

УДК 574.24 (581.5)

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-122-131

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ МАКРОФИТОВ ВОЛГО- КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

Куанова А. С.<sup>1</sup>, Ершова Т. С.<sup>1</sup>, Чаплыгин В. А.<sup>1</sup>, Зайцев В. Ф.<sup>1</sup>, Матвеева А. А.<sup>1</sup>,  
Литвинова Н. В.<sup>2</sup>, Шабоянц Н. Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия  
<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник», Астрахань, Россия  
<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Астрахань, Россия  
E-mail: ershova\_ts@mail.ru

Выявление особенностей накопления химических элементов в макрофитах является важной задачей для оценки биогеохимического фона Волго-Каспийского бассейна. Объектами исследования являлись *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*. Отбор проб растений производился в Астраханском государственном заповеднике. Определение концентрации химических элементов осуществлялось с помощью метода атомно – абсорбционной спектрометрии. В макрофитах определялось содержание Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd. В результате проведенных исследований отмечено, что железо и марганец исследованные виды растений аккумулируют в большей мере, а содержание кадмия в них минимально. У обоих видов растений обнаружена аналогичная закономерность распределения химических элементов. Сравнительный анализ содержания химических элементов в исследованных видах макрофитов показал, что *Ceratophyllum demersum* обладает способностью более эффективно концентрировать некоторые химические элементы.

**Ключевые слова:** *Spirodela polyrhiza*, *Ceratophyllum demersum*, Волго-Каспийский бассейн, аккумуляция, химические элементы.

### ВВЕДЕНИЕ

Дельта реки Волга является концентратором большого количества минеральных, органических и загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, поступающих со всего бассейна [1].

Эти металлы могут накапливаться в тканях и клетках растений, что приводит к различным негативным последствиям, таким как ингибирование роста, нарушение фотосинтеза и функционирования клеточных механизмов, и т. д. [2].

Дельта реки Волга представляет собой уникальный объект для исследования процессов трансформации загрязняющих веществ. Дельтовые водотоки и устьевые

отмели характеризуются небольшой глубиной (1,5–2,5 м) и высокой степенью зарастания высшей водной растительностью [1].

Высшие водные растения поглощают из воды биогенные элементы, тяжелые металлы, фенолы и др., тем самым снижая загрязненность водной среды [3]. Макрофиты обладают рядом качеств, делающих их идеальными биоиндикаторами: они широко распространены, удобны для сбора и обработки, а также имеют относительно крупные размеры. Водные растения, обитающие в прибрежной зоне водоемов, выполняют роль барьера, предотвращающего проникновение недостаточно очищенных сточных вод в водоемы и водотоки [4].

Изучению содержания химических элементов в высших водных растениях дельты Волги посвящены работы многих исследователей. Так, в 2004 году В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова и А. В. Савенко [5] провели исследование концентрации тяжелых металлов в некоторых видах макрофитов, в том числе и в *Ceratophyllum demersum*, произрастающих в водотоках дельты Волги (Ахтуба, Бузан, Кривая Болда, Кизань). Д. В. Воробьев, Т. Д. Искра, В. Н. Кириллов [6] изучили динамику содержания микроэлементов (цинк, марганец и медь) в рогозе, рдесте, гречихе и тростнике в зависимости от стадии вегетации. Э. И. Мелякина, Ю. Т. Пименов, М. А. Мусаев, А. В. Махлун [7] выявили особенности распределения рассеянных металлов в рдестах и водорослях Северо-Западного Каспия. В 2018–2019 гг. А. Б. Имантаев и Н. Ю. Чеснокова изучали содержание тяжелых металлов в высших водных растениях морской среды Северного Каспия [8].

Несмотря на многочисленные исследования, вопрос о концентрации тяжелых металлов в макрофитах остается открытым по нескольким причинам:

– разнообразие видов и условий их произрастания. Известно, что макрофиты представляют собой обширную группу растений, обитающих в различных средах. Их способность накапливать тяжелые металлы сильно варьируется в зависимости от вида, возраста, условий произрастания (например, уровень загрязнения, рН воды, доступность питательных веществ) и других факторов.

