

Оценка способности взвесей Азовского моря концентрировать тяжелые металлы

М. В. Буфетова

*Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия
e-mail: mbufetova@mail.ru*

Аннотация

Обладая большой удельной поверхностью, взвешенное вещество может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней. Опускаясь в результате гравитации, взвешенные частицы могут депонировать загрязнения в толщу донных отложений, таким образом участвуя в самоочищении морской воды. Цель работы заключалась в оценке способности взвесей Азовского моря концентрировать Pb, Zn, Cu, Cd и Hg. Для исследования были выделены два района Азовского моря – Таганрогский залив и центральная часть моря, что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями. Массовые концентрации Pb, Zn, Cu, Cd определялись электротермическим атомно-абсорбционным методом; измерения массовой концентрации Hg проводились методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. Содержание каждого металла во взвеси по отношению к его содержанию в воде было рассчитано на основе коэффициентов накопления. Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк. Концентрирование кадмия на взвесах было незначительным, это связано с тем, что в поверхностных водах кадмий мигрирует в основном в растворенном состоянии, взвешенные формы, как правило, не превышают 20–30 % от его валового содержания. Содержание свинца во взвешенном веществе не превышало 12.4 % в центральной части моря и 15.8 % в Таганрогском заливе от общего его содержания. Показано, что при значениях коэффициентов накопления тяжелых металлов взвешенным веществом, больших 10^5 , практически весь объем исследуемых тяжелых металлов находится на взвеси. Эти данные свидетельствуют о значимости фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод от тяжелых металлов.

Ключевые слова: Азовское море, взвешенное вещество, ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, коэффициент накопления

Благодарности: работа выполнена при использовании предоставленных данных ФГБУ «Информационно-аналитический центр по водопользованию и мониторингу Азовского моря» (г. Таганрог).

Для цитирования: Буфетова М. В. Оценка способности взвесей Азовского моря концентрировать тяжелые металлы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 1. С. 55–65. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-55-65

© Буфетова М. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Assessment of the Ability of Suspended Matter in the Sea of Azov to Concentrate Heavy Metals

M. V. Bufetova

*Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI),
Moscow, Russia
e-mail: mbufetova@mail.ru*

Abstract

With a large specific surface area, suspended matter can concentrate heavy metals to high levels. Falling down by gravity, suspended particles can deposit pollutants into the bottom sediments thus participating in the self-purification of sea water. The purpose of this work is to assess the ability of suspended matter in the Sea of Azov to concentrate Pb, Zn, Cu, Cd, and Hg. For the purpose of the study, two areas of the Sea of Azov were identified (Taganrog Bay and the central part of the sea) given their morphometric and hydrological features. Mass concentrations of Pb, Zn, Cu, Cd were determined by the electrothermal atomic absorption method; measurements of the mass concentration of Hg were carried out by the method of flameless atomic absorption spectrometry. The content of each metal in suspended matter was calculated in relation to that in water based on the accumulation factors. The obtained accumulation factors indicate a high ability of suspended matter to concentrate mercury, copper and zinc. The concentration of cadmium in the suspended matter was insignificant. This is because in surface waters cadmium migrates mainly in a dissolved state, with the suspended forms normally not exceeding 20–30 %. The content of lead in the suspended matter did not exceed 12.4 % in the central part of the sea and 15.8 % in Taganrog Bay, both of its total content. It is shown that when the values of the factors of heavy metal accumulation by suspended matter exceed 10^5 , almost the entire volume of the studied heavy metals is in the suspended matter. These data indicate the high significance of the suspended matter concentrating ability for self-purification of water from heavy metals.

Keywords: Sea of Azov, suspended matter, mercury, lead, cadmium, copper, zinc, accumulation factor

Acknowledgements: the work was performed using the data provided by the Federal State Budgetary Institution “Information and Analytical Center for Water Use and Monitoring of the Sea of Azov” (Taganrog).

