

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОФИТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ МЕЛКОВОДНЫХ УЧАСТКОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Фомина А. А., Тихомирова Е. И., Кorableва А. И.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.», Саратов, e-mail: fomina-aa@mail.ru, tichomirova_ei@mail.ru

Проведен химический анализ содержания тяжелых металлов в макрофитах и донных отложениях, собранных на мелководных участках Волгоградского водохранилища у крупного промышленного центра Саратов-Энгельс. Установлено, что накопление тяжелых металлов в растениях уменьшается в следующем ряду: $Fe^{2,3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cd^{2+}$, что согласуется с классической схемой распределения элементов в растениях. Показано, что представители гидрофитов, плавающие в толще воды и укореняющиеся, обладают большей поглотительной способностью в отношении тяжелых металлов по сравнению с представителями остальных исследуемых экологических групп растений. Установлено отсутствие достоверных различий в значениях средних концентраций тяжелых металлов, определяемых в растениях, собранных у поселка Генеральское и у села Квасниковка (выше и ниже по течению крупной промышленной агломерации Саратов-Энгельс), что свидетельствует о равномерном характере загрязнения данной акватории.

Ключевые слова: тяжелые металлы, макрофиты, мониторинг, загрязнение водных экосистем.

THE USE OF MACROPHYTES FOR MONITORING HEAVY METALS POLLUTION OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR SHALLOW WATERS

Fomina A. A., Tikhomirova E I., Korableva A. I.

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, e-mail: fomina-aa@mail.ru, tichomirova_ei@mail.ru

We conducted chemical analyses of heavy metal accumulation in macrophytes and bottom sediments at the shallow sections of the Volgograd Reservoir near a large industrial site «Saratov-Engels». We observed that the accumulation of heavy metals in the plants decreased in the following order: $Fe^{2,3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cd^{2+}$, which agrees with the classical scheme of distribution of elements in plants. Representatives of hydrophytes, floating and rooting in water, have a greater absorption capacity for heavy metals comparing with the other studied ecological groups of plants. We observed that the average values of heavy metal concentrations determined in plants collected in the village Generalskoe and in the village Kvasnikovka (above and downstream of major industrial sites «Saratov-Engels»), did not differ between indicating the uniform nature of pollution of this water body.

Keywords: heavy metals, macrophytes, monitoring, pollution of aquatic ecosystems.

В настоящее время проблема сохранения окружающей среды, в том числе и водных ресурсов, наиболее остро стоит в современном техногенном мире. В конце 50-х годов река Волга превратилась в каскад водохранилищ, и последним в этом каскаде является Волгоградское водохранилище. За полувековой период существования в данном водоеме сконцентрировалось значительное количество трудно минерализуемых веществ, в том числе тяжелые металлы [1,10].

Ионы тяжелых металлов обладают высокой токсичностью для живых организмов в относительно низких концентрациях, активно участвуют в биологических процессах, способны передаваться по трофическим цепям и биоаккумулироваться [2]. Основная часть тяжелых металлов, поступающая в водохранилище, является продуктом деятельности предприятий различных отраслей, которые сбрасывают недостаточно очищенные

хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды. Существенный вклад в загрязнение водного объекта вносят поллютанты, смываемые с сельскохозяйственных полей и территорий животноводческих комплексов [4]. Важным аспектом является тот факт, что акватория городов Саратов-Энгельс является и источником питьевой воды для населения и местом сброса различных сточных вод.

Известно, что макрофиты являются неотъемлемым средообразующим компонентом водных экосистем. Наибольшее распространение они получают в водоемах с замедленным водообменом, таких как Волгоградское водохранилище [10]. Макрофиты имеют важное индикаторное значение и служат показателями качества воды, эвтрофирования и загрязненности водоемов [8]. Результаты определения состава макро- и микроэлементов в водных растениях перспективно использовать для оценки поступления ксенобиотиков в водоемы, находящиеся под значительной антропогенной нагрузкой [6]. Развитие подобных мониторинговых подходов в системе экологического контроля и управлении качеством окружающей среды сегодня наиболее актуально. В связи с этим целью нашего исследования явилось выявление особенностей накопления тяжелых металлов в макрофитах, собранных в акватории городов Саратов-Энгельс.

