

district Astrakhan region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of modern science], 2004, no. 2, pp. 127.

15. Fedorova A. I., Nikolskaya A. N. Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchey sredy [Workshop on Ecology and the Environment]. Moscow, VLADOS, 2001, pp. 238–240.

16. Shcherbakova N. S., Loktionova Ye. G. Sovremennye problemy i resheniya po otsenke kachestva zhizni naseleniya [Modern problems and solutions for assessing the quality of life]. Astrakhan, Astrakhan university, 2009, 353 p.

17. Shcherbakova N. S., Loktionova Ye. G., Lartseva L. V. Otsenka kachestva zhizni naseleniya del'tovogo rayona Astrakhanskoj oblasti [Quality of life of the population as-delta areas trahanskoy area]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 1, pp. 146–157.

ГЕОЭКОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Алыкков Нариман Мирзаевич, профессор, доктор химических наук

Астраханский государственный университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
E-mail: alikovnm@rambler.ru

Чуйко Елена Вячеславовна, инженер-химик

ФБУ «СевКасптехмордирекция»
414018, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. 4-я Дорожная, 106
E-mail: chev@inbox.ru

Курочкина Татьяна Федоровна, профессор, доктор биологических наук

Астраханский государственный университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
E-mail: geologi2007@yandex.ru

Попова Ольга Владимировна, старший научный сотрудник

ФГУП «КаспНИРХ»,
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1
E-mail: geologi2007@yandex.ru

Маркова Оксана Святославовна, доцент, кандидат биологических наук

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Университетская
Набережная, 7–9
E-mail: geologi2007@yandex.ru

Представлены результаты анализа многолетней изменчивости содержания меди, свинца, цинка и никеля в воде, донных отложениях и ихтиофауне западной части Северного Каспия. Отмечено, что основная доля металлов переносится в составе взвешенных веществ. Исключение составляет цинк, транспортирующийся преимущественно в растворенном состоянии. Выявлена сезонная изменчивость растворенной и взвешенной форм миграции металлов, проявляющаяся в увеличении доли доминирующей формы. Максимальная доля растворенной формы цинка была зарегистрирована в 2002 г., составив в среднем 68,2 %. Доля меди, транспортирующейся в составе взвешенных частиц, изменялась в диапазоне от 73,8 до 90,7 % при среднем

значении 70,7 %. Наибольшая доля растворенных форм этого элемента в поверхностных водах исследуемой акватории была зафиксирована в июле-августе 2006 г. – 36,2 %. Доля взвешенных форм свинца в течение всего периода исследований изменялась в среднем в диапазоне от 52,4 до 77,0 %. К наиболее опасным периодам доминирования растворенной формы над взвешенной можно отнести сентябрь 2002 г. и июль-август 2009 г., когда доли металла в растворе превышали 50 %. В период с 2002 по 2009 гг. наблюдалось возрастание концентраций цинка, никеля и свинца, мигрирующих как в растворенном, так и во взвешенном состояниях. В донных отложениях также отмечено возрастание содержания никеля и свинца. Выявлена тесная положительная связь между содержанием никеля в растворе и донных отложениях со смещением в год. В мышцах и внутренних органах воблы, кильки и бычковых за аналогичный период выявлено снижение или стабилизация содержания меди, цинка, никеля и возрастание свинца. В 2009 г. на фоне повышенных концентраций свинца в воде и донных отложениях зафиксировано высокое содержание этого элемента в мышечной ткани воблы, свидетельствующее о хроническом характере загрязнения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, Северный Каспий, многолетняя динамика, растворенные формы, взвешенные формы, донные отложения, гидробионты, содержание, предельно допустимая концентрация

GEO-ECOLOGY OF HEAVY METALS IN VARIOUS WATER ECOSYSTEMS LOCATED IN THE NORTHERN SECTOR OF THE CASPIAN SEA

Alykov Nariman M.

Professor, D. Sc in Chemical
Astrakhan State University
20a Tatishchev st., Astrakhan, Russian Federation, 414056
E-mail: alikovnm@rambler.ru

Chuyko Yelena V.

Engineer
FBI "SevKasptekhmordirektsiya"
106 Dorozhnaya st., Astrakhan, Russian Federation, 414018
E-mail: chev@inbox.ru;

Kurochkina Tatyana F.

