

УДК 504.423:504.4.054

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ
АЗОВСКОГО МОРЯ**

Буфетова М. В.

*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Российская Федерация
E-mail: mbufetova@mail.ru*

В работе проанализированы данные по содержанию Pb, Zn, Cu, Cd в воде и в поверхностном слое донных отложений Азовского моря за 1986-2018 гг. Изучены закономерности концентрирования рассмотренных тяжелых металлов донными отложениями в зависимости от их концентрации в воде, используя коэффициент донной аккумуляции. Показано, что интенсивность потоков седиментационного самоочищения вод уменьшалась с увеличением концентрации тяжелых металлов в воде, что было обусловлено сорбционными свойствами донных отложений.

Ключевые слова: Азовское море, тяжелые металлы, загрязнение, донные отложения, коэффициент аккумуляции

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море имеет значимый экономический и рекреационный потенциал, обладает статусом рыбохозяйственного водоема высшей категории. К числу приоритетных загрязняющих веществ морских экосистем относятся тяжелые металлы, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью. Значительная часть тяжелых металлов накапливается в донных отложениях. Но, при определенных условиях (ветровое взмучивание, изменение pH, общей минерализации, водности, проведение дноуглубительных работ и т.д.), тяжелые металлы могут переходить в водную толщу, вызывая ее вторичное загрязнение. Согласно Перечню загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [1], свинец, кадмий, меди и цинк относятся к классу токсичных, представляющих высокую опасность для биологических систем. Таким образом, изучение уровней концентрации, поведения тяжелых металлов в воде и донных отложениях Азовского моря представляется актуальной проблемой.

Настоящая работа посвящена исследованию многолетних трендов изменения коэффициента донной аккумуляции Pb, Cd, Cu, Zn от их концентрации в воде. Рассматриваются три района: собственно Азовское море, Таганрогский залив и Керченский пролив. Решение поставленной задачи позволит выявить районы наибольшего аккумуляирования металлов в донных осадках экосистемы Азовского моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы данные по концентрации Pb, Zn, Cu, Cd в воде и донных отложениях в 2010–2018 гг., 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 слое в 32 точках (Рис.1). Пробы воды отбирались ежегодно весной, летом и осенью. 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; кадмия – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0,00001; меди – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, нижний предел чувствительности – 0,0001, цинка – М-МВИ-539-03, нижний предел чувствительности – 0,001. Все указанные тяжелые металлы были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА. Пробы донных отложений для анализа Pb, Zn, Cu, Cd отбирались пробоотборником-дочерпателем ДЧ-0.034 согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 в поверхностном слое (0–2 см). Пробы донных отложений отбирались в тех же точках, что и пробы воды (рис.1). Пробы отбирались ежегодно, в летний период. Определялись валовые формы тяжелых металлов. Химический анализ проб донных осадков производился в соответствии с методикой М-МВИ-80-2008, нижний предел чувствительности свинца, меди и цинка составил 0,0005 мг/г; кадмия – 0,00005 мг/г. Все указанные тяжелые металлы были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА.

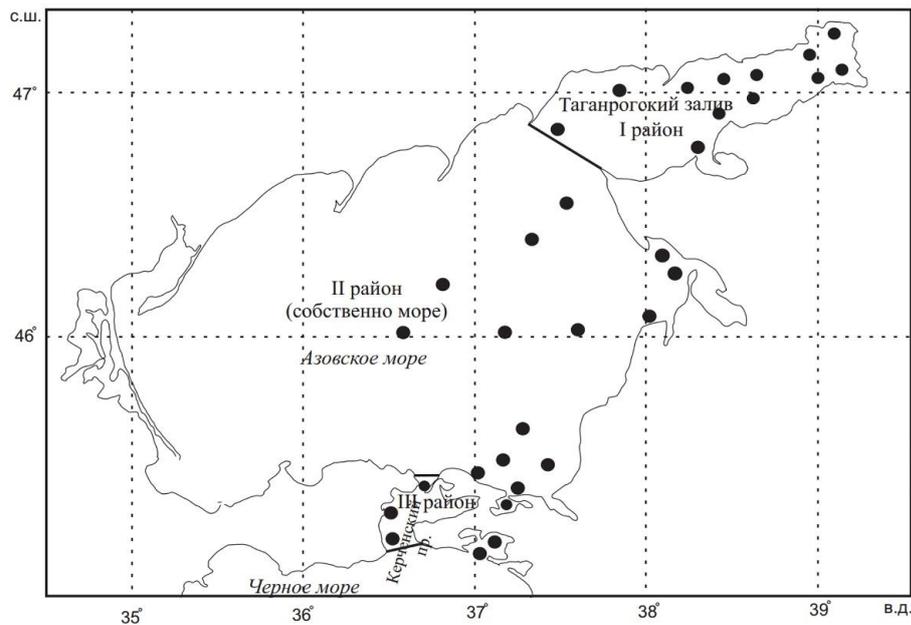


Рис.1. Районы исследования и точки отбора проб воды и донных отложений Азовского моря в 2010–2018 гг.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ ...

В настоящее время предельно-допустимое загрязнение морских вод регулируется по санитарно-гигиеническим критериям [2]. Для морских донных отложений в российских территориальных водах в настоящее время не существует нормативно закреплённых характеристик их качества по уровню концентрации загрязняющих веществ. Хотя содержание тяжелых металлов в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируются, однако существует возможность оценивать степень загрязнения донных отложений в контролируемом районе на основе соответствия уровня содержания тяжелых металлов критериям экологической оценки загрязнённости грунтов по «голландским листам» [3, 4].