For citation: Bufetova, M.V., 2022. Assessment of the Ability of Suspended Matter in the Sea of Azov to Concentrate Heavy Metals. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 55–65. doi:10.22449/2413-5577-2022-1-55-65

Введение

Характерной особенностью биосферных циклов массообмена является их незамкнутость, проявляющаяся в несбалансированности масс на «входе» и «выходе» из цикла. Выведение избыточной части мигрирующих масс из миграционного цикла с аккумулярованием их в каком-либо компоненте природной среды (в осадках, почве, крупном водном массиве и т.п.) или с передислокацией их в другой миграционный поток поддерживает стацио-

нарное состояние открытых неравновесных природных систем и направленность их развития¹⁾.

При изучении биогеохимических особенностей поведения тяжелых металлов в морских экосистемах возможны два подхода. Первый основан на определении концентрации металлов в различных компонентах экосистем. Второй подразумевает оценку потоков металлов, вызванных физическим транспортом вещества и биогеохимическими процессами, изменяющими это вещество. В реальности это взаимосвязанные характеристики, так как изменение концентрации в системе происходит только тогда, когда входящий поток не равен исходящему. Любое изменение концентрации металла влечет за собой возникновение соответствующего потока. Необходимо отметить, что обратное верно не всегда, т. е. достаточно обычны ситуации, когда весьма интенсивные потоки металлов в системе не сопровождаются изменением концентрации. Это происходит, когда входящий поток равен исходящему. В идеале для изучения поведения металлов в морских экосистемах необходимо создание и использование моделей, соединяющих концентрационные и потоковые характеристики²⁾.

Тяжелые металлы, в отличие от большинства органических загрязняющих веществ, подверженных постепенной деструкции, лишь перераспределяются между различными составляющими экосистем. Основным биогеохимическим механизмом самоочищения морских вод от тяжелых металлов является их седиментация взвешенным веществом [1, 2]. Обладая большой удельной поверхностью, взвешенное вещество может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней. Опускаясь в результате гравитации, взвешенные частицы могут депонировать загрязнения в толщу донных отложений, таким образом, участвуя в самоочищении морской воды¹⁾.

Растворенные формы металлов, поступающие в прибрежную зону с речным стоком, плоскостным смывом или аэральным путем, ассимилируются фитопланктоном и сорбируются на различных взвешенных частицах. Часть элементов переходит обратно в раствор при деструкции планктона. Металлы, оставшиеся в твердой фазе, либо осаждаются, либо переходят по пищевой цепи в зоопланктон. Металлы, поглощенные зоопланктоном, также частично возвращаются в раствор, частично осаждаются в составе органоминеральных агрегатов. У самого дна и в верхнем слое донных осадков происходит комплекс биогеохимических процессов, сопровождающийся как мобилизацией части металлов в поровые и придонные воды, так и обратным связыванием металлов в образующиеся сульфиды и гидроксиды. Движущей силой трансформации металлов на границе дна и в осадках являются процессы преобразования и деструкции органического вещества.

¹⁾ Добровольский В. В. Диапазон масс рассеянных химических элементов, мигрирующих в системе почва-растительность в зональных фитоценозах мировой суши // Материалы Второй Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы», Москва, 25-28 января 1999 г. М. : ГЕОХИ РАН, 1999. С. 32–33 ; Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохимическая экология. М. : Энергоатомиздат, 1986. 176 с.

²⁾ Шулькин В. М. Тяжелые металлы в речных и прибрежно-морских экосистемах : дис. ... д-ра геогр. наук. Владивосток : Тихоокеанский институт географии ДО РАН, 2007. 289 с.

