavy metals, riverside and water vegetation, maximum accumulation, minimum accumulation.

Макрофиты — растительные организмы, имеющие большое значение в продукционном балансе водоема. Они создают основную часть первичного органического вещества — материальную и энергетическую основу существования водных и околоводных животных, оказывают сильное средообразующее влияние, изменяют газовый режим и активируют реакцию воды, определяют локальную гидродинамическую обстановку, участвуют в обмене макро– и микроэлементов и трансформации донных отложений, служат средой обитания и пищей многих бентосных животных и рыб [1]. Водные растения в условиях высокого содержания тяжелых металлов могут накапливать элементы в довольно высоких концентрациях, но до определенного предела, повышение которого может вызвать деградацию и гибель растений [2, 3]. Видовой состав прибрежно–водной растительности позволяет достаточно точно охарактеризовать экологическое состояние водоема. В настоящее время широко применяется методика индикации вод по биологическим показателям, которые широко используется в практике гидробиологических исследований. Для анализа качества вод используются индикатор–организмы и специальные методы [4]. Высшие водные растения, как индикаторы изменения качества, наряду с другими организмами находят широкое применение при биологическом анализе и проведении санитарно–гидробиологических исследований [5].

В последние десятилетия в процессы миграции тяжелых металлов в природной среде интенсивно включилась антропогенная деятельность человечества. Количества химических элементов, поступающие в окружающую среду в результате техногенеза, в ряде случаев значительно превосходят уровень их естественного поступления. Основными источниками антропогенного поступления тяжелых металлов в окружающую среду являются тепловые электростанции, металлургические предприятия, транспорт, химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей, сжигание нефти и различных отходов, производство стекла, удобрений, цемента и пр. [6]. Мониторинг накопления тяжелых металлов прибрежно–водной растительностью водоемов является одним из важнейших инструментов контроля процессов техногенного воздействия на окружающую среду, вызванного функционированием вышеперечисленных предприятий.

Высшие водные растения составляют неотъемлемый компонент водной экосистемы, формируют биологическое разнообразие, являются биологическими ресурсами, индикаторами состояния водной среды. Сложившаяся система контроля загрязнения водоемов базируется на анализе водной среды, которая 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 большое внимание придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам. Способность высших водных растений и осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения в водной среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды [7].

Особенности накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью в условиях Волгоградского водохранилища изучала А. И. Кочеткова. Установлены корреляционные связи между Fe, Ni, Cr, Co, Mn, Cu, Zn, Pb и ряды накопления их в золе макрофитов. Выявлены виды–индикаторы Sr, Cu, Zn, Pb. По абсолютному содержанию в растениях тяжелые металлы подразделяются на четыре группы: элементы повышенной концентрации (Sr, Mn, Fe, Zn), средней (Cu, Ni, Cr, Pb) и низкой (Mo, Cd, Se, Co) [8].

В современных условиях антропогенного воздействия оценка содержания тяжелых металлов в воде и выявление тенденций изменчивости их концентраций в речных экосистемах важны не только для определения уровня загрязненности рек, но и для подержания экологической безопасности в регионе и принятия мер по восстановлению водных экосистем [9]. В работе А. Г. Уварова исследовано влияние эпифитовзвеси на увеличение концентраций тяжелых металлов (ТМ) в макрофитах. Рассмотрены особенности накопления ТМ взвесью на разных видах растений, обитающих в различных водных объектах, даны практические рекомендации по учету влияния взвеси на концентрации ТМ в водных растениях [10].

Влияние концентрации тяжелых металлов на водные растения и на необходимость постоянного контроля за их накоплением отмечалось и в иностранных работах [11–14]. Результаты наших исследований [15–18] согласуются с результатами вышеперечисленных авторов.

Цель работы — выявить виды прибрежно–водных растений различных экологических групп, накапливающих минимальное и максимальное количество тяжелых металлов в водоемах.

Методы и объекты исследований

Материалом для исследований послужили пробы воды, почвы и образцы прибрежно–водной растительности, отобранные по общепринятым методикам в летний период 2011–2013 г. г. в водоемах вблизи крупного промышленного центра г. Речица, Гомельской области, Республики Беларусь. Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина [19]. Латинские названия видов высших растений даны по определителю [20]. Распределение растительности по экологическим группам осуществлялось по классификации Гигевича [21, 22]. Анализы проб воды, почвы и растительных образцов выполняли на атомно–абсорбционном спектрометре Solaar M-6 в РНИУП «Институт радиологии МЧС Республики Беларусь» в лаборатории массовых анализов.

Ниже приводится характеристика объектов изучаемой прибрежно–водной растительности. Точки отбора проб были зафиксированы с помощью навигатора GPS Garmin 72. В шести изучаемых объектах произрастал 41 вид высших растений. За три года исследований проанализировано 208 растительных образцов. Из них были отобраны растительные образцы, накапливающие минимальное и максимальное количество тяжелых металлов.