Допустимые уровни концентрации для рассмотренных нами тяжелых металлов в морской воде по санитарно-гигиеническим нормам и в донных осадках по «голландским листам» представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Допустимые концентрации тяжелых металлов в воде и в донных осадках

Характеристика	Металл			
	Pb	Zn	Cu	Cd
Класс опасности	3	3	3	2
Предельно допустимая концентрация в морской воде (ПДК _в), мкг/л	10,0	50,0	5,0	10,0
Предельно допустимая концентрация в донных осадках по «голландским листам» (ПДК _{до}), мкг/г сухой массы	85,0	140,0	35,0	0,8

Также для определения межгодовых трендов были использованы литературные данные по содержанию тяжелых металлов в воде и донных отложениях Азовского моря с 1986–2009гг. [5].

Степень накопления тяжелых металлов в донных отложениях оценивали с помощью коэффициента донной аккумуляции (далее – КДА), определяемый по формуле:

$$КДА = C_{до} / C_{вода} \quad (1.1),$$

где $C_{до}$ – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мкг/кг;

$C_{вода}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мкг/л.

КДА закреплён в «Методических указаниях по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов» [6].

Величины КДА, равные $n \times 10$ (где n от 1 до 9) при низких концентрациях загрязняющих веществ в воде и донных отложениях обычно характеризуют

обстановку в водном объекте как относительно удовлетворительную (без признаков хронического загрязнения).

Невысокие значения КДА ($n \times 10^{-1}$ – $n \times 10^{-2}$) и повышенные концентрации загрязняющих веществ в воде указывают на поступление в водный объект свежего загрязнения.

Значения КДА, равные от $n \times 10^3$ до $n \times 10^4$ при концентрациях загрязняющего вещества в воде, существенно превышающих величину ПДК, свидетельствуют о высоком уровне хронического загрязнения водного объекта.

КДА рассчитывали для каждой точки, где был произведен отбор проб воды и донных отложений, затем выводили среднегодовое значение для исследуемого района. Всего было проанализировано 1152 пробы воды и донных отложений в период с 2010–2018 гг.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В экосистему Азовского моря тяжелые металлы поступают как из природных, так и антропогенных источников, а один из главных – речной сток, в основном рек Дона и Кубани. Также источниками тяжелых металлов являются атмосферные осадки, интенсификация судоходства, строительство новых и реконструкция существующих портов, сточные воды населенных пунктов, расположенных на побережье.

Сорбция тяжелых металлов донными отложениями зависит от особенностей их состава. Наиболее распространены в море глинисто-илистые осадки (фракция 0,01 мм – их более 70 %). Серые и темно-серые илы локально накапливаются во впадинах лиманов и заливов, в вытянутых ложбинах между банками. Седиментогенезу Азовского моря также присущ смешанный тип донных отложений. Их отличительная черта – смесь в близких пропорциях фракций ила, алевролита и песка, включая детрит. Ареалы смешанных осадков тяготеют к прибрежному шельфу, к подножию всех значимых банок открытого моря, а также к центру понижения дна в крупных заливах [7].

Свинец. На рис. 2а представлены результаты многолетних наблюдений за изменением осредненных концентраций свинца в воде собственно моря, Таганрогского залива и в период с 2010 по 2018 гг. в Керченском проливе.

На рисунке видно, что с 1991 по 2002 г. содержание свинца в воде этих регионов было на порядок величин меньше, чем ПДКв. Начиная с 2003 г. была отмечена тенденция увеличения загрязнения вод открытой части Азовского моря свинцом, а концентрация свинца в воде Таганрогского залива в 2011–2013 гг. была близкой к ПДКв.

В этот же период загрязнение воды свинцом в Керченском проливе превышало, или было близким к ПДКв. Представленные на Рис. 2б результаты определений в 1991–2018 гг. концентрации свинца в поверхностном слое донных отложений показали, что их загрязнение свинцом за все годы не превышало

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ ...

ПДКдо. При этом низким значениям концентрации свинца в воде соответствовали более высокие уровни его содержания в поверхностном слое донных осадков.