– сложные механизмы накопления. Высшие водные растения могут накапливать тяжелые металлы как путем поглощения из воды, так и через пищевую цепь. Механизмы поглощения и накопления различаются у разных видов и могут быть связаны с биологическими процессами, такими как транслокация, метаболизм и образование комплексов.

– недостаток данных. Несмотря на проведенные ранее исследования, данные о концентрации тяжелых металлов в макрофитах по-прежнему ограничены, особенно для многих видов и регионов.

Необходимо продолжать исследования, чтобы улучшить понимание механизмов накопления тяжелых металлов в высших водных растениях, разработать эффективные методы оценки и мониторинга загрязнения тяжелыми металлами в водных экосистемах, создать базы данных о концентрации тяжелых металлов в различных видах макрофитов, разработать стратегии управления водными ресурсами, которые минимизируют в них риск загрязнения тяжелыми металлами.

Открытый характер вопроса о концентрации тяжелых металлов в высших водных растениях подчеркивает важность дальнейших исследований в этой области.

Данное исследование является частью мониторинговых работ, направленных на изучение микроэлементного состава макрофитов дельты Волги, с целью выявления индикаторных видов накопления химических элементов.

*Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum* являются представителями высшей водной растительности, играющие важную роль в очистке воды и поддержании биологического разнообразия и структуры водных сообществ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами изучения являлись представители высшей водной растительности дельты Волги: многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* L.) и роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.).

Отбор проб растений осуществлялся в водотоках дельты Волги на территории Дамчикского участка Астраханского государственного заповедника.

Работу осуществляли на кафедре «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

При определении концентрации химических элементов в объектах исследования использовали метод атомно-абсорбционной спектрометрии согласно ГОСТ 30178-96. В макрофитах определялось содержание Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd.

Содержание химических элементов выражали в мг/кг сухого вещества.

Результаты исследования обработаны статистически при помощи программного продукта Microsoft Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании содержания химических элементов в *Spirodela polyrhiza* отмечено, что в наибольшем количестве аккумулировались железо и марганец (рис. 1).

Содержание железа составляло  $201,43 \pm 12,5$  мг/кг, а марганца –  $198,87 \pm 8,3$  мг/кг сухого вещества. Выявленные различия в значениях концентрации железа и марганца в многокореннике обыкновенном статистически незначимы ( $p > 0,05$ ).

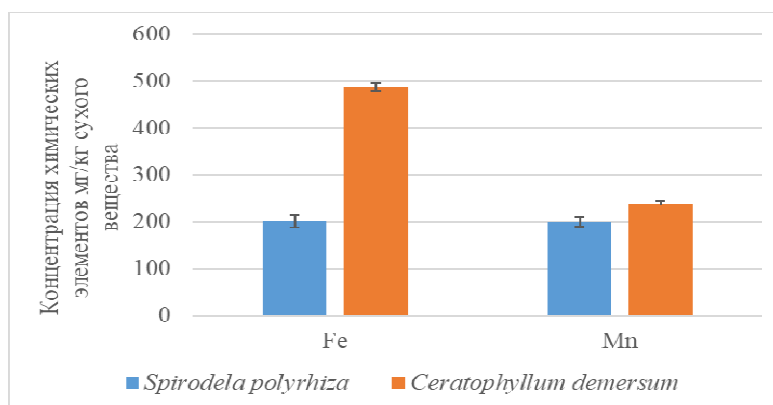


Рис. 1. Содержание Fe и Mn в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ...

Содержание Ni, Zn и Pb в *Spirodela polyrhiza* составляли  $11,75 \pm 2,5$ ,  $5,33 \pm 0,8$  и  $4,93 \pm 0,3$  мг/кг сухого вещества соответственно (рис. 2).

