

Водные биоресурсы и среда обитания

2022, том 5, номер 3, с. 24–31

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_3_24

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment

2022, vol. 5, no. 3, pp. 24–31

<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru

doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_3_24

ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Биология и экология гидробионтов

УДК 574.522

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В *ZOSTERA MARINA* (LINNAEUS, 1753) В СЕВЕРНОМ КАСПИИ В 2018–2020 ГГ.

© 2022 А. Б. Имантаев

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань 414056, Россия

E-mail: asetkz.ru@yandex.ru

Аннотация. В статье представлено сравнение содержания тяжелых металлов в *Zostera marina* в Северном Каспии за осенний период (2018–2020 гг.). Для определения концентрации тяжелых металлов (медь, цинк, марганец, свинец, никель, железо, хром, кадмий) использовался метод атомно-абсорбционной спектрометрии согласно ГОСТ 30178-96. В результате исследований получены данные по концентрациям микроэлементов и определены закономерности их накопления в растительном организме. Составлены убывающие ряды концентраций тяжелых металлов по годам, выявлены преобладающие микроэлементы (железо, марганец, цинк, медь) в составе *Zostera marina*, проанализировано их содержание. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (КБП) для рассматриваемого растения на основе имеющихся данных по их содержанию в грунтах Северного Каспия. Показано, что *Zostera marina* может использоваться в качестве биоиндикатора цинка и марганца в Северном Каспии, а остальные тяжелые металлы (медь, никель, свинец, железо, хром, кадмий) являются деконцентраторами (КБП<1). Отмечено общее снижение присутствия тяжелых металлов в *Zostera marina* в Северном Каспии в период 2018–2020 гг.

Ключевые слова: тяжелые металлы, микроэлементы, концентрация, Северный Каспий, *Zostera marina*

CONTENT OF TRACE ELEMENTS IN *ZOSTERA MARINA* (LINNAEUS, 1753) IN THE NORTHERN CASPIAN SEA IN 2018–2020

A. B. Imantaev

FSBEI HE “Astrakhan State Technical University”, Astrakhan 414056, Russia

E-mail: asetkz.ru@yandex.ru

Abstract. This article presents a comparison of the content of heavy metals in *Zostera marina* in the Northern Caspian Sea for the autumn season (2018–2020). To determine the concentration of heavy metals (copper, zinc, manganese, lead, nickel, iron, chromium, cadmium), the method of atomic absorption spectrometry was used as prescribed in the state standard (GOST 30178-96). As a result of this research, the data on the concentrations of trace elements have been collected, and the patterns of their accumulation in a plant organism have been identified. Decreasing series of concentrations of heavy metals by years have been compiled; the predominant trace elements (iron, manganese, zinc, copper) in the composition of *Zostera marina* have been identified, and their content has been analyzed. The biological absorption coefficients (BPC) for the investigated plant have been calculated based on the available data on their content in the soils of the Northern Caspian Sea. It is shown that *Zostera marina* can be used as a bioindicator for zinc and manganese in the Northern Caspian Sea, and the other heavy metals (copper, nickel, lead, iron, chromium, cadmium) are deconcentrators ($BPC < 1$). A general decrease in the presence of heavy metals in *Zostera marina* in the Northern Caspian Sea has been recorded for the time range from 2018 to 2020.

Keywords: heavy metals, trace elements, concentration, Northern Caspian Sea, *Zostera marina*

ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками химических элементов для представителей фитобентоса являются морская вода и донные отложения [1]. Следовательно, содержание тяжелых металлов в изучаемом макрофите *Zostera marina* в значительной мере зависит от их концентрации в среде обитания.

Северный Каспий является зоной смешения речных и морских вод, поэтому большинство химических веществ поступают в него с речным стоком, морскими водами из Среднего Каспия и атмосферными осадками; также часть элементов может поступать с газовыми и жидкими выделениями со дна моря [2].

Длительное поступление различных химических элементов в водные системы приводит к их накоплению на дне водоема. Поэтому донные отложения являются более инертной средой по сравнению с водой и обладают свойством «запоминать» любые воздействия, оказываемые на водоем [1].