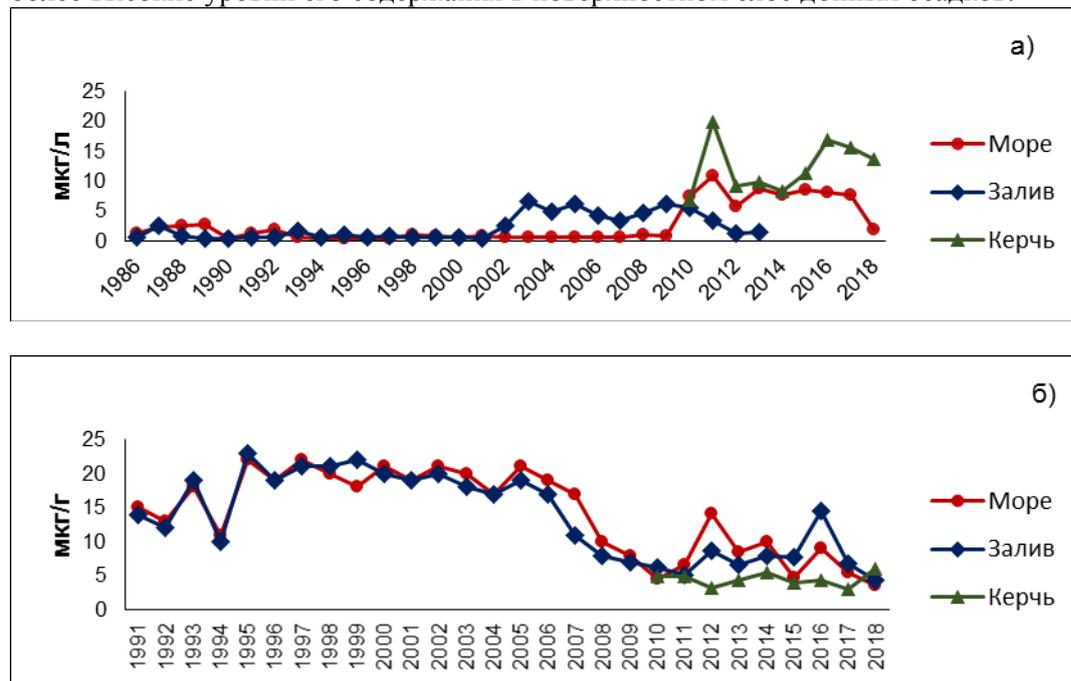


Рис. 2. Концентрации свинца в собственно море, Таганрогском заливе и Керченском проливе: а) концентрация Pb в воде (мкг/л); б) концентрация свинца в поверхностном слое донных отложений (мкг/г сухой массы).

В 1991–2010 гг. отмечалось практически синхронное изменение концентрации свинца в осадках Таганрогского залива и открытой части Азовского моря, а в 2011–2018 гг. его содержание было более высоким в донных отложениях открытой части Азовского моря.

КДА для собственно моря за весь период исследования находился в диапазоне от 566 до 50769, среднее значение КДА составляет 17952; для Таганрогского залива – 988–48592, среднее значение КДА – 15561; для Керченского пролива 355–713, при среднем значении КДА – 406. Таким образом, в большинстве случаев величины КДА в собственно море и в Таганрогском заливе были равны $n \times 10^4$, что указывает на хроническое загрязнение этих районов. Для Керченского пролива, на фоне высоких концентраций свинца в воде, превышающих ПДКв (средняя концентрация Pb за период 2010–2018 гг. составляет 12,4 мкг/л при диапазоне от 6,9 до 17 мкг/л), характерны невысокие значения КДА ($n \times 10^2$), что указывает на поступление в данный район свежего загрязнения.

Исследование тренда изменения КДА свинца от его концентрации в воде собственно моря и Таганрогского залива за 27-летний период показало, что эта

зависимость с высокой степенью статистической достоверности (коэффициентами детерминации $R^2=0,96$ и $0,95$, соответственно) ложится на прямую линию на графике с логарифмическими масштабами по осям ординат (рис. 3).

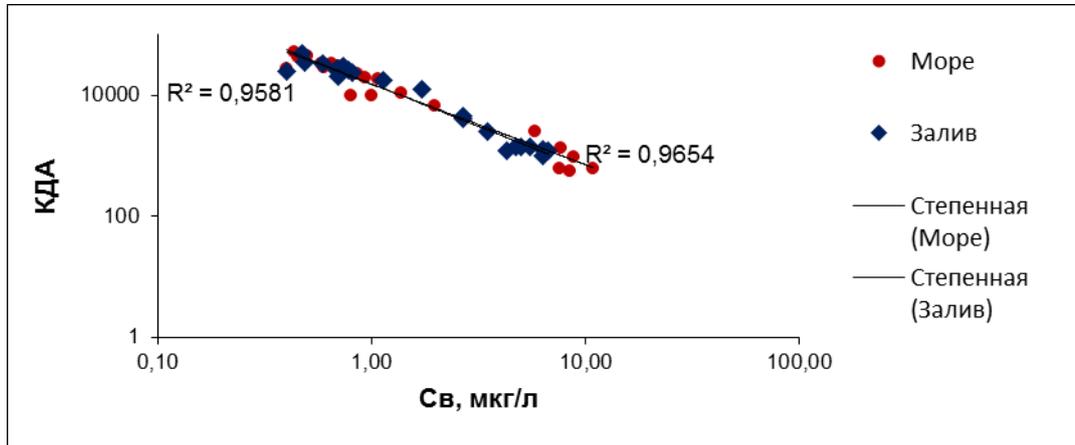


Рис.3. Зависимость изменения КДА свинца от его концентрации в воде.

Представленные на рис. 3 материалы свидетельствовали, что повышенная интенсивность седиментационного самоочищения вод при низких концентрациях свинца в воде обеспечивалась высокой (при КДА $n \times 10^4$ единиц) концентрирующей способностью донных отложений. С увеличением степени загрязнения вод свинцом до 10 мкг/л величина КДА снижалась более чем на два порядка величин и, соответственно, уменьшался вклад седиментационных процессов в самоочищение вод.

Цинк. Геохимические характеристики распределения цинка в Азовском море представлены на Рис. 4. На нем видны тренды возрастания концентрации Zn в воде с 2010 года. (рис. 4а) и зависимости соответствующего убывания его содержания в донных осадках в этот период времени (рис. 4б). Среднегодовая концентрация цинка в воде превысила ПДКв только в 2014 г., а в донных осадках она не достигала допустимых уровней весь период наблюдений.

КДА цинка в собственно море находился в диапазоне 579–35373, при среднем значении 8941; в Таганрогском заливе – 1321–45455, среднее значение – 10265; в Керченском проливе КДА цинка отмечен в пределах 676–1947, среднее значение составило 1155.