Материалы и методы исследования

Сбор макрофитов проводился в конце июля – августе 2014 г. в период максимальной физиологической активности водных растений на мелководных участках Волгоградского водохранилища у поселка Квасниковка и села Генеральское – ниже и выше по течению крупного промышленного центра Саратов-Энгельс. Отбор средней пробы проводили методом квартования. Растения размалывали, высушивали в сушильном шкафу до абсолютно-сухого состояния, а затем озоляли методом сухой минерализации путем сжигания проб в муфельной печи при 450 °С (ГОСТ 26929-94). Содержание тяжелых металлов в золе растений и в донных отложениях определяли фотометрическими методами: общего железа – методом с сульфосалициловой кислотой; цинка – дитизиновым методом; меди – с использованием диэтилдитиокарбамата; кобальта – с использованием 2-нитрозо-1-нафтола; кадмия – методом с дитизином [7].

Для исследования были выбраны высшие водные растения, широко распространенные на мелководьях Волгоградского водохранилища и относящиеся к различным экологическим группам. Из полосы воздушно-водных, полупогруженных растений был выбран рогоз узколистный *Typha angustifolia* L. С увеличением глубины зона воздушно-водных растений сменяется полосой гидрофитов: погруженные в толщу воды, укореняющиеся, – рдест блестящий *Potamogeton lucens* L., рдест пронзеннолистный *P. perfoliatus* L., элодея канадская *Elodea canadensis* L., уруть колосистая *Myriophyllum spicatum*

L.; плавающие на поверхности воды, укореняющиеся – кубышка желтая *Núphar lútea*, и плавающие в толще воды, неукореняющиеся, – роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* L.

Результаты исследования и их обсуждение

Водная и прибрежно-водная растительность, образующая зеленые пояса вдоль берегов и на мелководьях водоемов, служит своеобразным барьером на пути поступающих с водосбора и из донных отложений эвтрофирующих и загрязняющих веществ. Именно по этой причине водные экосистемы с широко развитым поясом растительности либо заросшими мелководьями являются наиболее устойчивыми к антропогенному эвтрофированию и загрязнению, а отдельные виды гидрофитов служат своеобразными индикаторами.

Показано, что содержание общего железа в растениях, собранных у п. Квасниковка (табл.1), убывало в ряду: роголистник темно-зеленый > уруть колосистая > рдест пронзеннолистный > рдест блестящий > элодея канадская > рогоз узколистный. При этом в исследуемых донных отложениях концентрация железа была в 2–3 раза выше по сравнению с макрофитами. Соединения железа наряду с соединениями меди являются наиболее характерными загрязнителями Волгоградского водохранилища. Ежегодно в водах водоема фиксируется превышение рыбохозяйственных ПДК по железу и меди в несколько раз [4]. Железо относится к важнейшим макроэлементам, от которых зависит правильное протекание обменных процессов в живых организмах, но повышенные длительные воздействующие концентрации неблагоприятно влияют на гидробионты и здоровье населения. Вода с большим содержанием железа (больше 1–2 мг/л) имеет неприятный вяжущий вкус и непригодна для промышленных целей.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в макрофитах и донных отложениях, собранных на мелководьях у п. Квасниковка

Макрофиты	С металла (мг/кг)				
	Fe ^{общ.}	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺
Рогоз узколистный	20±2,2	0,52±0,03	0,71±0,05	0,065±0,005	0,038±0,002
Роголистник темно-зеленый	48±4,1	0,57±0,05	0,74±0,06	0,053±0,005	0,031±0,003
Рдест блестящий	30±1,5	0,58±0,06	0,76±0,09	0,068±0,004	0,087±0,006
Рдест пронзеннолистный	33±3,8	0,58±0,03	0,75±0,04	0,052±0,004	0,075±0,008
Уруть колосистая	38±2,5	0,57±0,04	0,72±0,06	0,063±0,006	0,052±0,005