Макрофитобентос — первичный продуцент органического вещества в море, который играет значительную роль в структурировании пространства и формировании биотопов, выполняющих нагульную и защитную функции для многих видов животных, а также оказывает существенное влияние на функционирование морских экосистем. Изменения в структуре растительности отрицательно сказываются на всем населении биотопа, вплоть до изменения состава биоценозов и сокращения запасов гидробионтов. Поэтому сведения о современном состоянии макрофитобентоса вносят существенный вклад в формирование представлений о направленности сукцессионных процессов морских экосистем в условиях антропогенного

воздействия [3]. Наблюдения за концентрацией микроэлементов в высших водных растениях Северного Каспия на примере *Zostera marina* позволят рассуждать об особенностях накопления микроэлементов в данном макрофите Северного Каспия.

Цель исследования — охарактеризовать содержание микроэлементов в *Zostera marina* в Северном Каспии в осенний период (2018–2020 гг.). Для достижения поставленной цели необходимо рассчитать концентрации тяжелых металлов в объекте исследования, составить убывающие ряды концентраций тяжелых металлов по годам и рассчитать КБП для высшего водного растения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор материала осуществлялся в Северном Каспии однократно осенью в 2018–2020 гг., 9- и 24,7-метровым тралом со дна моря между островами Средняя Жемчужная и Тюленьи.

Определение металлов проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии [4] согласно ГОСТ 30178-96. Для определения концентрации использовались тотальные пробы, затем масса растения делилась на 3 пробы, сухая масса каждой пробы доводилась до 1 г для удобства последующих расчетов. В ходе исследования оценивалось содержание в *Zostera marina* следующих микроэлементов: медь, цинк, марганец, свинец, никель, железо, хром и кадмий. Для определения аккумуляции исследуемых тяжелых металлов использовали коэффициент биологического поглощения (КБП), показывающий способность растений избирательно поглощать химические элементы. Для его расчета использовалась формула:

КБП = содержание элемента в растении / содержание в почве.

В случае, если КБП > 1, то растение является концентратором исследуемого элемента. Если КБП < 1, то вид не аккумулирует металл в своем организме.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В осенний период 2018–2020 гг. был проведен сбор морских высших водных растений (*Zostera marina*), затем в них определялись концентрации тяжелых металлов (табл. 1).

Железо. Содержание железа в растениях больше, чем других металлов-микроэлементов. В хлоропластах растения локализуется около 80 % железа, находящегося в листьях [5]. Столь высокая потребность в железе необходима для структурной и функциональной интеграции мембран. В связи с этим функционирование хлоропластов в целом зависит от обеспеченности растений железом; помимо этого железо катализирует процессы обмена кислорода у водных растений и участвует в процессе фотосинтеза. Железо поступает в водоем с речным стоком и терригенным (поверхностным) смывом, что подтверждается его наибольшим количеством в зоне смешения морских и пресных вод в Северном Каспии; аналогичные результаты были получены и в исследованиях, что проводились в Уссурийском заливе у мысов Красный, Геллера и Муравьиный, расположенных в кутовой части залива, в зоне влияния всех впадающих в него рек [6]. Также на распространение железа в донных осадках влияет ветровой режим. По данным О.В. Лосева, в заливе Петра Великого в Японском

море наблюдалось влияние тайфуна Лайонрок на увеличение среднего содержания железа и марганца в донных осадках в период, предшествующий отбору проб [7]. В нашем исследовании концентрация железа выше, чем других металлов, что подтверждает вышеперечисленные литературные данные.

Марганец. Марганец является жизненно важным элементом и влияет на рост и развитие растений, а также активно участвует в окислительно-восстановительных операциях фотосинтеза. Он значительно повышает скорость потребления кислорода суспензией хлоропластов на свету (но не в темноте). Кроме того, марганец играет специфическую роль в образовании перекисей [5].

Очень важное значение имеет взаимоотношение между марганцем и железом. Значение марганца заключается в том, что он окисляет железо, восстановленное в ходе окислительных процессов [5]. Для нормальной жизнедеятельности растения железо и марганец должны находиться в примерном соотношении 2:1 [8]. Согласно проведенному исследованию, содержание марганца в *Zostera marina* сохранялось высоким (по сравнению с другими металлами, уступая только железу) в течение всего периода наблюдений и составляло 202,21 мг/кг, 198,49 мг/кг и 152,17 мг/кг, что в 1,8, 1,9 и 2,3 раза меньше аналогичных показателей железа.

