



ГЕОЭКОЛОГИЯ

Геоэкология / Geoeology

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.423:504.4.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2015-3-112-120

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Марина В. Буфетова

*кафедра экологии и природопользования, Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
Москва, России, mbufetova@mail.ru*

Резюме. Цель. Оценить состояния загрязнения вод Азовского моря тяжелыми металлами – Pb, Cd, Cu, Zn, Hg. **Материалы и методы.** В работе были использованы данные, предоставленные ФГБУ «Азовморинформцентр» по концентрации тяжелых металлов в воде за 2010-2014 гг. и литературные данные с 1986-2009 гг. Отбор и анализ проб производился по утвержденным методикам. **Результаты.** Диапазон концентрации Pb в воде моря в 1986-2014 гг. составил 0,4-19,91 мкг/л. Максимальные значения Pb (19,91 мкг/л) наблюдались в Керченском проливе в 2011 году. Наибольшая средняя концентрация Cd в 1986-2014 гг. наблюдалась в Керченском проливе и составляла 2,19 мкг/л. В собственно море и Таганрогском заливе средняя концентрация этого металла составила 0,51 и 0,36 мкг/л, соответственно. Концентрация Cu в период с 1986-2014 гг. менялась от 0,7 до 23,6 мкг/л, при среднем содержании – 5,56 мкг/л. В последние пять лет наблюдается постоянное превышение ПДК. Максимальная концентрация Zn за весь период наблюдений составила 80 мкг/л и была зарегистрирована в Таганрогском заливе осенью 2010 г. Среднее значение – 14,73 мкг/л. Среднее значение Hg за период 1986-2010 гг. составляет 0,26 мкг/л (2,6 ПДК). Установлены сезонные тренды концентрации по каждому тяжелому металлу. **Выводы.** В современный период (2010-2014 гг.) отмечается увеличение концентраций исследуемых тяжелых металлов за счет роста хозяйственной деятельности в Южном регионе России.

Ключевые слова: Азовское море, тяжелые металлы, загрязнение вод, экологическая обстановка.

Формат цитирования: Буфетова М.В. Загрязнение вод Азовского моря тяжелыми металлами // Юг России: экология, развитие. 2015. Т.10, N3. С.112-120. DOI: 10.18470/1992-1098-2015-3-112-120

POLLUTION OF SEA OF AZOV WITH HEAVY METALS

Marina V. Bufetova

*Department of ecology and nature management,
Russian State Sergo Ordzhonikidze University of Geological Prospecting,
Moscow, Russia, mbufetova@mail.ru*

Abstract. Aim. The aim is to assess the condition of the Azov Sea water pollution by the following heavy metals - Pb, Cd, Cu, Zn, Hg. **Materials and methods.** We used the data provided by the State Organization "Azovmorinform-centr" for concentrations of heavy metals in the water for the period of 2010-2014 as well as published data during 1986 - 2009. Sampling and analysis was carried out in accordance with approved procedures. **Results.** Concentrations of Pb in the water of the sea in the period of 1986-2014 ranges from 0,4 to 19,91 $\mu\text{g/l}$. The maximum value of Pb (19,91 $\mu\text{g/l}$) was observed in the Kerch Strait in 2011. The highest average concentration of Cd in the period of 1986-2014 was observed in the Kerch Strait and was 2.19 $\mu\text{g/l}$. In the sea and the Gulf of Taganrog the average concentration of the metal was 0.51 and 0.36 $\mu\text{g/l}$, respectively. In the period of 1986-2014 the concentration of Cu ranged from 0.7 to 23.6 $\mu\text{g/l}$, with an average content of 5.56 $\mu\text{g/l}$. In the past five years, MAC values (maximum allowable concentration) have been constantly increasing. The maximum concentration of Zn over the entire obser-



vation period was 80 ug / l., and was registered in the Taganrog Bay in autumn of 2010. The average value was 14.73 ug / l. The average value of Hg in the period of 1986-2010 is 0.26 ug / l. (MAC is 2,6). We have established the seasonal trends for each concentration of heavy metals. **Main conclusions.** For the recent years (2010-2014.) we observed an increase in the concentrations of heavy metals due to the growth of economic activity in the Southern region of Russia.

Keywords: Azov Sea, heavy metals, water pollution, the environmental situation.

