

*Свириденко Б. Ф., Мурашко Ю. А., Свириденко Т. В.,
Ефремов А. Н., Токарь О. Е.
Sviridenko B. F., Murashko Yu. A., Sviridenko T. V.,
Efremov A. N., Tokar O. E.*

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭКОТОПАХ ГИДРОМАКРОФИТОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

CONTENT OF HEAVY METALS IN THE ECOTOPES OF AQUATIC MACROPHYTES OF THE WEST SIBERIAN PLAIN

В статье приведены данные о содержании растворенных форм свинца, никеля, цинка, кадмия, хрома, меди, марганца в воде экотопов 182 видов гидромacroфитов из 83 родов, 54 семейств, 10 отделов. Первичные материалы были получены в 2014–2016 гг. в ходе экспедиционных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, в южных районах Тюменской, Омской, Новосибирской областей и в Алтайском крае. В изученных гидроэкотопах активная реакция воды (рН) находилась в диапазоне от 3,9 до 9,6. Содержание растворенных форм металлов составляло: Pb – 0,01–5,14 мкг/дм³, Ni – 0,00–52,27 мкг/дм³, Zn – 1,41–115,51 мкг/дм³, Cd – 0,00–3,07 мкг/дм³, Cr – 0,00–5,81 мкг/дм³, Cu – 0,13–4,98 мкг/дм³, Mn – 0,00–57,32 мкг/дм³.

The article discusses the data on the content of dissolved forms of lead, nickel, zinc, cadmium, chromium, copper, manganese in water ecotopes of 182 hydromacrophytes species from 83 genera, 54 families, 10 divisions. The raw data were obtained in 2014–2016 in the course of expeditions to the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, the southern parts of the Tyumen, Omsk, Novosibirsk Regions and the Altai Krai. The studied aquatic ecotopes had pH level between 3.9 to 9.6. The content of dissolved forms of metals was: Pb between 0.01 to 5.14 µg/dm³, Ni between 0.00 to 52.27 µg/dm³, Zn between 1.41 to 115.51 µg/dm³, Cd between 0.00 to 3.07 µg/dm³, Cr between 0.00 to 5.81 µg/dm³, Cu between 0.13 to 4.98 µg/dm³, Mn between 0.00 to 57.32 µg/dm³.

Ключевые слова: гидромacroфиты, водные экотопы, концентрация, растворенные формы тяжелых металлов, Pb, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn, Западно-Сибирская равнина.

Keywords: hydromacrophytes, aquatic ecotopes, concentration, dissolved forms of heavy metals, Pb, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn, West Siberian Plain.

Введение. Концентрация растворенных форм химических элементов в воде зависит от природных и антропогенно обусловленных процессов. Тяжелые металлы традиционно относят к приоритетным элементам-загрязнителям природных вод. Известно, что многие металлы необходимы для организмов, однако их повышенные концентрации приводят к нарушениям функций биосистем [11, 13]. В отдельных регионах фоновое содержание некоторых металлов в поверхностных водах варьирует в широких пределах, а максимальные концентрации могут быть значительными, что позволяет в природных условиях получить информацию о толерантности гидробионтов к таким химическим элементам.

В условиях усиления техногенного загрязнения водных объектов актуальной задачей является разработка методов фитоиндикации состояния водной среды и восстановления качества поверхностных вод. Особенно большое значение имеет разработка фитотехнологий очищения загрязненных вод. В связи с этим возникает необходимость получения информации об устойчивости различных видов растений к загрязняющим веществам. Особый раздел гидроэкологии

рассматривает влияние тяжелых металлов на различные группы гидробионтов. Известно, что макрофиты морских и континентальноводных экосистем нередко проявляют накопительные свойства по отношению к тяжелым металлам, извлекая из загрязненной воды эти химические элементы в значительных количествах [3–4, 20–21, 35]. Это свойство служит обоснованием для фиторемедиационных технологий улучшения качества загрязненной воды [39–42].

Основной фактический материал для разработки данных проблем дают прямые эксперименты по устойчивости видов гидромакрофитов разного систематического положения к токсикантам [21]. Другой подход ориентирован на сопряженные гидрохимические и гидробиотические исследования в природных фоновых и техногенно загрязненных водных экосистемах, что также позволяет получать значимые первичные данные для анализа экологической толерантности видов по отношению к природным и антропогенным факторам. Оба эти направления обеспечивают накопление информации и последовательное формирование объективной базы данных о толерантности видов гидромакрофитов к ведущим параметрам водной среды, что позволит в дальнейшем модернизировать методики фитоиндикации и фиторемедиации.

В НИИ экологии Севера Сургутского государственного университета проводится работа по оценке выносливости видов гидромакрофитов к химическим факторам водной среды, в том числе к растворенным формам некоторых металлов. Общая цель полевых исследований заключается в получении на территории Западно-Сибирской равнины первичных данных о толерантности макроскопических водных растений из разных систематических групп к факторам водной среды, в том числе к содержанию свинца, никеля, цинка, кадмия, хрома, меди, марганца. Эти фактические материалы необходимы также для совершенствования системы фитоиндикации экологического состояния водных объектов. При этом необходимо учитывать, что данная задача относится к классу плохо формализуемых из-за многомерности факторов среды, сильной взаимообусловленности измеряемых переменных, не позволяющей выделить в чистом виде функциональную связь индивидуальных показателей, а также в связи с высокой динамикой измеряемых показателей и трудоемкостью измерений показателей в единых координатах пространства и времени [36]. В настоящее время информация о выносливости видов водных растений западносибирского региона по отношению к данным факторам практически отсутствует. На начальном этапе основной задачей является получение в природных условиях первичной информации о концентрации растворенных форм указанных металлов в экотопах видов и составление диапазонов толерантности видов к каждому из факторов, т. е. формирование основы банка многолетних данных по связи видов гидромакрофитов с изучаемыми факторами водной среды.

Материал и методика исследования. В 2014–2016 гг. в ходе экспедиционных работ выполнено синхронное изучение видового разнообразия гидромакрофитов и концентрации растворенных форм свинца, никеля, цинка, кадмия, хрома, меди и марганца в экотопах гидромакрофитов. Проведено также исследование содержания растворенных форм железа, результаты которого представлены в отдельной публикации [27]. Работа выполнялась в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, в южных районах Тюменской, Омской, Новосибирской областей и в Алтайском крае. При сборе материала выборка водных объектов имела случайный характер, в число задач не входил специальный поиск техногенно загрязненных акваторий. В полевых условиях проведен сбор образцов гидромакрофитов и проб воды для гидрохимического анализа в 194 водных объектах. С юга на север охвачена территория, расположенная между 52°30' и 67°58' с. ш., с запада на восток – между 69°19' и 83°34' в. д. В широтно-зональном плане исследования проведены в тундровой, лесотундровой, лесной, лесостепной и степной зонах. В ходе экспедиционных работ учитывались все виды макроскопических растений в водных объектах независимо от их жизненной формы, т. е. не только гидатофиты, но также плейстофиты и гелофиты, поскольку на разных стадиях онтогенеза (споры, семена, проростки, молодые побеги) они подвергаются действию факторов водной среды. Для сохранения

образцов растений применялась гербаризация и влажная фиксация в этаноле. Для изучения таксономической принадлежности собранных образцов растений в лабораторных условиях использовали микроскопы Альтами СПМ 0880, Levenhuk, Альтами Био-1 с 80–1 000-кратным увеличением, «Микромед МС-2-ZOOM вар. 2 CR» с системой обработки изображений Image-Pro Insight ver. 9. Измерения вегетативных клеток, гаметангиев и других структур выполнены с применением программы ScopePhoto. Образцы видов высших гидрофитов и макроскопических водорослей определены по соответствующим справочникам [1, 14–15, 19, 23–26, 28, 31, 37–38, 43–45]. Латинские названия видов макроскопических водорослей приведены по определителю [19], видов гидрофильных мхов – по работе М. С. Игнатова и О. М. Афониной [14], видов сосудистых гидрофитов – согласно работе С. К. Черепанова [34].