Цинк. Токсичность цинка для водных растений весьма различна, что обусловлено способностью многих видов растений адаптироваться к его высоким концентрациям в водоеме. При этом существенное влияние на накопление металла

Таблица 1. Содержание микроэлементов в *Zostera marina* в 2018–2020 гг., мг/кг сухого вещества

Table 1. Content of trace elements in *Zostera marina* in 2018–2020, mg/kg dry matter

Элемент Element	Годы / Years		
	2018	2019	2020
Fe	371,61±2,0	373,07±6,2	348,42±11,2
Mn	202,21±6,3	198,49± 9,0	152,17±6,8
Zn	42,53±2,1	38,31±1,8	34,59±1,4
Cu	5,62±0,8	4,56±0,4	4,31±0,5
Pb	4,25±0,9	3,55±0,2	2,30±0,4
Ni	2,27±0,8	2,3±0,7	2,51±0,8
Cd	0,83±0,1	0,69±0,2	0,28±0,1
Cr	0,82±0,1	0,65±0,1	0,28±0,05

(цинка) оказывают физико-химические условия среды. При совместном присутствии в водоеме повышенных концентраций цинка и меди характерен синергизм [9], т. е. в нашем случае — усиление аккумуляции в тканях и органах *Zostera marina*. В результатах 2018 г. концентрации цинка и меди оказались наиболее высокими за три года исследований. Также в пользу данного факта свидетельствует то, что снижение концентрации одного металла ведет к параллельному уменьшению другого (табл. 1). Содержание цинка в растениях из загрязненных пресноводных систем обычно варьирует от 100 до 500 мг/кг сухого веса [9]. В незагрязненных районах концентрация цинка в растениях не превышает 50 мг/кг [9], что и показано в наших исследованиях.

Медь. Концентрация меди в прикрепленных к грунтам растительных организмах из загрязненных водоемов колеблется в диапазоне 10–100 мг/кг сухого веса [10]. В зоне интенсивного загрязнения фактор аккумуляции меди может меняться от 102 до >105 в зависимости от видовой принадлежности растительных организмов. Концентрирование меди водными растениями в значительной мере связано с ее содержанием в среде обитания. Медь также способствует росту проницаемости клеточных оболочек в водных растениях, что увеличивает их чувствительность к влиянию прочих металлов [10]. В проведенном исследовании концентрация меди не превышала 10 мг/кг, что свидетельствует об отсутствии загрязнения водоема данным металлом.

Свинец. Свинец может аккумулироваться водными растениями из окружающей среды — главным образом, в виде твердых частиц, а не в растворенном виде (т. е. в сорбированном состоянии) [10]. Темп поглощения, как и у меди, зависит от вида растения и усиливается с увеличением концентраций металлов в среде обитания. Концентрирование понижается при увеличении кислотности водоема [10]. Десорбция свинца из растений происходит существенно быстрее, чем в случае ртути и кадмия [10]. Исходя из полученных результатов, а также литературных данных можно предположить, что изменение концентрации элемента с 4,25 мг/кг в 2018 г. до 2,30 мг/кг в 2020 г. может быть связано с уменьшением содержания данного металла в водоеме, т. е. в месте отбора проб в Северном Каспии.

Никель. При общем воздействии никеля и меди на некоторые виды растений наблюдается синер-

гизм (в нашем случае — взаимное увеличение концентрации каждого металла), а при общем влиянии никеля и кадмия, никеля и цинка — антагонизм (в нашем случае — снижение концентрации одного металла под действием другого) [9]. В качестве примера можно привести следующее: при обработке растительных водных организмов никелем или ртутью непосредственно перед определением концентрации тяжелых металлов отмечается снижение концентрации кадмия [9]. Данная тенденция прослеживается в проведенном исследовании, где концентрация цинка в 13,8–18,7 раза превышает показатели никеля. Также на примере кадмия и никеля (табл. 1) можно увидеть снижение концентрации кадмия за период исследования при тенденции увеличения показателей никеля в этот же период (превышение показателя кадмия в 2,73–9 раз).

Кадмий. Кадмий является микроэлементом, постоянно встречающимся в растительных и животных организмах. Особенности накопления кадмия в растительных организмах напрямую зависят от физико-химических свойств водоема, видовых особенностей рассматриваемых организмов, а также от концентраций других тяжелых металлов, как усиливающих, так и ослабляющих присутствие друг друга в растительных организмах (цинк и кадмий, никель и кадмий) [9]. Полученные данные подтвердили указанные тенденции. За период исследования содержание кадмия снизилось к 2020 г. в 3 раза при относительном росте концентрации никеля и высоких значениях цинка (табл. 1).