Объект №1. Правобережье р. Днепр против д. Бронное Речицкого района, выше сброса водоканала г. Речица. Координаты: 52°19′130″ с. ш., 30°29′287″ в. д. Пологий склон русла р. Днепр представлен сообществом ассоциации *Agrostietum stoloniferae ass. nov. prov.*, союза *Poion palustris* Shelyag, V. Solomakha et Sipaylova 1985, порядка *Galio palustris–Poetaria palustris* V. Solomakha 1996, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект №2. Правобережное русло р. Днепр ниже сброса водоканала г. Речицы. Координаты: 52°19′438″ с. ш., 30°30′111″ в. д. Склон берега р. Днепр занят сообществом с преобладанием полевицы побегообразующей асс. *Agrostietum stoloniferae ass. nov. prov.*, союза *Poion palustris* Shelyag, V. Solomakha et Sipaylova 1985, порядка *Galio palustris–poetaria palustris* V. Solomakha 1996, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект №3. Левобережное притеррасное озеро вблизи моста через р. Днепр. Берег озера закустарен ивой — *Salix canescens*. Координаты: 52°19′715″ с. ш., 30°31′965″ в. д.

Травяное растительное сообщество отнесено к асс. *Caricetum gracilis* (Almguist 1929) *R.* Tx. 1937 союза *Caricion gracilis* (Neuhausl 1959) Bal.–Tul. 1963, порядка *Magnocaricetalia* Pign. 1953, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект №4. Притеррасное озеро левобережной поймы р. Днепр в 3 км ниже г. Речица вблизи моста. Координаты: 52°19′717″ с. ш., 30°31′941″ в. д. Берег окаймлен травяной экосистемой асс. *Glycerio maximae — Caricetum acutae* Sapegin 1986 союза *Magnocaricion elatae* W. Koch 1926, порядка *Magnocaricetalia* Pign. 1953, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 с зарослями ивняков асс. *Salicetum triandro–viminalis Lohm.* 1952 союза *Salicion albae* Th. Müller et Görs 1958, порядка *Salicetalia purpureae* Moor. 1958, класса *Salicetea purpureae* Moor 1958.

В воде экосистема с преобладанием кубышки желтой асс. *Nupharo lutei — Nymphaetum albae* (Nowinski 1930) Tomasz. 1977 союза *Nymphaeion albae* Oberd. 1957, порядка *Potametalia* W. Koch 1926, класса *Potametea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект №5. Старое речище р. Днепр против г. Речица. Координаты: 52°22′146″ с. ш., 30°29′877″ в. д. Берег окаймлен травяной экосистемой асс. *Carici acutae — Glicerietum maximae* (Jilek et Valisek 1964) Shelyag, V. Solomakha et Sipaylova 1985 союза *Sparganio–Glycerion* Br.–Bl. et Siss in Boer 1942, порядка *Magnocaricetalia* Pign. 1953, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Экосистема рогоза широколиственного с осокой острой асс. *Typhetum latifoliae* Soó 1927 союза *Phragmition communis* W. Koch 1926, порядка *Nasturtio–Glycerietalia* Pignatti em. Kopecky 1961 in Kopecky et Hejny 1965, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Экосистема с преобладанием *Schoenoplectus lacustris* отнесена к асс. *Scirpetum lacustris* Schmale 1939 союза *Phragmition* Koch 1926, порядка *Phragmitetalia* Koch 1926, класса *Phragmito–Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект №6. Озеро притеррасной левобережной поймы р. Днепр против д. Черное Речицкого района Гомельской области. Название озера Долгое. Его ширина до 200 м. Оно находится в 5 км выше г. Речицы.

Ближе к берегу акватория озера образует пояса растительности: кубышки желтой, водяного ореха, многокоренника с ежеголовником простым. Кайма растительности берега озера образована сообществом осоки острой и полевицей побегообразующей.

Экосистема кубышки желтой (*Nuphar lutea*) отнесена к асс. *Nupharo lutei — Nymphaetum albae* (Nowinski 1930) Tomasz. 1977 союза *Nymphaeion albae* Oberd. 1957, порядка *Magnopotamion* (W. Koch 1926), класса *Potametea* Klika in Klika et Novak 1941.

Пояс растительности с доминированием водяного ореха — *Trapa natans*, трава отнесен к асс. *Trapetum natantis* Müller et Görs 1969 союза *Nymphaeion albae* Oberd. 1957, порядка *Potametalia* W. Koch 1926, класса *Potametea* Klika in Klika et Novak 1941.

Пояс многокоренника и ежеголовника плавающего отнесен к асс. *Spirodelatum polyrhizae* W. Koch 1954, союза *Lemnion minoris R. Tx.* 1955, порядка *Lemnetea R. Tx.* 1955, класса *Lemnetea R. Tx.* 1955.

Травяная экосистема с доминированием осоки острой — *Carex acuta* отнесена к асс. *Caricetum gracilis (Almguist 1929) R. Tx.* 1937 союза *Caricion gracilis (Neuhausl 1959) Bal.–Tul.* 1963, порядка *Magnocaricetalia Piga.* 1953, класса *Phragmito–Magnocaricetea Klika in Klika et Novak* 1941.