For citation: Bufetova M.V. Pollution of Sea of Azov with heavy metals. *South of Russia: ecology, development*. 2015, vol. 10, no. 3, pp. 112-120. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2015-3-112-120

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море - водный бассейн юга России со значимыми для экономики страны минеральными и биологическими ресурсами, транспортной коммуникацией. В силу своего геологического прошлого, физико-географических и климатических характеристик Азовское море обладает рядом уникальных особенностей - малыми размерами, глубиной и объемом, слабым водообменом с другими морями, высокой значимостью речного стока в формировании океанологического (соленость, газовый, биогенный и гидрохимический режимы, другие параметры) и биологического (состав населения, продуктивность, экологические отношения) облика экосистемы [1]. Азовское море обладает статусом рыбохозяйственного водоема высшей категории и имеет довольно высокий рекреационный потенциал, а значит, несет в себе большой интерес как объект исследования и мониторинга окружающей среды.

Загрязнение морских экосистем различными контаминантами антропогенного происхождения приводит к существенным нарушениям физико-химического состава природных вод, оказывает отрицательное воздействие на морские организмы и морскую среду в целом [2]. Разнообразие и большая численность загрязняющих веществ делают практически невозможным контроль содержания каждого из них в объектах окружающей среды. Поэтому среди мно-

жества химических веществ выделяют те, которые производятся в крупных масштабах и которые представляют особую опасность для различных экосистем. Эту группу веществ называют приоритетными загрязняющими веществами окружающей среды. Странами ООН, участвующими в мероприятиях по улучшению и охране окружающей среды, согласован общий перечень наиболее важных (приоритетных) веществ, загрязняющих биосферу. К их числу относят и соединения тяжелых металлов [3]. Их повышенные концентрации нарушают процессы метаболизма, быстро поражают физиолого-биохимические структуры и вызывают патологические изменения на всех уровнях строения и функционирования организма. Довольно опасным является воздействие даже низких концентраций тяжелых металлов на гидробионты в условиях хронического загрязнения водных объектов. При этом уменьшаются индексы видового разнообразия, нарушаются темпы и процессы биопродуцирования, происходит смена доминантных видов биоценоза и т. д. [1]. Особенно опасным является поражение гидробионтов на ранних стадиях онтогенеза. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы, связанные с определением состояния загрязнения вод Азовского моря тяжелыми металлами. Оценка этого состояния и является целью данной работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе были использованы данные, предоставленные ФГБУ «Азовморинформцентр» по концентрации Pb, Cd, Cu, Zn в 2010-2014 гг. Пробы воды для

анализа отбирались пробоотборной системой ПЭ-1220 согласно ГОСТ Р 51592-2000 в поверхностном слое в 29 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 (изд. 2007), нижний предел чувствительности – 0,0002; кадмия – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98 (изд. 2007), нижний предел чувствительности –

0,00001; меди – ПНД Ф 14.1:2:4.140-98 (изд. 2007), 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.



Рис.1. Схема отбора проб воды в 2010-2014 гг.
Fig.1. Water sampling in the period of 2010-2014

Также для определения межгодовых трендов были использованы литературные данные по содержанию тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Hg) в воде Азовского моря с 1986-2009 гг. [1;4;5].

Динамика изменения концентраций исследуемых тяжелых металлов удовлетворительно аппроксимировалась полиномиальной функцией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Свинец. В незагрязненных водах содержание свинца обычно не превышает 3 мкг/л. При фоновых концентрациях накопление свинца в мышцах рыб не превышает 0,1 мг/кг, а в костной ткани - в 4-10 раз больше. Источник природного свинца - горные породы, антропогенного - пылевидные, парообразные и жидкие отходы промышленных предприятий, сжигание различных видов топлива [1]. Предельно допустимая концентрация свинца

в воде водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 10 мкг/л [6].

Диапазон концентрации свинца в поверхностном слое воды Азовского моря в 1986-2014 гг. составил 0,4-19,91 мкг/л. Максимальные значения свинца (19,91 мкг/л) наблюдались в Керченском проливе в 2011 году, также в этом году были зафиксированы высокие концентрации в центральной части моря (10,84 мкг/л). В Таганрогском заливе средняя концентрация свинца за период с 1986 по 2014 г.



составила 2,21 мкг/л, при максимальном значении 6,28 мкг/л в 2010 г.