Professor, D.Sc. in Biology
Astrakhan State University
20a Tatishchev st., Astrakhan, Russian Federation, 414056
E-mail: geologi2007@yandex.ru

Popova Olga V.

Research assistant
FGUP «KaspNIRH»
1 Savushkin st., Astrakhan, Russian Federation, 414056
E-mail: geologi2007@yandex.ru

Markova Oksana S.

Associate Professor, C.Sc. in Biology
7–9 Universitetskaya naberezhnaya, St. Petersburg, Russian Federation, 199034
E-mail: geologi2007@yandex.ru

The article presents an analysis about the long-range variability of heavy metals (including copper, lead, zinc and nickel) in the water, sediment and fish fauna in the western part of the Northern Caspian Sea. It adds that most of the metals were transferred in a suspended solid state. The exception, the critique relates, is zinc, which was transferred principally in a dissolved condition. At this stage, the paper states that the metal migration underwent seasonal variations as to the dominant form. The maximum percentage of dissolved zinc forms was incorporated in 2002, having an average of 68.2 %. By contrast, the percentage of suspended copper particles in dissolved form varied from 73.8 % to 90.7 %, with an average of 70.7 %. The shared weighted forms of lead, for their part, averaged from 52.4 % to 77.0 % throughout the assessment period. Subsequently, the document stated that the most significant dissolved-weighted-form periods occurred in September 2002 and July-August 2009, with the metal proportion in the solution exceeding 50 %. The study also noted an increase in the percentage of nickel and lead in the bottom sediments. There is also a close positive correlation between the nickel content in the solution and in the annual sediment offset. In conclusion, the blueprint related that additional heavy metal trials and analyses were performed in the muscles of small fish (roaches, sprats and gobies), assessing the absorbed metal content (and indicating the potential chronic nature of contamination).

Keywords: heavy metals, Northern Caspian Sea, long-standing dynamics, dissolved and weighted forms, bottom deposits, hydrobionts, content, maximum permissible concentration

К числу наиболее распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ Северного Каспия относятся тяжелые металлы (ТМ), которые по приоритетности занимают второе место после нефтяных углеводородов [8, 10]. В отличие от органических загрязняющих веществ, подверженных деструкции, ТМ лишь перераспределяются между отдельными компонентами водных экосистем – водой, донными отложениями (ДО), биотой [5].

Токсические свойства металлов определяются, прежде всего, формой нахождения их в водоеме. Отмечено [5, 9, 11], что наибольшую опасность для гидробионтов представляют акваионы, способные проникать через клеточную мембрану и накапливаться в тканях и внутренних органах рыб, вызывая токсические эффекты. Изучение содержания взвешенной формы миграции металлов необходимо с целью определения источников вторичного загрязнения водной среды [12]. С этих же позиций следует рассматривать ТМ, депонируемые донными отложениями, особенно их водорастворимую часть, которая хотя и мала по сравнению с валовым содержанием, но также является потенциальным источником вторичного загрязнения водоема [1].

Проблема загрязнения вод Северного Каспия играет важную роль в формировании биологической продуктивности этой части моря и создает необходимость комплексного подхода к изучению процессов накопления ТМ в компонентах экосистемы.

Цель данной работы состояла в изучении накопления некоторых тяжелых металлов (медь, свинец, цинк и никель) водной средой, донными отложениями и ихтиофауной западной части Северного Каспия.

Указанные металлы были выбраны как одни из наиболее токсичных для водных организмов. Ряд токсичности для выбранных металлов можно представить как $Cu > Pb > Zn > Ni$ [14].

Данные по многолетнему содержанию ТМ в воде, донных отложениях и гидробионтах были получены в результате мониторинговых работ, ежегодно проводимых ФГУП «КаспНИРХ» в Северном Каспии. Образцы проб отбирались по стандартной сетке станций, расположенной в западной части Северного Каспия в период с 2002 по 2009 гг. Пробы воды и донных отложений отбирались согласно установленным стандартам [2, 3]. Образцы проб ихтио-

фауны были взяты на тех же станциях, что воды и ДО из 15 футового трала. Содержание растворенных форм тяжелых металлов в воде, подвижных форм ТМ в донных отложениях, а также ТМ в тканях гидробионтов определяли методом атомной абсорбции на спектрофотометре ААС – 855 фирмы Yanako, во взвеси – на рентгенфлуорисцентном спектрометре RIGAKU RIX 2000, с помощью калибровочных графиков, построенных по стандартным концентрациям индивидуальных химических элементов.