Травяная экосистема с преобладанием полевицы побегообразующей — *Agrostis stolonifera* — асс. *Agrostietum stoloniferae* союза *Alopecurion pratensis* Pass. 1964, порядка *Molinietalia* W. Koch 1926, класса *Molinio–Arrhenatheretea* R. Tx. 1937.

Результаты исследований

Анализ проб воды (Таблица 1) показал, что во всех изучаемых объектах не отмечалось превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) по содержанию железа, меди, цинка, свинца, хрома. В пяти объектах из шести содержание кадмия, в четырех объектах

содержание никеля, в трех объектах содержание марганца и в одном объекте содержание кобальта превышало ПДК.

Таблица 1.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ ВОДЫ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ РЕЧИЦКОГО РАЙОНА В МГ/Л

Шифр пробы	*Определяемый показатель, мг/л*								
	Fe	*Cu*	*Zn*	*Co*	*Mn*	*Pb*	*Cd*	*Ni*	*Cr*
Объект 1	<0,0015	<0,001	0,0086	0,001	<0,0008	<0,00075	0,006	0,005	<0,0006
Объект 2	<0,0015	0,005	0,002	0,001	<0,0008	<0,00075	0,006	0,017	<0,0006
Объект 3	0,041	0,003	0,002	0,011	0,297	<0,00075	0,007	0,009	<0,0006
Объект 4	0,045	0,002	0,002	0,015	0,318	<0,00075	0,007	0,011	<0,0006
Объект 5	0,001	0,002	0,003	0,001	<0,0008	<0,00075	0,005	0,019	<0,0006
Объект 6	0,009	0,004	0,005	0,002	0,181	<0,00075	0,006	0,012	<0,0006
ПДК	0,1	0,1	0,01	0,01	0,1	0,1	0,005	0,01	0,001

Анализ проб почвы (Таблица 2) изучаемых объектов установил, что более всего железа содержалось в почвогрунте из воды в пятом объекте, а менее всего в почвогрунте из воды в шестом. Все пробы почвы содержали меди, цинка, кобальта, марганца, свинца, никеля и хрома гораздо ниже ПДК, тогда как кадмия во всех пробах почвы выше ПДК в 1,75 раза.

Таблица 2.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ ПОЧВЫ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ РЕЧИЦКОГО РАЙОНА В МГ/КГ

№ объекта	*Определяемый показатель, мг/кг*								
	Fe	*Cu*	*Zn*	*Co*	*Mn*	*Pb*	*Cd*	*Ni*	*Cr*
1	2409,93 / 3203,29	0,98 / 0,83	11,90 / 13,21	<0,025 / <0,025	113,08 / 64,55	2,64 / 1,33	<0,07 / <0,07	0,36 / 0,67	0,36 / 0,76
2	4012,23 / 2178,45	0,39 / 0,17	6,44 / 3,67	<0,025 / <0,025	143,97 / 80,41	<0,33 / <0,33	<0,07 / <0,07	0,41 / <0,2	0,40 / 0,31
3	1175,03 / 2395,20	1,08 / 1,76	3,17 / 10,76	<0,025 / <0,025	21,68 / 37,46	1,11 / 1,72	<0,07 / <0,07	0,29 / 0,88	0,14 / 0,16
4	913,88 / 2698,90	0,63 / 1,59	3,74 / 13,25	<0,025 / <0,025	21,95 / 45,41	1,36 / 1,89	<0,07 / <0,07	0,28 / 0,95	0,14 / 0,19
5	3237,21 / 8989,24	0,54 / 0,57	2,06 / 1,54	<0,025 / <0,025	44,66 / 158,16	0,83 / <0,33	<0,07 / <0,07	0,33 / <0,2	0,22 / 0,22
6	809,75 / 334,87	0,40 / <0,11	1,73 / 1,30	<0,025 / <0,025	21,47 / 10,28	0,34 / <0,33	<0,07 / <0,07	0,62 / 0,25	0,16 / <0,14
ПДК	—	3,0	37,0	20,0	1500,0	25,0	0,4	4,0	6,0

Примечание: в числителе указано содержание тяжелых металлов в пробах почвы, в знаменателе — в почвогрунте из воды.

Результаты анализа растительных образцов (Таблица 3) эугидрофитов, полностью погруженных, не укореняющихся, взвешенных в толще воды, представленных телорезом алоевидным и роголистником погруженным показал, что минимальное содержание железа отмечено у телореза алоевидного, а максимальное у роголистника погруженного. В обоих растительных образцах минимальное накопление меди, кобальта, свинца, кадмия, никеля и хрома оказалось ниже фонового содержания, тогда как накопление цинка у телореза алоевидного в 6,8 раза, у роголистника погруженного в 3,2 раза, марганца в обоих видах соответственно в 4,0 и 4,7 раза было выше фона. Максимальное накопление меди у роголистника в 2,5 раза, цинка соответственно — 18,2 раза, кобальта в 5,8–3,2 раза, марганца в 12,0–11,3 раза, никеля в 23,3–22,5 раза, хрома в 23,6 раза у роголистника оказалось выше фонового содержания. Накопление свинца и кадмия как при минимальном, так и максимальном содержании у обоих видов было ниже или равным фону.

