

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.24 (597.2/5)
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-37-46

Содержание кадмия в гидробионтах Каспийского моря

Татьяна С. Ершова¹, Вячеслав Ф. Зайцев¹, Владимир А. Чаплыгин², Алишер С. Хурсанов²

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

Контактное лицо

Татьяна С. Ершова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры гидробиология и общая экология, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16. Тел. +79053630749
Email ershova_ts@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

Формат цитирования

Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А., Хурсанов А.С. Содержание кадмия в гидробионтах Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 4. С. 37-46. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-37-46

Получена 7 августа 2020 г.
Прошла рецензирование 14 мая 2021 г.
Принята 21 июня 2021 г.

Резюме

Цель. Выявить распределение кадмия в компонентах экосистемы Каспийского моря.

Материалы и методы. Отбор проб производился по общепринятым стандартным методикам, определение кадмия осуществлялось с помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД.

Результаты. В результате проведенных исследований выяснено, что донные отложения Средней части Каспийского моря отличались большим накоплением кадмия, чем Северной части. Беспозвоночные Каспийского моря аккумулируют кадмий из воды и из грунта, за исключением креветок, для которых вода является единственным источником металла. Среди исследованных таксономических групп организмов аккумуляторами кадмия являются моллюски рода *Didacna*. В организме русского и персидского осетров кадмий преимущественно аккумулируется в почках.

Выводы. Коэффициенты накопления кадмия в органах и тканях русского и персидского осетров, сельди-черноспинки и долгинской сельди относительно объектов их питания свидетельствуют о том, что кадмий способен накапливаться в их цепях питания.

Ключевые слова

Каспийское море, донные отложения, рыбы-бентофаги, рыбы-планктофаги, моллюски, ракообразные, аккумуляция, кадмий.

Cadmium content in aquatic organisms of the Caspian Sea

Tatyana S. Ershova¹, Vyacheslav F. Zaitsev¹, Vladimir A. Chaplygin² and Alisher S. Khursanov²

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Volga-Caspian branch of FGBNU "VNIRO" ("CaspNIRKH"), Astrakhan, Russia

Principal contact

Tatyana S. Ershova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16 Tatishcheva St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79053630749

Email ershova_ts@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

How to cite this article

Ershova T.S., Zaitsev V.F., Chaplygin V.A., Khursanov A.S. Cadmium content in aquatic organisms of the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 4, pp. 37-46. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-37-46

Received 7 August 2020

Revised 14 May 2021

Accepted 21 June 2021

Abstract

Aim. Reveal the distribution of cadmium in the components of the ecosystem of the Caspian Sea.

Materials and Methods. The sampling was carried out according to generally accepted methods, the determination of heavy metals was carried out by the method of atomic absorption spectroscopy using an atomic absorption spectrometer with electrothermal atomization MGA-915 MD.

Results. As a result of the studies carried out, it was found that the bottom sediments of the Middle Caspian were distinguished by a greater accumulation of cadmium than the North Caspian. Invertebrates of the Caspian Sea accumulate cadmium from water and soil, with the exception of shrimp, for which water is the only source of metal. Among the taxonomic groups of organisms studied, molluscs of the genus *Didacna* are cadmium accumulators. In the body of the Russian and Persian sturgeons, cadmium is mainly accumulated in the kidneys.

Conclusion. Coefficients of cadmium accumulation in the organs and tissues of Russian and Persian sturgeons, black-backed herring and Dolginsky herring relative to their food objects indicate that cadmium is able to accumulate in food chains.

Key Words

Caspian Sea, bottom sediments, fish-benthophages, fish-planktophages, molluscs, crustaceans, accumulation, cadmium.

ВВЕДЕНИЕ

Кадмий является токсичным металлом, поэтому согласно СанПиН РФ [1], он относится ко второму классу опасности. Этот химический элемент может попадать в атмосферу в составе промышленной пыли, благодаря воздушным потокам переносится на огромные расстояния, а затем с атмосферными осадками попадать в гидросферу [2-4]. Ранее показано, что переводу поллютанта из атмосферы в водные объекты способствуют кислотные осадки [5], поэтому во многих водоемах и населяющих их гидробионтах отмечены его значительные накопления [5-8].