Пробы воды в обследованных водных объектах в связи с их мелководностью отбирали из верхнего горизонта водной толщи с глубины до 100 см [6]. Водородный показатель (рН) определен потенциометрическим методом с использованием электрохимической ячейки, составленной из стеклянного и хлорсеребряного электродов [17]. Определение растворенных форм тяжелых металлов (Pb, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn) в пробах воды выполняли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на аппарате МГА-915 МД [10]. Кларки этих металлов в речных водах приведены по работам [5, 7–8].

Результаты и их обсуждение. В обследованных водных объектах было отмечено 182 вида гидромакрофитов из 83 родов, 54 семейств, 10 отделов (табл. 1).

Таблица 1

**Таксономическая структура флоры гидромакрофитов
изученных водных объектов**

Отделы	Число		
	видов	родов	семейств
Rhodophyta	2	1	1
Charophyta	8	2	2
Chlorophyta	43	15	8
Xanthophyta	5	1	1
Marchantiophyta	3	3	3
Bryophyta	18	9	6
Lycopodiophyta	1	1	1
Equisetophyta	1	1	1
Polypodiophyta	2	2	2
Magnoliophyta	99	48	29
Всего	182	83	54

Выполненный анализ количественных физико-химических характеристик проб воды исследованных экотопов гидромакрофитов позволил установить, что в водных объектах активная реакция воды (рН) находилась в диапазоне от 3,9 до 9,6. Содержание растворенных форм металлов составляло: Pb – 0,01–5,14 мкг/дм³, Ni – 0,00–52,27 мкг/дм³, Zn – 1,41–115,51 мкг/дм³, Cd – 0,00–3,07 мкг/дм³, Cr – 0,00–5,81 мкг/дм³, Cu – 0,13–4,98 мкг/дм³, Mn – 0,00–57,32 мкг/дм³. Более широкие диапазоны концентрации растворенных форм металлов в водных объектах Западно-Сибирской равнины выявлены (кроме железа) для цинка (рис. 1) и марганца (рис. 2), поэтому в первую очередь перспективно рассматривать толерантность видов по отношению к этим химическим элементам. Фоновые концентрации других металлов в естественных водных объектах региона варьируют в более узких диапазонах, повышенные концентрации этих

элементов зарегистрированы в единичных гидроэкотопах. В дальнейшем планируется специальное изучение техногенно загрязненных поверхностных вод, где можно обнаружить более значительные концентрации свинца, никеля, кадмия, хрома и меди.

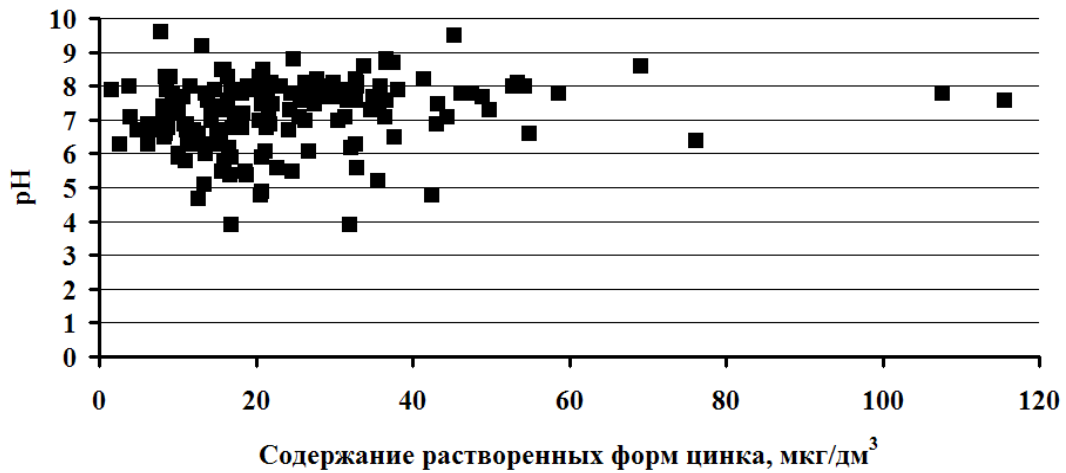


Рис. 1. Содержание растворенных форм цинка и значения pH в исследованных экотопах гидромакрофитов Западно-Сибирской равнины



Рис. 2. Содержание растворенных форм марганца и значения pH в исследованных экотопах гидромакрофитов Западно-Сибирской равнины

Результаты определения концентраций растворенных форм металлов в экотопах гидромакрофитов представлены в форме диапазонов (и отдельных значений), установленных для каждого из зарегистрированных видов в табл. 2. Исследуемые тяжелые металлы относятся к химическим элементам 1–4-го классов опасности. Поскольку малые концентрации тяжелых металлов в природных водах не лимитируют развитие большинства видов гидромакрофитов, то основное значение приобретает выявление верхних пределов устойчивости каждого вида гидромакрофитов к концентрации растворенных форм исследуемых металлов в водной среде.

Свинец по современным классификациям относится к химическим элементам 1–2-го классов опасности. Кларк свинца в речных водах равен 1 мг/дм³. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК свинца составляет 6 мг/дм³ [22]. Этот элемент принадлежит к числу малораспространенных в водных объектах Западно-Сибирской равнины. В речных водах его концентрация обычно меньше 10 мг/дм³. В поверхностных водах всех природных зон Западно-Сибирской равнины содержание свинца находится часто в пределах 0,1–1 мг/дм³.

Медианное значение концентрации этого элемента для тундровой и лесотундровой зон равно 0,30 мкг/дм³, для подзон лесной зоны варьирует от 0,34 до 0,87 мкг/дм³, для лесостепной зоны не превышает 0,45 мкг/дм³ [18, 29]. Максимальные концентрации свинца, превышающие кларковое значение в 1,2–11 раз (1,21–11 мкг/дм³) установлены в немногих водных объектах разных природных зон Западно-Сибирской равнины [2, 12, 18, 30]. На данном этапе в гидроэкотопах с концентрацией свинца до 1,5–5,1 мкг/дм³ (1,5–5,1 кларков) были отмечены виды *Nitella flexilis*, *Chara canescens*, *Enteromorpha flexuosa*, *Cladophora fracta*, *C. glomerata*, *Ulothrix implexa*, *Equisetum fluviatile*, *Nuphar pumila*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus*, *Zannichellia palustris*, *Bolboschoenus maritimus*, *B. planiculmis*, *Scirpus lacustris*, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*. Концентрация свинца, близкая к кларковому значению (1 мкг/дм³), установлена в отдельных гидроэкотопах видов *Spirogyra hassallii*, *S. varians*, *Callitriche palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Ruppia maritima*, *Carex aquatilis*, *Lemna minor*, *Typha latifolia*. Вероятно, в этих группах видов можно вести поиск потенциально устойчивых к свинцу водных макроскопических видов растений. В экотопах остальных видов отмечена концентрация свинца ниже кларкового значения.