Таблица 3.

МИНИМАЛЬНОЕ И МАКСИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ИЗУЧАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ РЕЧИЦКОГО РАЙОНА, 2011–2013 Г. Г. (В МГ/КГ)

Вид растения	*Определяемый показатель, абс.–сух. сост., мг/кг*								
	железо	*медь*	*цинк*	*кобальт*	*марганец*	*свинец*	*кадмий*	*никель*	*хром*
Эугидрофиты, полностью погруженные, неукореняющиеся, взвешенные в толще воды									
Телорез алоевидный	818,43 / 1763,79	0,53 / 3,00	8,92 / 23,84	0,009 / 0,058	1202,30 / 3627,41	0,015 / 0,071	0,002 / 0,010	0,089 / 7,00	0,010 / 0,072
Роголистник погруженный	2514,8 / 5838,40	0,64 / 7,57	4,18 / 35,99	0,009 / 0,032	1405,80 / 3404,00	0,015 / 0,25	0,001 / 0,010	0,097 / 6,74	0,003 / 8,04
Эугидрофиты с воздушными генеративными органами, укореняющиеся									
Рдест блестящий	1561,60 / 4200,40	0,010 / 5,91	3,84 / 19,31	0,030 / 0,030	518,45 / 2313,70	0,030 / 0,040	0,010 / 0,010	0,80 / 2,13	0,010 / 2,68
Ежеголовник прямой	57,37 / 1286,30	0,010 / 0,77	2,80 / 10,14	0,009 / 0,030	256,54 / 1426,80	0,040 / 0,104	0,001 / 0,010	0,050 / 0,096	0,003 / 0,030
Плейстогидрофиты неукореняющиеся									
Ряска малая	1435,50 / 4290,90	1,86 / 42,52	2,74 / 32,35	0,009 / 0,030	2197,50 / 2984,50	0,015 / 0,085	0,001 / 0,010	0,234 / 1,55	0,065 / 2,32
Водокрас лягушачий	744,47 / 2674,86	0,73 / 2,26	10,27 / 23,80	0,009 / 0,042	422,30 / 2164,31	0,040 / 0,076	0,004 / 0,010	0,365 / 4,53	0,052 / 3,41
Водяной орех	406,82 / 2413,16	0,15 / 1,79	7,26 / 14,31	0,009 / 0,059	222,46 / 1930,80	0,015 / 0,088	0,001 / 0,010	0,050 / 0,090	0,003 / 0,038
Многокоренник обыкновенный	2894,30 / 3875,33	1,49 / 4,43	5,83 / 19,77	0,009 / 0,068	830,08 / 2995,58	0,015 / 0,092	0,001 / 0,010	0,137 / 0,84	0,003 / 0,010
Плейстогидрофиты укореняющиеся									
Кубышка желтая	11,88 / 463,06	0,010 / 3,11	1,42 / 14,71	0,009 / 0,048	136,16 / 689,66	0,015 / 0,076	0,002 / 0,010	0,030 / 0,28	0,004 / 0,014
Кувшинка белая	55,50 / 455,14	0,49 / 7,78	7,61 / 17,17	0,009 / 0,053	241,79 / 976,71	0,015 / 0,094	0,002 / 0,010	0,080 / 0,116	0,003 / 0,010
Аэрогидрофиты высокорослые									
Камыш озерный	65,00 / 239,29	0,010 / 3,88	1,54 / 24,95	0,009 / 0,044	215,36 / 370,58	0,015 / 0,083	0,001 / 0,010	0,001 / 3,52	0,003 / 0,190
Манник большой	118,24 / 203,61	0,95 / 3,12	2,88 / 18,54	0,009 / 0,054	119,50 / 294,61	0,015 / 0,079	0,001 / 0,010	0,026 / 0,24	0,003 / 0,010
Рогоз широколистный	80,46 / 160,79	0,28 / 2,03	5,52 / 16,51	0,009 / 0,048	111,72 / 551,71	0,018 / 0,083	0,001 / 0,010	0,021 / 0,49	0,003 / 0,010
Тростник обыкновенный	90,55 / 91,050	0,86 / 4,05	5,90 / 14,62	0,009 / 0,053	62,13 / 225,18	0,015 / 0,093	0,001 / 0,010	0,063 / 0,82	0,003 / 0,010
Аэрогидрофиты среднерослые									
Частуха подорожниковая	169,59 / 1533,32	1,62 / 8,72	4,56 / 33,39	0,009 / 0,049	134,65 / 2014,30	0,015 / 0,081	0,001 / 0,010	0,040 / 0,49	0,003 / 0,120
Сабельник болотный	11,98 / 1882,58	1,30 / 6,53	8,40 / 35,56	0,009 / 0,030	296,38 / 751,090	0,015 / 0,040	0,001 / 0,018	0,040 / 0,80	0,003 / 1,750
Осока острая	13,95 / 703,11	1,11 / 8,66	2,150 / 17,58	0,061 / 0,061	314,36 / 314,36	0,015 / 0,091	0,001 / 0,010	0,049 / 2,60	0,003 / 0,010
Ситняг болотный	61,96 / 1394,1	0,82 / 10,48	4,83 / 20,18	0,009 / 0,3	155,43 / 961,79	0,015 / 0,071	0,003 / 0,01	0,06 / 0,37	0.003 / 0,05
Стрелолист обыкновенный	314,7 / 2870,5	0,01 / 8,85	0,11 / 25,76	0,009 / 0,071	56,77 / 1980,5	0,015 / 0,059	0,001 / 0,011	0,05 / 2,04	0,003 / 1,87
Сусак зонтичный	10,19 / 724,25	0,31 / 4,5	0,64 / 23,68	0,03 / 0,047	142,28 / 715,28	0,03 / 0,078	0,008 / 0,01	0,04 / 1,85	0,01 / 0,06
Фоновое содержание	—	3,0	1,31	0,01	301,0	2,38	0,01	0,3	0,34