Как видно из рисунка 2 увеличение концентраций наблюдается с 2011

года, что связано, по-видимому, с ростом производства промышленных предприятий Азовского региона.

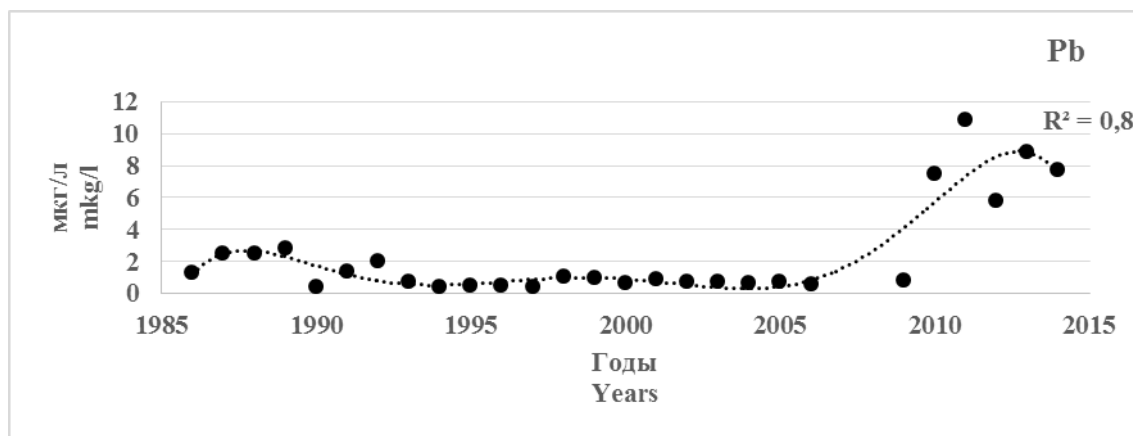


Рис.2. Среднегодовые концентрации Pb в воде Азовского моря в 1986-2014 гг.
Fig.2. The average concentration of Pb in the water of the Azov Sea during 1986-2014

Кадмий. Уровень содержания растворенного кадмия в незагрязненных морских водах колеблется в пределах 0,01-0,15 мкг/л.

Наибольшая средняя концентрация кадмия в 1986-2014 гг. наблюдалась в Керченском проливе и составляла 2,19 мкг/л. В собственно море и Таганрогском

заливе средняя концентрация этого металла составила 0,51 и 0,36 мкг/л, соответственно. Увеличение концентрации кадмия отмечается в последние пять лет (рис.3). Диапазон концентрации в период 2010-2014 гг. находится в пределах от 1,2-4,93 мкг/л при ПДК 10 мкг/л.

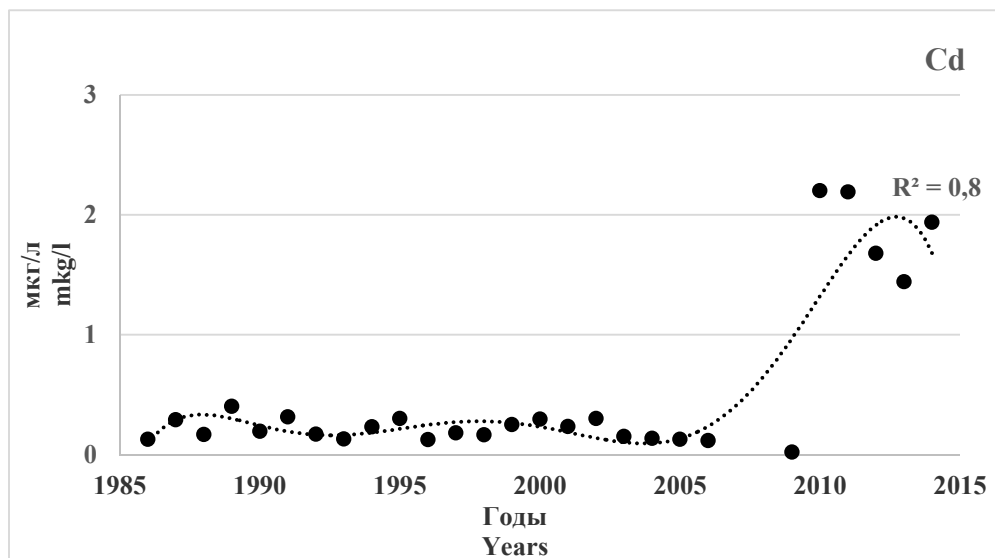


Рис.3. Концентрация Cd в воде Азовского моря в 1986-2014 гг.
Fig.3. The concentration of Cd in the water of the Azov Sea during 1986-2014