Никель принадлежит к числу металлов 3-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК никеля составляет 10 мкг/дм³. Кларк никеля в речных водах равен 2,5 мкг/дм³. При концентрации никеля более 50 мкг/дм³ (более 20 кларков) отмечены популяции *Callitriche palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Lemna minor*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*. В экотопах с содержанием никеля до 9–14 мкг/дм³ (около 3–6 кларков) зарегистрированы *Spirogyra bellis*, *S. decimina*, *Cladophora glomerata*, *Oedogonium undulatum*, *Vaucheria sessilis*, *Equisetum fluviatile*, *Nuphar lutea*, *N. pumila*, *Nymphaea candida*, *N. tetragona*, *Ceratophyllum demersum*, *Persicaria amphibia*, *P. lapatifolia*, *Rorippa amphibia*, *Oenanthe aquatica*, *Sium latifolium*, *Menyanthes trifoliata*, *Utricularia vulgaris*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Stratiotes aloides*, *Sagittaria sagittifolia*, *Potamogeton gramineus*, *P. obtusifolius*, *P. perfoliatus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia repens*, *Eleocharis palustris*, *Phragmites australis*, *Calla palustris*, *Lemna trisulca*, *Spirodela polyrhiza*. В экотопах других видов было отмечено содержание никеля преимущественно ниже кларкового значения.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов (мкг/дм³) в экотопах гидромакрофитов
Западно-Сибирской равнины

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Batrachospernum moniliforme</i>	0,19	0,15	32,77	0,03	0,40	0,35	7,75			
<i>Batrachospernum vagum</i>	0,26–0,55	0,21–2,86	2,78–16,69	0,17–0,41	0,19–0,20	0,25–0,74	3,77–8,07			
<i>Nitella flexilis</i>	0,05–1,55	0,09–1,34	13,27–43,04	0,01–0,15	0,06–0,35	0,21–1,19	0,51–2,76			
<i>Nitella mucronata</i>	0,04	0,53	21,47	0,01	0,25	0,18	1,15			
<i>Nitella syncarpa</i>	0,24	6,67	15,36	0,02	0,40	4,31	1,57			
<i>Chara canescens</i>	0,01–5,14	0,28–1,02	3,82–9,02	0,03–0,52	0,87–1,44	0,30–0,84	1,91			
<i>Chara contraria</i>	0,01–0,08	0,28–0,30	3,82–8,33	0,03–0,08	0,59–0,87	0,50–0,84	0,00–3,00			
<i>Chara fragilis</i>	0,02–0,63	0,52–2,48	14,29–32,87	0,01–0,02	0,18–0,55	0,18–1,34	0,68–8,01			
<i>Chara neglecta</i>	0,01–0,08	0,28–0,30	3,82–8,33	0,03–0,08	0,59–0,87	0,50–0,84	0,00–3,00			
<i>Chara vulgaris</i>	0,12	4,40	30,66	0,10	0,11	1,56	35,27			
<i>Zygnema stellinum</i>	0,02–0,31	0,30–0,41	6,20–8,33	0,08–0,16	0,59	0,50–1,49	0,00–0,65			
<i>Zygonium ericetorum</i>	0,03–0,61	0,09–2,86	10,99–42,45	0,02–0,27	0,00–0,35	0,13–0,74	1,08–7,47			
<i>Mougeotia genulfexa</i>	0,16–0,81	0,14–0,50	7,81–36,58	0,03–0,05	0,18–0,54	0,25–0,49	0,73–9,48			
<i>Mougeotia laetevirens</i>	0,52	6,00	15,12	0,02	0,20	1,40	32,48			
<i>Mougeotia scalaris</i>	0,32	7,28	21,96–30,66	0,03–0,10	0,35	1,51	2,89			
<i>Spirogyra bellis</i>	0,02–0,59	0,52–13,94	16,35–35,73	0,01–1,15	0,18–0,48	0,34–1,56	0,60–1,23			
<i>Spirogyra calospora</i>	0,45	6,89	27,70	3,07	0,10	0,82	3,01			
<i>Spirogyra crassa</i>	0,76	0,41	5,83	0,05	0,55	0,42	10,22			
<i>Spirogyra daedalea</i>	0,06–0,31	0,25–2,68	11,70–27,43	0,23	0,16–0,29	0,70–0,94	1,72			
<i>Spirogyra decimina</i>	0,05–0,89	0,17–9,16	6,20–48,82	0,01–0,18	0,08–1,07	0,13–2,16	0,48–49,48			
<i>Spirogyra dictyospora</i>	0,32	7,28	21,96	0,03	0,35	1,51	2,89			
<i>Spirogyra fluviatilis</i>	0,05–0,17	0,34–1,57	31,61–31,67	0,01–0,02	0,16–0,17	0,87–1,19	0,51–5,54			
<i>Spirogyra gracilis</i>	0,13	0,40	8,67	0,04	0,57	0,14	6,42			
<i>Spirogyra hassallii</i>	0,13–1,04	0,26–2,22	6,35–43,12	0,01–0,04	0,04–0,83	0,14–1,37	1,01–49,48			
<i>Spirogyra hungarica</i>	0,21	1,15	20,14	0,03	0,30	0,34	0,60			
<i>Spirogyra inflata</i>	0,20–0,31	0,29–0,49	15,04–21,58	0,03–0,04	0,49–0,50	0,13–0,15	3,37–7,86			
<i>Spirogyra majuscula</i>	0,17	1,57	31,61	0,02	0,16	0,87	5,54			