Примечание: в числителе указано минимальное содержание тяжелых металлов, в знаменателе — максимальное.

Рассматривая результаты содержания тяжелых металлов у группы эугидрофитов с воздушными органами, укореняющихся, которая состоит их двух видов: рдеста блестящего и ежеголовника прямого, можно видеть, что у рдеста отмечен максимум накопления железа, а минимум — у ежеголовника. В этих образцах минимальное накопление меди, никеля и хрома, а также кобальта у ежеголовника было меньше фонового. Максимальное накопление

меди у рдеста блестящего в 2 раза, цинка у обоих видов в 14,7 и 7,7 раза, кобальта в 3 раза, марганца в 7,7 и 4,7 раза, никеля у рдеста блестящего в 7,1 раза, хрома — 7,9 раза выше фонового содержания. Следует отметить, что у обоих видов, как минимальное, так и максимальное накопление цинка превышало его фоновое содержание, а свинца наоборот гораздо ниже фона.

Анализируя результаты содержания тяжелых металлов у группы плейстогидрофитов не укореняющихся, которая представлена ряской малой, водокрасом лягушачьим, водяным орехом, многокоренником обыкновенным видно, что минимум железа накапливает водяной орех, а максимум ряска малая и многокоренник обыкновенный, что в 10,6 раза выше, чем у ореха водяного. У этих четырех видов минимальное содержание меди, кобальта, кадмия, хрома, марганца у водяного ореха, никеля у ряски малой и водяного ореха не превышало фона. У всех видов наблюдалось одинаковое минимальное содержание кобальта. Максимальное накопление меди у ряски малой в 14,2 раза, цинка у всех видов в 3,0–6,8 раза, марганца у всех видов в 3,6–9,3 раза, никеля у ряски в 5,2 раза, водокраса в 15,1 раза, многокоренника в 2,8 раза, хрома у ряски в 6,8 раза, водокраса в 10 раз было выше фона. У всех растительных образцов как минимальное, так и максимальное содержание свинца и кадмия не превышало его фонового содержания.

Группа плейстогидрофитов укореняющихся, представлена двумя видами: кубышкой желтой и кувшинкой белой. Минимальное и максимальное содержание железа отмечено у кубышки желтой. Минимальное содержание меди, цинка отмечено у кубышки желтой и марганца у обоих видов. Максимальное накопление меди наблюдалось у кувшинки белой в 2,6 раза, цинка в 5,4–12,2 раза, кобальта в 4,4–5,4 раза, марганца в 2,3 и 3,2 раза выше фона. В изучаемых растениях накопление свинца оказалось гораздо ниже фонового содержания. Накопление кадмия, никеля, хрома при минимальном и максимальном накоплении оказалось также ниже фона.

Анализ результатов содержания тяжелых металлов группы аэрогидрофитов среднерослых, которые были представлены 6 видами растений: осоки острой, ситняга болотного, стрелолиста обыкновенного, сусака зонтичного, частухи подорожниковой, сабельника болотного показал, что минимальное содержание железа отмечено у сабельника болотного, а максимальное у стрелолиста обыкновенного. У всех шести изучаемых растительных образцов минимальное накопление меди, никеля, кадмия, у пяти — марганца, у четырех кобальта, у двух — цинка не превышало их фонового содержания. Также у всех растительных образцов максимальное содержание меди оказалось выше фонового в 1,5 раза у сусака зонтичного до 3,5 раза у ситняга болотного, цинка 12,5 раза у осоки острой до 25,2 раза у сабельника болотного, кобальта — в 3–5 раз, марганца в 2,4 раза у сусака зонтичного до 6,7 раза у частухи подорожниковой, никеля у четырех видов в 8,7 раза у осоки острой до 1,2 раза ситняга болотного, кадмия у стрелолиста обыкновенного в 5,5 раза и сабельника болотного в 5,1 раза. Минимальное и максимальное накопление свинца оказалось ниже фона.