Медь. Медь широко распространена в природе и является необходимым элементом в большинстве биологических систем живых организмов. В незагрязненных водах содержание меди обычно составляет 1,0 мкг/л, заметно повышаясь в период половодий. Этот элемент уверенно занимает второе (после ртути) место по степени токсического воздействия на рыб. Хроническое воздействие сублетальных доз (от 2 мкг/л) снижает выживаемость, рост и темпы воспроизводства различных видов рыб, нарушает их поведенческие функции и окислительную активность жабр [7].

Наиболее мощным источником антропогенного поступления меди в окружающую среду - до 75% от общей

суммы - является производство цветных металлов. Она хорошо переносится с атмосферными потоками. До 13% от суммарной концентрации меди в поверхностных водах морей составляет доля от сухих выпадений с ветровой пылью и атмосферными осадками [1].

Предельно допустимая концентрация меди в воде водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 5 мкг/л [6].

Концентрация меди в период с 1986-2014 гг. менялась от 0,7 до 23,6 мкг/л, при среднем содержании - 5,56 мкг/л. В последние пять лет наблюдается постоянное превышение ПДК, особенно в весенний период (рис.4).

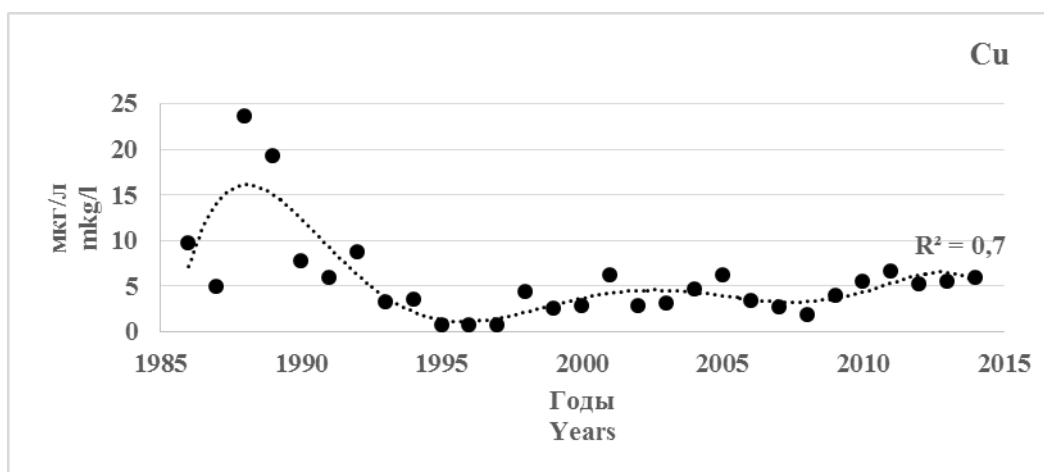


Рис.4. Концентрация Cu в воде Азовского моря в 1986-2014 гг.

Fig.4. The concentration of Cu in the water of the Azov Sea during 1986-2014

Цинк. Цинк является одним из жизненно необходимых элементов для биоты. Гормональный метаболизм, иммунные реакции, стабилизация рибосом и мембран клеток гидробионтов невозможны без участия цинка.

Содержание цинка в незагрязненных водоемах обычно соответствует 0,5-15 мкг/л. По токсическому воздействию на биоту цинк занимает промежуточное положение между ртутью и медью с одной стороны и свинцом и кадмием с другой, существенно влияя на поведенческие и репродуктивные функции рыб [8]. Токсическое действие цинка подвержено се-

зонным колебаниям. Особенно сильно оно проявляется в весенне - летний период, когда температурный стресс наряду с низким содержанием кислорода резко увеличивает восприимчивость многих видов рыб к воздействию цинка. Максимальное токсическое воздействие цинк оказывает на состояние жабр рыб, накапливаясь при этом и в других органах. Как правило, при значительных концентрациях цинка в жабрах отмечается отделение эпителия, уменьшается высота жаберных пластинок. У рыб возникает гипоксия и нарушается дыхание, вызывая тем самым сбой в «работе» всего организма [7].