Продолжение табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Spirogyra maxima</i>	0,04-0,63	0,21-8,06	8,04-35,73	0,01-0,03	0,16-0,55	0,30-1,74	0,51-8,70			
<i>Spirogyra neglecta</i>	0,07-0,31	0,25-2,68	11,70-36,58	0,01-0,23	0,16-0,29	0,26-0,94	0,60-1,72			
<i>Spirogyra nitida</i>	0,38	3,52	9,94	0,67	0,41	0,94	1,56			
<i>Spirogyra setiformis</i>	0,03-0,06	1,08-1,52	23,12-35,73	0,01	0,16-0,18	0,49-1,09	0,72-1,03			
<i>Spirogyra tenuissima</i>	0,13-0,31	0,35-1,16	4,76-36,52	0,01-0,04	0,18-0,60	0,14-1,06	2,71-6,42			
<i>Spirogyra quadrata</i>	0,32	7,28	21,96	0,03	0,35	1,51	2,89			
<i>Spirogyra rugulosa</i>	0,45	6,89	27,70	3,07	0,10	0,82	3,01			
<i>Spirogyra varians</i>	0,05-1,04	0,26-6,25	6,35-31,67	0,01-0,04	0,13-0,83	0,15-1,63	0,51-26,77			
<i>Spirogyra weberi</i>	0,05-0,89	0,25-6,00	11,70-115,51	0,01-0,23	0,10-1,07	0,18-1,40	0,31-32,48			
<i>Sirogonium sticticum</i>	0,05-0,76	0,34-0,41	5,83-48,82	0,01-0,05	0,17-0,55	0,42-1,19	0,51-10,22			
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	0,29-0,82	2,16-2,79	7,73-53,30	0,01-0,02	0,08-0,26	0,57-1,01	57,32			
<i>Enteromorpha flexuosa</i>	0,04-5,14	0,25-5,04	9,02-53,30	0,01-1,89	0,17-5,81	0,18-1,01	0,65-57,32			
<i>Percursaria percursa</i>	0,04	0,00-5,64	13,01	0,00-0,17	0,87-2,42	0,16-2,72	0,82-9,17			
<i>Cladophora fracta</i>	0,09-2,20	0,19-0,87	15,57-54,26	0,01-1,89	0,12-5,81	0,23-0,68	0,65-7,47			
<i>Cladophora glomerata</i>	0,02-5,14	0,21-9,36	7,73-107,55	0,01-0,52	0,08-2,64	0,16-4,12	0,00-57,32			
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>	0,05-0,63	0,37-2,22	2,58-47,43	0,01-0,04	0,04-0,46	0,24-1,37	0,59-49,48			
<i>Ulothrix aequalis</i>	0,14-0,18	0,58-2,22	18,81-43,12	0,01-0,02	0,15-0,33	0,25-1,37	3,38-49,48			
<i>Ulothrix flacca</i>	0,05-0,66	1,11-2,09	-	0,15-0,24	0,13-1,46	0,40-0,79	0,84-7,45			
<i>Stigeoclonium pusillum</i>	0,43-0,62	0,37-0,42	12,01-12,51	0,03-0,07	0,04-0,10	0,68-0,79	0,63-1,01			
<i>Stigeoclonium tenue</i>	0,07-0,63	0,37-1,93	11,05-12,51	0,01-0,09	0,10-0,46	0,19-0,79	0,63-6,54			
<i>Draparnaldia acuta</i>	0,31	3,31	1,45-12,36	0,01-0,90	0,31	0,70	5,72			
<i>Chaetophora incrassata</i>	0,32	1,80	5,00	0,02	0,18	2,30	3,71			
<i>Bulbochaete intermedia</i>	0,03-0,59	0,18-1,93	5,02-20,67	0,27-0,41	0,17-0,20	0,25-0,59	1,08-8,07			
<i>Oedogonium capillare</i>	0,06	1,52	35,73	0,01	0,18	1,09	0,72			
<i>Oedogonium undulatum</i>	0,36	12,50	76,14	0,01	0,19	1,48	2,93			
<i>Vaucheria dichotoma</i>	0,02-0,32	0,24-1,80	8,33-16,34	0,02-0,09	0,18-1,67	0,50-2,30	0,00-3,71			
<i>Vaucheria geminata</i>	0,31	0,41	6,20	0,16	0,00	1,49	0,65			
<i>Vaucheria sessilis</i>	0,42-0,45	6,89-9,16	21,25-27,70	0,03-3,07	0,10-0,11	0,82-2,16	3,01-3,15			
<i>Vaucheria walzi</i>	0,31	0,41	6,20	0,16	0,00	1,49	0,65			

Продолжение табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Vaucheria taylorii</i>	0,45	6,89	27,70	3,07	0,10	0,82	3,01			
<i>Riccia fluitans</i>	0,63	2,48	14,29	0,01	0,55	1,34	8,01			
<i>Cladodiella fluitans</i>	0,07	0,09	32,10	0,03	0,22	0,13	5,56			
<i>Scapania paludicola</i>	0,07	0,09	32,10	0,03	0,22	0,13	5,56			
<i>Sphagnum angustifolium</i>	0,31–0,61	1,20–3,31	1,45–1,64	0,01–0,12	0,31–0,44	0,70–0,86	3,99–7,22			
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	0,19–0,61	0,15–2,86	1,64–32,77	0,03–0,40	0,09–1,19	0,35–0,74	1,03–7,75			
<i>Sphagnum fallax</i>	0,34	0,09	13,27	0,03	0,35	0,21	2,76			
<i>Sphagnum obtusum</i>	0,14	0,19	15,57	0,05	0,30	0,23	7,47			
<i>Sphagnum platyphyllum</i>	0,31–0,61	1,20–3,31	1,45–1,64	0,01–0,12	0,31–0,35	0,70–0,71	3,99–5,72			
<i>Sphagnum squarrosum</i>	0,76	0,41	5,83	0,05	0,55	0,42	10,22			
<i>Sphagnum subfulvum</i>	0,07	0,09	32,10	0,03	0,22	0,13	5,56			
<i>Pohlia wahlenbergii</i>	0,07	0,09	32,10	0,03	0,22	0,13	5,56			
<i>Polytrichastrum pallidisetum</i>	0,19	0,15	32,77	0,03	0,40	0,35	7,75			
<i>Fontinalis antipyretica</i>	0,32	1,68	14,20	0,02	0,17	1,00	–			
<i>Fontinalis hypnoides</i>	0,31–0,43	0,42–3,31	1,45–12,01	0,01–0,09	0,04–0,31	0,68–0,70	1,01–5,72			
<i>Calliergon giganteum</i>	0,16–0,22	0,14–0,51	11,15–25,52	0,01–0,04	0,00–0,54	0,49–0,69	1,40–36,82			
<i>Calliergon megalophyllum</i>	0,20–0,34	0,09–0,46	11,15–13,27	0,01–0,03	0,00–0,35	0,21–0,69	1,40–2,76			
<i>Drepanocladus aduncus</i>	0,03–0,76	0,25–2,68	5,83–69,08	0,01–0,23	0,14–0,55	0,19–0,94	0,60–10,22			
<i>Leptodictyum riparium</i>	0,20–0,31	0,41–0,46	6,20–11,15	0,01–0,16	0,00	0,69–1,49	0,65–1,40			
<i>Warnstorfia exannulata</i>	0,19	0,15	32,77	0,03	0,40	0,35	7,75			
<i>Warnstorfia fluitans</i>	0,31	3,31	1,45	0,01–0,09	0,31	0,70	5,72			
<i>Hypnum lindbergii</i>	0,31	3,31	1,45	0,01–0,09	0,31	0,70	5,72			
<i>Isoetes setacea</i>	0,07	0,09	32,10	0,03	0,22	0,13	5,56			
<i>Equisetum fluviatile</i>	0,15–1,55	0,12–12,50	1,45–76,14	0,01–0,76	0,06–0,61	0,25–2,49	0,26–36,82			
<i>Thelypteris palustris</i>	0,09–0,24	1,21–6,67	15,36–21,90	0,02–0,03	0,15–0,40	1,12–4,31	1,57–1,63			
<i>Salvinia natans</i>	0,10–0,52	0,25–6,00	15,12–52,71	0,01–0,05	0,11–0,20	0,32–1,40	0,66–32,48			
<i>Nuphar lutea</i>	0,05–0,82	0,27–12,50	1,64–76,14	0,01–0,35	0,12–0,44	0,26–1,63	0,73–7,67			
<i>Nuphar pumila</i>	0,11–1,55	0,09–9,16	1,41–43,04	0,01–0,41	0,06–0,61	0,15–2,16	0,53–12,68			
<i>Nymphaea candida</i>	0,31–0,50	2,24–9,16	1,41–21,25	0,01–0,19	0,11–0,31	0,66–2,16	3,15–8,71			

Продолжение табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Nymphaea tetragona</i>	0,11–0,81	0,09–9,16	2,04–21,25	0,01–0,21	0,02–0,55	0,15–2,16	2,76–12,68			
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,04–1,55	0,12–9,16	1,47–115,51	0,01–0,15	0,06–0,44	0,18–4,31	0,48–57,32			
<i>Ceratophyllum oryzatorum</i>	0,06	0,25	–	0,01	0,22	0,58	1,60			
<i>Ceratophyllum submersum</i>	0,04–0,21	0,25–1,57	21,47–52,71	0,01–0,11	0,14–0,95	0,46–1,33	0,80–3,00			
<i>Batrachium divaricatum</i>	0,15–0,76	0,41–0,46	5,83–27,77	0,03–0,05	0,18–0,55	0,30–0,42	1,08–10,22			
<i>Batrachium trichophyllum</i>	0,24–0,76	0,41–0,51	5,83–48,82	0,01–0,05	0,18–0,55	0,42–0,83	0,64–10,22			
<i>Ranunculus gmelini</i>	0,31–0,56	0,32–0,41	6,20–8,23	0,16–0,35	0,06	0,48–1,49	0,65–1,64			
<i>Ranunculus lingua</i>	0,21	1,15	20,14	0,03	0,30	0,34	0,60			
<i>Ranunculus natans</i>	0,04	0,39	–	0,01	0,23	1,07	0,95			
<i>Ranunculus sceleratus</i>	0,05–0,32	0,28–7,28	16,37–41,30	0,01–0,03	0,13–0,35	0,52–1,51	1,11–2,89			
<i>Persicaria amphibia</i>	0,02–0,73	0,09–12,50	1,41–115,51	0,01–3,07	0,10–0,61	0,13–1,63	0,48–32,48			
<i>Persicaria lapathifolia</i>	0,04–0,42	0,12–9,16	5,63–29,81	0,01–0,03	0,11–0,23	0,40–2,16	0,92–7,04			
<i>Rorippa amphibia</i>	0,06–0,57	0,25–9,16	10,86–30,66	0,01–0,23	0,06–0,29	0,70–4,98	1,72–5,54			
<i>Comarum palustre</i>	0,11–0,82	0,09–3,83	3,28–37,60	0,01–1,46	0,16–0,59	0,14–1,62	0,26–36,82			
<i>Myriophyllum sibiricum</i>	0,02–0,31	0,33–5,16	5,00–54,26	0,01–0,03	0,11–0,18	0,13–1,32	0,64–1,78			
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,01–0,73	0,28–2,28	3,82–115,51	0,01–0,08	0,18–0,87	0,50–2,30	0,00–3,71			
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,05–0,76	0,34–1,02	5,83–46,08	0,01–0,05	0,13–0,55	0,30–1,19	0,51–17,50			
<i>Cicuta virosa</i>	0,22–0,59	0,23–2,36	1,47–21,10	0,01–0,22	0,15–0,61	0,54–1,49	0,65–7,74			
<i>Oenanthe aquatica</i>	0,13–0,42	0,74–9,16	13,83–58,58	0,01–0,03	0,11–0,40	0,46–4,31	0,80–3,15			
<i>Sium latifolium</i>	0,04–0,68	0,12–9,16	10,67–31,61	0,01–0,05	0,11–0,38	0,18–2,16	0,92–31,20			
<i>Menyanthes trifoliata</i>	0,14–0,59	0,19–13,94	2,78–21,10	0,03–1,15	0,19–0,48	0,23–1,56	0,86–7,74			
<i>Nymphoides peltata</i>	0,04–0,27	0,21–6,25	8,04–28,77	0,01–0,05	0,13–0,22	0,58–1,63	0,58–1,63			
<i>Limosella aquatica</i>	0,03–0,76	0,27–0,41	5,83–32,78	0,01–0,05	0,17–0,55	0,40–0,42	0,54–10,22			
<i>Utricularia intermedia</i>	0,31–0,34	0,09–0,35	4,76–13,27	0,03–0,04	0,35–0,60	0,21–0,22	2,76–4,66			
<i>Utricularia vulgaris</i>	0,02–0,76	0,09–12,50	1,47–107,55	0,01–3,07	0,02–0,79	0,13–2,16	0,00–49,48			
<i>Hippuris vulgaris</i>	0,02–0,54	0,33–3,33	1,41–35,87	0,01–0,76	0,11–0,44	0,13–2,30	1,78–8,71			
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	0,05–0,21	0,34–8,06	26,08–31,67	0,01–0,02	0,17–0,27	1,19–1,74	0,51–8,70			
<i>Callitriche palustris</i>	0,05–1,08	0,26–52,27	4,76–76,14	0,01–3,07	0,10–2,04	0,22–1,93	0,51–36,82			
<i>Butomus umbellatus</i>	0,02–0,73	0,18–5,98	16,83–107,55	0,01–0,10	0,12–0,38	0,18–1,84	0,48–29,29			

Продолжение табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Elodea canadensis</i>	0,04-0,33	0,21-6,25	8,04-54,26	0,01-0,21	0,02-0,21	0,26-1,63	0,95-31,20			
<i>Hydrilla verticillata</i>	0,06-0,21	0,25-6,25	13,83-115,51	0,01-0,03	0,13-0,22	0,58-1,63	1,60-2,79			
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	0,04-0,47	0,12-12,50	6,20-107,55	0,01-0,23	0,02-0,37	0,18-2,16	0,31-33,42			
<i>Stratiotes aloides</i>	0,04-0,68	0,12-9,16	1,47-107,55	0,01-0,21	0,02-0,26	0,18-2,16	0,64-33,42			
<i>Alisma gramineum</i>	0,01-0,73	0,28-8,06	3,82-115,51	0,01-0,03	0,14-0,95	0,45-1,74	0,80-57,32			
<i>Alisma lanceolatum</i>	0,09-0,27	0,87-4,82	16,83-28,77	0,01-0,05	0,13-0,30	0,34-1,16	0,60-31,20			
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0,02-1,08	0,23-52,27	1,47-58,58	0,01-0,76	0,06-2,04	0,18-4,98	0,00-49,48			
<i>Sagittaria natans</i>	0,16-0,76	0,09-1,63	8,45-48,82	0,01-0,21	0,02-0,55	0,21-4,98	0,64-36,82			
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	0,04-0,68	0,21-9,16	8,04-107,55	0,01-0,10	0,11-0,25	0,26-2,16	0,80-29,29			
<i>Triglochin maritimum</i>	0,10-0,47	0,53-0,74	15,63-30,41	0,01-0,02	0,16-0,20	0,68-1,16	5,54-7,04			
<i>Triglochin palustre</i>	0,32	7,28	21,96	0,03	0,35	1,51	2,89			
<i>Potamogeton alpinus</i>	0,22-0,82	0,09-2,77	6,01-21,74	0,03-0,35	0,21-0,46	0,21-1,26	2,76-36,82			
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	0,02-0,34	0,09-7,28	1,47-36,52	0,01-0,03	0,11-0,35	0,13-1,51	0,72-2,89			
<i>Potamogeton compressus</i>	0,04-0,27	0,21-4,82	8,04-58,58	0,01-0,05	0,13-0,26	0,46-1,33	0,80-31,20			
<i>Potamogeton friesii</i>	0,13-0,27	0,74-4,82	28,77-58,58	0,01-0,10	0,13-0,14	0,46-1,16	0,80-31,20			
<i>Potamogeton gramineus</i>	0,05-0,82	0,34-12,50	1,41-76,14	0,01-0,76	0,06-0,84	0,14-4,98	0,51-31,20			
<i>Potamogeton lucens</i>	0,04-0,63	0,25-6,67	11,70-107,55	0,01-0,23	0,12-0,55	0,18-4,31	0,66-8,01			
<i>Potamogeton natans</i>	0,22-0,59	0,63-1,93	2,58-58,58	0,01-0,34	0,02-0,44	0,46-1,00	0,80-7,61			
<i>Potamogeton obtusifolius</i>	0,11-0,36	0,14-12,50	11,05-76,14	0,01-0,05	0,15-0,54	0,15-1,48	2,93-36,82			
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,01-5,14	0,25-8,06	3,82-69,08	0,01-0,52	0,08-1,66	0,18-2,46	0,00-57,32			
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,01-5,14	0,25-12,50	2,58-76,14	0,01-0,52	0,06-1,44	0,18-4,98	0,00-49,48			
<i>Potamogeton praelongu</i>	0,22	0,76	2,58	0,01	0,44	0,84	7,61			
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,02-0,63	0,21-6,67	8,04-46,08	0,01-0,67	0,13-0,95	0,18-4,31	0,00-49,48			
<i>Potamogeton trichoides</i>	0,06-0,42	0,25-5,38	11,70-58,58	0,01-0,04	0,14-0,32	0,46-0,94	0,68-2,70			
<i>Ruppia maritima</i>	0,18-1,27	1,11-9,36	49,72	0,01-0,28	0,09-2,64	0,40-2,72	1,55-56,98			
<i>Althenia filiformis</i>	0,05-0,66	1,11-1,30	-	0,15-0,18	0,13-0,15	0,40-0,63	1,55-1,62			
<i>Zannichellia palustris</i>	0,29-5,14	1,02-2,16	9,02-53,30	0,02-0,52	0,26-1,44	0,30-1,01	1,91-57,32			
<i>Zannichellia repens</i>	0,38	9,36	49,72	0,01	0,09	1,10	56,98			
<i>Najas marina</i>	0,04	0,43-2,17	33,68-69,08	0,01-0,02	0,14-0,23	0,19-0,62	2,93-4,03			

Продолжение табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Juncus bufonius</i>	0,04	0,39	–	0,01	0,23	1,07	0,95			
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	0,01–5,14	0,24–8,06	3,82–115,51	0,01–0,52	0,13–1,67	0,19–2,46	0,31–57,32			
<i>Bolboschoenus planiculmis</i>	0,04–2,20	0,25–1,34	16,37–69,08	0,01–1,89	0,14–5,81	0,19–1,12	0,65–55,72			
<i>Carex acuta</i>	0,03–0,80	0,18–5,38	6,09–107,55	0,01–0,35	0,06–0,41	0,24–2,42	0,54–7,74			
<i>Carex aquatilis</i>	0,11–1,04	0,09–4,98	1,41–37,60	0,01–0,35	0,06–0,83	0,14–1,62	0,26–36,82			
<i>Carex atherodes</i>	0,18–0,63	0,49–3,04	14,29–43,12	0,01–0,03	0,16–0,55	0,42–1,84	0,31–49,48			
<i>Carex lasiocarpa</i>	0,07–0,61	0,09–2,86	1,64–32,10	0,03–0,17	0,19–0,35	0,13–0,74	3,77–5,56			
<i>Carex omskiana</i>	0,13	1,02	41,30	0,01	0,13	0,70	1,11			
<i>Carex pseudocyperus</i>	0,09–0,55	0,28–1,21	15,63–36,60	0,01–0,03	0,15–0,19	0,35–1,16	0,59–7,04			
<i>Carex rhynchophylla</i>	0,06–0,31	0,09–2,68	2,58–32,10	0,01–0,23	0,16–0,44	0,13–0,94	1,72–7,61			
<i>Carex riparia</i>	0,02–0,73	0,43–2,48	14,29–115,51	0,01–0,03	0,16–0,55	0,18–1,62	0,31–49,48			
<i>Carex rostrata</i>	0,14–0,61	0,15–2,86	1,64–32,77	0,03–0,34	0,17–0,40	0,23–0,74	2,91–7,75			
<i>Carex vesicaria</i>	0,06–0,31	0,25–2,68	11,70–58,58	0,01–0,23	0,14–0,29	0,46–1,01	0,80–2,31			
<i>Eleocharis acicularis</i>	0,13	1,02	41,30	0,01	0,13	0,70	1,11			
<i>Eleocharis palustris</i>	0,02–0,73	0,23–9,16	1,45–58,58	0,01–0,23	0,02–0,61	0,18–4,98	0,00–49,48			
<i>Scirpus lacustris</i>	0,04–5,14	0,18–6,67	1,47–115,51	0,01–0,52	0,13–1,44	0,18–4,31	0,48–31,20			
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	0,04–0,89	0,31–8,06	15,75–115,51	0,01–0,50	0,12–2,99	0,19–1,74	0,73–57,32			
<i>Scirpus triquetus</i>	0,04	0,39	–	0,01	0,23	1,07	0,95			
<i>Cyperus fuscus</i>	0,04	0,39	–	0,01	0,23	1,07	0,95			
<i>Eriophorum polystachion</i>	0,07–0,76	0,09–0,41	5,83–32,10	0,03–0,05	0,22–0,55	0,13–0,42	5,56–10,22			
<i>Glyceria triflora</i>	0,05–0,31	0,12–0,96	13,53–107,55	0,01–0,02	0,11–0,15	0,30–1,01	0,80–2,31			
<i>Agrostis stolonifera</i>	0,09–0,56	0,28–1,21	6,09–58,58	0,01–0,35	0,06–0,26	0,46–2,42	0,80–2,31			
<i>Phragmites australis</i>	0,01–2,20	0,12–9,36	3,28–115,51	0,01–1,89	0,08–5,81	0,16–4,31	0,00–57,32			
<i>Scolochloa festucacea</i>	0,04–0,63	0,42–6,67	15,36–58,58	0,01–0,04	0,14–0,58	0,18–4,31	0,80–49,48			
<i>Acorus calamus</i>	0,12–0,31	0,25–4,82	18,29–52,71	0,01–0,05	0,13–0,38	0,26–1,84	0,66–31,20			
<i>Calla palustris</i>	0,20–0,77	0,41–12,50	3,26–76,14	0,01–0,67	0,02–0,61	0,42–1,49	0,65–36,82			
<i>Lemma minor</i>	0,04–1,08	0,12–52,27	6,20–107,55	0,01–0,67	0,02–2,04	0,18–2,16	0,31–57,32			
<i>Lemma trisulca</i>	0,02–0,89	0,12–9,16	1,47–107,55	0,01–0,50	0,11–2,99	0,18–4,31	0,31–55,72			

Окончание табл. 2

Виды	Тяжелые металлы									
	Pb	Ni	Zn	Cd	Cr	Cu	Mn			
<i>Spirodela polyrhiza</i>	0,04-0,42	0,12-9,16	1,47-107,55	0,01-0,16	0,11-0,37	0,18-4,31	0,48-29,29			
<i>Sparganium angustifolium</i>	0,20-0,82	0,41-2,77	2,08-16,99	0,01-0,35	0,09-0,44	0,60-1,49	0,65-7,67			
<i>Sparganium erectum</i>	0,04-0,31	0,25-6,67	15,36-58,58	0,01-0,05	0,13-0,58	0,15-4,31	0,66-31,20			
<i>Sparganium emersum</i>	0,06-0,81	0,09-6,04	2,08-58,58	0,01-0,76	0,12-0,79	0,15-1,49	0,49-36,82			
<i>Sparganium hyperboreum</i>	0,12	0,61	35,87	0,01	0,14	0,41	-			
<i>Sparganium minimum</i>	0,07-0,19	0,09-0,15	32,10-32,77	0,03	0,22-0,40	0,13-0,35	5,56-7,75			
<i>Typha angustifolia</i>	0,02-5,14	0,12-52,27	1,47-115,51	0,01-0,52	0,11-2,04	0,18-4,31	0,00-57,32			
<i>Typha latifolia</i>	0,02-1,08	0,21-52,27	8,04-76,14	0,01-1,15	0,12-2,04	0,18-4,31	0,31-57,32			
<i>Typha laxmannii</i>	0,04-0,26	0,39-0,74	58,58	0,01	0,14-0,23	0,46-1,07	0,80-0,95			

Примечание: прочерк означает отсутствие данных.