Содержание этого химического элемента в природных водах обусловлено сжиганием топлива, использованием минеральных удобрений (фосфорных), тепловых электростанций, автомобильного транспорта и промышленными свалками [5; 9]. При этом транзитный сток, который формируется в реках, особенно в верхнем и нижнем течении Волги, обуславливает наличие кадмия в экосистеме Каспийского моря [7; 8].

Кроме того, нефтяная промышленность также способствует загрязнению кадмием Каспийского моря, так как этот химический элемент присутствует в буровых растворах, которые используют при нефтедобыче [10; 11].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись: вода Северо-Западной части Каспийского моря, различные виды донных отложений; моллюски: Митилястер (*Mytilaster lineatus*, Gmelin, 1791), Церастодерма (*Cerastoderma lamarcki*, Reeve, 1844), моллюски рода Дидакна (*Didacna*, Eichwald, 1838); ракообразные: гаммарусы (*Gammarus*, Fabricius, 1775), морские тараканы (*Saduria entomon*, Linnaeus, 1758), креветки (*Palaemon adspersus*, Rathke, 1837), крабы (*Rhithropanopeus harrisi*, Gould, 1841), баянусы (*Balanus improvisus*, Darwin, 1854); рыбы-бентофаги: пуголовка (*Benthophilus macrocephalus*, Pallas, 1787), бычок песочник (*Neogobius fluviatilis*, Pallas, 1814), бычок хвалынский (*Neogobius caspius*, Eichwald, 1831), вобла (*Rutilus rutilus caspius*, Yakovlev, 1870), русский осетр (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833), персидский осетр (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897); рыбы-планктофаги: рыба-игла (*Syngnathus abaster caspius*, Risso, 1827), атерина (*Atherina mochon caspia*, Eichwald, 1831), килька обыкновенная (*Clupeonella caspia*, Svetovidov, 1941), сельдь-черноспинка (*Alosa kessleri*, Grimm, 1887), долгинская сельдь (*Alosa braschnikowi*, Borodin, 1904).

Пробы гидробионтов получены в результате экспедиций от различных организаций в период 2011-2019 гг.

Концентрацию кадмия в объектах исследования определяли на кафедре «Гидробиология и общая экология» АГТУ, используя метод атомно-абсорбционной спектроскопии с применением атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД. Концентрацию химического элемента выражали в мг/кг сухого веса. Полученные в ходе исследования результаты обрабатывали статистически.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вода Северной части Каспийского моря имеет непостоянный химический состав из-за речного стока,

который привносит в морские воды растворенные и взвешенные минеральные и органические вещества; кроме того, в зоне смешения речных и морских вод проходят процессы трансформации этих веществ [12].

Содержание кадмия в воде Северо-Западной части Каспийского моря составляло $0,37 \pm 0,02$ мг/л и по сравнению с 2012-2014 годами [13] оно увеличилось в 1,7 раза. Стоит отметить, что выявленная концентрация элемента не превышала соответствующие предельно-допустимые концентрации для морских вод (10 мг/л) и водоемов рыбохозяйственного значения (5 мг/л). В то же время более чем в 2 раза превышала порог токсического действия на водные организмы (0,15 мг/л), установленный в мире [14]. Т.И. Моисеенко с соавторами [5] отмечала сублетальные эффекты, вызванные токсичностью кадмия, у беспозвоночных и рыб при концентрациях от 0,2 до 3,0 мг/л в лабораторных и полевых условиях.

Среди исследованных донных отложений (илистые, песчаные и ракушечные) Северной и Средней частей Каспийского моря кадмий преимущественно аккумулировали илистые грунты ($0,93 \pm 0,11$ мг/кг и $1,3 \pm 0,13$ мг/кг) (табл. 1).

Донные отложения Средней части Каспийского моря отличались большим содержанием металла, чем Северной части.

По сравнению с данными 2012-2014 гг. [13] отмечено увеличение концентрации кадмия во всех видах исследованных донных отложений. Известно, что высокие концентрации металла в донных отложениях обусловлены антропогенным влиянием [16] и повышенные концентрации данного химического элемента указывает на устойчивое поступление значительной ее части с волжским стоком [13].