Западная часть Северного Каспия – это огромное водное пространство с глубинами, не превышающими 10 м, испытывающее непосредственное влияние рек Волга, Терек и Сулак. Полноводные в течение всего года реки приносят в море не только много пресной воды и обломочных частиц, но и органическое вещество, соединения фосфора и азота. Осаждаясь в мелководных акваториях, интенсивно прогреваемых и вентилируемых волнениями, органика, азот и фосфор обеспечивают Северному Каспию уникальную биопродуктивность на фоне низкой солености [9].

Анализ многолетней динамики содержания растворенной и взвешенной форм изучаемых металлов в поверхностных водах Северного Каспия показал, что основная доля Cu, Pb и Ni переносится в составе взвешенных частиц. Цинк мигрирует преимущественно в наиболее токсичном – растворенном состоянии (табл.).

Таблица

Динамика соотношения растворенной и взвешенной форм ТМ в западной части Северного Каспия

	2002		2003		2004		2006		2009	
	ионная	взв.	ионная	взв.	ионная	взв.	ионная	взв.	ионная	взв.
Zn	68,2	31,8	59,3	40,7	54,6	45,4	51,6	48,4	59,3	40,7
Cu	22,5	77,5	20,4	79,6	23,1	76,9	26,2	73,8	9,3	90,7
Pb	47,6	52,4	31,9	68,1	30,6	69,4	23,0	77,0	43,8	56,2
Ni	-	-	-	-	-	-	32,7	67,3	7,5	92,5

Максимальная доля растворенной формы цинка была зарегистрирована в 2002 г. (68,2 %). Доля меди, транспортирующейся, в основном, в составе взвешенных частиц, изменялась в диапазоне от 73,8 до 90,7 % при среднем значении 70,7 %. Наибольшая доля растворенных форм этого элемента в поверхностных водах исследуемой акватории была зафиксирована в июле-августе 2006 г. – 36,2 %. Доля взвешенных форм свинца в течение всего периода исследований изменялась в среднем в диапазоне от 52,4 до 77,0 %. К наиболее опасным периодам доминирования растворенной формы над взвешенной можно отнести сентябрь 2002 г. и июль-август 2009 г., когда доля ионных форм металла была свыше 50 %. Наибольшая доля ионных форм никеля была зафиксирована в июне 2006 г. и составила 56,5 %.

Выявлена сезонная изменчивость растворенной и взвешенной форм миграции металлов, проявляющаяся в увеличение доли доминирующей формы. Так, для цинка, мигрирующего в ионном состоянии, и для меди, свинца и никеля, переносимых преимущественно во взвеси, в осенний период отмечалось возрастание доли растворенной (Zn) и взвешенных форм (Cu, Pb, Ni) соответственно.

При анализе линейных трендов многолетней изменчивости содержания ионных форм исследуемых ТМ в северо-каспийских водах было отмечено возрастание концентраций Zn, Ni, Pb и снижение Cu (рис. 1). Превышений ПДК

по среднегодовым величинам исследуемых элементов за рассматриваемый период не наблюдалось [8]. В 2009 г. было зафиксировано возрастание уровня содержания цинка до максимального значения (0,86 ПДК), свинца и никеля в 1,2 и 1,4 раза соответственно, относительно среднемноголетних показателей.