Цинк считается тяжелым металлом 3-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК цинка составляет 10 мкг/дм³. Кларковое значение цинка в речных водах равен 20 мкг/дм³. Высокие концентрации цинка (свыше 100 мкг/дм³, или более 5 кларков) зарегистрированы в экотопах *Spirogyra weberi*, *Cladophora glomerata*, *Ceratophyllum demersum*, *Persicaria amphibia*, *Myriophyllum spicatum*, *Utricularia vulgaris*, *Butomus umbellatus*, *Hydrilla verticillata*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Stratiotes aloides*, *Alisma gramineum*, *Sagittaria sagittifolia*, *Potamogeton lucens*, *Bolboschoenus maritimus*, *Carex acuta*, *C. riparia*, *Scirpus lacustris*, *S. tabernaemontani*, *Glyceria triflora*, *Phragmites australis*, *Lemna minor*, *L. trisulca*, *Spirodela polyrhiza*, *Typha angustifolia*. Значительную концентрацию цинка (до 70–76 мкг/дм³, или 3,5 кларка) отметили в экотопах *Drepanocladus aduncus*, *Equisetum fluviatile*, *Nuphar lutea*, *Callitriche palustris*, *Potamogeton gramineus*, *P. obtusifolius*, *P. pectinatus*, *P. perfoliatus*, *Najas marina*, *Bolboschoenus planiculmis*, *Calla palustris*, *Typha latifolia*.

Кадмий относится к металлам 2-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК кадмия составляет 5 мкг/дм³. Кларк кадмия в речных водах равен 0,2 мкг/дм³. В экотопах с максимально высоким содержанием кадмия (более 3 мкг/дм³, или 15 кларков) были зарегистрированы популяции *Spirogyra calospora*, *S. rugulosa*, *Vaucheria sessilis*, *V. taylorii*, *Persicaria amphibia*, *Utricularia vulgaris*, *Callitriche palustris*. При содержании кадмия около 1–2 мкг/дм³ (5–10 кларковых значений) отмечены *Spirogyra bellis*, *Enteromorpha flexuosa*, *Cladophora fracta*, *Draparnaldia acuta*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Bolboschoenus planiculmis*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*.

Хром относится к элементам 3-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК трех- и шестивалентного хрома составляет соответственно 70 и 20 мкг/дм³. Кларк хрома в речных водах составляет 1 мкг/дм³. При повышенной концентрации хрома в воде экотопов (более 5 мкг/дм³, или 5 кларковых значений) были отмечены популяции *Enteromorpha flexuosa*, *Cladophora fracta*, *Bolboschoenus planiculmis*, *Phragmites australis*. Кроме того, при концентрации хрома в воде около 2–3 мкг/дм³ (2–3 кларковых значения) зарегистрированы виды *Percursaria percursa*, *Cladophora glomerata*, *Vaucheria dichotoma*, *Callitriche palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia maritima*, *Bolboschoenus maritimus*, *Scirpus tabernaemontani*, *Lemna minor*, *L. trisulca*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*.

Медь считается металлом 3-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК меди составляет 1 мкг/дм³. Кларк меди для речных вод равен 7 мкг/дм³. В подавляющем большинстве исследованных гидроэкотопов Западно-Сибирской равнины содержание меди было значительно ниже кларка (в 10–50 раз). При концентрации меди, близкой к кларку (4,31–4,98 мкг/дм³), были обнаружены популяции *Nitella syncarpa*, *Cladophora glomerata*, *Thelypteris palustris*, *Ceratophyllum demersum*, *Rorippa amphibia*, *Oenanthe aquatica*, *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria natans*, *Potamogeton gramineus*, *P. lucens*, *P. perfoliatus*, *P. pusillus*, *Eleocharis palustris*, *Scirpus lacustris*, *Phragmites australis*, *Scolochloa festucacea*, *Lemna trisulca*, *Spirodela polyrhiza*, *Sparganium erectum*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*. Вероятно, на изучаемой территории повышенные концентрации меди можно обнаружить только в техногенно загрязненных гидроэкотопах.

Марганец принадлежит к числу элементов 4-го класса опасности. Для рыбохозяйственных водных объектов ПДК марганца составляет 10 мкг/дм³. На севере лесной ботанико-географической зоны Западно-Сибирской равнины марганец, как и железо, геохимически активен и содержится в большом количестве в поверхностных водах [32]. Кларк марганца в речных водах равен 10 мкг/дм³. В экотопах с концентрацией марганца 49–57 мкг/дм³, т. е. около 5 кларковых значений обнаружены популяции *Spirogyra decimina*, *S. hassallii*, *Enteromorpha intestinalis*, *E. flexuosa*, *Cladophora glomerata*, *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Ulothrix aequalis*, *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia vulgaris*, *Alisma gramineum*, *A. plantago-aquatica*, *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus*, *P. pusillus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*,

Z. repens, *Bolboschoenus maritimus*, *B. planiculmis*, *Carex atherodes*, *C. riparia*, *Eleocharis palustris*, *Scirpus tabernaemontani*, *Phragmites australis*, *Scolochloa festucacea*, *Lemna minor*, *L. trisulca*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*. Концентрация марганца, близкая к 3–4 кларкам (29–36 мкг/дм³), зарегистрирована в экотопах *Chara vulgaris*, *Mougeotia laetevirens*, *Spirogyra weberi*, *Calliergon giganteum*, *Equisetum fluviatile*, *Salvinia natans*, *Persicaria amphibia*, *Comarum palustre*, *Sium latifolium*, *Nymphoides peltata*, *Callitriche palustris*, *Butomus umbellatus*, *Elodea canadensis*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Stratiotes aloides*, *Alisma lanceolatum*, *Sagittaris natans*, *S. sagittifolia*, *Potamogeton alpinus*, *P. compressus*, *P. friesii*, *P. gramineus*, *P. obtusifolius*, *Carex aquatilis*, *Scirpus lacustris*, *Acorus calamus*, *Calla palustris*, *Spirodela polyrhiza*, *Sparganium erectum*, *S. emersum*. В экотопах большинства остальных видов зарегистрирована концентрация марганца, близкая к кларковому значению или существенно ниже его.