Анализ результатов содержания тяжелых металлов группы аэрогидрофитов высокорослых, включающих 4 вида: камыш озерный, манник большой, рогоз широколиственный, тростник обыкновенный, выявил, что как минимальное, так и максимальное содержание железа было обнаружено у камыша озерного. У всех растительных образцов минимальное содержание меди, кобальта, марганца, никеля оказалось ниже фонового. При максимальном накоплении меди превышение фона в 1,3 раза обнаружено у камыша озерного и в 1,4 раза у тростника обыкновенного, кобальта — у манника, тростника, камыша в 4–5 раз, марганца — в 1,2 раза у камыша озерного и в 1,8 раза у рогоза широколистного, никеля в 1,6 раза у рогоза широколистного и 12,7 раза у тростника обыкновенного. Все растительные образцы, как при минимальном, так и максимальном накапливали цинк выше фона, особенно камыш озерный — в 17,7 раза. Как и в других экологических группах, у аэрогидрофитов высокорослых минимальное и максимальное накопление свинца, кадмия, хрома не превышало фонового содержания.

Обсуждение результатов

По результатам исследований были выявлены виды растений, принадлежащих к разным экологическим группам, накапливающих минимальное и максимальное количество тяжелых металлов в изучаемых прибрежно–водных экосистемах. Так минимальное содержание меди обнаружено у эугидрофитов с воздушными генеративными органами, укореняющихся рдеста блестящего, ежеголовника прямого, у плейстогидрофита укореняющегося кубышки желтой, у аэрогидрофита высокорослого камыша озерного, максимальное — у плестогидрофита укореняющегося ряски малой, у аэрогидрофитов среднерослых ситняга болотного и стрелолиста обыкновенного; цинка – минимальное у плейстогидрофита укореняющегося кубышки желтой, у аэрогидрофитов среднерослых стрелолиста обыкновенного и сусака зонтичного, максимальное — у эугидрофита, полностью погруженного, неукореняющегося, взвешенного в толще воды роголистника погруженного, у плейстогидрофита неукореняющегося ряски малой, у аэрогидрофитов среднерослых сабельника болотного и частухи подорожниковой; минимальное накопление марганца — у стрелолиста обыкновенного, у аэрогидрофита высокорослого тростника обыкновенного, максимальное — у телореза алоевидного, роголистника погруженного, ряски малой; минимальное содержание никеля наблюдалось в растительных образцах ежеголовника прямого, у плейстогидрофита неукореняющегося водяного ореха, у аэрогидрофита высокорослого манника большого, у сабельника болотного, сусака зонтичного, максимальное — у телореза алоевидного, роголистника погруженного. У большинства растительных образцов минимальное накопление хрома находилось в пределах 0,010 мг/кг – 0,030 мг/кг, а максимальное отмечено у роголистника погруженного и телореза алоевидного, ряски малой. Следует подчеркнуть, что минимальное содержание свинца во многих растительных образцах было одинаковым, а у роголистника погруженного и ежеголовника прямого отмечено максимальное накопление свинца. Минимальное содержание кадмия, также, как и свинца во многих образцах оказалось сходным, практически такая же ситуация наблюдалась и при максимальном накоплении.

Следует отметить, что максимальное накопление большинства тяжелых металлов наблюдалось у эугидрофитов, полностью погруженных, неукореняющихся, взвешенных в толще воды, эугидрофитов с воздушными генеративными органами, укореняющихся, плейстогидрофитов неукореняющихся. Часто максимум накопления отмечался у телореза алоевидного, роголистника погруженного, ряски малой. Минимальное накопление тяжелых металлов более характерно для плейстогидрофитов укореняющихся, аэрогидрофитов высокорослых и среднерослых.

Выводы

1. Во всех изучаемых объектах в пробах воды не отмечалось превышения ПДК по содержанию железа, меди, цинка, свинца, хрома. В ряде объектов содержание кадмия, никеля, марганца, кобальта оказалось выше ПДК.

2. Все пробы почвы содержали медь, цинк, кобальт, марганец, свинец, никель и хром гораздо ниже ПДК, тогда как содержание кадмия во всех пробах почвы было выше ПДК в 1,75 раза.

3. У эугидрофитов полностью погруженных, не укореняющихся, взвешенных в толще воды, у плейстогидрофитов не укореняющихся во всех растительных образцах минимальное и максимальное накопление свинца и кадмия не превышало его фонового содержания.

4. У эугидрофитов с воздушными органами, укореняющихся, содержание цинка при минимальном и максимальном накоплении превышало фоновое содержание, а свинца, наоборот, было гораздо ниже фона.

5. У плейстогидрофитов укореняющихся накопление свинца, кадмия, никеля, хрома при минимальном и максимальном накоплении оказалось ниже фона.

6. У аэрогидрофитов среднерослых только минимальное и максимальное накопление свинца оказалось ниже фона.

7. У аэрогидрофитов высокорослых минимальное и максимальное накопление свинца, кадмия, хрома не превышало фонового содержания.

8. Только содержание свинца во всех экологических группа при максимальном и минимальном накоплении не превышало фонового содержания.

Список литературы:

1. Базарова Б. Б. Содержание химических элементов в *Elodea canadensis* Michx. в водоемах Забайкалья // Вода: химия и экология. 2015. №7. С. 43–51.

2. Власов Б. П., Гигевич Г. С. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: методические рекомендации. Минск: БГУ, 2002. 84 с.