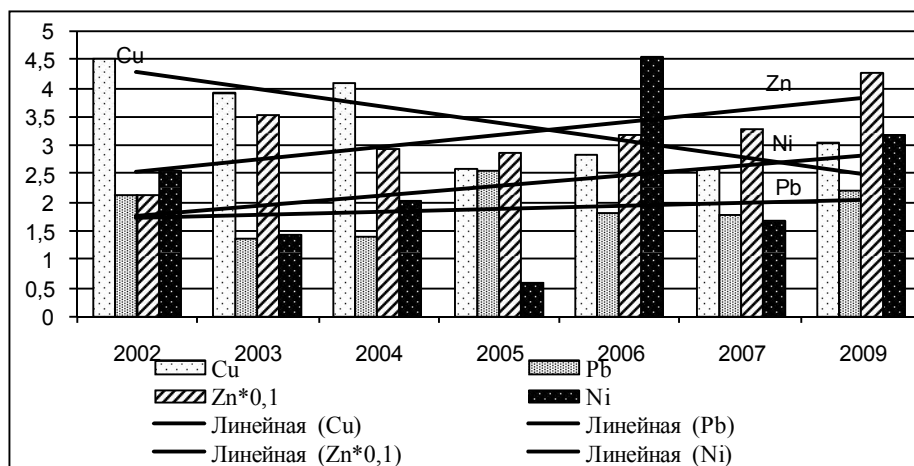


Рис. 1. Многолетняя динамика содержания ионных форм ТМ в северо-каспийских водах, мкг/л

Линейные тренды взвешенных форм рассматриваемых металлов также возрастали, в том числе и меди (рис. 2), содержание которой находилось в обратной зависимости от содержания ее растворенной формы ($k=-0,657$). Так, максимальная среднегодовая концентрация взвешенной формы меди была зарегистрирована в 2007 г., в то время как для растворенной формы этого элемента отмечалось значение близкое к минимуму (0,5 ПДК).

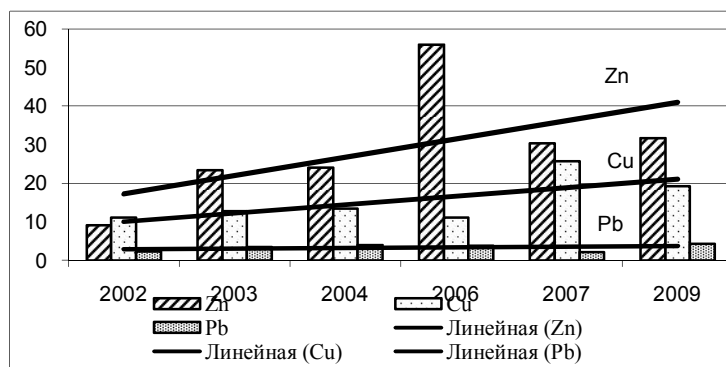


Рис. 2. Многолетняя динамика содержания взвешенных форм ТМ в северо-каспийских водах, мкг/л

В 2009 г., аналогично динамике растворенных форм ТМ, отмечалось возрастание концентраций металлов, транспортируемых на взвешенных частицах, относительно среднемноголетних величин в 1,2 раза для цинка и свинца, в 1,7 раза для никеля. Среднее содержание меди во взвеси снизилось в 1,3 раза.

В донных отложениях многолетняя динамика содержания ТМ характеризовалась возрастанием для свинца и никеля и стабилизацией для меди и цинка (рис. 3). Наиболее выраженное превышение среднемноголетней концен-

трации было отмечено для никеля в 2007 г. (в 2,6 раза), что могло быть обусловлено повышенным содержанием этого элемента в воде в 2006 г., когда количество металла превышало средний показатель в 2,0 раза.