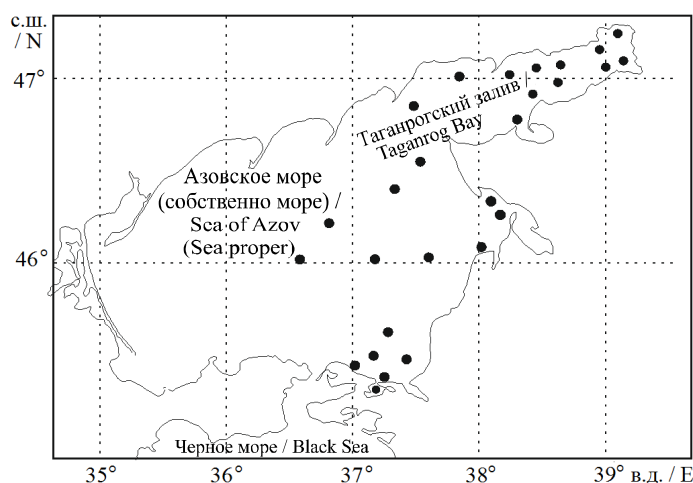
Судя по довольно низкому уровню содержания большинства растворенных металлов в морских и тем более в океанических водах, по сравнению с речными, общая тенденция в поведении большинства тяжелых металлов состоит в удалении и связывании в составе осаждающегося материала и далее в донных отложениях. Металлы, исходно поступающие в море с терригенной взвесью, в основном продолжают мигрировать в ее составе, хотя при высокой концентрации в терригенной взвеси подвижных форм металлов возможна их десорбция в воду при увеличении солености в эстуариях [3].

Изучению содержания тяжелых металлов в воде и донных отложениях Азовского моря в разные годы посвящено множество работ [2, 4–8]. Интересны результаты исследования А. В. Михайленко (2018) по установлению закономерностей пространственного распределения концентраций тяжелых металлов в воде и взвешенном веществе Азовского моря [5]. Так как взвешенное вещество, обладая большой удельной поверхностью, может концентрировать тяжелые металлы до высоких уровней, то оценка накопления Pb, Zn, Cu, Cd и Hg взвесью представляется актуальным исследованием.

Цель данного исследования – оценить способность взвеси концентрировать ртуть, медь, кадмий, цинк и свинец в весенне-летний и осенне-зимний периоды в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе. Оно продолжает серию исследований, начатых работой [9].

Материалы и методы

В работе были использованы данные о концентрации Pb, Zn, Cu, Cd, Hg в воде и взвешенном веществе Азовского моря в 2015 г., предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ. Пробы воды для анализа отбирались пробоотборной системой ПЭ-1220 согласно ГОСТ Р 51592-2000 в поверхностном (0–5 м) слое в 27 точках (рисунок) весной (март – апрель), летом (июнь – июль), осенью (сентябрь – октябрь) и зимой (декабрь). Определение металлов проводилось в нефитрированных пробах (валовая форма).



Точки отбора проб

Sampling points

Химический анализ проб воды на содержание свинца производился в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.0002 мг/л; кадмия – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.00001 мг/л; меди – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0.0001 мг/л; цинка – М-МВИ-539-03, нижний предел чувствительности – 0.001 мг/л; ртути – ПНД Ф 14.1:2:4.260-2010, нижний предел чувствительности 0.01 мг/л. Концентрации указанных тяжелых металлов были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА.

В работе в Азовском море были выделены два района: Таганрогский залив и открытая акватория Азовского моря (собственно море), что связано с их морфометрическими и гидрологическими особенностями.

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) для рассмотренных нами тяжелых металлов в морской воде представлены в табл. 1.

Для определения концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе Азовского моря были также использованы литературные данные [5].

Коэффициенты накопления тяжелых металлов взвешенным веществом ($K_{взв}$) вычисляли по уравнению

$$K_{взв} = \frac{1000 \cdot C_{взв}}{C_{в}},$$

где $C_{взв}$ – концентрация тяжелого металла во взвешенном веществе, мкг/г, в расчете на сухую массу; $C_{в}$ – концентрация тяжелого металла в воде, мкг/л [1].