Представленные на Рис. 5 графические материалы свидетельствовали, что зависимость изменения КДА цинка при различных его концентрациях в воде собственно моря и Таганрогского залива с достаточной степенью адекватности ($R^2=0,76$) описывается уравнением прямой линии в логарифмическом масштабе по осям ординат.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ ...

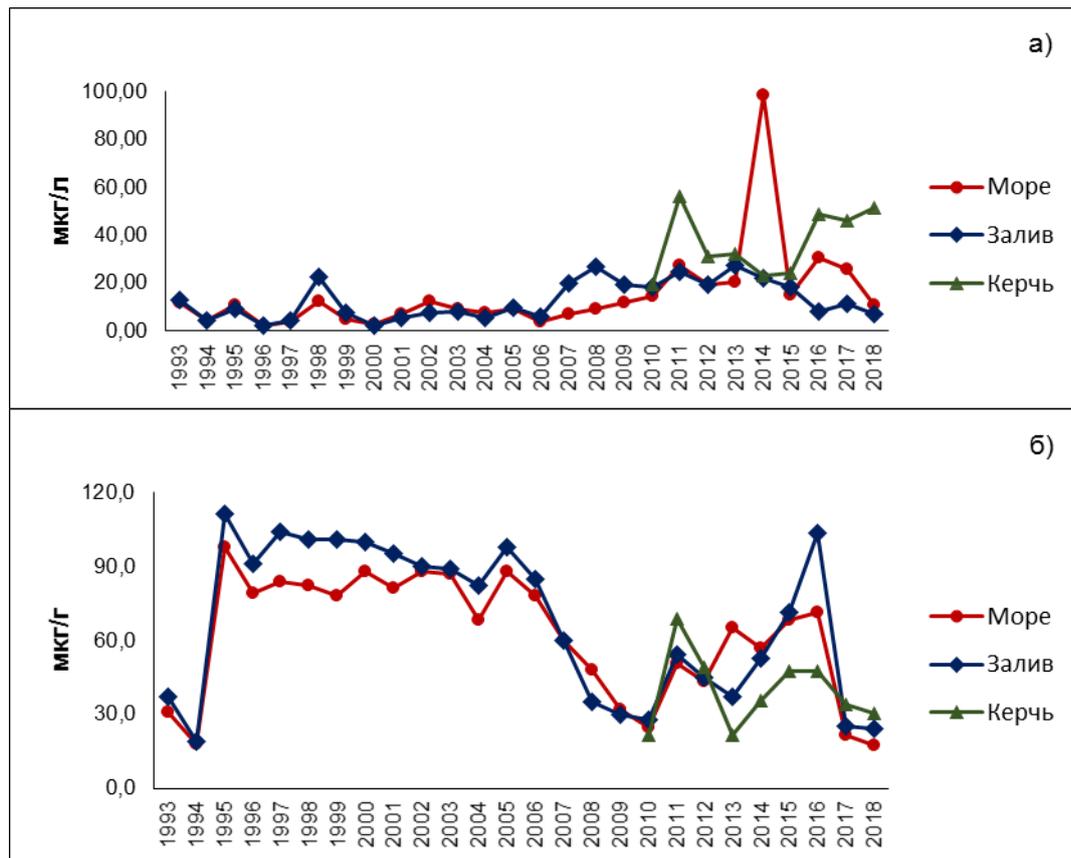


Рис. 4. Концентрации цинка в собственно море, Таганрогском заливе и Керченском проливе: а) концентрация Zn в воде (мкг/л); б) концентрация Zn в поверхностном слое донных отложений (мкг/г сухой массы).

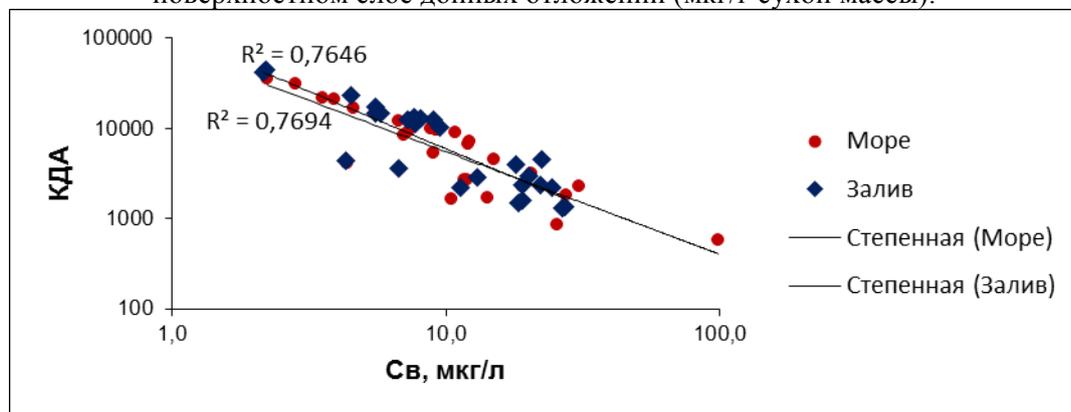


Рис. 5. Зависимость изменения КДА цинка от его концентрации в воде.

Медь. Анализ геохимических характеристик распределения меди показал, что в период с 1991 по 1995 гг. ее концентрация в воде собственно моря и в Таганрогском заливе снижалась, а затем в обоих районах и в Керченском проливе наблюдался тренд увеличения загрязнения вод медью.

Концентрация меди в воде Азовского моря в различные годы превышала ПДКв (рис. 6а). Превышения ПДКв меди в собственно море фиксируются с 2010 г. и по настоящее время, достигая в 2017 г. 8,1 мкг/л. В Таганрогском заливе за последние пять лет содержание меди в воде находится в диапазоне 3,5–5,1 мкг/л. В Керченском проливе, начиная с 2010 г. значения меди превышают ПДКв и находятся в пределах 6,9–16,8 мкг/л. Наличие высокого содержания меди в водоеме очень опасно, так как приводит к активному поглощению этого металла биологической средой, что в свою очередь может привести к заболеваниям как самой рыбы, так и потребляющего ее в пищу человека.

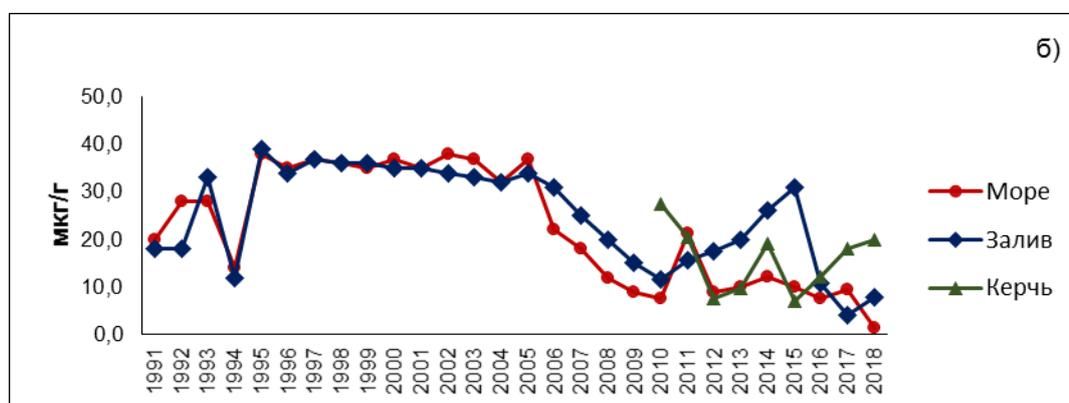
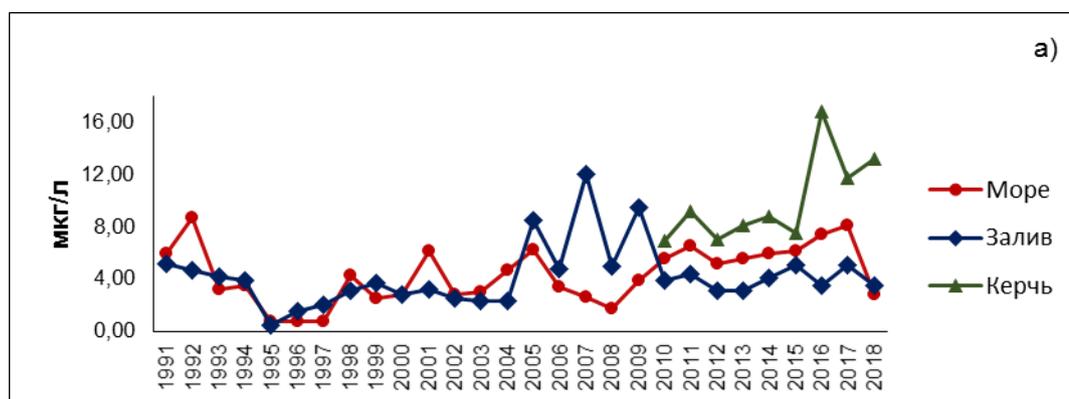


Рис. 6. Концентрации меди в собственно море, Таганрогском заливе и Керченском проливе: а) концентрация Cu в воде (мкг/л); б) концентрация Cu в поверхностном слое донных отложений (мкг/г сухой массы).

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ ...

Распределение меди в поверхностных слоях донных отложений соответствовало обратной тенденции – чем выше были ее концентрации в воде, тем меньшим было ее содержание в донных отложениях (рис. 6б). Это свидетельствовало о проявлении эффекта насыщения медью донных отложений по мере увеличения ее концентрации в воде. В то же время, концентрация меди в период с 1995 по 2005 гг. достигала критических пределов (выше ПДКдо) содержания этого металла в поверхностном слое донных отложений. В настоящее время концентрация меди находится в пределах 1,4–10 мкг/г в собственно море, 7,1–30,9 мкг/г в Таганрогском заливе и 7,2–20,0 в Керченском проливе.

Диапазон КДА меди в собственно море находился в пределах 500–54286, среднее значение составило 10378; в Таганрогском заливе КДА составлял от 804 до 97500, при среднем значении 10707; для Керченского пролива получены значения КДА от 956 до 3959, среднее значение – 1714. Таким образом, уровень КДА меди открытой части моря и Таганрогского залива свидетельствуют о высоком уровне загрязнения водного объекта.

Зависимость между КДА меди от ее содержания в водной среде (рис. 7), также, как и для свинца и цинка описывается уравнением прямой линии в логарифмических масштабах по осям ординат, но с меньшей статистической достоверностью ($R^2=0,69$).