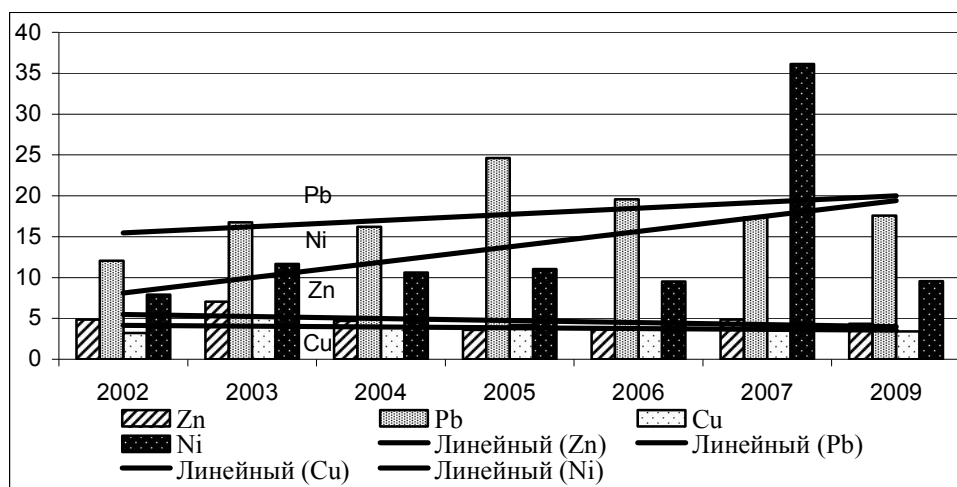


Рис. 3. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях Северного Каспия

Следует отметить, что проведенный статистический анализ между содержанием растворенных форм ТМ и подвижных форм металлов в донных отложениях выявил тесные положительные связи для никеля ($k=0,90685$) и меди ($k=0,87138$) со смещением в год (2002–2007 гг. – период для воды, 2003–2009 гг. – период для ДО). Выявленные связи могут свидетельствовать о доминировании процессов седиментации для этих элементов. Для цинка и свинца аналогичные зависимости были отрицательными ($k=-0,64322$ и $k=-0,74349$), что, вероятно, является особенностью поведения этих металлов, а также может быть обусловлено влиянием гидрохимических параметров водной среды, изменение которых способствует осаждению этих ТМ или их растворению.

Из разнообразия ихтиофауны Каспийского моря для исследования аккумуляции тканями и внутренними органами тяжелых металлов нами были выбраны Каспийские бычковые, имеющие ограниченный ареал обитания и являющиеся индикаторами загрязнения водоема, и вобла, относящаяся также к донным, но полупроходным видам рыб. Из пелагических рыб для анализа была выбрана Каспийская обыкновенная килька, как наиболее массовый и промысловый вид.

Многолетняя динамика содержания металлов в тканях каспийских бычковых характеризовалась тенденцией к снижению для цинка, стабилизацией для меди и никеля и возрастанием для свинца (рис. 4). Следует отметить, что концентрации свинца в тканях этого вида рыб стабильно превышали допустимую остаточную концентрацию (ДОК). Так, среднемноголетняя величина составила 2,6 ДОК. Наименьшая концентрация была зарегистрирована в 2004 г. (1,2 ДОК), наибольшая – в 2009 г. (6,8 ДОК).

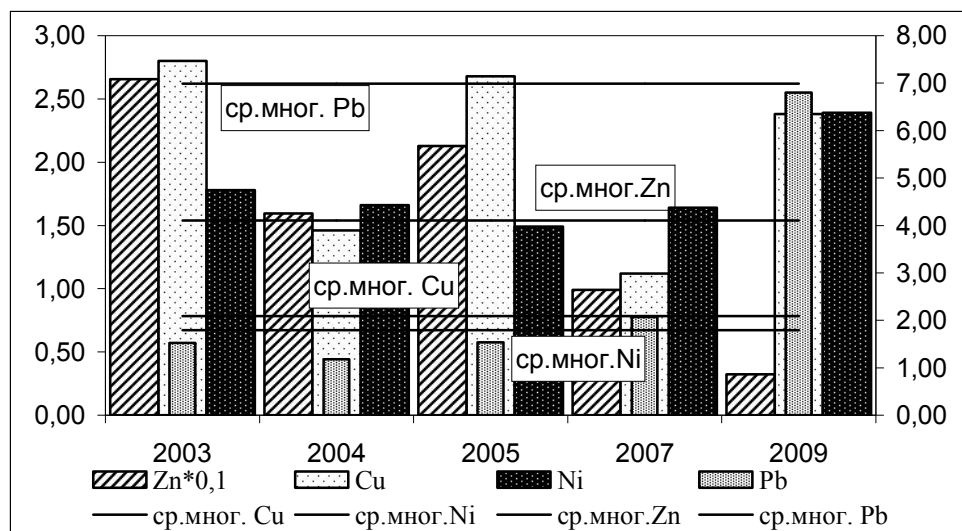


Рис. 4. Многолетняя динамика содержания металлов в каспийских бычковых, мг/кг. сыр. веса

Аналогичная картина распределения металлов прослеживалась и для кильки. На фоне снижения и стабилизации показателей по меди и цинку соответственно, в 2009 г. наблюдалось незначительное возрастание содержания никеля и значимое (6,6 ДОК) свинца.