Элодея канадская	27±2,2	0,55±0,06	0,75±0,06	0,050±0,002	0,063±0,003
Донные отложения	115±15	4,18±0,36	3,60±0,41	0,082±0,005	0,032±0,002

Среди растений, собранных на мелководьях у с. Генеральское (табл. 2), наибольшее содержание общего железа отмечено для урути колосистой, однако в донных отложениях элемента содержалось примерно в 2 раза больше. Возможно, высокие концентрации общего железа в донных отложениях связаны с длительным характером загрязнения Волгоградского водохранилища данным тяжелым металлом и слабой проточностью мелководных участков.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в макрофитах и донных отложениях, собранных на мелководьях у с. Генеральское

Макрофиты	С металла (мг/кг)				
	Fe ^{общ.}	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺
Рогоз узколистый	21±3,2	0,51±0,03	0,83±0,06	0,052±0,004	0,040±0,002
Кубышка желтая	23±3,4	0,53±0,04	0,71±0,05	0,060±0,005	0,032±0,003
Уруть колосистая	49±4,7	0,56±0,05	0,74±0,06	0,050±0,003	0,037±0,004
Рдест пронзеннолистный	33±2,9	0,58±0,05	0,68±0,04	0,068±0,005	0,055±0,005
Элодея канадская	26±2,1	0,52±0,04	0,74±0,05	0,056±0,006	0,045±0,003
Донные отложения	102±8	3,27±0,42	4,40±0,64	0,066±0,003	0,048±0,002

Среди исследованных тяжелых металлов катионы цинка, меди и кобальта относятся к микроэлементам, поэтому в небольших концентрациях необходимы для нормального протекания биохимических и физиологических процессов. Однако в повышенных дозах они обладают токсическим действием и негативно влияют на живые организмы.

Установлено, что содержание цинка и меди в исследуемых растениях с мелководий п. Квасниковка достоверно не изменялось. Однако в донных отложениях установлено значительно большее содержание элементов. На мелководьях у с. Генеральское концентрации цинка в растениях практически не отличались от предыдущей точки отбора. У с. Генеральское содержание меди в рогозе узколистом было больше на 10 % по сравнению с остальными изученными растениями. В предыдущих исследованиях было показано, что именно многолетнее корневище рогоза узколистного способно аккумулировать катионы меди, кобальта и кадмия в концентрациях, сравнимых и превышающих таковые в донных отложениях [9].

Донные отложения с мелководий, расположенных ниже промышленного узла Саратов-Энгельс, содержали цинка на 23 % больше, чем мелководья выше расположенного участка. Концентрация меди в донных отложениях была наоборот больше у с. Генеральское (примерно на 20 %). Вероятно, это связано со смывом остатков медьсодержащих удобрений и пестицидов с сельскохозяйственных полей и дачных массивов, которые в основном расположены вдоль пологой береговой линии выше городов Саратов-Энгельс.

Показано, что содержание кобальта в исследованных растениях варьировалось в небольших пределах. В обеих точках отбора максимальное количество металла отмечено в рдесте блестящем. По данным исследований ряда авторов [2,3,5] именно погруженные водные растения содержат наибольшее количество микроэлемента.

Донные отложения у с. Генеральское содержали на 18 % больше кобальта по сравнению с таковыми у п. Квасниковка. Однако необходимо отметить, что коэффициент аккумуляции (отношение концентрации металла донных отложений к концентрации металла в растении) у макрофитов, произрастающих на мелководьях у с. Генеральское, приближался к единице.