В заключение отметим, что для многих видов гидромакрофитов, приведенных в табл. 2 (около 50–60 %), в настоящее время получены лишь очень ограниченные количественные данные о содержании растворенных форм тяжелых металлов в экотопах, что не позволяет репрезентативно оценить экологическую толерантность видов к данным факторам водной среды. В их число входят редкие на Западно-Сибирской равнине виды, включая впервые обнаруженные на этой территории в ходе настоящего исследования, а также виды, слабо изученные в экологическом отношении не только в данном регионе, но и в пределах их ареалов. В то же время полученные эмпирические материалы могут служить основой для создания необходимого банка данных и дальнейшего углубленного изучения экологии этих видов.

Литература

1. Абрамова А. Л., Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. И. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1961. 714 с.
2. Агбалян Е. В., Шинкарук Е. В. Оценка зависимости концентраций тяжелых металлов от водородного показателя в малых озерах бассейна реки Надым // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исслед. Географ. науки. 2015. № 6. С. 457–459.
3. Борисова Г. Г., Чукина Н. В., Малева М. Г. Использование гидрофитов для биоиндикации и фиторемедиации загрязненных водных объектов // Водное хозяйство России. 2006. № 2. С. 30–40.
4. Борисова Г. Г., Чукина Н. В. Исследование химического состава гидрофитов при разных уровнях воздействия на водные экосистемы // Водное хозяйство России. 2008. № 2. С. 68–82.
5. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М. : Наука, 1967. 308 с.
6. Вода. Общие требования к отбору проб. ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. М. : Стандартинформ, 2013. 64 с.
7. Гордеев В. В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М. : Наука, 1983. 160 с.
8. Гордеев В. В., Лисицын А. П. Средний химический состав взвесей рек мира и питание океанов речным осадочным материалом // ДАН СССР. 1978. Т. 238. № 1. С. 225–228.
9. Гордеев В. В., Лисицын А. П. Глава 11. Микроэлементы // Океанология. Химия океана. Т. 1. М. : Наука, 1979. С. 338–375.
10. ГОСТ 30178–96. Сырье и продукты пищевые. Атомно–абсорбционный метод определения токсичных элементов // Межгосударственный стандарт. М. : Стандартинформ, 2010. С. 23–32.
11. Давыдова С. Л., Тагасов В. И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. М. : Академия, 2003. 400 с.
12. Дину М. И., Моисеенко Т. И., Кремлева Т. А. Влияние процессов комплексообразования гумусовых веществ на формы миграции металлов в природных водах зон северной тайги и лесостепи Тюменской области // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Экология. 2012. № 1. С. 71–79.
13. Добровольский В. В. Основы биогеохимии. М. : Академия, 2003. 400 с.

14. Игнатов М. С., Афонина О. М. Список мхов территории бывшего СССР // *Арктоа*. Бриол. журн. 1992. Т. 1 (1–2). С. 1–86.
15. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. *Sphagnaceae – Hedwigiaceae*. М. : КМК, 2003. С. 1–608.
16. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 2. *Fontinalaceae – Amblystegiaceae*. М. : КМК, 2004. С. 609–944.
17. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97. М. : М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов Рос. Федерации, 2004. 14 с.
18. Кремлева Т. А., Моисеенко Т. И., Хорошавин В. Ю., Шавнин А. А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав // *Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Экология*. 2012. № 12. С. 80–89.
19. Определитель пресноводных водорослей СССР. Т. 1–14. Л. : Наука, 1951–1983.
20. Остроумов С. А., Котелевцев С. В., Шестакова Т. В., Колотилова Н. Н., Поклонов В. А., Соломонова Е. А. Новое о фиторемедиационном потенциале: ускорение снижения концентраций тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) в воде в присутствии элодеи // *Эколог. химия*. 2009. Т. 18 (2). С. 111–119.
21. Остроумов С. А., Шестакова Т. В. Снижение измеряемых концентраций Cu, Zn, Cd, Pb в воде экспериментальных систем с *Ceratophyllum demersum*: потенциал фиторемедиации // *Докл. АН*. 2009. Т. 428. № 2. С. 282–285.
22. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: пр. федер. агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 // *Рос. газ. Федер. вып.* № 5125 от 5 марта 2010 г.
23. Рундина Л. А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematomphyceae, Zygnematales). СПб. : Наука, 1998. 351 с.
24. Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л. : Наука, 1968. 112 с.
25. Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель листостебельных мхов СССР. Верхоплодные мхи. Л. : Наука, 1970. 824 с.
26. Свириденко Б. Ф., Мамонтов Ю. С. Гидрофильные мхи Западно-Сибирской равнины : учеб. пособие. Сургут : ИЦ СурГУ, 2012. 134 с.
27. Свириденко Б. Ф., Мурашко Ю. А., Свириденко Т. В., Ефремов А. Н., Токарь О. Е. Содержание растворенных форм железа в экотопах гидромакрофитов Западно-Сибирской равнины // *Защита окруж. среды в нефтегаз. комплексе*. 2017. № 4. С. 100–106.
28. Свириденко Б. Ф., Свириденко Т. В. Макроскопические водоросли Западно-Сибирской равнины: учеб. пособие. Сургут : ИЦ СурГУ, 2010. 90 с.
29. Уварова В. И. Характеристика качества поверхностных и грунтовых вод на территории природного парка «Кондинские озера» // *Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2008. № 9. С. 203–212.
30. Уварова В. И. Гидрохимическая характеристика водотоков Нижней Оби // *Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2011. № 11. С. 132–142.
31. Флора Сибири / под ред. И. М. Красноборова, Л. И. Малышева, Г. А. Пешковой и др. Новосибирск : Наука, 1988–2003. Т. 1–14.
32. Хорошавин В. Ю., Ефименко М. Г. Исследование естественных процессов формирования химического состава поверхностных вод с целью оценки критических антропогенных нагрузок и устойчивости водных экосистем таежной зоны Западной Сибири // *Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Экология*. 2014. № 12. С. 33–44.

34. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
35. Чукина Н. В., Борисова Г. Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутренних вод. 2010. № 1. С. 49–56.
36. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
37. Kadlubowska J. Z. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Chlorophyta, VIII. Conjugatophyceae, I. Zygnemales. Stuttgart ; New York : Gustav Fischer Verlag, 1984. Bd. 16. 532 S.
38. Krause W. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Charales (Charophyceae). Jena ; Stuttgart ; Lübek ; Ulm., 1997. Bd. 18. 202 S.
39. Miretzky P., Saralegui A., Fernández C. A. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes // Chemosphere. 2006. Vol. 62 (2). P. 247–254.
40. Nirmal-Kumar J. I., Soni H., Kumar R. N., Bhatt I. Macrophytes in phytoremediation of heavy metal contaminated water and sediments in Pariyej Community Reserve, Gujarat, India // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2008. Vol. 8. P. 193–200.
41. Rahman M. A., Hasegawa H. Aquatic arsenic: phytoremediation using floating macrophytes // Chemosphere. 2011. Vol. 83 (5). P. 633–646.
42. Rai P. K. Heavy metal pollution in aquatic ecosystems and its phytoremediation using wetland plants: an ecosustainable approach // International Journal of Phytoremediation. 2008. V. 10 (2). P. 131–158.
43. Rieth A. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Xanthophyceae. Bd. 4. P. 2. Stuttgart ; New York : Spektrum Akademischer Verlag, 1980. 147 S.
44. Wood R. D., Imahori K. Iconograph of the Characeae (Revision of the *Characeae*). Weinheim : Verlag von J. Cramer, 1964. Icon 1–395.
45. Wood R. D., Imahori K. Monograph of the Characeae. Weinheim : Verlag von J. Cramer, 1965. 904 p.