Основными источниками поступления цинка являются сточные воды легкой, химической, металлургической и горнорудной промышленности, автомобилестроение. Огромное количество цинка попадает в окружающую среду при электрохимической коррозии широко используемых оцинкованных конструкций.

Предельно допустимая концентрация меди в воде водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 50 мкг/л [6].

Максимальная концентрация цинка за весь период наблюдений составила 80 мкг/л и была зарегистрирована в Таганрогском заливе осенью 2010 г. Среднее

значение за период 1991-2014 гг. составило 14,73 мкг/л. Динамика среднегодовой концентрации цинка представлена на рисунке 5.

Обращает на себя внимание результат анализа пробы воды, отобранной 2 октября 2014 г. в Таганрогском заливе. Концентрация цинка в этой пробе составила 750 мкг/л. Это может быть связано с чрезвычайной ситуацией - сильнейшим ураганом и, последующим нагоном воды 24 сентября 2014 г. В тот день уровень воды поднялся на 2 метра, были затоплены населенные пункты, произошел мощный смыв с прибрежной территории.

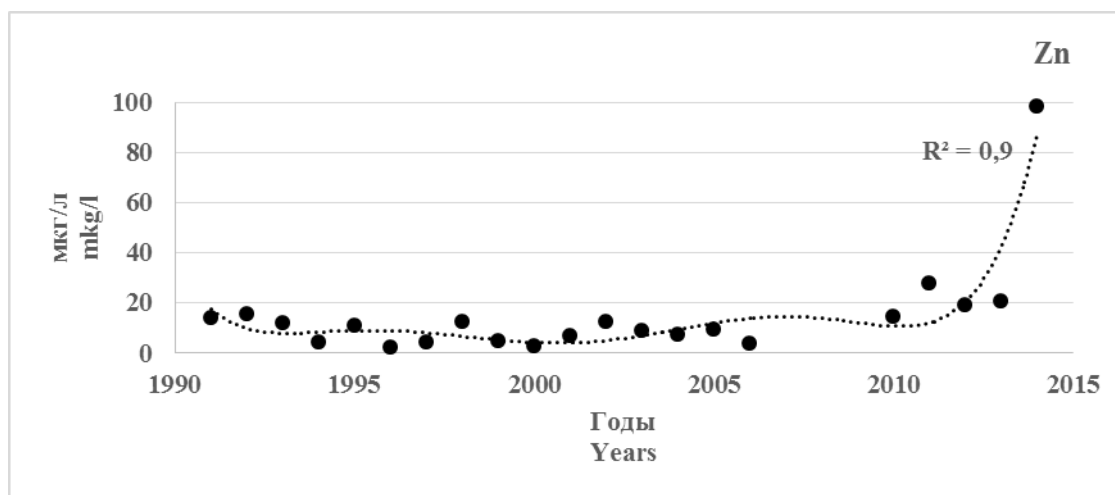


Рис.5. Концентрация Zn в воде Азовского моря в 1986-2014 гг.
Fig.5. The concentration of Zn in the water of the Azov Sea during 1986-2014

Ртуть. Ртуть является наиболее токсичным элементом для рыбохозяйственных водоемов, в связи, с чем на нее установлен довольно жесткий норматив ПДК – 0,1 мкг/л.

Фоновое содержание растворенной ртути в морской воде не превышает 0,03 мкг/л. Установлено, что между концентрацией ртути в природных средах и её накоплением в рыбе существует положительная корреляция. Особую опасность ртуть представляет для икры [8].

Наиболее мощными антропогенными источниками поступления ртути в

окружающую среду являются отходы металлургической, электронной и атомной промышленности, сточные воды производств синтетических полимеров.

Максимальная среднегодовая концентрация ртути в воде Азовского моря в период 1986-2010 гг. была зафиксирована в 1987 г. и составила 0,74 мкг/л (7,4 ПДК), минимальная – 0,09 мкг/л в 2009 г. Среднее значение за период 1986-2010 гг. составляет 0,26 мкг/л (2,6 ПДК). Динамика среднегодовой концентрации ртути представлена на рисунке 6.