Расчеты коэффициентов накопления по результатам наблюдений выполнялись с точностью до трех значащих цифр, что соответствовало погрешности не более 0.1 %.

Содержание тяжелого металла во взвесах ($\Pi_{взв}$) по отношению к его содержанию в водной среде рассчитывалось по формуле [1]

$$\Pi_{взв} = \frac{m_{уд} \cdot K_{взв} \cdot 100}{m_{уд} \cdot K_{взв} + 1} (\%), \quad (1)$$

где $m_{уд}$ – удельная масса взвесей в воде, г/м³.

Т а б л и ц а 1. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в морской воде (ПДК_в)³⁾

T a b l e 1. Threshold limit values of heavy metals in water (TLV_w)

Характеристика / Parameter	Металл / Metal				
	Pb	Zn	Cu	Cd	Hg
Класс опасности / Class of hazard	3	3	3	2	1
ПДК _в , мкг/л / TLV _w , µg/L	10.0	50.0	5.0	10.0	0.1

³⁾ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201701160006> (дата обращения: 25.02.2022).

Результаты и обсуждения

Представленные в табл. 2 материалы показали, что в наблюдаемый период времени (2015 г.) концентрации Hg, Pb, Zn и Cu во многих пробах превышали ПДК. Обращают на себя внимание средние значения концентрации меди в воде, которые превышали ПДК во все сезоны в собственно море и в Таганрогском заливе, а также высокие концентрации цинка в Таганрогском заливе. Высокие концентрации меди наблюдались и во взвешенном веществе (табл. 3).

Взвешенное вещество представляет собой сложную полидисперсную многокомпонентную систему. Вещественный состав взвеси Азовского моря характеризуется значительным разнообразием. По генетическому признаку во взвешенном материале выделяются минеральные компоненты терригенного и хемогенного происхождения, а также органические остатки, находящиеся на различной стадии минерализации. Как показывают исследования Ю. П. Хрусталева (1981), в течение года терригенная составляющая взвеси преобладает⁴⁾. Терригенный тип взвеси характеризуется преобладанием в своем составе продуктов абразии берегов и речного стока (более 70 %)

Т а б л и ц а 2. Содержание тяжелых металлов в воде Азовского моря в 2015 г. (валовая форма), мкг/л

T a b l e 2. Content of heavy metals in water of the Sea of Azov in 2015 (total form), µg/L

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море (15) / Sea proper (15)	<u>0.003–0.283</u> 0.045	<u>4.0–23.8</u> 10.10	<u>0.1–1.4</u> 0.41	<u>7.3–34.0</u> 31.60	<u>3.9–34.0</u> 12.18
Таганрогский залив (12) / Taganrog Bay (12)	<u>0.002–0.042</u> 0.034	<u>9.2–20.5</u> 14.1	<u>0.2–1.7</u> 0.89	<u>8.0–127.0</u> 57.2	<u>1.0–13.0</u> 4.46
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море (15) / Sea proper (15)	<u>0.004–0.460</u> 0.069	<u>27.0–27.3</u> 8.7	<u>0.2–1.7</u> 0.82	<u>7.1–74.1</u> 35,1	<u>5.4–11.0</u> 7.9
Таганрогский залив (12) / Taganrog Bay (12)	<u>0.008–0.130</u> 0.061	<u>1.6–27.7</u> 8.8	<u>0.01–6.6</u> 1.44	<u>9.7–120.0</u> 34.2	<u>3.4–17.0</u> 7.45

Примечание: в скобках – количество проб; над чертой – диапазон концентраций; под чертой – среднее значение.

Note: in brackets – number of samples; above the line – concentration range; under the line – average value.

⁴⁾ Хрусталева Ю. П., Ганичева Л. З., Волкова Э. Н. Геохимия взвеси Азовского моря // Географические аспекты изучения гидрологии и гидрохимии Азовского бассейна. Л., 1981. С. 76–87.