Хром. Токсичность хрома (трехвалентного и шестивалентного) для водных организмов в целом незначительна. Степень воздействия на растения определяется показателем кислотности среды и зависит от свободных и связанных ионов тяжелых металлов. Хром не вызывает значительного загрязнения растительных тканей, за исключением специфических участков сброса стоков. Его содержание в пресноводных растениях в промышленных зонах обычно находится в пределах до 50 мг/кг сухого веса, а в незагрязненных водоемах редко превышает 5 мг/кг [10]. Согласно полученным данным, концентрация хрома в *Zostera marina* в Северном Каспии не превышала показатель 1 мг/кг, что позволило говорить об отсутствии загрязнения им данной акватории.

В ходе исследования были составлены убывающие ряды концентраций элементов в *Zostera marina* по годам:

Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Ni>Cd>Cr — 2018;

Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Ni>Cd>Cr — 2019;

Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cr=Cd — 2020.

Как видно из убывающих рядов, на протяжении трех лет исследований в *Zostera marina* сохраняется положение и преобладание следующих тяжелых металлов: Fe>Mn>Zn>Cu. Полученные данные (табл. 1) хорошо коррелируют с работами других исследователей [5, 9, 10].

Стоит отметить, что концентрации тяжелых металлов в 2020 г. были меньше аналогичных показателей 2018 и 2019 гг., что, в свою очередь, связано с уменьшением стока загрязняющих веществ из р. Волги в Северный Каспий [11]. В результате работ Каспийского морского научно-исследовательского центра было выявлено, что в 2020 г. наблюдалось снижение объема стока большинства загрязняющих веществ в Северный Каспий. Так, сток меди снизился в 2 раза, никеля — в 3 раза, марганца — в 6 раз, хрома и свинца — в десятки раз [11].

Интенсивность вовлечения микроэлементов из воды и грунтов в биологический круговорот можно охарактеризовать коэффициентом биологического поглощения (КБП), который равен отношению концентрации данного элемента в золе растений к его концентрации в почве или грунте. Следует отметить, что для части элементов этот коэффициент дает представление не об их захвате из почвообразующей породы (грунтов), а о суммарных поступлениях в организм растений из воды и грун-

тов (что более актуально для макрофитов). Для расчета КБП необходимо знать содержание металлов в донных отложениях, для чего использовались данные работы В.А. Чаплыгина [12] (табл. 2).

Для расчета КБП использовалось среднее содержание металлов в донных отложениях Северного Каспия, что привело к получению следующих данных (табл. 3).

Предложенная В.М. Зубковой в 2015 г. классификация высших растений на группы по значению КБП [13] позволяет разделять микроэлементы, обнаруженные в исследуемой *Zostera marina*, на следующие виды:

- 1) макроконцентраторы, или накопители — (КБП>1);
- 2) микроконцентраторы, или рассеиватели — (КБП около 1);
- 3) деконцентраторы, или очистители — (КБП<1).

Коэффициент биологического поглощения отражает интенсивность накопления микроэлементов различными видами донной флоры. Химические элементы (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Cu, Ni, Cd), для которых КБП больше единицы, относятся к группе накапливающихся элементов. В результате исследований установлено, что для *Zostera marina* элементами сильного накопления являются цинк и марганец, что позволяет предположить, что объект исследования может выступать биоиндикатором данных металлов. Наименьшие значения КБП у исследуемого растения имели никель, свинец, железо и хром.

Таблица 2. Содержание металлов в донных отложениях Северного Каспия, мг/кг сухого вещества [12]

Table 2. Content of metals in the bottom sediments of the Northern Caspian Sea, mg/kg dry matter [12]

Элемент Element	Содержание металлов в илистых грунтах Content of metals in silty soils	Содержание металлов в песчаных грунтах Content of metals in sandy soils	Среднее содержание металлов в донных отложениях Average content of metals in the bottom sediments
Ni	20,23±1,12	8,32±0,64	14,28±0,88
Pb	11,15±0,94	8,23±0,68	9,69±0,81
Mn	215,02±1,06	70,33±1,12	142,68±1,09
Cu	8,22±0,35	4,26±0,41	6,24±0,38
Zn	15,84±0,77	11,9±0,55	13,87±0,66
Fe	2915,50±2,45	2249,70±3,35	2582,60±2,9
Cr	16,73±0,92	7,68±0,69	12,21±0,81
Cd	0,93±0,04	0,71±0,09	0,82±0,07

Таблица 3. Коэффициент биологического поглощения элементов (КБП) по средним показателям содержания в донных отложениях**Table 3.** Biological absorption coefficient (BAC) of the elements based on their average content in the bottom sediments

Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Fe	Cr	Cd
2018							
1,42	0,90	3,07	0,16	0,44	0,14	0,07	1,01
2019							
1,39	0,73	2,76	0,16	0,37	0,14	0,05	0,84
2020							
1,07	0,75	2,49	0,18	0,24	0,13	0,02	0,34

В результате исследования было выявлено снижение КБП марганца, меди, цинка, свинца, хрома и кадмия в *Zostera marina* в период с 2018 по 2020 г. КБП железа и никеля сильно не изменились и остались примерно на одном уровне с прежними показателями. Данные изменения можно связать с уменьшением стока загрязняющих веществ из р. Волги в Северный Каспий (до 85–90 % от всего стока в Северный Каспий) [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования было выявлено, что на протяжении трех лет наблюдений в *Zostera marina* сохраняется порядок расположения (по убыванию) концентраций следующих тяжелых металлов: Fe>Mn>Zn>Cu. Концентрации тяжелых металлов в 2020 г. были меньше аналогичных показателей 2018 и 2019 гг., что, в свою очередь, связано со снижением стока загрязняющих веществ из р. Волги в Северный Каспий в 2020 г. и может отражать общую тенденцию снижения содержания микроэлементов в морских макрофитах. Полученные результаты позволяют дополнить данные по эволюции микроэлементного состава водных организмов и среде их обитания для Северного Каспия.

Для определения интенсивности вовлечения микроэлементов из воды и грунтов в биологический круговорот были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения рассмотренных тяжелых металлов в *Zostera marina*. На основе классификации высших водных растений по значению КБП было выявлено, что *Zostera marina* может использоваться в качестве биоиндикатора цинка и марганца в Северном Каспии. Наименьшие значения КБП у исследуемого растения имели никель, свинец, железо и хром. Также полученные

КБП подтверждают общее снижение присутствия тяжелых металлов в высшей водной растительности Северного Каспия, а именно в *Zostera marina*, за 3 года исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского государственного технического университета, 2012. 242 с.
2. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Под ред. В.Ф. Бреховских, Е.В. Островской. Астрахань: Астраханская цифровая типография Сорокина Романа Васильевича, 2017. 408 с.
3. Калита Т.Л., Скрипцова А.В. Современное состояние сообщества *Zostera marina* + *Stephanocystis crassipes* в проливе Босфор-Восточный Японского моря // Биология моря. 2018. Т. 44, № 1. С. 26–35.
4. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ (методы аналитической химии). М.: Химия, 1982. 224 с.
5. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высшая школа, 1960. 240 с.
6. Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д., Григоров Р.А. Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 3 (211). С. 116–125. doi: 10.37102/08697698.2020.211.3.012.
7. Лосев О.В. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в донных отложениях залива Углового (залив Петра Великого, Японское море) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 5 (213). С. 104–115. doi: 10.37102/08697698.2020.213.5.009.
8. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской

- области. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2001. 229 с.
9. Персикова Т.Ф., Рещецкий Н.П. Тяжелые металлы и окружающая среда : лекция для студентов сельхозвузов. Горки: Изд-во Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. 40 с.
 10. Давыдова О.А., Лукьянов А.А., Ваганова Е.С., Шушкова И.В., Кочеткова К.В., Фаизов Р.Р., Гусева И.Т. Физико-химические аспекты загрязнения и очистки поверхностных вод от тяжелых металлов и нефтепродуктов природными сорбентами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 4 (3). С. 523–525.
 11. Ежегодный бюллетень о состоянии и загрязнении морской среды российского сектора Каспийского моря за 2020 г. Астрахань: Изд-во Каспийского морского научно-исследовательского центра, 2021. 62 с.
 12. Чаплыгин В.А. Тяжелые металлы в кормовых организмах и осетровых (*Acipenser persicus* и *Acipenser gueldenstaedtii*) Каспийского моря в связи с условиями обитания : автореф. дис. канд. биол. наук. Астрахань: Изд-во Астраханского государственного технического университета, 2019. 22 с.
 13. Еськов Е.К., Зубкова В.М., Белозубова Н.Ю., Болотов В.П. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 14–15.
- ## REFERENCES
1. Dauvalter V.A. Geoekologiya donnykh otlozheniy ozer [Geoecology of bottom sediments of lakes]. Murmansk: Murmanskii gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet [Murmansk State Technical University] Publ., 2012, 242 p. (In Russian).
 2. Zagryaznyayushchie veshchestva v vodakh Volzhsko-Kaspiyskogo basseyna [Pollutants in the waters of the Volga-Caspian Basin]. V.F. Brekhovskikh, E.V. Ostrovskaya (Eds.). Astrakhan: Astrakhanskaya tsifrovaya tipografiya Sorokina Romana Vasilyevicha [R.V. Sorokin's Astrakhan Digital Printing Office], 2017, 408 p. (In Russian).
 3. Kalita T.L., Skriptsova A.V. The current state of the *Zostera marina* + *Stephanocystis crassipes* community in the Eastern Bosphorus Strait, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 25–35. doi: 10.1134/S1063074018010054.
 4. Britske M.E. Atomno-absorbtsionnyy spektrokhimicheskii analiz (metody analiticheskoy khimii) [Atomic absorption spectrochemical analysis (methods of analytical chemistry)]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1982, 224 p. (In Russian).
 5. Voynar A.I. Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka [Biological role of microelements in human and animal organism]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1960, 240 p. (In Russian).
 6. Khristoforova N.K., Kobzar A.D., Grigorov R.A. Ussuriyskiy zaliv: zagryaznenie pribrezhnykh vod tyazhelymi metallami i ego otsenka s ispol'zovaniem burykh vodorosley [The Ussuri Bay: shallow water pollution by heavy metals and its assessment using brown algae]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk [Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2020, no. 3 (211), pp. 116–125. doi: 10.37102/08697698.2020.211.3.012. (In Russian).
 7. Losev O.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov i nefteproduktov v donnykh otlozheniyakh zaliva Uglovogo (zaliv Petra Velikogo, Yaponskoe more) [Heavy metals and petroleum hydrocarbons contents in bottom sediments of Uglovoy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan)]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk [Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2020, no. 5 (213), pp. 104–115. doi: 10.37102/08697698.2020.213.5.009. (In Russian).
 8. Ilyin V.B., Syso A.I. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti [Microelements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk Region]. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie Rossiyskoy akademii nauk [Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2001, 229 p. (In Russian).
 9. Persikova T.F., Reshetskiy N.P. Tyazhelye metally i okruzhayushchaya sreda : lektsiya dlya studentov sel'khozvuzov [Heavy metals and the environment. Lecture for students of agricultural colleges and universities]. Gor'ki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya [Belarusian State Agricultural Academy] Publ., 2015, 40 p. (In Russian).
 10. Davydova O.A., Lukyanov A.A., Vaganova E.S., Shushkova I.V., Kochetkova K.V., Faizov R.R., Guseva I.T. Fiziko-khimicheskie aspekty zagryazneniya i ochistki poverkhnostnykh vod ot tyazhelykh metallov i nefteproduktov prirodnymi sorbentami [Physical and chemical aspects of pollution and cleaning the surface waters from heavy metals and oil products by natural sorbents]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 2014, vol. 16, no. 4 (3), pp. 523–525. (In Russian).
 11. Ezhegodnyy byulleten' o sostoyanii i zagryaznenii morskoy sredy rossiyskogo sektora Kaspiyskogo morya za 2020 g. [Annual bulletin on the state and pollution of the marine environment of the Russian sector of the Caspian Sea for 2020]. Astrakhan: Kaspiyskiy morskoy nauchno-issledovatel'skiy tsentr [Caspian Marine Scientific Research Center] Publ., 2021, 62 p. (In Russian).
 12. Chaplygin V.A. Tyazhelye metally v kormovykh organizmakh i osetrovykh (*Acipenser persicus* i

Acipenser gueldenstaedtii) Каспийского моря в связи с условиями обитания : avtoref. dis. kand. biol. nauk [Heavy metals in forage organisms and sturgeons (*Acipenser persicus* and *Acipenser gueldenstaedtii*) of the Caspian Sea in the context of habitat conditions]. Astrakhan: Astrakhanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet [Astrakhan State Technical University] Publ., 2019, 22 p. (In Russian).

13. Eskov E.K., Zubkova V.M., Belozubova N.Yu., Bolotov V.P. Soderzhanie i migratsiya tyazhelykh metallov v komponentakh ekosistem Volgogradskogo vodokhranilishcha [Content and migration of heavy metals in components of ecosystems of Volgograd Reservoir]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], 2015, no. 1, pp. 14–15. (In Russian).

Поступила 01.03.2022

Принята к печати 14.05.2022