Кадмий относится к антропогенным металлам, не входящим в естественные биогеохимические циклы. Известно, что он занимает первое место по фитотоксичности и способности аккумулироваться в растениях. В живых организмах он внедряется в активный центр ряда металлсодержащих ферментов, приводя к нарушению обменных процессов.

Установлено, что в некоторых исследуемых растениях с мелководий п. Квасниковка концентрации кадмия превышали таковые в донных отложениях. Содержание металла в рдесте блестящем, рдесте пронзеннолистном и элодеи канадской было выше примерно в 2–3 раза по сравнению с донными отложениями. В точке отбора у п. Генеральское концентрация кадмия в рдесте пронзеннолистном и элодеи канадской была на уровне донных отложений.

Таким образом, содержание тяжелых металлов в высших водных растениях уменьшается в следующем ряду: $Fe^{2,3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cd^{2+}$. Показано, что представители гидрофитов, плавающие в толще воды и укореняющиеся, обладают большей поглотительной способностью в отношении тяжелых металлов по сравнению с представителями остальных исследуемых экологических групп растений, что подтверждается работами ряда исследователей [2,3,5,10]. Аккумулятивная способность растений связана в основном с их морфолого-физиологическими особенностями, а также особенностями местообитания (скоростью течения, степенью зарастания водоема, наличием доступных форм металлов и т.д.). Установлено отсутствие достоверных различий в значениях средних концентраций тяжелых металлов, определяемых в растениях, собранных в п. Генеральское и у с.

Квасниковка (выше и ниже по течению крупной промышленной агломерации Саратов-Энгельс), что свидетельствует о равномерном характере загрязнения данной акватории.

Важным для оценки состояния окружающей среды с помощью макрофитов является их постоянное присутствие в водной экосистеме и способность суммировать влияние всех воздействий и отражать состояние окружающей среды в целом. Также в условиях хронических антропогенных нагрузок водные растения реагируют даже на относительно слабые воздействия вследствие кумулятивного эффекта. Интересным моментом является возможность проследить с помощью макрофитов пути и места скоплений различного рода загрязнителей в экологических системах. В связи с этим развитие методологии мониторинга и контроля состояния водных экосистем с помощью высших водных растений является весьма перспективным направлением в эколого-биологических исследованиях.

Список литературы

1. Аверкова С.А. Современное экологическое состояние Волгоградского водохранилища с учетом факторов антропогенного воздействия: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Астрахань, 2012. – 16 с.
2. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Савенко А.В. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги // Аридные экосистемы. – 2009. – Т.15. – № 3. – С.34–42.
3. Гришанцева Е.С., Сафронова Н.С., Кирпичникова Н.В., Федорова Л.П. Распределение микроэлементов в высшей водной растительности Иваньковского водохранилища // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, Геокриология. – 2010. – № 3. – С. 223-231.
4. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2013 году. – Саратов, 2014. – 242 с.
5. Кочеткова А.И. О некоторых закономерностях накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник Волгогр. гос. ун-та. Сер. 3. Экон. Экол. – 2012. – № 1(20). – С. 305–309.
6. Микрякова Т.Ф. Содержание тяжелых металлов в макрофитах Моложского плеса Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. – 1996. – № 99. – С. 11–13.
7. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
8. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности. – М.: НИИ-Природа, 2004. – 220 с.

9. Фомина А.А. Аккумуляционная способность рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) по отношению к тяжелым металлам // Инновационная деятельность. – 2014. – № 1 (28). – Т. 2. – С. 59-63.
10. Шашуловская Е.А. Роль мелководий в самоочищении равнинных водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища): дис. ... д-ра биол. наук. – Н. Новгород, 2010. – С. 20–22.

Рецензенты:

Сергеева И. В., профессор, д.б.н., заведующая кафедрой ботаники, химии и экологии ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», г. Саратов;

Плешакова Е. В., д.б.н., профессор, профессор кафедры биохимии и биофизики ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов.