

ОЦЕНКА ПОТОКОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Pb, Cd) В АБИОТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ

М. В. Буфетова, доцент кафедры экологии и природопользования
Российского государственного геологоразведочного университета
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ),
mbufetova@mail.ru

В статье приведены данные за 2017 год по загрязнению воды и донных отложений Азовского моря свинцом и кадмием. Показано, что значения свинца в воде превышали ПДК в Керченском проливе, в районе порта г. Ейска, а также в районе г. Темрюк. По кадмию превышений ПДК в воде не наблюдалось. Превышение допустимой концентрации по кадмию в донных отложениях зафиксировано в устье р. Мертвый Донец (0,9 мкг/г сухого веса). Достаточно высокие концентрации этого металла зафиксированы в Керченском проливе. Концентрация свинца в донных отложениях находилась в диапазоне 2,5–16,2 мкг/г сухого веса. Оценены потоки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями, речным стоком Дона и Кубани. Рассчитано количество свинца и кадмия, которое может быть депонировано из воды в донные отложения. Расчетные значения потоков тяжелых металлов из Азовского моря в среднем превышали величины потоков из Черного моря через Керченский пролив. Это указывает на то, что Азовское море является источником загрязнения черноморской экосистемы свинцом и кадмием.

The article presents the data for 2017 on the pollution of water and bottom sediments of the Azov Sea with lead and cadmium. It is shown that the values of lead in water exceeded MPC in the Kerch Strait, near the port of Yeysk, as well as in the area of the town of Temryuk. The maximum allowable concentration levels in the water were observed for cadmium. The excess of permissible cadmium concentration in the bottom sediments was recorded at the mouth of the river Mertyv Donets River (0.9 µg/g dry weight). Sufficiently high concentrations of this metal are recorded in the Kerch Strait. The concentration of lead in the bottom sediments was within the range of 2.5–16.2 µg/g dry weight. The flows of heavy metals with atmospheric deposition, the river runoff of the Don and Kuban are estimated. The amount of lead and cadmium that can be deposited from water to the bottom sediments is calculated. The calculated values of heavy metal fluxes from the Azov Sea on average exceeded the values of flows from the Black Sea through the Kerch Strait. This indicates that the Azov Sea is a source of pollution of the Black Sea ecosystem with lead and cadmium.

Ключевые слова: Азовское море, свинец, кадмий, потоки, загрязнение, тяжелые металлы.

Keywords: the Azov Sea, lead, cadmium, flows, pollution, heavy metals.

В экосистему Азовского моря тяжелые металлы поступают как из природных, так и из антропогенных источников, а один из главных — речной сток, в основном рек Дона и Кубани. Также источниками свинца и кадмия для экосистемы Азовского моря являются атмосферные осадки, интенсификация судоходства, строительство новых и реконструкция существующих портов, сточные воды населенных пунктов, расположенных на побережье: Азов, Таганрог, Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк и др.

Из воды тяжелые металлы осаждаются в донные отложения, которые при этом являются своеобразными депо для загрязнителей водных объектов, фиксируя длительный (исторический) эффект антропогенного влияния на экосистему.

В работе были использованы данные, предоставленные ФГУ «Азовморинформцентр» по концентрации свинца и кадмия в воде и донных отложениях в 2017 г. в рамках сотрудничества с кафедрой экологии и природопользования МГРИ-РГГРУ. Схема отбора проб в 2017 г. приведена на рисунке.

Пробы воды для анализа отбирались пробоотборной системой ПЭ-1220 согласно ГОСТ Р 51592—2000 в поверхностном слое в 19 точках. Химический анализ проб воды на содержание Pb и Cd производился в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:4.140—98. Все указанные тяжелые металлы были измерены прибором ААС КВАНТ-Z-ЭТА.

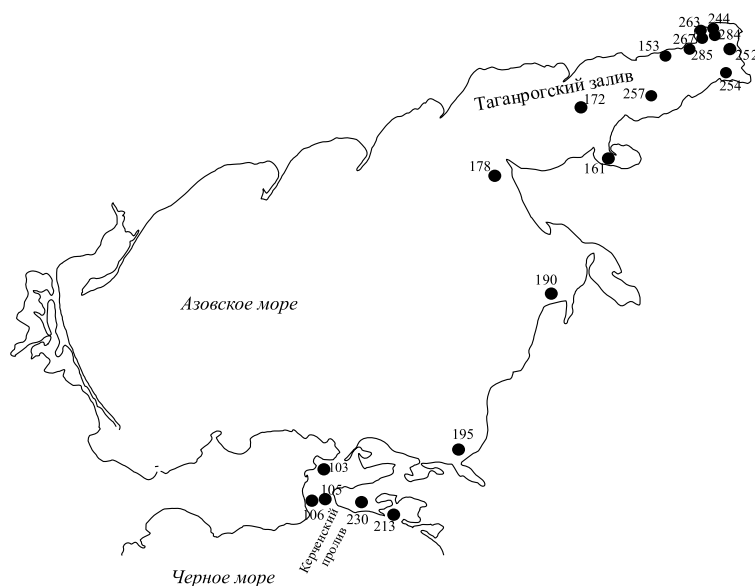


Рис. Точки отбора проб воды и донных отложений в 2017 г.