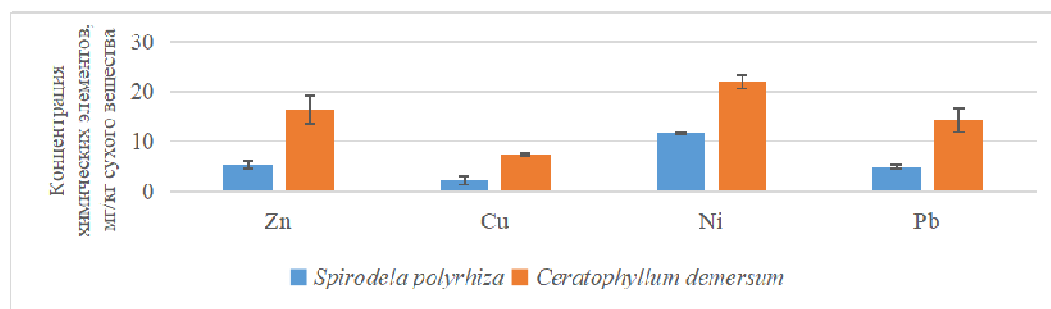


Рис. 2. Содержание химических элементов в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

Концентрация кадмия составляла  $0,23 \pm 0,01$  мг/кг сухого вещества, а содержание кобальта и хрома обнаружено в следовых количествах (рис. 3).

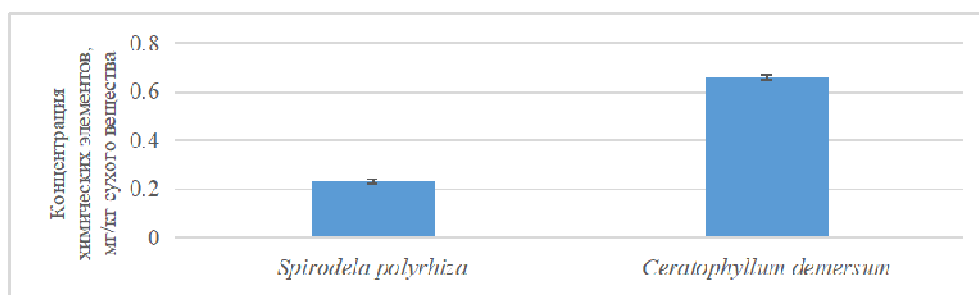
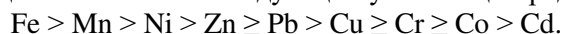


Рис. 3. Содержание кадмия в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

По концентрации в *Spirodela polyrhiza* химические элементы распределялись в следующем убывающем ряду:  $Fe \geq Mn > Ni > Zn \geq Pb > Cu > Cd > Cr \geq Co$ .

В *Ceratophyllum demersum* в наибольшем количестве выявлено содержание железа ( $486,57 \pm 9,3$  мг/кг сухого вещества), а содержание марганца составляло  $240,13 \pm 4,7$  мг/кг сухого вещества, что в 2 раза меньше, чем железа (см. рис. 1). Как и у многокоренника обыкновенного у роголистника темно-зеленого концентрации остальных исследованных химических элементов на порядок ниже, чем марганца и железа. Так, концентрации Ni, Zn и Pb составляли  $21,98 \pm 0,3$ ;  $16,42 \pm 2,8$  и  $14,27 \pm 2,4$  мг/кг сухого вещества соответственно (см. рис. 2). Статистических различий в значениях накопления Cu, Cr в роголистнике не отмечено ( $p > 0,05$ ). Концентрации выше отмеченных химических элементов составляли  $7,42 \pm 0,2$ ;  $6,74 \pm 2,1$ ;  $4,75 \pm 0,2$  его меньше всего мг/кг сухого вещества соответственно. В наименьшем количестве в растениях обнаружен кадмий, концентрация которого составляла  $0,66 \pm 0,1$  мг/кг сухого вещества (рис. 3).

Средние концентрации изученных металлов в *Ceratophyllum demersum* представляют собой следующий убывающий ряд:



Сравнительный анализ содержания химических элементов в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum* показал некоторые сходства в накоплении металлов. Так, железо и марганец исследованные виды растений аккумулируют в большей мере, а содержание кадмия в них минимально. Кроме того, у обоих видов растений обнаружена аналогичная закономерность распределения химических элементов по значениям концентрации в убывающих рядах.