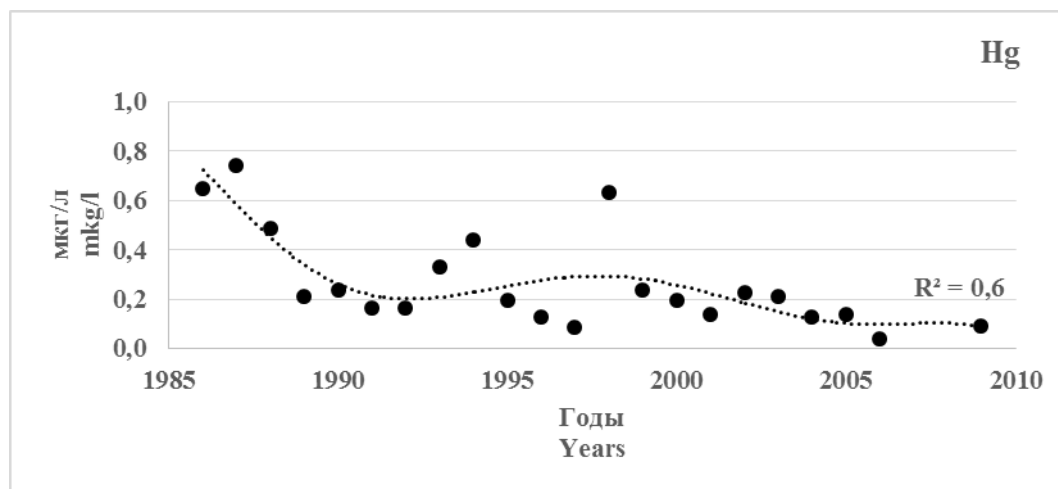


Рис.6. Концентрация Hg в воде Азовского моря в 1986-2010 гг.
Fig.6. Concentrations of Hg in the waters of Azov Sea during 1986-2010

Для установления сезонных трендов концентрации по каждому тяжелому металлу были пересчитаны в относительные единицы по отношению к максимальному их значению.

Было получено, что средняя относительная концентрация свинца в воде собственно Азовского моря для весны составляет $0,65 \pm 0,3$. Сезонного различия относительных концентраций Pb для лета и осени не обнаружено: $0,76 \pm 0,3$ и $0,76 \pm 0,3$, соответственно. Также не обнаружено сезонного различия концентраций свинца в воде Таганрогского залива: средняя относительная концентрация для весны составляет $0,7 \pm 0,3$, для лета $0,72 \pm 0,3$ и для осени $0,71 \pm 0,3$.

Средние относительные концентрации кадмия в воде собственно Азовского моря показали более высокий уровень загрязнения весной ($0,77 \pm 0,4$), с последующим понижением летом ($0,75 \pm 0,2$) и осенью ($0,68 \pm 0,3$). В водах Таганрогского залива сезонного различия концентраций кадмия не обнаружено. Средняя относительная концентрация для весны составляет $0,7 \pm 0,3$, для лета $0,77 \pm 0,2$ и для осени $0,74 \pm 0,3$.

Средние относительные концентрации меди в воде собственно Азовского

моря показали более высокий уровень загрязнения осенью ($0,8 \pm 0,3$), наименьший летом – $0,5 \pm 0,35$. Весной средняя относительная концентрация составила $0,72 \pm 0,3$. Средние относительные концентрации меди в воде Таганрогского залива показали более высокий уровень загрязнения весной ($0,8 \pm 0,3$), с последующим снижением: $0,75 \pm 0,2$ – летом и $0,7 \pm 0,3$ – осенью.

Максимальное значение средней относительной концентрации цинка в воде собственно Азовского моря и Таганрогского залива наблюдалось осенью и составило $0,8 \pm 0,3$, весной и летом различий в относительных концентрациях не наблюдалось ($0,62 \pm 0,3$ и $0,63 \pm 0,3$, соответственно).

Средние относительные концентрации ртути в воде собственно Азовского моря показали более высокий уровень загрязнения осенью – $0,8 \pm 0,2$. Весной средняя относительная концентрация составила $0,7 \pm 0,3$. Летом наблюдалось наименьшее значение – $0,6 \pm 0,3$. Максимальные относительные концентрации ртути в воде Таганрогского залива показали более высокий уровень загрязнения весной ($0,8 \pm 0,3$).



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа результатов многолетних экспедиционных наблюдений и литературных данных проведена оценка загрязнения воды Азовского моря свинцом, кадмием, медью, цинком и ртутью.