Т а б л и ц а 3. Содержание тяжелых металлов во взвешенном веществе Азовского моря в 2015 г., мкг/л [5, с. 103]

Table 3. Content of heavy metals in the suspended matter of the Sea of Azov in 2015, µg/L [5, p. 103]

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море / Sea proper	<u>0.001–0.234</u> 0.043	<u>1.0–19.0</u> 9.6	<u>0.03–0.09</u> 0.035	<u>3.6–50.7</u> 29.2	<u>2.94–3.10</u> 1.1
Таганрогский залив / Taganrog Bay	<u>0.005–0.027</u> 0.013	<u>0.3–31.1</u> 11.2	<u>0.01–0.14</u> 0.06	<u>4.3–83.4</u> 31.5	<u>0.72–1.58</u> 1.32
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море / Sea proper	<u>0.001–0.09</u> 0.020	<u>0.3–31.1</u> 7.5	<u>0.02–0.6</u> 0.14	<u>3.1–80.1</u> 31.6	<u>0.21–2.77</u> 0.98
Таганрогский залив / Taganrog Bay	<u>0.003–0.314</u> 0.055	<u>0.4–29.3</u> 7.7	<u>0.03–0.7</u> 0.05	<u>3.3–79.4</u> 27.0	<u>0.27–1.48</u> 1.18

Примечание: над чертой – диапазон концентраций, под чертой – среднее значение.

Note: above the line – concentration range; under the line – average value.

и представлен преимущественно пелитовыми фракциями. Содержание алевритовых частиц возрастает (до 50 %) в преддельтовых областях рек в период половодья и при интенсивных волнениях в прибрежной зоне [10, с. 52].

В Азовском море существует район постоянно высокого содержания взвешенного вещества (Таганрогский залив) и район более низких его концентраций (собственно море). Необходимо отметить, что в условиях ветровой активности содержание взвешенного вещества может увеличиваться в 2–6 раз. При этом указанные изменения концентрации зависят от характера грунта в районе волнения. Наиболее интенсивно в водную толщу мобилизуются донные осадки илистых грунтов [11].

В вертикальном распределении взвешенных частиц установлено четкое увеличение их количества от поверхностного горизонта водной толщи к придонному. В придонном слое концентрация взвеси по осредненным данным составляет 111.0–165.8 мг/л. Количество взвешенного вещества в придонном слое определяется уровнем протекания седиментационных процессов, характером грунта и его предрасположенностью к взмучиванию. Максимальные значения концентраций взвеси отмечены на придонном горизонте над глинистыми илами (218–229 мг/л), а минимальные – над песчаными и ракушечными грунтами (83.5–87.4 мг/л)⁵⁾.

⁵⁾ Мирзоян З. А. Взвесь Азовского моря и ее роль в питании планктонных и донных животных : дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д : АЗНИИРХ, 1984. 168 с.

Таблица 4. Коэффициенты накопления тяжелых металлов взвешенным веществом ($K_{взв}$) и содержание тяжелых металлов во взвесьях ($P_{взв}$), %, по отношению к их содержанию в водной среде

Table 4. Factors of heavy metal accumulation by suspended matter (C_{sm}) and content of heavy metals in suspensions (P_{sm}), %, in relation to their content in the aquatic environment

Район / Area	Hg	Cu	Cd	Zn	Pb
весна – лето / spring – summer					
Собственно море / Sea proper	$\frac{1.132}{95.6}$	$\frac{1.011}{95.0}$	$\frac{0.005}{8.3}$	$\frac{0.640}{92.4}$	$\frac{0.005}{9.1}$
Таганрогский залив / Taganrog Bay	$\frac{0.016}{38.2}$	$\frac{0.099}{79.4}$	$\frac{0.002}{6.7}$	$\frac{0.031}{55.1}$	$\frac{0.011}{29.6}$
осень – зима / autumn – winter					
Собственно море / Sea proper	$\frac{0.021}{29.0}$	$\frac{0.329}{86.2}$	$\frac{0.011}{17.1}$	$\frac{0.475}{90.0}$	$\frac{0.007}{12.4}$
Таганрогский залив / Taganrog Bay	$\frac{0.235}{90.2}$	$\frac{0.179}{87.5}$	$\frac{0.001}{3.5}$	$\frac{0.096}{78.9}$	$\frac{0.005}{15.8}$