Пробы донных отложений для анализа Pb и Cd отбирались пробоотборником-дночерпателем ДЧ-0.034 согласно ГОСТ 17.1.5.01—80 в поверхностном слое (0—2 см). Химический анализ проб донных осадков на содержание свинца и кадмия производился в соответствии с методикой М-МВИ-80—2008.

В работе в Азовском море были выделены три бокса. Параметры боксов представлены в табл. 1.

Содержание Pb и Cd в воде. В Керченском проливе концентрация свинца превышала ПДК — 10 мкг/л [3] во все периоды наблюдений: диапазон концентраций составил 13—18 мкг/л. Средняя концентрация свинца в 2017 г. в проливе составила 15,2 мкг/л.

В собственно море максимальные концентрации наблюдались в районе влияния морского порта Темрюк (ст. 230), где концентрация свинца достигала 12,7 мкг/л. Средняя концентрация свинца в собственно море за период наблюдений составила 7,8 мкг/л. В Таганрогском заливе максимальные значения до 19 мкг/л зафиксированы в районе порта Ейска (ст. 161). Средняя концентрация свинца в заливе в 2017 г. составляла 3,5 мкг/л.

Концентрация кадмия в воде Азовского моря в 2017 г. не превышала ПДК (10 мкг/л) и имела среднее значение 0,9 мкг/л.

Содержание Pb и Cd в донных отложениях. Концентрация свинца в донных отложениях незначительна, во всех частях моря значения не превышали 16,2 мкг/г при допустимой концентрации «по голландским листам» — 80 мкг/г [4].

Превышение допустимой концентрации по кадмию, которая составляет 0,8 мкг/г, зафиксировано на станции 252 в устье р. Мертвый Донец. Достаточно высокие концентрации до 0,6 мкг/г зафиксированы в Керченском проливе.

Потоки Pb и Cd с атмосферными осадками. Результаты наблюдений за выбросами промышленных предприятий в атмосферный воздух в 2017 г. нашли свое отражение в [5], согласно ко-

торому атмосферные осадки были отнесены к существенным факторам неблагоприятного воздействия на экосистему Азовского моря наряду со сточными водами хозяйственно-бытового и промышленного происхождения.

Концентрация свинца в атмосферных осадках по данным 2005 г. [6] находилась в диапазоне от 1,2—3 мкг/л, а кадмия — 0,8—1,7 мкг/л. Можно предположить, что поступление свинца на поверхность моря может находиться в пределах 16,8—42 т/год и кадмия 11,2—23,8 т/год. Таким образом, можно сделать вывод о существенном вкладе атмосферных осадков в общее загрязнение экосистемы Азовского моря тяжелыми металлами.

Потоки Pb и Cd с речными водами. Для бассейна р. Дон в створе ст. Раздорской средний многолетний сток составляет 22,8 км³/год. Среднемноголетний сток р. Кубань составляет 13,2 км³/год (створ хут. Тиховский) [7]. По данным АзНИИРХ годовой сток Дона и Кубани в 2016 г. был почти равным и составил около 10 км³/год для каждой реки [8].

Концентрация свинца в водах р. Дон в устьевой зоне в период наблюдений составляла в среднем 2,2 мкг/л. Более высокая концентрация свинца зарегистрирована в речных водах Кубани — до 11 мкг/л. Содержание кадмия в речных водах Дона и Кубани в среднем составляло 0,1 и 0,7 мкг/л, соответственно.

Таким образом, в 2017 г. в Азовское море с речными водами Дона, при учете различных литературных данных о годовом стоке реки, могло поступить от 22 до 50,1 т свинца и от 1,0 до 2,2 т кадмия. С водами реки Кубань поток свинца мог составить 110—145 т, а кадмия — 7—9,2 т.

Поток Pb и Cd в донные осадки. Для расчета потока поступления тяжелых металлов в донные осадки принимаем допущение, что концентрация свинца и кадмия в донных осадках соответствует их концентрациям во взвешях. С учетом этого обстоятельства, нами использовалась следующая формула для оценки потоков ($P_{\text{деп}}$) ежегодного депонирования тяжелых металлов в донные осадки:

$$P_{\text{деп}} = C_{\text{до}} \times S \times v_{\text{сед}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{до}}$ — концентрация металла в поверхностном слое донных отложений (мкг/г); S — площадь рассматриваемой акватории (км²); $v_{\text{сед}}$ — удельная скорость осадконакопления (г/м²/год).