На основе полученных данных отмечено, что в исследованных видах макрофитов максимально присутствуют Fe, Mn, Ni, а минимально Co, Cu, Cd. Подобную закономерность у других видов высших водных растений дельты Волги ранее описали А. Ф. Бреховских, З. В. Волкова и А. В. Савенко [5]. Высокие значения железа в растениях можно объяснить тем, что железо является одним из важнейших микроэлементов, необходимых растениям для нормального роста и развития, оно участвует в процессе фотосинтеза и дыхания, т.к. оно входит в состав ферментов, отвечающих за перенос электронов в митохондриях и хлоропластах [1]. Марганец является не менее важным микроэлементом, чем железо необходимым также для фотосинтеза и других метаболических процессов у растений, поэтому растения имеют специальные механизмы поглощения и транспорта марганца из почвы или воды в свои ткани. В отличие от животных, растения не имеют эффективных механизмов выведения избыточных количеств марганца и других микроэлементов [9]. Возможно именно этим можно объяснить и высокие значения марганца в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*. При этом растения могут накапливать большие количества марганца в своих тканях [9]. Высокие концентрации марганца могут негативно отразиться на процессах метаболизма в растениях.

Отмечено, что на одном и том же участке при одинаковых условиях произрастания в водоёмах, способность к накоплению металлов разными видами растений отличается, что связано с их специфичностью.

По сравнению с *Spirodela polyrhiza* в *Ceratophyllum demersum* выявлено более высокое содержание химических элементов. Так, в роголистнике темно-зеленом концентрация Fe, Cu и Ni выше в 2 раза, а Zn, Pb и Cd в 3 раза, чем в многокореннике обыкновенном. *Spirodela polyrhiza* – это многолетник с округлым видоизменённым побегом –листецом, плавающим на поверхности воды, обладает более сложной структурой и медленным ростом [10]. Е. В. Островская с соавторами [10] отмечали, что из-за плотной структуры и меньшей площади поверхности многокоренник обыкновенный имеет ограниченную способность к поглощению тяжелых металлов. *Ceratophyllum demersum* полностью погружен в воду и занимает большую площадь поверхности, чем многокоренник обыкновенный, что способствует большему поглощению тяжелых металлов из воды. По мнению А. П. Садчикова [4], погруженные растения накапливают тяжелые металлы в 10 раз интенсивнее прибрежно-водных и плавающих на поверхности.

Существенные отличия в концентрациях химических элементов в растениях заключается в их метаболизме. По мнению О. В. Королевой и А. Н. Королева [11], многокоренник обыкновенный, будучи высшим растением, обладает более сложным метаболизмом и способностью расщеплять и выводить некоторые токсичные вещества [11]. *Ceratophyllum demersum*, наоборот, известен более примитивной формой диссимиляционных процессов. Он не способен эффективно расщеплять и выводить токсичные вещества, в том числе тяжелые металлы. В результате, они накапливаются в тканях растений. Доказательства того, что *Ceratophyllum demersum* имеет более высокую эффективность поглощения тяжелых металлов приведены в работе А. В. Петрова [12], который показал, что *Ceratophyllum demersum* содержит в себе больше таких биосорбентов как полифенолы и лигнины, которые способствуют поглощению микроэлементов [4, 10].

Сравнивая наши данные по содержанию железа и марганца в роголистнике темно-зеленом с данными, полученными ранее А. Ф. Бреховских и Е. В. Островской [1], было выявлено, что концентрации железа и марганца в *Ceratophyllum demersum* возросли в 10 раз. Полученные нами данные относительно других исследованных химических элементов сопоставимы с данными А. Ф. Бреховских и соавторов в дельте Волги [5]. Так, концентрация Ni и Co в роголистнике темно-зеленом в наших исследованиях составила  $21,98 \pm 0,3$  мг/кг и  $4,75 \pm 0,2$  мг/кг сухого вещества соответственно. Согласно результатам исследования А. Ф. Бреховских, З. В. Волковой и А. В. Савенко [5] концентрация Ni составляла 20,60 мг/кг, а Co – 4,70 мг/кг сухого вещества. Это свидетельствует о том, что за последние 20 лет значительных изменений в концентрации данных металлов этими видами растений не произошло.