3. Власов Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз. Минск: Наука, 2004. 196 с.

4. Гапеева М. В., Законов В. В., Гапеев А. А. Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Водные ресурсы. 1997. Т. 24, №2. С. 174–180.

5. Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. Высшие водные растения Беларуси: эколого–биологическая характеристика, использование и охрана. Минск: Издательский центр БГУ, 2001. 231 с.

6. Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Аккумуляция радиоцезия и тяжелых металлов прибрежно–водной растительностью в некоторых районах Гомельской области (Республика Беларусь), приграничных с Брянской областью России // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. №1. С. 220–225.

7. Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Оценка состояния прибрежно–водной растительности Гомельского района // Известия Гомельского государственного университета. 2013. №5 (80). С. 63–70.

8. Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Жадько С. В. Накопление тяжелых металлов прибрежно–водной растительностью водоемов вблизи г. Жлобина Гомельской области Республики Беларусь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №5. С. 124–132.

9. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях: монография. Новосибирск: Изд–во СО РАН, 2001. 229 с.

10. Ковда В. А. Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. 448 с.

11. Корчагин А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника: сб. науч. ст. Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 39–62.

12. Лапиров А. Г. Экологические группы растений водоемов. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. 188 с.

13. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 273 с.

14. Мережко А. И. Роль высших водных растений в самоочищении водоемов // Гидробиол. журн. 1973. №4. С. 118–125.

15. Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Накопление тяжелых металлов прибрежно–водной растительностью Гомельского региона. Чернигов: Издатель Лозовой В. М., 2014. 212 с.

16. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.

17. Решетняк О. С., Рвачева М. Ю. Современные тенденции изменчивости содержания тяжелых металлов в воде рек Печенга и Нива // Международный научно–исследовательский журнал. 2014. №2–3 (21). С. 128–130.

18. Уваров А. Г. Влияние эпифитовзвеси на накопление тяжелых металлов в макрофитах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. №8–1. С. 12–24.

19. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. М.: Наука, 1974. 324 с.

20. Adama N., Schmitt C., Bruyn L. De, Knapen D., Blust R. Aquatic acute species sensitivity distributions of ZnO and CuO nanoparticles // Science of the Total Environment. 2015. №526. P. 233–242.

21. Engina M. S., Uyanikb A., Kutbayc H. G. Accumulation of Heavy Metals in Water, Sediments and Wetland Plants of Kizilirmak Delta (Samsun, Turkey) // International Journal of Phytoremediation. 2015. V. 17. №1. P. 66–75.

22. Jing Li., Haixin Yu., Yaning Luan. Meta–Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal–Polluted Water // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2015. №12 (12). P. 14958–14973.

23. Phillips D. P., Human L. R. D., Adams J. B. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination // Marine Pollution Bulletin. 2015. V. 92. №1–2, P. 227–232.

References:

1. Bazarova B. B. Soderzhanie khimicheskikh elementov v Elodea canadensis Michx. v vodoemakh Zabaikalya (The content of chemical elements in Elodea canadensis Michx. in the waters of Transbaikalia). Voda: khimiya i ekologiya, 2015, no. 7, pp. 43–51. (In Russian).

2. Vlasov B. P., Gigevich G. S. Ispolzovanie vysshikh vodnykh rastenii dlya otsenki i kontrolya za sostoyaniem vodnoi sredy (The use of higher water plants to evaluate and monitor the state of the aquatic environment): guidelines. Minsk, BGU, 2002, 84 p. (In Russian).

3. Vlasov B. P. Antropogennaya transformatsiya ozer Belarusi: geoekologicheskoe sostoyanie, izmeneniya i prognoz (Anthropogenic transformation of Belarus Lakes: geoecological condition, changes and forecast) / B. P. Vlasov. Minsk, Nauka, 2004. 196 p. (In Russian).

4. Gapeeva M. V., Zakonov V. V., Gapeev A. A. Lokalizatsiya i raspredelenie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh vodokhranilishch Verkhnei Volgi (Localization and distribution of heavy metals in the sediments of the Upper Volga reservoirs). Vodnye resursy, 1997, v. 24, no. 2, pp. 174–180. (In Russian).

5. Gigevich G. S., Vlasov B. P., Vynaev G. V. Vysshie vodnye rasteniya Belarusi: ekologo–biologicheskaya kharakteristika, ispolzovanie i okhrana (Higher aquatic plants Belarus: ecological and biological characteristics, use and protection). Minsk, Izdatelskii tsentr BGU, 2001, 231 p. (In Russian).

6. Daineko N. M., Timofeev S. F. Akkumulyatsiya radiotseziya i tyazhelykh metallov pribrezhno–vodnoi rastitelnostyu v nekotorykh raionakh Gomelskoi oblasti (Respublika Belarus), prigranichnykh s Bryanskoi oblastyu Rossii (Accumulation of heavy metals cesium and coastal aquatic vegetation in some areas of the Gomel region (Belarus), bordering the Bryansk region of Russia). Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013, v. 323, no. 1, pp. 220–225. (In Russian).