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Расчеты показали, что в донные отложения в Таганрогском заливе может перейти до 29,2 т/год свинца и до 2 т/год кадмия. Эти потоки сопоста-

Таблица 1
Параметры боксов [1, 2]

Бокс	Площадь, км ²	Объем, км ³	Средняя глубина, м	Средняя скорость осадконакопления, г/м ² /год
I — Таганрогский залив	5600	25	4,9	700
II — собственно море	33 400	231	7	300
III — Керченский пролив	675	12	18	500

Таблица 2
Депонирование свинца и кадмия
в донные отложения в 2017 г.

P _{деп} Pb, т/год			P _{деп} Cd, т/год		
I бокс	II бокс	III бокс	I бокс	II бокс	III бокс
29,2	56,1	1,0	1,96	2,0	0,17

вимы с годовым потоком тяжелых металлов с речным стоком р. Дон.

В собственно море депонирование свинца и кадмия в донные отложения составляет 56,1 т/год и 2,0 т/год, соответственно. Полученные значения составляют почти 50 % годового потока указанных тяжелых металлов с водами реки Кубань.

В Керченском проливе из воды в донные отложения переходит около 1,0 т/год свинца и до 0,2 т/год кадмия.

Исследования содержания тяжелых металлов в вертикальных колонках донных отложений показали, что основная часть свинца и кадмия прочно депонируется в грунтах [9]. Поэтому оценки потоков депонирования загрязняющих веществ в донных отложениях могут характеризовать седиментационное самоочищение вод.

С другой стороны, необходимо учитывать риск вторичного загрязнения, т. е. обратный выход тяжелых металлов в воду. Этот процесс зависит от многих факторов: свойств самих веществ, гидродинамического режима, соотношения концентраций загрязняющих веществ в воде и грунтах, величины рН, окислительно-восстановительного потенциала, скорости осадконакопления, мощности осадочного слоя и т. д.

Таким образом, как показывают исследования, донные отложения Азовского моря могут ха-

рактеризоваться как твердая среда с высокими потенциальными возможностями по удержанию тяжелых металлов.

Потоки Pb и Cd через Керченский пролив. Исследования водообмена через Керченский пролив имеют многолетнюю историю. Они показали, что почти за полувековой период оценки потоков из Азовского моря в Черное оценивались в 42,62–126,00 км³/год, а из Черного в Азовское — 29,57–121,00 км³/год [10]. По-видимому, большой разброс этих оценок был связан как с климатическими изменениями в регионе и зарегулированием стока впадающих в Азовское море рек, так и с совершенствованием методов океанографических наблюдений.

Цель наших оценок связана со среднегодовым многолетним масштабом исследований. В связи с этим мы рассмотрели влияние на миграцию тяжелых металлов различных потоков водообмена, которые лежат в диапазоне 42,62–126 км³/год для потока из Азовского моря в Черное, и 29,57–121 км³/год — из Черного моря в Азовское.

Потоки свинца и кадмия через Керченский пролив оценивали по формуле:

$$P_i = W \times C_w, \quad (2)$$

где P_i — поток i тяжелого металла, т/год; W — объем стока азовоморских или черноморских вод, км³/год; C_{wi} — средняя концентрация i тяжелого металла в воде, мкг/л.

Расчет проводили по средней концентрации тяжелых металлов по данным 2017 г. Концентрация свинца в Прикерченском районе Черного моря составила 7,1 мкг/л, кадмия — 1,3 мкг/л. Результаты расчетов по формуле (2) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка потоков тяжелых металлов через Керченский пролив

	Поток, км ³ /год	Значение потока, т/год	Разность потоков из Азовского и Черного моря, т/год	Поток, км ³ /год	Значение потока, т/год	Разность потоков из Азовского и Черного моря, т/год	Поток, км ³ /год	Значение потока, т/год	Разность потоков из Азовского и Черного моря, т/год
Свинец									
Из Азовского моря	42,6	270,5	61,0	53,6	340,3	106,8	126	800,1	-59
Из Черного моря	29,5	209,4		32,9	233,5		121	859,1	
Кадмий									
Из Азовского моря	42,6	63,9	25,6	53,6	80,4	37,7	126	189,0	31,7
Из Черного моря	29,5	38,3		32,9	42,7		121	157,3	

Было получено, что поток свинца из Азовского моря в Черное составляет от 270 до 800,1 т/год и только при потоках из Азовского моря в Черное 126 км³ в год и из Черного в Азовское 121 км³ поток свинца больше из Черного моря.