Сравнивая полученные нами результаты исследования по содержанию химических элементов в *Ceratophyllum demersum* дельты Волги с данными А. Б. Имантаева и Н. Ю. Чесноковой [8], которые проводили подобные исследования с этим видом растения Каспийского моря обнаружена следующая тенденция: содержание Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr *Ceratophyllum demersum* в Северном Каспии в разы меньше, чем в дельте Волги. Так, например, концентрация Mn в роголистнике Северного Каспия в 4 раза меньше, а значение содержания свинца, никеля и кобальта в 2 раза меньше, чем *Ceratophyllum demersum* дельты Волги. Концентрации Zn и Cd в *Ceratophyllum demersum* дельты Волги сопоставимы с данными по концентрации этих химических элементов в растениях морской среды.

Возможно, причинами более высоких концентраций химических элементов в роголистнике темно-зеленом, обитающем в дельте Волги, является более высокое воздействие тяжелых металлов, чем в районе Северного Каспия [13].

Кроме того, дельта Волги имеет более сложную гидрологическую структуру, чем Каспийское море, с многочисленными рукавами, протоками и лагунами. Это создает условия для медленного водообмена и накопления загрязняющих веществ в дельте. В результате, роголистник темно-зеленый имеет больше времени для поглощения и накопления тяжелых металлов из речной воды, чем из морской воды Северного Каспия [11, 13].

По мнению В. Ф. Бреховских с соавторами [5] *Ceratophyllum demersum* имеет биологические особенности, которые делают его более эффективным в концентрировании металлов, чем многие другие виды растений. Поэтому даже при более низких уровнях загрязнения Северного Каспия роголистник темно-зеленый может содержать более высокие концентрации тяжелых металлов [2, 14].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в силу биологических особенностей и широкому распространению на всех участках дельты Волги *Ceratophyllum demersum* обладает способностью более эффективно концентрировать химические элементы, такие как железо, никель, свинец и цинк из окружающей среды, чем *Spirodela polyrhiza*. В связи с этим, роголистник темно-зеленый рекомендован в качестве индикаторного вида в мониторинге загрязнения водных экосистем. В то же время комбинация антропогенных нагрузок, гидрологических условий и все тех же биологических особенностей этого вида растения приводит к более высокому содержанию в нем тяжелых металлов, если он произрастает в дельте Волги, чем в Северном Каспии.

*Исследования проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-24-10043.*

#### Список литературы

1. Бреховских В. Ф. О влиянии стока на распределение тяжелых металлов в ее устьевом взморье / В. Ф. Бреховских, Е. В. Островская, Д. В. Катунин, З. В. Волкова // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 88–97.
2. Сеницкая А. М. Сравнительный анализ токсичности соединений тяжелых металлов и источников их возникновения / А. М. Сеницкая, Е. А. Семенов, А. Ю. Олефиренко, П. А. Козуб, Г. И. Гринь // Труды международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промышленность», Белгород. – 2002. – С. 213–217.
3. Фомина Е. С. Влияние высшей водной растительности на доочистку сточных вод / Е. С. Фомина, Е. А. Трошина // Сборник статей межвузовской III конференции «Современные проблемы экологии». – Житомир, 2006. – С. 150–154.
4. Садчиков А. П. Гидробиология: прибрежно-водная растительность / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов – М.: Юрайт, 2022. – 254 с.
5. Бреховских В. Ф. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги / В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, А. В. Савенко // Аридные экосистемы. – 2009. – Т. 15, Вып. 3(39). – С. 34–45.
6. Воробьев Д. В. Физиолого-биологические и экологические основы применения микроэлементов в аквакультуре / Воробьев Д. В., Искра Т. Д., Кириллов В. Н. // ООО «Центр полиграфии по распространению научно-технической, экономической и экологической документации». – 2008. – С. 58–68.
7. Мелякина Э. И. Особенности распределения рассеянных металлов в бентосных сообществах Северо-Западного Каспия / Э. И. Мелякина, Ю. Т. Пименов, М. А. Мусаев, А. В. Махлун // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 106–110.
8. Иммантаев А. Б. Содержание тяжелых металлов в высших водных растениях Северного Каспия / Иммантаев А. Б., Чеснокова Н. Ю. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. – № 1. – С. 87–96. DOI: 10.35567/19994508\_2022\_1\_6.
9. Рогачева С. М. Влияние растворимых соединений марганца на высшие водные растения и оценка фитоэкстракционной способности растений / С. М. Рогачева, А. Ф. Каменец, Н. А. Шилова //

- Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 5(3). – С. 484–488.
10. Островская Е. В. Тяжелые металлы в системе «Дельта Волги – Северный Каспий» / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, С. К. Монахов, А. А. Курапов, А. Г. Кочарян // Юг России: экология, развитие. – 2008. – № 4. – С. 133–140.
  11. Королёва О. В. Метаболизм аминокислот у многокоренника (*Spirodela polyrhiza* L.) при действии хлорида меди / О. В. Королёва, А. Н. Королёв // Ботанический журнал. – 2008. – № 95(5). – С. 73–80.
  12. Петров А. В. Использование высших водных растений для очистки сточных вод от тяжелых металлов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 – экология / Петров А. В. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2013. – 24 с.
  13. Савенко А. В. Макро- и микроэлементный состав макрофитов пресноводной части устьевой области Волги / А. В. Савенко, В. Ф. Бреховских, О. С. Покровский // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 3(84). – С. 93–102.
  14. Христофорова Н. К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами / Н. К. Христофорова. – Л.: Наука, 1989. – 192 с.
  15. Winkels H. J. Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhone delta / H. J. Winkels, S. B. Kroonenberg, M. Y. Lychagin // Applied Geochem. – 1998. – V. 13. – P. 581–591.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN SOME TYPES OF MACROPHYTES OF THE VOLGA-CASPIAN BASIN

*Kuanova A. S.<sup>1</sup>, Ershova T. S.<sup>1</sup>, Chaplygin V. A.<sup>1</sup>, Zaitsev V. F.<sup>1</sup>, Matveeva A. A.<sup>1</sup>, Litvinova N. V.<sup>2</sup>, Shabayants N. G.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Astrakhan State Technical University", Astrakhan, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Institution "Astrakhan Order of the Red Banner of Labor State Nature Biosphere Reserve", Astrakhan, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Astrakhan State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Astrakhan, Russian Federation*

*E-mail: alina29-94@mail.ru*

The Volga River Delta is a concentrator of a large number of mineral, organic and polluting substances, including heavy metals, coming from the entire basin. These metals can accumulate in plant tissues and cells, which leads to various negative consequences, such as growth inhibition, disruption of photosynthesis and functioning of cellular mechanisms, etc. Higher aquatic plants absorb biogenic elements, heavy metals, phenols, etc. from water, thereby reducing pollution of the aquatic environment. The objects of study were representatives of the higher aquatic vegetation of the Volga Delta: common polyrhiza (*Spirodela polyrhiza* L.) and dark green hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.). Plant samples were collected in the watercourses of the Volga Delta on the territory of the Damchiksky section of the Astrakhan State Nature Reserve. The work was carried out at the Department of Hydrobiology and General Ecology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Astrakhan State Technical University. Atomic absorption spectrometry was used to determine the concentration of



chemical elements in the objects of study. The content of Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd was determined in macrophytes. The content of chemical elements was expressed in mg/kg of dry matter.

When comparing the concentration values of chemical elements in *Spirodela polyrhiza* and *Ceratophyllum demersum*, a similarity in their accumulation was noted: Fe and Mn were found in the greatest quantities in plants, and Cd in the smallest. In addition, a similar pattern of metal distribution by concentration in descending series was found in both plant species:  $Fe > Mn > Ni > Zn \geq Pb > Cu \geq Cr \geq Co > Cd$ . Based on the data obtained, it was noted that the studied macrophyte species contain the maximum amount of Fe, Mn, Ni, and the minimum amount of Co, Cu, Cd. High values of iron and manganese in plants can be explained by the fact that they are among the most important microelements necessary for normal growth and development of plants. Growing in the same area under the same conditions in water bodies, different types of macrophytes differ in species specificity in the accumulation of chemical elements. *Ceratophyllum demersum* is completely submerged in water and occupies a larger surface area than *Spirodela polyrhiza*, which contributes to greater absorption of heavy metals from water. Significant differences in the concentrations of chemical elements in plants lie in their metabolism. *Ceratophyllum demersum*, compared to *Spirodela polyrhiza*, has a more primitive form of dissimilation processes, therefore it is not able to effectively break down and remove metals, and they accumulate in its tissues. The content of Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr in *Ceratophyllum demersum* in the Northern Caspian is several times lower than in the Volga Delta, and the concentrations of Zn and Cd are comparable with the data on the concentration of these chemical elements in plants of the river and marine environment. The Volga Delta has a more complex hydrological structure than the Caspian Sea, with numerous branches, channels and lagoons. This creates conditions for slow water exchange and accumulation of pollutants in the delta.