Наиболее неблагоприятный, с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами, период приходится на годы активной хозяйственной деятельности – 1986-1990 гг. В современный период (2010-2014 гг.), также отмечается увеличение концентраций исследуемых тяжелых металлов за счет роста хозяйственной дея-

тельности в Южном регионе России и интенсивности судоходства.

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

Acknowledgment: The research has been carried out with the help of data provided by the FSBI Center for Information and Research on water use and monitoring of the Sea of Azov (city of Taganrog).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Термердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар. Изд-во ООО «Промсвещение-Юг». 2007. 324с.
2. Савинова Т.Н. Химическое загрязнение северных морей. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН, ММБИ, 1990. 146 с.
3. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей северо-европейского бассейна (проект программы «Исследования природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»). Апатиты. Изд-во КНЦ РАН. 2004. Вып.1. 557 с.
4. Вишневецкий В.Ю., Попружный А.М. Оценка содержания меди в воде и донных отложениях Азовского моря // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. Т.110. N 9. С.117-121.
5. Вишневецкий В.Ю., Ледяева В.С. Экспериментальные исследования динамики концентрации тяжелых металлов в поверхностном слое воды в Таганрогском заливе // Инженерный вестник Дона. 2012. Т.22. N4-1. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1140> (дата обращения: 07.07.2015).
6. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения / Приказ Росрыболовства N 20 от 18.01.2010.
7. Сейсума З.К. Комбинированное влияние тяжелых металлов на морской зоопланктон в эксперименте *insitu* // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. Вып. 3. С. 54-62.

REFERENCES

1. 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, Education-South Publ., 2007, 324 p. (In Russian)
2. Savinova T.N. *Chimicheskoe zagryaznenie severnih morei* [Chemical pollution of the northern seas]. Apatity, RAS, MMBI Publ., 1990, 146 p. (In Russian)
3. *Kompleksnie issledovaniya prozessov, harakteristik i resursov rossiiskih morei severo-evropeiskogo basseina (proekt programmi «Issledovaniya prirodi Mirovogo okeana») federalnoi zelevoi programmi «Mirovoi ocean»* [Integrated studies of the processes, characteristics and resources of Russian seas North-European (draft programme «Studies the nature of the oceans») federal program «Oceans»]. Apatity, RAS, MMBI Publ., 2004, iss. 1, 557 p. (In Russian)
4. Vishnevetsky V.Yu., Popruznyj A.M. Assessment of copper in water and sediment of the Sea of Azov. *Izvestia Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of South Federal Univ.. Technical science]. 2010, no. 9, vol. 110, pp. 117-121. (In Russian)
5. Vishnevetsky V.Yu., Ledyeva V.S. Experimental studies of the dynamics of the concentration of heavy metals in surface water in the Taganrog Bay. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. 2012, vol. 22, N4-1. (In Russian) Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1140>. (accessed 07.07.2015)
6. Water quality standards of water objects of the fisheries value. Rosrybolovstva Order. no. 20 from 18.01.2010. (In Russian)
7. Sejsuma Z.K. *Kombinirovannoe vliyanie tyazhelih metallov na morskoi zooplankton v eksperimente insitu* [The combined impact of heavy metals on marine zooplankton in situ experiment]. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoi sredy* [Problems of back-



8. Мур Д., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 288 с.

ground monitoring of the State of the environment]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, no. 3, pp. 54-62.

8. Mur D., Ramamurty S. *Tyazhelie metallic v prirodnykh vodakh: kontrol i ozenka vliyaniya* [Heavy metals in natural waters: monitoring and evaluation of impact]. Moscow, Mir Publ., 1987, 288 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Марина В. Буфетова - кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, ул. Миклухо-Маклая, 23, Москва, 117485 Россия.
Тел. +7(495) 433-62-44
e-mail: mbufetova@mail.ru

Критерии авторства

Марина В. Буфетова провела сбор, обработку и анализ фактического и литературного материала, написала рукопись и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 04.08.2015

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Marina V. Bufetova - Cand. Sc. (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Nature Management, Russian State Sergo Ordzhonikidze University of Geological Prospecting.
23, Miklukho Maklai st., Moscow, 117485 Russia.
Tel.: +7(495) 433-62-44
e-mail: mbufetova@mail.ru

Contribution

Marina V. Bufetova carried out the collection and analysis of actual and literary material. The author of manuscript and is responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 04.08.2015