Поток кадмия Азовского моря в Черное может составить от 63,9 до 189 т/год и он при всех оцен-

ках водообмена больше, чем поток из Черного моря.

Таким образом, наши исследования показали, что при учете всех оценок водообмена через Керченский пролив практически во всех случаях Азовское море является источником загрязнения свинцом и кадмием вод Черного моря.

Библиографический список

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5: Азовское море. — СПб.: Гидрометеиздат, 1991. — 237 с.
2. Сорокина В. В. Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века. Дис. канд. геогр. наук. Ростов н/Д, изд-во Ростовского государственного университета, 2006. — 216 с.
3. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства. — № 20. — 2010.
4. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice. Lelystad: RIZA report, 2002. — 77 p.
5. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2017 году // Экологический вестник Дона. — 2018. — 368 с.
6. Кленкин А. А., Корпакова И. Г., Павленко Л. Ф., Темердашев З. А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. — Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2007. — 324 с.
7. Сорокина В. В., Ивлиева О. В., Лурье П. М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестник южного научного центра РАН. — 2006. — Т. 2. — № 2. — С. 58—67.
8. <http://azniirrh.ru/novosti/don-poteryal-pervoe-mesto-po-stoku-v-azovskoe-more/>
9. Михайленко А. В. Тяжелые металлы в абиотических компонентах ландшафта Азовского моря. Дис. канд. геогр. наук. Ростов н/Д, изд-во Южного федерального университета, 2016. — 200 с.
10. Дьяков Н. Н., Фомина И. Н., Тимошенко Т. Ю., Полозок А. А. Особенности водообмена через Керченский пролив по данным натурных наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, 2016. — № 1. — С. 63—68.

ESTIMATION OF HEAVY METAL FLUXES (PB, CD) IN THE ABIOTIC COMPONENTS OF THE AZOV SEA ECOSYSTEM

M. V. Bufetova, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RGGRU), mbufetova@mail.ru

References

1. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the USSR's seas]. Vol. 5: *Azovskoe more* [The Azov Sea]. SPb.: Gidrometeoizdat, 1991. 237 p. [in Russian]
2. Sorokina V. V. Osobennosti terrigenogo osadkonakopleniya v Azovskom more vo vnhjji polovine XX veka [Features of terrigenous sedimentation in the Azov Sea in the second half of the 20th century]. *Thesis for Ph. D. in Geography*. Rostov n/D, Rostov State University, 2006. 216 p. [in Russian]
3. *Normativi kachestva vodi vodnyh obektov ribokhozyaystvennogo znacheniya* [Standards of water quality of water bodies of fishery value]. The Order of Federal Agency for Fishery. No. 20. 2010. [in Russian]
4. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. *Policy and practice*. Lelystad: RIZA report, 2002. — 77 p.
5. *O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov v Rostovskoy oblasti v 2017 godu* [On the state of the environment and natural resources of the Rostov Region in 2017]. *Ecological Bulletin of the Don*, 2018. 368 p. [in Russian]
6. Klenkin A. A., Korpakova I. G., Pavlenko L. F., Temerdashev Z. A. *Ekosistema moray: antropogennoe zagryaznenie* [Ecosystem of the Azov Sea: anthropogenic pollution]. Krasnodar: "Prosvyashchenie-Ug", 2007. 324 p. [in Russian]
7. Sorokina V. V., Ivlieva O. V., Lurie P. M. *Dinamika stoka na ustievykh uchastkakh rek Don i Kuban vo vtoroi polovine XX veka* [Flow dynamics on the mouth sections of the Don and Kuban rivers in the second half of the 20th century]. *Bulletin of the Southern Scientific Center of RAS*, 2006. Vol. 2. No. 2. P. 58—67. [in Russian]
8. Electronic resource: <http://azniirrh.ru/novosti/don-poteryal-pervoe-mesto-po-stoku-v-azovskoe-more/> [in Russian]
9. Mikhailenko A. V. Tyazhelye metally v abioticheskikh komponentekh landshavta Azovskogo moray [Heavy metals in abiotic components of the landscape of the Azov Sea]. *Thesis for Ph. D. in Geography*. Rostov n/D, Southern Federal University publ., 2016. 200 p. [in Russian]
10. Dyakov N. N., Fomina, I. N., Tymoshenko T. Y., Skid A. A. *Osobennosti vodoobmena cherez Kerchenskii proliv po dannym naturnykh nablyudeni* [Features of water exchange through the Kerch Strait, according to field observations] // *Ekologicheskaya bezopasnost pribeznoy i shel'fovoi zon moray* [Ecological safety of coastal and shelf zones of the sea], 2016. No. 1. P. 63—68. [in Russian]