

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.24 (597.2/5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-138-143

Трансформация металлов в системе: грунт – пищевые цепи осетровых Каспийского моря

Владимир А. Чаплыгин¹ , Татьяна С. Ершова², Вячеслав Ф. Зайцев²

¹Волжско-Каспийский филиал ФГБУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

²Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Контактное лицо

Владимир А. Чаплыгин, лаборатория осетровых рыб Волжско-Каспийского филиала ФГБУ ВНИРО («КаспНИРХ»); 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1.

Тел. +79170869150

Email wladimirchap@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0509-702X>

Формат цитирования

Чаплыгин В.А., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Трансформация металлов в системе: грунт – пищевые цепи осетровых Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N3. С.138-143. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-138-143

Получена 26 февраля 2019 г.

Прошла рецензирование 12 апреля 2019 г.

Принята 25 апреля 2019 г.

Резюме

Цель. Выявление особенностей трансформации металлов в компонентах экосистемы северо-западной части Каспийского моря.

Материал и методы. Отбор проб осуществлялся по общепринятым методикам, определение тяжелых металлов производилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД.

Результаты. Миграция микроэлементов в трофических цепях изучаемых видов осетровых Каспийского моря имеет следующие особенности: хром, марганец и железо не аккумулируются по изучаемой трофической цепи. Накопление свинца и кобальта выше трофического уровня, занимаемого бентосными беспозвоночными, не происходило. Кадмий, никель и медь накапливались, прежде всего, бентосными организмами, при этом кадмий и никель аккумулировались в почках у обоих видов осетровых рыб, а медь накапливалась в печени русского и персидского осетров. Биоаккумуляция цинка происходит последовательно в звеньях: грунт – вода – беспозвоночными бентоса – рыбы бентофаги – почки, печень и мышцы русского и персидского осетров. Ртуть мигрирует по звеньям изучаемой пищевой цепи, коэффициенты накопления увеличиваются в системе: грунт – моллюск *Didacna* – рыбы бентофаги – печень, почки и мышцы русского и персидского осетров.

Заключение. Способность гидробионтов накапливать тяжелые металлы из воды зависит от свойств металла, его участия в биохимических процессах, видовых особенностей, биологического состояния и характера абиотических условий обитания.

Ключевые слова

Каспийское море, русский осетр, персидский осетр, микроэлементы, аккумуляция, трофические цепи.

Transference of metals in the soil-food chain system: of Caspian Sea sturgeons

Vladimir A. Chaplygin¹ , Tatiana S. Ershova², Viacheslav F. Zaitsev²

¹Volga-Caspian branch, All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography (Caspian Fisheries Research Institute), Astrakhan, Russia

²Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Principal contact

Vladimir A. Chaplygin, Sturgeon Fish Laboratory, Volga-Caspian branch, All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography; 1 Sawushkina St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79170869150

Email vladimirchap@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0509-702X>

How to cite this article

Chaplygin V.A., Ershova T.S., Zaitsev V.F. Transference of metals in the soil-food chain system: of Caspian Sea sturgeons. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 3, pp. 138-143. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-138-143

Received 26 February 2019

Revised 12 April 2019

Accepted 25 April 2019

Abstract

Aim. Identification of metal transference characteristics in components of the ecosystem of the north-western part of the Caspian Sea.

Material and Methods. Sampling was carried out according to generally accepted methods and the determination of heavy metals was carried out by atomic absorption spectroscopy using an atomic absorption spectrometer with electro-thermal atomization MGA-915 MD.

Results. In studying the migration of trace elements in the trophic chains of the Caspian Sea sturgeon species it was found that: (a) chromium, manganese and iron do not accumulate along the trophic chain researched; (b) accumulation of lead and cobalt above the trophic level occupied by benthic invertebrates did not occur; (c) cadmium, nickel and copper were accumulated primarily by benthic organisms, while cadmium and nickel accumulated in the kidneys of Russian and Persian sturgeons and copper accumulated in the liver of both species (d) bioaccumulation of zinc occurs sequentially in the links: soil-water-benthic invertebrates-benthophagous fish (in Russian and Persian sturgeons in their kidneys, liver and muscles) and (e) mercury migrates along the links of the food chain, accumulation coefficients increasing progressively in the system: soil-*Didacna* mollusc-benthophagous fish (in Russian and Persian sturgeons in their kidneys, liver and muscles).