Thus, due to its biological characteristics and wide distribution in all areas of the Volga Delta, *Ceratophyllum demersum* has the ability to more effectively concentrate chemical elements such as iron, nickel, lead and zinc from the environment than *Spirodela polyrhiza*. In this regard, dark green hornwort is recommended as an indicator species in monitoring the pollution of aquatic ecosystems.

**Keywords:** *Spirodela polyrhiza*, *Ceratophyllum demersum*, Volga-Caspian basin, accumulation, chemical elements.

*The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 23-24-10043.*

#### References

1. Brekhovskikh V. F., Ostrovskaya E. V., Katunin D. V., Volkova Z. V. On the effect of runoff on the distribution of heavy metals in its estuarine coast, *Meteorology and hydrology*, **2**, 88 (2006).
2. Sinitskaya A. M., Semenov E. A., Olefirenko A. Yu., Kozub P. A., Grin G. I., Comparative analysis of the toxicity of heavy metal compounds and their Sources, *Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference. the conference "Ecology - Education, science and industry"* (Belgorod, 2002), 213.

3. Fomina E. S., Troshina E. A., The influence of higher aquatic vegetation on wastewater treatment, *Collection of articles of the interuniversity III conference "Modern problems of ecology"*, (Zhytomyr, 2006), 150.
4. Sadchikov A. P., Kudryashov M. A., *Hydrobotany: coastal aquatic vegetation.*, 254 p. (Yurait, Moscow, 2022)
5. Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Savenko A. V., Higher aquatic vegetation and accumulation processes in the delta of the river Volga, *Arid ecosystems*, **15**, 34 (2009)
6. Vorobyov D. V., Iskra T. D., Kirillov V. N. Physiological, biological and ecological bases of the application of trace elements in aquaculture, *ООО "Center of Printing for the dissemination of scientific, technical, economic and environmental documentation"*, 2008. pp. 58-68.
7. Melyakina E. I., Pimenov Yu. T., Musaev M. A., Makhnun A.V., Features of the distribution of scattered metals in benthic communities of the Northwestern Caspian Sea, *Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries*, **2**, 106 (2013).
8. Imantaev A. B., Chesnokova N. Yu., The content of heavy metals in higher aquatic plants of the Northern Caspian Sea, *Water management in Russia: problems, technologies, management*, **1**, 87 (2022). DOI: 10.35567/19994508\_2022\_1\_6.
9. Rogacheva S. M., Kamenets A. F., Shilova N. A., Effect of soluble manganese compounds on higher aquatic plants and assessment of phytoextractive ability of plants, *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **18**, 484 (2016)
10. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Monakhov S. K., Kurapov A. A., Kocharyan A. G., Heavy metals in the Volga Delta – Northern Caspian system, *South of Russia: ecology, development*, **4**, 133 (2008).
11. Koroleva O. V., Korolev A. N., Metabolism of amino acids in a multicore (*Spirodela polyrhiza* L.) under the action of copper chloride, *The Botanical journal*, **95**, 73 (2008).
12. Petrov A. V. *The use of higher aquatic plants for wastewater treatment from heavy metals*: abstract of thesis dis. ...cand. biol. Sciences: 03.00.16 – ecology, 24 p. (Moscow, Lomonosov Moscow State University. 2013)
13. Savenko A. V., Brekhovskikh V. F., Pokrovsky O. S., Macro- and microelement composition of macrophytes of the freshwater part of the estuary region of the Volga, *Arid ecosystems*, **26**, 93 (2020).
14. Khristoforova N. K. *Bioindication and monitoring of marine pollution by heavy metals*, 192 p. (L.: Nauka, 1989)
15. Winkels H. J., Kroonenberg S. B., Lychagin M. Y., Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhone delta, *Applied Geochem*, **13**, 581 (1998).