Примечание: над чертой – $K_{взв} \cdot 10^6$, под чертой – $P_{взв}$

Note: above the line – $C_{sm} \cdot 10^6$; under the line – P_{sm}

Результаты расчета коэффициента накопления тяжелых металлов взвешенным веществом и содержание тяжелого металла во взвесьях по отношению к его содержанию в водной среде приведены в табл. 4.

Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк в весенне-летний и осенне-зимний периоды как в Таганрогском заливе, так и в собственно море. Рассчитанное содержание тяжелых металлов во взвесьях составило от 29 до 95.6 % от их общего содержания в водной среде.

Сходные результаты представлены в исследованиях А. П. Стецюк и В. Н. Егорова (2018), в которых были определены зависимости концентрирования ртути взвешенным веществом крымского шельфа Черного моря. В работе [12, с. 3] показано, что коэффициенты способности взвесей концентрировать ртуть находились в диапазоне $0.023 \cdot 10^6$ – $7.067 \cdot 10^6$, а содержание ртути на взвесьях доходило до 98 % от общего содержания ртути в водной среде.

Содержание кадмия на взвесьях было незначительным: 3.5–6.7 % для Таганрогского залива и 8.3–17.1 % для собственно моря. Это может быть связано с тем, что в поверхностных водах кадмий мигрирует в основном в растворенном состоянии, взвешенные формы, как правило, не превышают 20–30 %⁶⁾.

⁶⁾ Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. : МГУ, 2000. 565 с.

Свинец характеризуется низкой степенью растворимости, что обуславливает его поступление в речном стоке Дона и Кубани преимущественно во взвешенном состоянии. Коэффициенты накопления свинца взвешенным веществом, а следовательно, и его содержание на взвесах ожидалось более высокие. Тем не менее полученные нами результаты показывают, что содержание свинца во взвешенном веществе не превышает 12.4 % в собственно море и 15.8 % в Таганрогском заливе от общего его содержания в водной среде. Такая ситуация может быть объяснена тем фактом, что величина коэффициента накопления взвешенным веществом зависит от концентрации тяжелого металла в воде: при низких значениях C_v коэффициент накопления возрастает, а с увеличением C_v он снижается. Концентрация свинца в центральной части моря и в Таганрогском заливе в период исследования была высокой, часто превышала ПДК в 2–3 раза. Этот факт может свидетельствовать о проявлении эффекта насыщения свинцом взвеси. Подобные зависимости получены при исследовании сорбционной способности донных отложений Азовского моря в отношении свинца. Представленные материалы в работе академика Г.Г. Матишова (2017) показывали, что повышенная интенсивность седиментационного самоочищения вод при низких концентрациях свинца в воде обеспечивалась высокой (при $K_n > n \cdot 10^4$ единиц) концентрирующей способностью донных отложений. С увеличением степени загрязнения вод свинцом до ПДК (10 мкг/л) значение K_n снижалось более чем на два порядка величин и, соответственно, уменьшался вклад седиментационных процессов в самоочищение вод [2].

В целом результаты, представленные в работе, показали, что коэффициент накопления можно интерпретировать как важный показатель интенсивности биогеохимических циклов загрязняющих веществ в морской среде.

Выводы

Полученные коэффициенты накопления свидетельствуют о высокой способности взвесей концентрировать ртуть, медь и цинк в весенне-летний и осенне-зимний периоды как в Таганрогском заливе, так и в собственно море. Проведенные исследования показали, что при значениях коэффициентов накопления $K_{взв} > 10^5$ практически все содержание исследуемых тяжелых металлов находится на взвеси. Эти данные подтверждают высокую значимость фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод от тяжелых металлов.