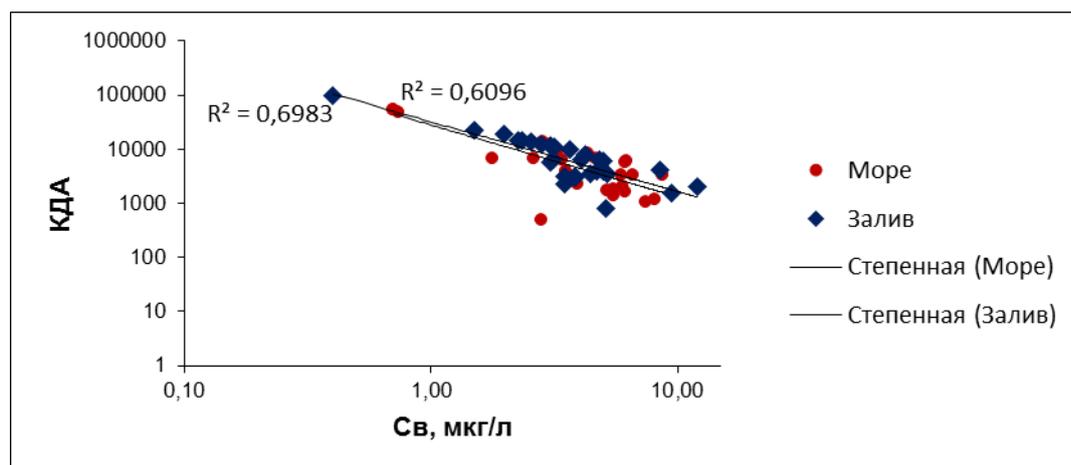


Рис. 7. Зависимость изменения КДА меди от ее концентрации в воде.

Кадмий. Рассмотрение материалов по распределению кадмия показало, что с 1993 по 2009 гг. наблюдался тренд медленного снижения его концентрации в воде открытой части моря и в Таганрогском заливе с последующим пиком в 2010–2014 гг. (рис. 8а). За весь период исследования концентрация кадмия во всех рассматриваемых частях моря не превышала ПДКв.

Распределение кадмия в поверхностном слое донных осадков (рис. 8б) до 2010 г. снижалась, после чего был отмечен пик ее увеличения в собственно море и в Керченском проливе (в районе порта Кавказ в 2018 г. концентрация кадмия достигла допустимую концентрацию 0,8 мкг/г).

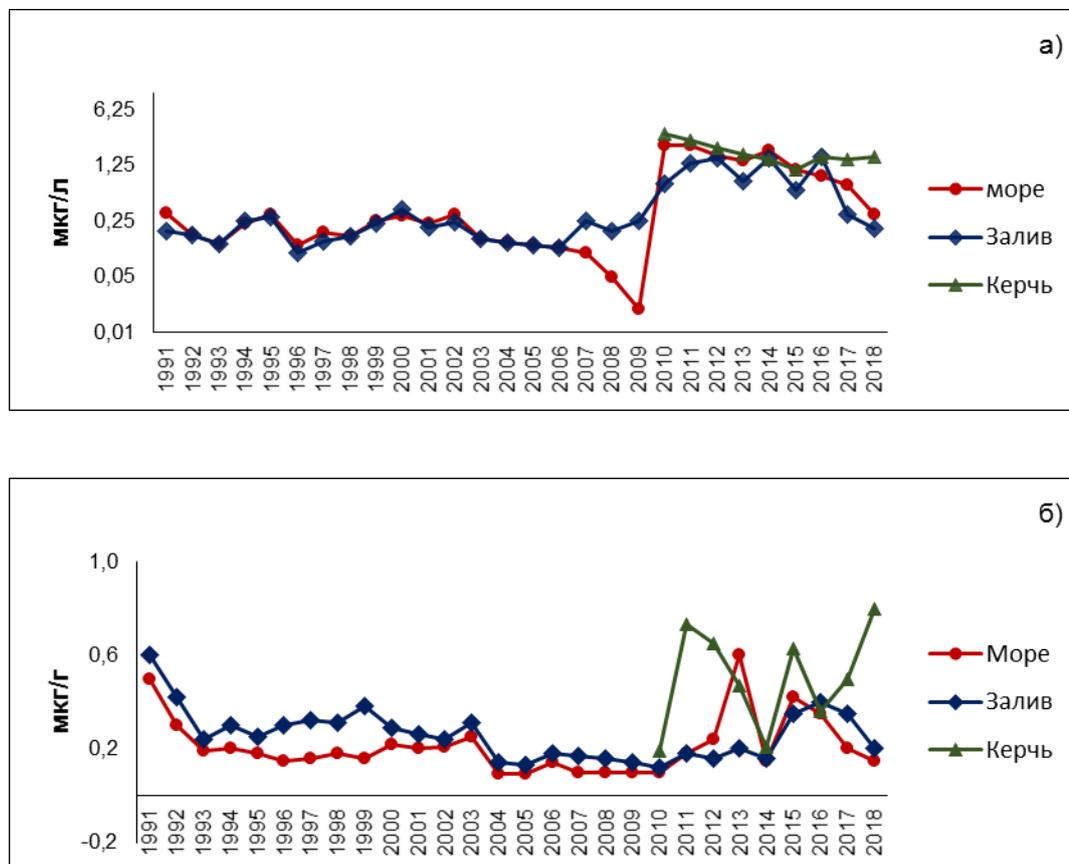


Рис. 8. Концентрации кадмия в собственно море, Таганрогском заливе и Керченском проливе: а) концентрация Cd в воде (мкг/л); б) концентрация Cd в поверхностном слое донных отложений (мкг/г сухой массы).

Среднее значение КДА за период с 1991 по 2018 годы для собственно моря, Таганрогского залива и Керченского пролива составило 965, 1181 и 301, соответственно. Данные значения указывают на хроническое поступление кадмия в экосистему Азовского моря.

Зависимость КДА кадмия от изменения его концентрации в воде описывалась уравнением прямой линии с логарифмическим масштабом по осям (КДА–Св) (рис.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ В ВОДЕ ...

9) при статистической обеспеченности данных с коэффициентом детерминации $R^2=0,78$ для собственно моря и $R^2=0,83$ для Таганрогского залива.

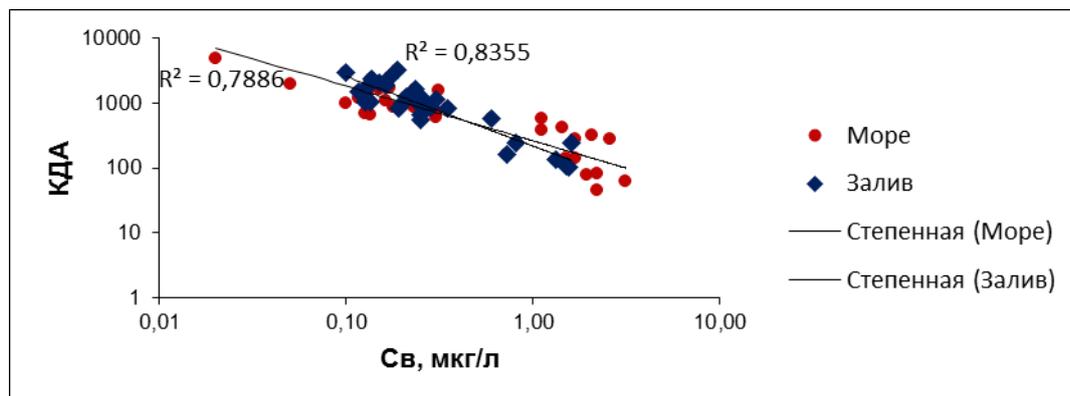


Рис. 9. Зависимость изменения КДА кадмия от его концентрации в воде.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов показал, что донные отложения в сравнении с водной массой характеризуются некоторым отставанием процессов накопления тяжелых металлов. Наибольшим накоплением в донных отложениях отличаются свинец и медь, КДА которых составляют в среднем за весь период исследования $n \times 10^4$. Наименьшими показателями характеризуется цинк, концентрации этого металла незначительны в донных отложениях по сравнению с водными массами.

К районам наибольшего аккумуляирования металлов в донных осадках в различные периоды исследований относится Таганрогский залив и центральная часть собственно моря. Для этих районов характерно распространение илистых песков, которые отличаются высокой аккумуляирующей способностью.

Участки повышенной аккумуляции тяжелых металлов в Азовском море могут быть рассмотрены как потенциально опасные, способные при изменении физико-химических условий среды обогатить водные массы дополнительным количеством тяжелых металлов.

Список литературы

1. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «II. Для водных объектов» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Справочник. Пермь: изд-во ФГБУ УралНИИ «Экология», 2016. 296 с.
2. Приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»

3. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice. Lelystad: RIZA report, 2002. 77 p.
4. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2017. Под ред. Коршенко А.Н., М.: Наука, 2017, 220 с.
5. Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Темердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар, изд-во ООО Просвещение-Юг, 2007. 324 с.
6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 24 февраля 2014 г. № 112 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов».
7. Матишов Г.Г. Буфетова М.В., Егоров В.Н. Нормирование потоков поступления тяжелых металлов в Азовском море по оценкам интенсивности седиментационного самоочищения вод // Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 1. С. 44–58.

**ANALYSIS OF CHANGES IN THE COEFFICIENT OF BOTTOM
ACCUMULATION OF HEAVY METALS FROM THEIR CONCENTRATION IN
THE WATER OF THE SEA OF AZOV**

Bufetova M. V.

Russian state geological prospecting University Sergo Ordzhonikidze (MGRI), Moscow, Russian Federation

E-mail: mbufetova@mail.ru

The sea of Azov has significant economic and recreational potential and has the status of a fishing reservoir of the highest category.

Priority pollutants in marine ecosystems include heavy metals, which are highly accumulative and highly toxic. A significant part of heavy metals accumulates in bottom sediments. However, under certain conditions (wind turbulence, changes in pH, total mineralization, water content, dredging, etc.), heavy metals can pass into the water column, causing secondary contamination.

According to the List of pollutants subject to state regulation in the field of environmental protection [1], lead, cadmium, copper and zinc are classified as toxic, representing a high risk to biological systems. Thus, the study of the concentration levels of heavy metals in the water and bottom sediments of the sea of Azov is an urgent problem.

This work is devoted to the study of long-term trends of changes in the coefficient of bottom accumulation of Pb, Cd, Cu, Zn from their concentration in the water of the sea of Azov proper, the Taganrog Bay and the Kerch Strait. The paper used data on the concentration of Pb, Zn, Cu, Cd in water and bottom sediments in 2010-2018, provided by the Federal state University «Azovmorinformcenter» in cooperation with the Department of ecology and natural resources of MGRI.

The degree of accumulation of heavy metals in bottom sediments was estimated using the bottom accumulation coefficient (BAC)

Pb. Among heavy metals, Pb has the highest sorption capacity on the surface of clay particles. BAC for the open part of the sea of Azov for the entire period of research was

in the range from 566 to 50769, the average value of BAC is 17952; for the Taganrog Bay-988-48592, the average value of BAC-15561; for the Kerch Strait-355-713, with an average value of BAC – 406. Thus, in most cases, the values of BAC in the sea proper and in the Taganrog Bay were equal to $n \times 10^4$, which indicates chronic pollution of these areas. For the Kerch Strait, against the background of high concentrations of Pb in water exceeding the maximum permissible concentration (the average concentration of Pb for the period 2010-2018 is 12.4 mcg/l in the range from 6.9 to 17mcg/l), low values of BAC ($n \times 10^2$) are characteristic, which indicates the arrival of fresh pollution in this area. The study of the trend of changes in BAC Pb from its concentration in the water of the sea proper and the Taganrog Bay over a 27-year period showed, that this dependence with a high degree of statistical confidence (determination coefficients $R^2=0.96$ and 0.95 , respectively) falls on a straight line on the graph with logarithmic scales along the ordinate axes.

Zn. The BAC of Zn in the sea proper was in the range of 579-35373, with an average value of 8,941; in the Taganrog Bay-1,321-45455, the average value-10265; in the Kerch Strait, the kDa of zinc was 676-1947, the average value was 1,155.

The graphic materials showed that the dependence of changes in the BAC of Zn at different concentrations in the water of the sea proper and the Taganrog Bay with a sufficient degree of adequacy ($R^2=0.76$) is described by the equation of a straight line on a logarithmic scale along the ordinate axes.

Cu. The range of Cu BAC in the sea proper was within 500-54286, the average value was 10378; in the Taganrog Bay, the BAC was from 804 to 97500, with an average value of 10707; for the Kerch Strait, the BAC values were obtained from 956 to 3959, the average value was 1714. Thus, the level of Cu BAC in the open part of the sea and the Taganrog Bay indicate a high level of contamination of the water body.

The dependence between the BAC of copper on its content in the water environment, as well as for lead and zinc, is described by the equation of a straight line in logarithmic scales along the ordinate axes, but with less statistical confidence ($R^2=0.69$).

Cd. The average BAC for the period from 1991 to 2018 for the sea proper, the Taganrog Bay and the Kerch Strait was 965, 1181 and 301, respectively. These values indicate a chronic supply of cadmium to the ecosystem of the sea of Azov.

The dependence of BAC of cadmium on changes in its concentration in water was described by the equation of a straight line with a logarithmic scale along the axes with statistical data availability with a coefficient of determination $R^2=0.78$ for the sea proper and $R^2=0.83$ for the Taganrog Bay. Analysis of the obtained results showed that lead and copper differ in the greatest accumulation in bottom sediments. The average BAC for the entire study period is $n \times 10^4$. The lowest indicators are characterized by zinc, the concentration of which is insignificant in bottom sediments compared to water masses.

The Taganrog Bay and the Central part of the sea proper belong to the areas of the greatest accumulation of metals in bottom sediments during various periods of research. These areas are characterized by the spread of silty sands, which are characterized by a high accumulation capacity.

Areas of increased accumulation of heavy metals in the sea of Azov can be considered as potentially dangerous, capable of changing the physical and chemical conditions of the environment to enrich the water masses with additional amounts of heavy metals.

Keywords: sea of Azov, heavy metals, pollution, bottom sediments, accumulation coefficient.

References

1. Kharakteristiki iz razdela «II. Dlya vodnykh obektov» «Perechnya, v otnoshenii kotorykh primenyayutsya mery gosudarstvennogo regulirovaniya v oblasti okruzhayushchei sredy» (Characteristics of pollutants from section «II. For water bodies» «List of pollutants that are subject to state regulation in the field of environmental protection»). Spravochnik. Perm: izdatelstvo FGBU UralNII «Ekologiya», 2016. 296 p. (In Russian).
2. Prikaz Ministerstva selskogo khozyaistva Rossii ot 13.12.2016. no 552 «Ob utverzhdenii normativiv kachestva void vodnykh obektov, v tom chisle normativov predelno dopustivnykh kontsentratsii brednykh veshchestv v vodakh vodnykh obektov rybokhozyaystvennogo znacheniya» (About the approval of standards of water quality of water objects of fishery value, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water objects of fishery value) (In Russian).
3. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice. Lelystad: RIZA report, 2002. 77 p. (in English).
4. Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam (The quality of marine waters according to hydrochemical indicators). Ezhegodnik, 2017. Pod red. Korshenko A.N., M.: Nauka, 2017. 220 p. (In Russian).
5. Klenkin A.A., Korpakova I.G., Pavlenko L.F., Temerdashev Z.A. Ekosistema Azovskogo moray: antropogennoe zagryaznenie (Ecosystem of the sea of Azov: anthropogenic pollution). Krasnodar: Prosveshchenie-Uyg, 2007. 324 p. (In Russia).
6. Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov iekologii Rossii ot 24.02.2014 no 112 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazanii po osushchestvleniyu gosudarstvennogo monitoringa vodnykh obektov v chasti organizatsii I provedeniya nablyudeniya za sodержaniem zagryaznyayushchikh veshchestv v donnykh otlozheniyakh vodnykh obektov» (About the approval of Methodical instructions on implementation of the state monitoring of water objects regarding the organization and carrying out observations of the content of pollutants in bottom deposits of water objects). (In Russian).
7. Matishov G.G., Bufetova M.V., Egorov V.N. Normirovanie potokov pochtupleniya tyazhelykh metallov v Azovskoe more po otsenkam intensivnosti sedimentatsionnogo samoochishcheniya vod (Normalization of flows of heavy metals in the sea of Azov according to estimates of the intensity of sedimentation self-purification of waters). Science Of The South Of Russia, 2017, vol. 13, no 1, pp. 44–58 (In Russian).

Поступила в редакцию 31.05.2020 г.