7. Daineko N. M., Timofeev S. F. Otsenka sostoyaniya pribrezhno–vodnoi rastitelnosti Gomelskogo raiona (Assessment of coastal aquatic vegetation of the Gomel region). Izvestiya Gomelskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no. 5 (80), pp. 63–70. (In Russian).

8. Daineko N. M., Timofeev S. F., Zhadko S. V. Nakoplenie tyazhelykh metallov pribrezhno–vodnoi rastitelnostyu vodoemov vblizi g. Zhlobina Gomelskoi oblasti Respubliki Belarus (Accumulation of heavy metals in aquatic vegetation coastal waters near Zhlobin Gomel region of Belarus). Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov, 2016, v. 327, no. 5, pp. 124–132. (In Russian).

9. Ilin V. B., Syso A. I. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh (Trace elements and heavy metals in soils and plants): a monograph. Novosibirsk: Izd–vo SO RAN, 2001, 229 p. (In Russian).

10. Kovda V. A. Osnovy ucheniya o pochvakh (Basics of Soil teachings). Moscow, Nauka, 1973. 448 p. (In Russian).

11. Korchagin A. A. Vidovoi (floristicheskii) sostav rastitel'nykh soobshchestv i metody ego izucheniya (Species (floral) the composition of plant communities and the methods of its study). Polevaya geobotanika (The field geobotany): coll. of sci. art. Leningrad, Nauka, 1964, v. 3. pp. 39–62. (In Russian).

12. Lapirov A. G. Ekologicheskie gruppy rastenii vodoemov (Environmental groups waters plants). Rybinsk, Rybinskii Dom pechati, 2003, 188 p. (In Russian).

13. Linnik P. N., Nabivanets B. I. Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh (Forms migration of metals in fresh surface waters). Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986, 273 p. (In Russian).

14. Merezhko A. I. Rol vysshikh vodnykh rastenii v samoochishchenii vodoemov (Role of higher aquatic plants in the self–purification of waters). Gidrobiol. Zhurn, 1973, no. 4, pp. 118–125. (In Russian).

15. Daineko N. M., Timofeev S. F. Nakoplenie tyazhelykh metallov pribrezhno–vodnoi rastitelnostyu Gomelskogo regiona (Accumulation of heavy metals coastal aquatic vegetation of the Gomel region). Chernigov, Lozovoi V. M., 2014, 212 p. (In Russian).

16. Opredelitel vysshikh rastenii Belarusi (The Key of higher plants Belarus). Ed. V. I. Parfenov. Minsk, Dizain PRO, 1999, 472 p. (In Russian).

17. Reshetnyak O. S., Rvacheva M. Yu. Sovremennye tendentsii izmenchivosti soderzhaniya tyazhelykh metallov v vode rek Pechenga i Niva (Modern trends in variability of heavy metals in the water of rivers and Pechenga Niva). Mezhdunarodnyi nauchno–issledovatelskii zhurnal, 2014, no. 2–3 (21), pp. 128–130. (In Russian).

18. Uvarov A. G. Vliyanie epifitovzvesi na nakoplenie tyazhelykh metallov v makrofitakh (Epiphytosuspension Effect on the accumulation of heavy metals in the macrophytes). Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 2015, no. 8–1, pp. 12–24. (In Russian).

19. Shkolnik M. Ya. Mikroelementy v zhizni rastenii (Trace elements in the life of plants). Moscow, Nauka, 1974, 324 p. (In Russian).

20. Adama N., Schmitt C., Bruyn L. De, Knapen D., Blust R. Aquatic acute species sensitivity distributions of ZnO and CuO nanoparticles. Science of the Total Environment, 2015, no. 526, pp. 233–242.

21. Engina M. S., Uyanikb A., Kutbayc H. G. Accumulation of Heavy Metals in Water, Sediments and Wetland Plants of Kizilirmak Delta (Samsun, Turkey). International Journal of Phytoremediation, 2015, v. 17, no. 1, pp. 66–75.

22. Jing Li., Haixin Yu., Yaning Luan. Meta–Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal–Polluted Water. Int. J. Environ. Res. Public Health, 2015, no. 12 (12), pp. 14958–14973.

23. Phillips D. P., Human L. R. D., Adams J. B. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. Marine Pollution Bulletin, march 2015, v. 92, no. 1–2, pp. 227–232.

Работа поступила в редакцию 19.01.2017 г.

Принята к публикации 23.01.2017 г.

Ссылка для цитирования:

Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Жадько С. В. Минимальное и максимальное накопление тяжелых металлов прибрежно–водной растительностью водоемов вблизи промышленного центра г. Речица // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №2 (15). С. 99–109. Режим доступа: http://www.bulletennauki.com/daineko-timofeev-zhadko (дата обращения 15.02.2017).

Cite as (APA):

Daineko N., Timofeev S. & Zhadko S. (2017). Maximum and minimum accumulation of heavy metals by riverside and water vegetation close to industrial center of the city of Rechitsa. *Bulletin of Science and Practice*. (2), 99–109. Available at: http://www.bulletennauki.com/daineko-timofeev-zhadko, accessed 15.02.2017. (In Russian).