Содержание кадмия на взвесах было незначительным – до 6.7 % в Таганрогском заливе и до 17.1 % в собственно море, что можно объяснить слабой комплексобразующей способностью кадмия по сравнению с другими металлами.

Высокие концентрации свинца в водах Азовского моря могут обуславливать низкие коэффициенты накопления этого металла взвесями. Этот факт может свидетельствовать о насыщении свинцом взвесей. Таким образом, значимость концентрирующей способности взвесей зависит от концентрации тяжелых металлов в воде: при низких значениях она превалирует над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод, а с увеличением концентрации снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егоров В. Н.* Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. doi:10.21072/978-5-6042938-5-0
2. *Матишов Г. Г., Буфетова М. В., Егоров В. Н.* Нормирование потоков поступления тяжелых металлов в Азовское море по оценкам интенсивности седиментационного самоочищения вод // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 1. С. 44–58. doi:10.23885/2500-0640-2017-13-1-44-58
3. *Шулькин В. М., Богданова Н. Н.* Поведение Zn, Cd, Pb, Cu при взаимодействии речной взвеси с морской водой // Геохимия. 2004. № 8. С. 874–883.
4. *Михайленко А. В., Федоров Ю. А., Доценко И. В.* Картографирование распределения ртути в компонентах ландшафта Азовского моря // Цифровая география : материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.) : в 2 т. Т. 1 : Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии. Пермь, 2020. С. 281–284. URL: <https://elis.psu.ru/node/628521> (дата обращения: 04.03.2022).
5. *Михайленко А. В., Федоров Ю. А., Доценко И. В.* Тяжелые металлы в компонентах ландшафта Азовского моря. Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2018. 214 с.
6. *Федоров Ю. А., Доценко И. В., Михайленко А. В.* Поведение тяжелых металлов в воде Азовского моря во время ветровой активности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 108–112. doi:10.18522/0321-3005-2015-3-108-112
7. Комплексные исследования Азовского, Черного и Каспийского морей на научно-исследовательском судне «Денеб» в 2007 г. / Г. Г. Матишов [и др.] // Океанология. 2009. Т. 49, № 2. С. 313–318.
8. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение / А. А. Клёнкин [и др.] // Краснодар: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2007. 324 с. URL: <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/1656> (дата обращения: 04.03.2022).
9. *Буфетова М. В.* Загрязнение вод Азовского моря тяжелыми металлами // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10, № 3. С. 112–120. doi:10.18470/1992-1098-2015-3-112-120
10. *Хрусталева Ю. П.* Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1999. 247 с.
11. О динамике ртутного загрязнения донных отложений Таганрогского залива по результатам экспедиционных работ / Ю. А. Федоров [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды. Ростов н/Д : Изд-во РГАСМ, 1999. Вып. 3. С. 13–15.
12. *Стецюк А. П., Егоров В. Н.* Способность морских взвесей концентрировать ртуть в зависимости от ее содержания в акваториях шельфа // Системы контроля окружающей среды. 2018. Вып. 33. С. 123–132. doi:10.33075/2220-5861-2018-3-123-132

Поступила 18.10.2021 г.; одобрена после рецензирования 25.01.2022 г.; принята к публикации 4.02.2022 г.; опубликована 25.03.2022 г.

Об авторе:

Буфетова Марина Васильевна, доцент кафедры экологии и природопользования, экологический факультет, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) (117997, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23), доцент, кандидат географических наук, **SPIN-код: 9133-4070**, **ORCID ID: 0000-0002-6247-1698**, *mbufetova@mail.ru*

About the author:

Marina V. Bufetova, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Ecology, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI) (23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation), Associate Professor, Ph.D. (Geogr.), **SPIN-code: 9133-4070**, **ORCID ID: 0000-0002-6247-1698**, *mbufetova@mail.ru*

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.