В воле анализировались как внутренние органы, так и мышечные ткани. Многолетняя динамика изучаемых ТМ как во внутренних органах, так и в мышцах воibly, отобранной в Северном Каспии, была схожа с распределением металлов в бычковых и кильке. В 2009 г. в этом виде рыб превышение ДОК по свинцу составило 7,4 для мышечных тканей и 7,3 для внутренних органов. Концентрации меди, цинка и никеля во внутренних органах воibly превышали таковые в мышцах в среднем в 1,7–2,8 раза. Уровень накопления свинца в органах рыб по данным авторов [4, 6] обычно также выше, чем в мышцах. В наших исследованиях подобный характер распределения сохранялся до 2007 г. Свинец обладает способностью к аккумуляции и имеет чрезвычайно длительный период полувыведения. Изменение в соотношении концентраций свинца в мышцах и органах, произошедшее в 2009 г., может свидетельствовать о хроническом загрязнении ихтиофауны этим токсичным элементом.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- основная доля металлов, за исключением цинка, в водах Северного Каспия мигрирует в составе взвешенного вещества;
- наблюдается возрастание взвешенных форм цинка, доля которых в 2007 г. составляет свыше 50 %;
- как для растворенной, так и для взвешенной форм цинка, свинца и никеля отмечалось возрастание концентраций в период с 2002 по 2009 гг.;
- содержание ионов меди в северо-каспийских водах находилось в обратной зависимости от ее взвешенных форм;
- в результате проведенного анализа были выявлены тесные положительные и отрицательные зависимости между концентрациями металлов в воде и донных отложениях;

– анализ содержания рассматриваемых металлов в тканях и внутренних органах гидробионтов, отобранных в западной части Северного Каспия выявил общую закономерность для всех изучаемых видов рыб – рост концентраций свинца.

Список литературы

1. Бреховских В. Ф. Тяжелые металлы в донных отложениях Верхней и Нижней Волги / В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, Д. Н. Катунин, В. Д. Казмирук, Т. Н. Казмирук, Е. В. Островская // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29. – № 5. – С. 587–595.
2. ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия.
3. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
4. Катунин Д. Н. Эколого-токсикологическая характеристика Волго-Каспийского бассейна / Д. Н. Катунин, С. Н. Егоров, О. Н. Рылина, О. В. Попова, Н. В. Карыгина, А. А. Теркулова, Е. В. Чуйко, Л. П. Кобзева, Э. С. Попова // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: результаты НИР за 2003 г. – Астрахань : КаспНИРХ, 2004. – С. 44–56.
5. Линник П. Н. Формы нахождения тяжелых металлов в природных водах – составная часть эколого-токсикологической характеристики водных экосистем / П. Н. Линник // Водные ресурсы. – 1987. – № 5. – С. 84–96.
6. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / Мур Дж., Рамамурти С. – Москва : Мир, 1987. – 288 с.
7. Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1991. – 311 с.
8. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – Москва : ВНИРО, 1999. – 304 с.
9. Попова О. В. Многолетнее изменение содержания тяжелых металлов в поверхностных водах Северного Каспия и факторы их определяющие / О. В. Попова, Е. В. Чуйко // Тезисы Междунар. конф. – Борок : ИБВВ РАН, 2005. – С. 110.
10. Хрусталеv Ю. П. Лавинная седиментация в южных морях / Ю. П. Хрусталеv // Природа. – 1988. – № 9. – С. 31–33.
11. Чуйко Е. В. Распределение взвешенных форм микроэлементов по акватории Северного Каспия в паводковый период / Е. В. Чуйко // Труды 3-й Междунар. конф. молодых ученых и студентов. – Самара, 2006. – 320 с.
12. Luoma S. N. Bioavailability of trace metals to aquatic organisms – a review / S. N. Luoma // Sci. Total Environ. – 1983. – Vol. 28. – no. 1. – P. 1–22.
13. Morel A. Principles of Aquatic Chemistry / A. Morel. – N. Y. : Wiley Intersci., 1983. – P. 85–88.
14. O'Donnel J. R. Bioavailability of trace metals in natural water / J. R. O'Donnel, B. M. Kaplan, H. E. Allen // Aquat. Toxicol. and Hazard Assessment : 7th Symp. – Philadelphia, 1985. – P. 485–500.
15. Sposito G. Trace metals in contaminated waters / G. Sposito // Environ. Sci. Technol. 15. – 1981. – P. 396–403.

References

1. Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Katunin D. N., Kazmiruk V. D., Kazmiruk T. N., Ostrovskaya Ye. V. Tyazhelye metally v donnykh otlozheniyakh Verkhney i Nizhney Volgi [Heavy metals in sediments of the upper and of the lower Volga]. *Vodnye resursy* [Water], 2002, Vol. 29, no. 5, pp. 587–595.

2. GOST 17.1.5.04-81 Okhrana prirody. Gidrosfera. Pribory i ustroystva dlya otbora, pervichnoy obrabotki i khraneniya prob prirodnykh vod. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Standard 17.1.5.04-81 protection. Hydrosphere. Instruments and apparatus for selecting, primary processing and storage of samples of natural waters. Specifications.].
3. GOST 17.1.5.01-80 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otbo-ru prob donnykh otlozheniy vodnykh obektov dlya analiza na zagryaznennost [Standard 17.1.5.01-80 protection. Hydrosphere. General requirements for the TBTO-ru bottom sediment samples for analysis of water bodies to pollute.].
4. Katunin D. N., Yegorov S. N., Rylina O. N., Popova O. V., Karygina N. V., Terkulova A. A., Chuyko Ye. V., Kobzeva L. P., Popova E. S. Ekologo-toksikologicheskaya kharakteristika Volgo-Kaspiyskogo basseyna [Ecological and toxicological properties of the Volga-Caspian Basin]. *Rybokhozyaystvennyye issledovaniya na Kaspii : rezultaty NIR za 2003* [Fisheries research in the Caspian: the results of research for 2003], Astrakhan, KaspNIRKh, 2004, pp. 44–56.
5. Linnik P. N. Formy nakhozhdeniya tyazhelykh metallov v prirodnykh vodakh – sostavnaya chast ekologo-toksikologicheskoy kharakteristiki vodnykh ekosistem [Forms of occurrence of heavy metals in natural waters - a component of eco-toxicological characteristics of aquatic ecosystems]. *Vodnye resursy* [Water], 1987, no. 5, pp. 84–96.
6. Mur Dzh., Ramamurti S. Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh: kontrol i otsenka vliyaniya [Heavy metals in natural waters: Monitoring and evaluation of impact]. Moscow, Mir, 1987, 288 p.
7. Nikanorov A. M., Zhulidov A. V. Biomonitring metallov v presnykh ekosistemakh [Biomonitoring of metals in freshwater ecosystems]. Leningrad, Gidrometioizdat, 1991, 311p.
8. Perechen rybokhozyaystvennykh normativov: predelno dopustimyykh kontsen-tratsiy (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh obektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoe znachenie [The list of fishery regulations: maximum permissible concentrations (MPC) and the occupational exposure limits (OEL) for hazardous substances in water bodies of water having fishery value]. Moscow, VNIRO, 1999, 304 p.
9. Popova O. V., Chuyko Ye. V. Mnogoletnee izmenenie sodержaniya tyazhelykh metallov v poverkhnostnykh vodakh Severnogo Kaspiya i faktory ikh opredelyayushchie [Long-term changes of heavy metals in the surface waters of the Caspian Sea and their determining factors]. Borok, IBVV RAN, 2005, pp. 110.
10. Khrustalev Yu. P. Lavinnaya sedimentatsiya v yuzhnykh moryakh [Avalanche sedimentation in the South Seas]. *Priroda* [Nature], 1988, no. 9, pp. 31–33.
11. Chuyko Ye. V. Raspredelenie vzveshennykh form mikroelementov po akvatorii Severnogo Kaspiya v pavodkovyy period [Distribution of suspended forms of trace elements on the Northern Caspian in the flood period]. Samara, 2006, 320 p.
12. Luoma S. N. Bioavailability of trace metals to aquatic organisms – a review [Bioavailability of trace metals to aquatic organisms - a review]. *Sci. Total Environ*, 1983, Vol. 28, no. 1, pp. 1–22.
13. Morel A. Principles of Aquatic Chemistry. N. Y., Wiley Intersci., 1983, pp. 85–88.
14. O'Donnel J. R., Kaplan B. M., Allen H. E. Bioavailability of trace metals in natural water. *Aquat. Toxicol and Hazad Assessment*. Philadelphia, 1985, pp. 485–500.
15. Sposito G. Trace metals in contaminated waters. *Environ. Sci. Technol.* 15, 1981, pp. 396–403.