Conclusion. The accumulation of heavy metals from water amongst aquatic organisms depends on the properties of the metal, its involvement in biochemical processes, species, biological status and the nature of abiotic living conditions.

Key Words

Caspian Sea, Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*), Persian sturgeon (*Acipenser persicus*), trace elements, accumulation, trophic chains.

ВВЕДЕНИЕ

Экосистема Каспийского моря функционирует под воздействием факторов, в ряде случаев приводящих к возникновению высокой экологической напряженности [1]. В группу приоритетных загрязняющих веществ, присутствующих в водах Каспийского моря входят такие металлы как марганец, никель, цинк, железо, кадмий, свинец, медь естественного происхождения, привнесенные в виде компонентов промышленных отходов с речным стоком, а также сопутствующие нефтедобыче [1-2]. Металлы, включаясь в биогеохимический цикл водной экосистемы, способны аккумулироваться в гидробионтах из различных экологических групп [1; 3-8]. Для бентосных организмов грунт является одним из основных источников микроэлементов. При этом зоо- и фитобентос, являясь важными звеньями в пищевых цепях водоемов, играют огромную роль в концентрации и биогенной миграции микроэлементов [5; 9] и являются одними из функциональных звеньев морских экосистем, через которые проходят потоки микроэлементов [5; 10]. Моллюски, ракообразные, различные виды бычков – важная составляющая часть экосистемы Каспийского моря, так как они служат кормом для таких ценных видов рыб как русский и персидский осетры [11; 12], поэтому, зная их элементный состав, можно оценить степень перехода тех или иных элементов в системе: грунт – пищевые цепи – русский и персидский осетры. В связи с этим вопросы миграции элементов в различных компонентах морских экосистем, в частности Каспийского моря являются актуальными, так как это позволяет оценить антропогенное влияние на биогеохимический фон.

Исследования, касающиеся выявления особенностей миграции элементов в системе «грунт – объекты питания – русский и персидский осетры», могут быть использованы в качестве региональных критериев при оценке состояния экосистемы Каспийского моря и представляют собой новое решение актуальных проблем рыбного хозяйства – поиска и адекватного использования биологических мониторов состояния среды Каспийского моря и организма животных. В связи с этим результаты исследований имеют большое значение в изучении экологии водных объектов Каспийского бассейна в условиях антропогенного загрязнения и могут служить основой для разработки природоохранных мероприятий.

Цель работы заключалась в выявлении особенностей трансформации металлов в компонентах экосистемы северо-западной части Каспийского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы проб гидробионтов Каспийского моря были получены в результате экспедиций ФГБНУ «КаспНИРХ» в период с 2013 по 2018 гг.

Определение ртути в гидробионтах выполняли на атомно-абсорбционном спектрометре РА-915+ с приставкой РП-91С. Определение остальных металлов производили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД. Концентрацию ртути выражали в мг/кг сырого веса, остальных изученных элементов выражали в мг/кг сухого веса. Полученные результаты подвергали статисти-

стической обработке.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение накопления элементов в гидробионтах – кормовых объектов русского и персидского осетров позволило выявить организмы – накопители определенных элементов [7; 8]. Так, например, накопителем железа среди всех исследованных организмов являлись рачки рода *Gammarius* (747,64 мг/кг сухого вещества), при этом гаммарусы по сравнению с другими изученными организмами отличались наименьшим содержанием ртути (0,001 мг/кг сырого веса). Концентраторами меди являлись креветки *Palaemon adspersus* (103,57 мг/кг сухого вещества), кобальта и марганца – крабы *Rhithropanopeus harrisi* (52,39 и 73,85 мг/кг сухого вещества), цинка – вобла *Rutilus caspicus* (189,7 мг/кг сухого вещества). Больше всего хрома выявлено у моллюсков митилястеров (16,46 мг/кг сухого вещества) и несколько ниже у всех изученных видов ракообразных (балабусов, гаммарусов и крабов). Аккумуляторами ртути являлись все исследованные бентосные рыбы (вобла *Rutilus caspicus* и исследованные виды бычков: бычок хвалынский *Neogobius caspius*, бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* и бычок-пуголовка *Benthophilus macrocephalus*). В то же время среди рыб семейства бычковые (*Gobiidae*) бычок-пуголовка (*Benthophilus macrocephalus*) аккумулирует свинец и медь в большей степени [13]. При этом стоит отметить, что исследованные бентосные рыбы (вобла и бычки сем. *Gobiidae*) аккумулировали свинец, никель и кадмий в меньшей степени, чем беспозвоночные этой экологической группы.

Таким образом, показано, что среди всех исследованных видов бентосных организмов рачок балабус *Balanus improvisus* является накопителем большинства элементов (свинец, кадмий, кобальт, марганец и хром). Среди рыб семейства бычковые стоит выделить бычка-пуголовку, который аккумулирует металлы в большей степени. Организмом-концентрактором кадмия и никеля является моллюск дидакна *Didacna* (3,02 и 60,0 мг/кг сухой массы) [8].

Судя по рассчитанным коэффициентам концентрации (рис. 1), свинец и кобальт выше трофического уровня, занимаемого бентосными беспозвоночными, не поднимались [14].

Также кадмий, никель и медь накапливались, прежде всего, бентосными организмами [7], и два первых элемента аккумулировались в почках у обоих видов осетровых рыб, причем в почках русского осетра это происходило в большей мере. Медь накапливалась в печени русского и персидского осетров (коэффициенты концентраций 1,05 и 1,34). При этом в печени персидского осетра эти значения выше.

Выявлено, что хром, марганец и железо не аккумулируются по трофической цепи экосистемы Каспийского моря.

Биоаккумуляция цинка происходит последовательно в звеньях: грунт – вода – беспозвоночными бентоса – рыбы бентофаги – почки, печень и мышцы русского и персидского осетров.

Коэффициент концентрации ртути был рассчитан по моллюску Дидакна, так как среди беспозвоночных он, являясь его макроконцентрактором, преоблада-

ет в пищевом комке исследованных осетровых видов рыб [8]. Ртуть мигрирует по звеньям пищевой цепи, коэффициенты накопления увеличиваются в системе:

грунт – моллюск Дидакна – рыбы бентофаги – печень, почки и мышцы русского и персидского осетров питания [15].

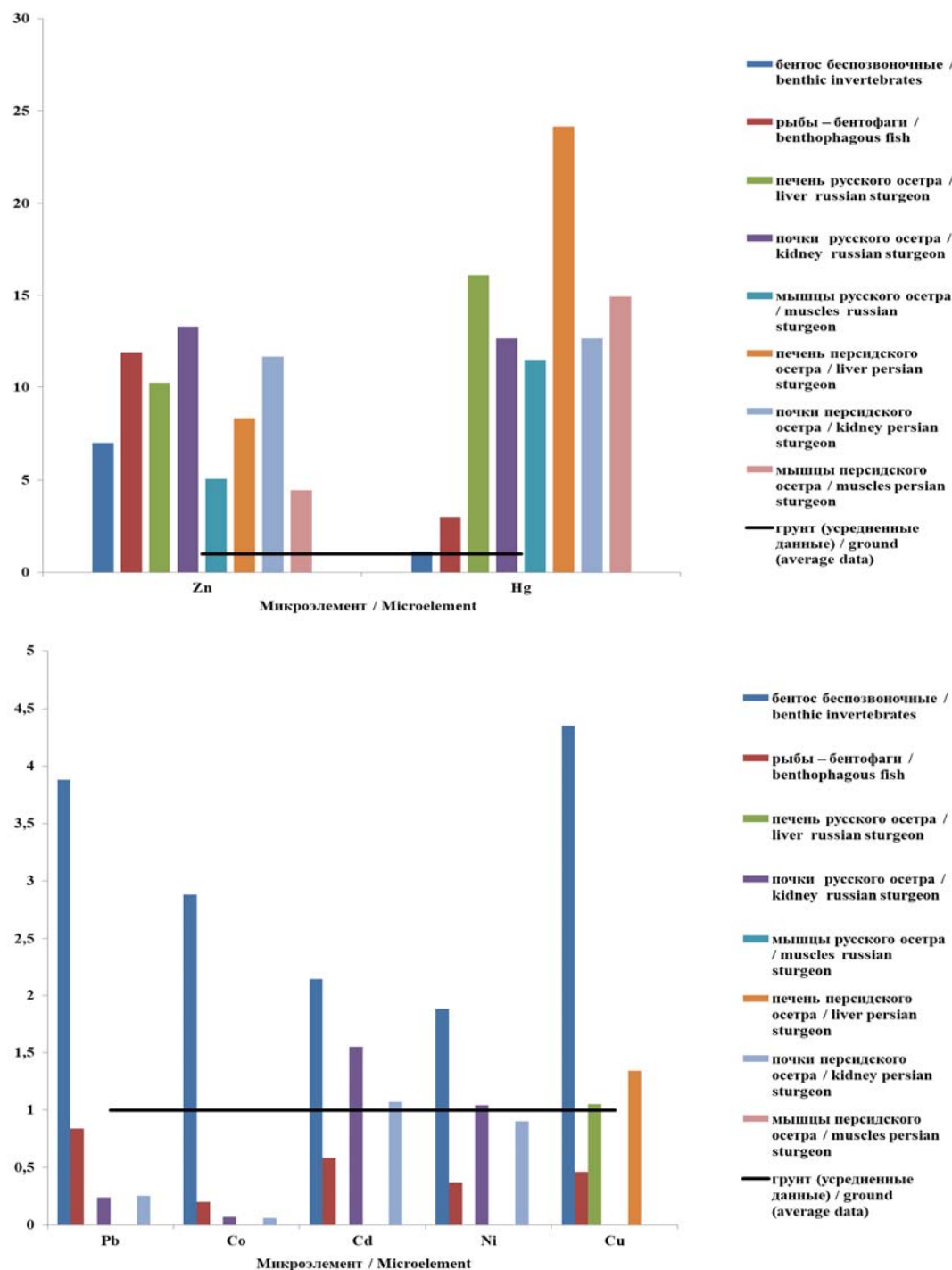


Рисунок 1. Миграция элементов в трофической сети Каспийского моря
Figure 1. Migration of elements in the Caspian Sea trophic network

У исследованных видов рыб по трофологическому признаку продемонстрирована четкая зависимость накопления ртути в печени и мышцах осетровых рыб от объекта питания [15]. С повышением занимаемого положения в трофической пирамиде у живых объектов происходило достоверное возрастание содержания металла ($r = 0,98$; $r = 0,96$). Вероятно, это свя-

зано с тем, что ртуть образует очень стойкие ртутьорганические комплексы, вытесняя из биологических молекул практически все другие металлы. Это свойство ртути обуславливает необратимое возрастание ее концентрации при переходе по трофической цепи от организмов низших звеньев к высшим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Миграция микроэлементов в трофических цепях изучаемых видов осетровых Каспийского моря имеет следующие особенности:

- хром, марганец и железо не аккумулируется по изучаемой трофической цепи;
- накопление свинца и кобальта выше трофического уровня, занимаемого бентосными беспозвоночными не происходило;
- кадмий, никель и медь накапливались, прежде всего, бентосными организмами, при этом кадмий и никель аккумулировались в почках у обоих видов осетровых рыб, а медь накапливалась в печени русского и персидского осетров;
- биоаккумуляция цинка происходит последовательно в звеньях: грунт – вода – беспозвоночными бентоса – рыбы бентофаги – почки, печень и мышцы русского и персидского осетров;
- ртуть мигрирует по звеньям изучаемой пищевой цепи, коэффициенты накопления увеличиваются в системе: грунт – моллюск Дидакна – рыбы бентофаги – печень, почки и мышцы русского и персидского осетров.

Таким образом, в очередной раз доказано, что способность гидробионтов накапливать тяжелые металлы из воды зависит от свойств металла, его участия в биохимических процессах, видовых особенностей, биологического состояния и характера абиотических условий обитания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуйко Е.В., Абдусаматов А.С. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8. № 3. С. 110-116. Doi: 10.18470/1992-1098-2013-3-110-116
2. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 1999. 228 с.
3. Виноградов А. П. Химический состав организмов моря. Москва: Наука, 2001. 620 с.
4. Ковековдова Л.Т. Оценка микроэлементного состава отдельных видов промысловых гидробионтов Японского и Охотского морей // Материалы научной конференции «Современное состояние водных биоресурсов», Владивосток, 25-27 марта, 2008. С. 551-555.
5. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах. Ульяновск: УлГТУ, 2014. 167 с.
6. Еськов Е.К., Зубкова В.М., Белозубова Н.Ю., Болотов В.П. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 14-15.
7. Чаплыгин В. А., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Содержание некоторых микроэлементов в гидробионтах Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 3. С. 138-145. Doi: 10.18470/1992-1098-2017-3-138-145
8. Чаплыгин В.А., Танасова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Бентосные организмы – концентраторы некоторых элементов в экосистеме Каспийского моря // Материалы XX Юбилейной Международной научной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга Рос-

сии», Махачкала, 6-8 ноября, 2018. С. 627-630.

9. Остроумов С.А. Роль организмов в регуляции миграции химических элементов и перемещений вещества в экосистемах // Экология промышленного производства. 2010. № 3. С. 26-31.
10. Ковековдова Л.Т., Симоков М.В. Ртуть в донных отложениях и промысловых гидробионтах залива Петра Великого (Японское море) // Материалы Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», Москва, 7-9 сентября, 2010. С. 233-238.
11. Молодцова А.А., Полянинова А.А. Питание осетра, севрюги и белуги в Каспийском море // Вопросы рыболовства. 2009. Т. 10. № 4 (40). С. 718-740.
12. Тихонова Э.Ю. Особенности питания русского и персидского осетра в Северном Каспии // Материалы Международной научной конференции «Рыбохозяйственные водоемы России – фундаментальные и прикладные исследования», Санкт-Петербург, 6-10 октября, 2014. С. 738-743.
13. Гусейнова С.А., Гаджиев А.А. Содержание токсических веществ (тяжелых металлов и ароматических углеводородов) в тканях и органах гидробионтов на участке «Центрально-Каспийский» // Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8. № 3. С. 61-65. Doi: 10.18470/1992-1098-2013-3-61-65
14. Зайцев В.Ф., Ершова Т.С., Чаплыгин В.А., Танасова А.С., Николенков А.А. Содержание некоторых металлов в звеньях трофической сети Каспийского моря // Материалы X Международной биогеохимической школы «Современные проблемы состояния и биогеохимической эволюции таксонов биосферы», Москва, 13-15 июня, 2017. С. 198-205.
15. Чаплыгин В.А., Танасова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Исследование особенностей аккумуляции цинка и ртути гидробионтами Каспийского моря // Научные труды Дальрыбвтуза. 2018. Т. 45. № 2. С. 40-45.

REFERENCES

1. Chujko E.V., Abdusamadov A.S. Features of migration of heavy metals in the northern Caspian ecosystem. *South of Russia: ecology, development*, 2013, vol. 8, no. 3, pp. 110-116. (In Russian) Doi: 10.18470/1992-1098-2013-3-110-116
2. Perevoznikov M.A., Bogdanova E.A. *Tyazhelyye metally v presnovodnykh ekosistemakh* [Heavy metals in freshwater ecosystems]. St. Petersburg, GosNIORH Publ., 1999, 228 p. (In Russian)
3. Vinogradov A.P. *Khimicheskiy sostav organizmov morya* [Chemical composition of sea organisms]. Moscow, Nauka Publ., 2001, 620 p. (In Russian)
4. Kovekovdova L.T. Otsenka mikroelementnogo sostava otdel'nykh vidov promyslovykh gidrobiontov Yaponskogo i Okhotskogo morey [An Assessment of the micro elemental composition of individual species of commercial hydrobiota of the Seas of Japan and Okhotsk]. *Materialy nauchnoi konferentsii «Sovremennoe sostoyanie vodnykh biore-surov»*, Vladivostok, 25-27 marta 2008 [Proceedings of the scientific conference "The current state of aquatic biological resources", Vladivostok, 25-27 March 2008]. Vladivostok, 2010, pp. 551-555. (In Russian)
5. Davydova O.A., Klimov E.S., Vaganova E.S., Vaganov A.S. *Vliyaniye fiziko-khimicheskikh faktorov na soderzhaniye tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh* [The influ-

ence of physicochemical factors on heavy metal content in aquatic ecosystems]. Ulyanovsk, UIGTU Publ., 2014, 167 p. (In Russian)

6. Es'kov E.K., Zubkov V.M., Belozubova N.Yu., Bolotov B.N. Content and migration of heavy metals in components of ecosystems of Volgograd reservoir. *Agrarnaya nauka [Agrarian Science]*. 2015, no. 1, pp. 14-15. (In Russian)
7. Chaplygin V.A., Ershova T.S., Zaitsev V.F. The contents of some trace elements in the aquatic organisms of the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 3, pp. 138-145. (In Russian) Doi: 10.18470/1992-1098-2017-3-138-145
8. Chaplygin W.A., Tanasova A.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F. Benthic organisms – concentrators of some elements in the ecosystem of the Caspian Sea]. *Materialy XX Yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Biologicheskoye raznoobraziye Kavkaza i Yuga Rossii», Makhachkala, 6-8 noyabrya 2018* [Proceedings of the XX Anniversary International Scientific Conference "Biological Diversity of the Caucasus and Southern Russia", Makhachkala, 6-8 November 2018]. Makhachkala, 2018, pp. 627-630. (In Russian)
9. Ostroumov S.A. Role of organisms in the regulation of migrations of chemical elements and transfer of matter in ecosystems. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Industrial Ecology]*. 2010, no. 3, pp. 26-31. (In Russian)
10. Kovekovdova L.T., Simokon M.V. Rtut' v donnykh otlozheniyakh i promyslovnykh gidrobiontakh zaliva Petra Velikogo (Yaponskoye more) [Mercury in bottom sediments and commercial aquatic organisms of Peter the Great Bay (Sea of Japan)]. *Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskiye aspekty», Moskva, 7-9 sentyabrya 2010* [Proceedings of the International Symposium "Mercury in the Biosphere: Ecological and Geochemical Aspects", Moscow, 7-9 September 2010]. Moscow, 2010, pp. 233-238. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир А. Чаплыгин собрал, обработал материал; Татьяна С. Ершова проанализировала полученные данные, написала рукопись; Вячеслав Ф. Зайцев проанализировал полученные данные, проверил рукопись до подачи в редакцию. Все авторы несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

11. Molodtsova A.I., Polyaninova A.A. Feeding of sturgeons in the Caspian Sea. *Voprosy rybolovstva [Problems of Fisheries]*. 2009, vol. 10, no. 4 (40), pp. 718-740. (In Russian)
12. Tikhonova E.Yu. Osobennosti pitaniya russkogo i persidskogo osetra v Severnom Kaspii [Feeding habits of Russian and Persian sturgeons in the Northern Caspian Sea]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Rybnokhozyaystvennyye vodoyemy Rossii – fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya», Sankt-Peterburg, 6-10 oktyabrya 2014* [Proceedings of the International Scientific Conference "Fishing waters of Russia - basic and applied research", St. Petersburg, 6-10 October 2014]. St. Petersburg, 2014, pp. 738-743. (In Russian)
13. Guseinova S.A., Gadzhiev A.A. Concentration of toxic ingredients (heavy metals and aromatic hydrocarbons) in organs and tissues of hydrobionts in central Caspian district. *South of Russia: ecology, development*, 2013, vol. 8, no. 3, pp. 61-65. (In Russian) Doi: 10.18470/1992-1098-2013-3-61-65
14. Zaitsev V.F., Ershova T.S., Chaplygin W.A., Tanasova A.S., Nikolenkov A.A. Soderzhaniye nekotorykh metallov v zven'yakh troficheskoy seti Kaspiyskogo moray [The content of some metals in the links of the food web of the Caspian Sea]. *Materialy X Mezhdunarodnoy biogeokhimicheskoy shkoly «Sovremennyye problemy sostoyaniya i biogeokhimicheskoy evolyutsii taksonov biosfery», Moskva, 13-15 iyunya 2017* [Proceedings of the X International Biogeochemical School "Modern Problems of the State and Biogeochemical Evolution of Biosphere Taxa", Moscow, 13-15 June 2017]. Moscow, 2017, pp. 198-205. (In Russian)
15. Chaplygin V.A., Tanasova A.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F. The study of peculiarities of accumulation of zinc and mercury by aquatic organisms of the Caspian Sea. *Nauchnyye trudy Dal'rybvtuza [Scientific works of Dalrybvtuz]*. 2018, vol. 45, no. 2, pp. 40-45. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vladimir A. Chaplygin processed material and analyzed the data obtained. Tatiana S. Ershova analyzed the data obtained and wrote the text. Viacheslav F. Zaitsev analyzed the data obtained and checked the text before submission to the Editor. All authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.