Рассчитанный кларк концентрации кадмия относительно кларков по А.П. Виноградову составляет 1,52 в грунтах Северной части и 2,05 – в грунтах Средней части Каспийского моря (табл. 1), что свидетельствует об относительно высокой биофильности элемента, т.к. кларк концентрации кадмия (0,5 мг/кг) значительно выше, чем в литосфере.

Бентосные организмы – важные функциональные составляющие водных экосистем, так как они способствуют отложению химических элементов в донные осадки. В процессе своей жизнедеятельности (дыхания), благодаря работе жабр и сифонов, происходит фильтрация и извлечение микроэлементов из водной толщи [17].

Моллюски – важные компоненты прибрежных морских экосистем. Ввиду того, что они ведут малоподвижный образ жизни, в них завершаются биогеохимические циклы миграции химических элементов и происходит их аккумуляция в органах и тканях [18]. В связи с этим эти беспозвоночные являются хорошими биоиндикаторами состояния окружающей среды, отражая всю ситуацию в гидрозекосистеме [19].

Среди исследованных видов содержание химического элемента в моллюсках рода *Didacna* наибольшее и составляет $3,0 \pm 0,16$ мг/кг сухого вещества, что в 2 раза, чем в двух других видах. Выявленные различия в концентрациях кадмия в *Mytilaster lineatus* и *Cerastoderma lamarcki* не достоверны ($1,8 \pm 0,31$ и $1,6 \pm 0,12$ мг/кг сухого вещества).

На основании рассчитанных коэффициентов биологического накопления все исследованные виды моллюсков являются организмами накопителями Cd. При этом наибольшая способность аккумулировать этот металл отмечена у видов рода *Didacna* [20].

Таблица 1. Содержание кадмия в грунтах Каспийского моря, мг/кг
Table 1. Content of cadmium in the soils of the Caspian Sea, mg/kg

Виды донных отложений Types of bottom sediments	Северная часть Каспийского моря Northern part of the Caspian Sea	Кларки концентрации кадмия относительно кларка по А.П. Виноградову $K_k = C_i / \text{Кларк}$ Clarke cadmium concentration relative to Clarke according to A.P. Vinogradov $K_k = C_i / \text{Clarke}$	Кларки рассеяния кадмия относительно кларка по А.П. Виноградову $K_p = \text{Кларк} / C_i$ Clarke scattering of cadmium relative to Clarke according to A.P. Vinogradov $K_p = \text{Clarke} / C_i$	Средняя часть Каспийского моря Middle part of the Caspian Sea	Кларки концентрации кадмия относительно кларка по А.П. Виноградову $K_k = C_i / \text{Кларк}$ Clarke of cadmium concentration relative to Clarke according to A.P. Vinogradov $K_k = C_i / \text{Clarke}$	Кларки рассеяния кадмия относительно кларка по А.П. Виноградову $K_p = \text{Кларк} / C_i$ Clarke scattering of cadmium relative to Clarke according to A.P. Vinogradov $K_p = \text{Clarke} / C_i$
Илистые Muddy	0,93±0,11	1,86	0,3	1,3±0,13	2,6	0,4
Песчаные Sandy	0,71±0,09	1,42	0,4	0,80±0,08	1,6	0,6
Ракушечные Shelly	0,64±0,02	1,28	0,4	0,97±0,08	1,94	0,5
Средние значения Average values	0,76±0,11	1,52	0,4	1,02±0,02	2,05	0,5
Кларк кадмия по А.П. Виноградову [15] – 0,5 мг/кг Clarke of cadmium according to A.P. Vinogradov [15] – 0.5 mg/kg						

С целью выяснения источников поступления кадмия в организм моллюсков рассчитаны коэффициенты накопления относительно воды и грунта.

На основании данных таблицы 2 показано, что основным источником кадмия для моллюсков является морская вода. При этом наибольшая способность к поглощению этого металла выявлена у представителей рода *Didacna*, второе место занимает *Mytilaster lineatus*.

Коэффициент накопления кадмия у *Didacna sp.* почти в 2 раза выше, чем у других представителей этого типа.

Донные отложения у всех исследованных видов моллюсков также как и вода являются источником этого металла в их организме, но в меньшей мере. При этом у моллюсков коэффициенты накопления (КН) кадмия относительно грунтов составляют больше 1.

Таблица 2. Коэффициенты накопления кадмия моллюсками Каспийского моря
Table 2. Coefficients of cadmium accumulation by molluscs of the Caspian Sea

Объекты исследований Research objects	Концентрация Cd, мг/кг сухого вещества Concentration Cd, mg/kg dry matter	Коэффициент накопления относительно воды $КН = C_i / C_{\text{вода}}$ Accumulation rate regarding water $КН = C_i / C_{\text{water}}$	Коэффициент накопления относительно грунта $КН = C_i / C_{\text{грунт}}$ Accumulation rate relatively soil $КН = C_i / C_{\text{soil}}$
Вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л Water in the northwestern part of the Caspian Sea, mg/l	0,00039±0,00002		
Грунт, усредненные данные Soil, averaged data	0,89±0,12		
<i>Mytilaster lineatus</i>	1,82±0,12	4550	2
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	1,61±0,22	4025	1,8
<i>Didacna sp.</i>	3,02±0,16	7550	3,4

Среди исследованных видов ракообразных наибольшие значения Cd отмечены у балянусов *Balanus improvises* (2,41±0,04 мг/кг сухой массы), а наименьшие – у креветок *Palaemon adspersus* (0,64±0,03 мг/кг сухой массы) [21].

Исследованные виды ракообразных по способности аккумулировать кадмий располагались в следующий убывающий ряд:

Балянусы *Balanus improvises* > Морские тараканы

Saduria entomon > Гаммариды *Gammarus sp.* > Крабы *Rhithropanopeus harrisi* > Креветки *Palaemon adspersus*.

В таблице 3 представлены коэффициенты накопления кадмия ракообразными организмами относительно воды придонного слоя Северо-западной части Каспийского моря и грунтов (усредненные значения концентрации металла в различных видах донных отложений).

Таблица 3. Коэффициенты накопления кадмия ракообразными Каспийского моря
Table 3. Coefficients of cadmium accumulation by crustaceans of the Caspian Sea

Объекты исследований Research objects	Концентрация Cd, мг/кг сухого вещества Concentration Cd, mg/kg dry matter	Коэффициент накопления относительно воды КН=Ci/Cвода Accumulation rate Relating to water КН=Ci/Cwater	Коэффициент накопления относительно грунта КН= Ci/Cгрунт Accumulation rate relating to soil КН=Ci/Csoil
Вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л Water in the northwestern part of the Caspian Sea, mg/l	0,0004±0,00002		
Грунт, усредненные данные Soil, averaged data	0,89±0,12		
Гаммарусы <i>Gammarus sp.</i> Gammarus sp.	1,80±0,36	4500	2,02
Морские тараканы <i>Saduria entomon</i> Sea cockroaches <i>Saduria entomon</i>	1,86±0,31	4650	2,03
Креветки <i>Palaemon adspersus</i> Baltic prawn <i>Palaemon adspersus</i>	0,64±0,03	1600	0,7
Крабы <i>Rhithropanopeus harrisi</i> Harris mud crab <i>Rhithropanopeus harrisi</i>	1,62±0,1	4050	1,8
Баланы <i>Balanus improvises</i> Bay barnacle <i>Balanus improvises</i>	2,41±0,04	6025	2,7

На основании полученных значений коэффициентов накопления кадмия исследованными беспозвоночными организмами установлено, что вода является у них основным источником этого химического элемента, а у креветок *Palaemon adspersus* – единственным (табл. 4). У всех остальных организмов коэффициент накопления кадмия относительно грунта составлял больше 1. Наибольшие значения аккумуляции кадмия отмечены у крабов *Rhithropanopeus harrisi*.

Ракообразные также, как и моллюски способны аккумулировать кадмий в своем организме и поэтому все исследованные виды этого класса являются организмами-концентраторами, при этом это свойство лучше выражено у низших ракообразных (*Gammarus sp.*, *Balanus improvises*, *Saduria entomon*).

Кадмий в большей мере способен аккумулироваться в органах и тканях рыб, которые в большей мере соприкасаются с грунтом [22]. В пугловке (*Benthophilus macrocephalus*) выявлено максимальное количество химического элемента по сравнению с другими исследованными видами донных рыб и составляло 0,65 мг/кг сухого вещества. Уровень исследуемого показателя, зафиксированного в *Neogobius caspius*, *Neogobius fluviatilis* и *Rutilus rutilus caspicus* несколько ниже, чем в *Benthophilus macrocephalus*, причем различия в обнаруженных значениях концентрации Cd между этими видами рыб вполне сопоставимы [21].

Кадмий преимущественно утилизируется почками, печенью и жабрами [5; 23]. В связи с этим у половозрелых (6-10 лет) русского *Acipenser gueldenstaedtii* и персидского *Acipenser persicus* осетров исследовали жабры, мышечную ткань, печень и почки.

По мнению Т.И. Моисеенко с соавторами [5] в естественных условиях рыбы подвергаются действию Cd, когда происходит его выщелачивание в воду (в период снеготаяния или дождевого паводка). Жабры являются наиболее уязвимыми среди остальных органов гидробионтов при контакте с загрязненными поллютантом водами. Т.И. Моисеенко с соавт. [5] выделила четыре процесса проникновения кадмия через жабры:

1. оседание на жабрах взвешенных частиц, гидратированных ионов и гидраткомплексов;

2. десорбция на жабрах и преобразование в свободные ионы;

3. транспорт внутрь эпителия;

4. включение в метаболизм клеток и организма.

При фоновых концентрациях в окружающей среде кадмий накапливается в первую очередь в почках и печени. Так как он имеет сродство к цистеину, поэтому связывается с металлотионинами. При этом металлотионин концентрирует повышенное количество этого металла [24].

У *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus* кадмий имеет наибольшую концентрацию в почках (1,195 и 1,27 мг/кг сухого вещества), где он принимает участие в осморегуляторных процессах [23], а в наименьшей – в мышцах. Вторым по накоплению этого металла органом является печень, где концентрация элемента у *Acipenser gueldenstaedtii* составляла 0,63 мг/кг сухой массы, а у *Acipenser persicus* – 0,72 мг/кг сухой массы. Ранее Т.И. Моисеенко с соавторами [5] в своих исследованиях на других видах рыб также отмечала наибольшее значение кадмия в почках, печени, а наименьшее – в мышцах, при этом содержание кадмия в почках в среднем в 2 раза больше, чем в печени.

Органы и ткани персидского осетра по содержанию кадмия располагаются в следующий убывающий ряд: почки > печень > жабры > мышцы.

Известно, что кадмий, накапливаясь в первую очередь в почках и печени, выполняет барьерную функцию, предотвращая проникновение чрезмерного количества металла в другие органы и ткани [4]. Клетки печени способны аккумулировать кадмий в больших количествах [25; 26], поэтому у исследованных видов рыб печень располагается на втором месте по содержанию этого химического элемента. Кадмий по химическим свойствам подобен цинку [5; 26], поэтому он может замещать его в ферментах, нарушая нормальное протекание процессов метаболизма. Избыточные количества этого микроэлемента в организме угнетает антиоксидантную функцию печени.

Сравнивая полученные данные по накоплению Cd в мышечной ткани у *Acipenser persicus* и *Acipenser gueldenstaedtii* (0,22 и 0,23 мг/кг сухого вещества) с нормированной величиной (0,2 мг/кг), выявлено

незначительное превышение значения утвержденного норматива [1].

На основании результатов, полученных в ходе биогеохимического исследования бентосных

гидробионтов, рассчитаны коэффициенты накопления (КН) кадмия относительно воды северо-западной части Каспийского моря, грунтов и кормовых организмов (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты накопления кадмия рыбами-бентофагами Каспийского моря

Table 4. Coefficients of cadmium accumulation by benthophagous fish of the Caspian Sea

Объекты исследований Research objects	Концентрация Cd, мг/кг сухого вещества Concentration Cd, mg/kg dry matter	Коэффициент накопления относительно воды КН=Ci/Cвода Accumulation rate regarding water KH=Ci/Cwater	Коэффициент накопления относительно грунта КН=Ci/Cгрунт Accumulation rate relatively soil KH=Ci/Csoil	Коэффициент накопления относительно рыб бентофагов КН=Ci/Срыб бентофагов Accumulation rate concerning benthophagous fish KH=Ci/CFish of benthophages
Вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л Water in the northwestern part of the Caspian Sea, mg/l	0,00039±0,00002			
Грунт, усредненные данные, мг/кг сухого вещества Soil averaged data, mg/kg dry matter	0,89±0,12			
Бычок хвальныйский (<i>Neogobius caspius</i>) Caspian goby (<i>Neogobius caspius</i>)	0,65±0,06	1625	0,7	
Бычок песочник (<i>Neogobius fluviatilis</i>) Monkey goby (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	0,45±0,07	1125	0,5	
Пугловка (<i>Benthophilus microcephalus</i>) Caspian tadpole goby (<i>Benthophilus microcephalus</i>)	0,41±0,05	1025	0,5	
Вобла (<i>Rutilus rutilus caspius</i>) Caspian roach (<i>Rutilus rutilus caspius</i>)	0,51±0,01	1275	0,6	
Рыбы-бентофаги (усредненное значение) Benthophagous fish (average)	0,51±0,16			
Русский осетр (<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>) Russian sturgeon (<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>)				
почки / kidneys	1,27±0,04	3175	1,4	2,5
печень / liver	0,63±0,18	1575	0,7	1,2
жабры / gills	0,31±0,07	775	0,3	0,6
мышцы / muscle	0,23±0,06	575	0,3	0,5
Персидский осетр (<i>Acipenser persicus</i>) Persian sturgeon (<i>Acipenser persicus</i>)				
почки / kidneys	1,2±0,01	3000	1,3	2,4
печень / liver	0,63±0,13	1575	0,7	1,2
жабры / gills	0,31±0,02	775	0,3	0,6
мышцы / muscle	0,22±0,05	550	0,3	0,5

На основании рассчитанных показателей (табл. 4) можно судить о том, что основным источником кадмия для рыб-бентофагов является вода. Коэффициент накопления кадмия относительно усредненных значений концентраций различных донных отложений Каспийского моря значительно меньше единицы.

Показано, что в организме *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus* органом-мишенью для кадмия являются, прежде всего, почки. Коэффициент накопления кадмия почками русского осетра составляет 3175, а у персидского осетра – 3000. Печень исследованных видов рода *Acipenser* также

обладает хорошей аккумуляционной способностью в отношении кадмия, но по сравнению с почками КН кадмия печени в 2 раза меньше как у русского, так и у персидского осетров.

Коэффициент накопления кадмия печенью относительно грунта и кормовых объектов показывает, что кадмий способен аккумулироваться по цепи питания у обоих видов осетров.

Среди исследованных рыб-планктофагов рыба-игла *Syngnathus abaster caspius* обладала наибольшим количеством кадмия в организме ($1,25 \pm 0,17$ мг/кг сухой массы). Концентрация химического элемента в атерине *Atherina mochon caspia* и кильке обыкновенной *Clupeonella cultriventris caspia* почти в 2 раза ниже ($0,73 \pm 0,08$ и $0,63 \pm 0,05$ мг/кг сухой массы).

В сельдях черноспинке *Alosa kessleri kessleri* и долгинской сельди *Alosa brashnicowi brashnicowi*

максимальным содержанием кадмия отличались жабры ($0,4$ и $0,53$ мг/кг сухой массы).

Далее по его накоплению органом является печень. В ней содержание металла несколько ниже, чем в жабрах и составляет у *Alosa kessleri kessleri* – $0,27$ мг/кг, а у *Alosa brashnicowi brashnicowi* – $0,43$ мг/кг сухого вещества, и в минимальном количестве кадмий аккумулировался мышечной тканью.

По способности к аккумуляции кадмия органы и ткани исследованных видов сельдей располагаются в следующем убывающем порядке: жабры > печень > гонады > мышцы.

Рассчитаны коэффициенты накопления кадмия рыбами-планктофагами относительно воды северо-западной части Каспийского моря и кормовых организмов (табл. 5).

Таблица 5. Коэффициенты накопления кадмия рыбами-планктофагами Каспийского моря

Table 5. Coefficients of cadmium accumulation by planktophagous fish of the Caspian Sea

Объекты исследований Research objects	Концентрация Cd, мг/кг сухого вещества Concentration Cd, mg/kg dry matter	Коэффициент накопления относительно воды КН=Ci/Cвода Accumulation rate regarding water KH=Ci/Cwater	Коэффициент накопления объекты питания КН=Ci/объекты питания Accumulation rate catering facilities KH=Ci/food objects
Вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л Water in the northwestern part of the Caspian Sea, mg/l	$0,00039 \pm 0,00002$		
Рыба-игла <i>Syngnathus abaster caspius</i> Black-striped pipe fish <i>Syngnathus abaster caspius</i>	$1,25 \pm 0,17$	3125	
Атерина <i>Atherina mochon caspia</i> Sand smelt <i>Atherina mochon caspia</i>	$0,73 \pm 0,08$	1825	
<i>Clupeonella cultriventris caspia</i> Common kilka	$0,63 \pm 0,05$	1575	
Объекты питания сельдей (усредненное значение) Herring food items (average)	$0,57 \pm 0,12$		
Сельдь-черноспинка <i>Alosa kessleri kessleri</i> Blackbacked shad <i>Alosa kessleri kessleri</i>			
жабры / gills	$0,403 \pm 0,09$	1008	0,7
мышцы / muscle	$0,164 \pm 0,05$	410	0,3
печень / liver	$0,27 \pm 0,07$	675	0,5
гонады / gonads	$0,189 \pm 0,07$	473	0,3
Долгинская сельдь <i>Alosa brashnicowi brashnicowi</i> Shadfish <i>Alosa brashnicowi brashnicowi</i>			
жабры / gills	$0,529 \pm 0,11$	1323	0,9
мышцы / muscle	$0,236 \pm 0,82$	590	0,4
печень / liver	$0,432 \pm 0,12$	1080	0,8
гонады / gonads	$0,309 \pm 0,1$	773	0,5

На основании рассчитанных коэффициентов накопления видно, что все исследованные виды рыб способны аккумулировать в своем организме кадмий ($KH > 1$) относительно воды, а в наибольшей степени это характерно для рыбы-иглы ($KH = 3125$).

У исследованных видов сельдей наибольший коэффициент накопления выявлен в жабрах. Так у сельди-черноспинки он составляет 1008, а у долгинской сельди – 1323.

Кадмий способен переходить по звеньям трофической цепи экосистемы Каспийского моря. Об этом свидетельствуют рассчитанные коэффициенты

накопления элемента относительно кормовых объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, содержание кадмия в воде Северо-Западной части Каспийского моря по сравнению с 2012-2014 годами увеличилось в 1,7 раза. Донные отложения Средней части Каспийского моря отличались большим накоплением кадмия, чем Северной части Каспийского моря.

Беспозвоночные Каспийского моря аккумулируют кадмий из воды и из грунта, за

исключением креветок, для которых вода является единственным источником металла. Среди исследованных таксономических групп организмов аккумуляторами кадмия являются моллюски рода *Didacna*. В организме русского и персидского осетров кадмий в большей мере аккумулируется в почках. Рассчитанные коэффициенты накопления кадмия органами и тканями русского и персидского осетров, сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* и долгинской сельди *Alosa brashnicowi brashnicowi* относительно объектов их питания свидетельствуют о том, что кадмий способен накапливаться в цепях питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СанПИН от 06.11.2001 N 2.3.2. 1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов. 2001. 353 с.
- Патин С.А. Влияние загрязнений на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. Москва: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
- Трухин А.М., Колосова Л.Ф., Слинько Е.Н. Токсичные металлы в моржах (*Odobenus rosmarus divergens* Linnaeus, 1785) Берингова моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. 2013. Вып. 28. С. 140-146.
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Лукьянова О.Н. Курило-Камчатский регион как биогеохимическая провинция: тяжелые металлы в лосося // Труды IX Международной биогеохимической школы «Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии», Барнаул, 24-28 августа, 2015. Барнаул, 2015. Т. 1. С. 218-221.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
- Чуйко Е.В., Абдусаматов А.С. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8. N 3. С. 110-116. DOI: 10.18470/1992-1098-2013-3-110-116
- Карыгина Н.В., Попова О.В. Средние характерные концентрации токсикантов в донных отложениях дельты Волги и Северного Каспия // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. N4. С. 29-36.
- Попова О.В., Карыгина Н.В., Львова О.А., Галлей Е.В., Яцун Е.В., Бедрицкая И.Н. Современное эколого-токсикологическое состояние водной среды Северного Каспия // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: II международная научно-практическая интернет-конференция, с. Соленое Займище, 28 февраля 2017 г. ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия», 2017. С. 150-153.
- Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 312 с.
- Хураскин Л.С., Захарова Н.А., Кузнецов В.В., Черноок В.И., Сокольский А.Ф. Оценка численности тюленя в Каспийском море // Современные проблемы Каспия: Материалы Международной конференции. Астрахань: КаспНИРХ, 2001. С. 358-363.
- Захарова Н.А., Кузнецов В.В., Валедская О.М. Оценка состояния популяции тюленя в Каспийском море и прогноз его добычи на 2007 год // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2007. С. 389-401.
- Чуйко Е.В., Попова О.В. Накопление тяжелых металлов в донных отложениях западной части Северного Каспия // Юг России: экология и развитие. 2013. Т. 8. N1. С. 11-15.
- Островская Е.В. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна. Астрахань: Сорокин Роман Васильевич, 2017. С. 236-251.
- Lithner G. Quality criteria for lakes and watercourses. Background report 2. Metals. Stockholm, 1989. 59 с.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд.-во АН СССР, 1957. 298 с.
- Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 288 с.
- Назарова Л.Б., Семенов В.Ф., Сабиров Р.М., Ефимов И.Ю. Состояние бентосных сообществ и оценка качества воды Чебоксарского водохранилища // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. N3. С. 347-353.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В., Кику Д.П. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопросы рыболовства. 2006. Т. 7. N1 (25). С. 185-190.
- Андрианов В.А., Канатьева Н.С. Моллюски как индикатор накопления тяжелых металлов на примере *Anodonta piscinalis* // Проблемы экологической безопасности Нижнего Поволжья в связи с разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений с высоким содержанием сероводорода: науч.-практ. семинар. Астрахань, 2000. С. 122-124.
- 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. 4. N3. С. 138-143. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-138-143
- Чаплыгин В.А., Танасова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Содержание некоторых микроэлементов в гидробионтах Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N3. С. 138-145. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-3-138-145
- 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.
- Алабастер Дж., Ллойд Р. Критерии качества воды для пресноводных рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 384 с.
- Авцын А.П., Жаворонков М.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
- Воробьев В.И., Зайцев В.Ф., Щербакова Е.Н. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра. Астрахань: Изд-во ООО «ЦНТЭП», 2007. 116 с.
- Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высшая школа, 1960. 544 с.

REFERENCES

- SanPIN ot 06.11.2001 N 2.3.2. 1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti produktov

- [SanPIN dated 06.11.2001 N 2.3.2. 1078-01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. 2001, 353 p. (In Russian)
2. Patin S.A. *Vliyanie zagryaznenii na biologicheskie resursy i produktivnost' Mirovogo okeana* [Impact of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1979, 304 p. (In Russian)
 3. Trukhin A.M., Kolosova L.F., Slinko E.N. [Toxic metals in walrus (*Odobenus rosmarus divergens* Linnaeus, 1785) of the Bering Sea]. In: *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i Severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* [Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the North-Western part of the Pacific Ocean]. 2013, iss. 28, pp. 140-146. (In Russian)
 4. Khristoforova N.K., Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N. Kurilo-Kamchatskii region kak biogeokhimicheskaya provintsiya: tyazhelye metally v lososya [Kuril-Kamchatka region as a biogeochemical province: heavy metals in salmon]. *Trudy IX Mezhdunarodnoi biogeokhimicheskoi shkoly «Biogeokhimiya tekhnogeneza i sovremennye problemy geokhimicheskoi ekologii», Barnaul, 24-28 avgusta, 2015* [Proceedings of the IX International biogeochemical school "Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology", Barnaul, August 24-28, 2015]. Barnaul, 2015, vol. 1, pp. 218-221. (In Russian)
 5. Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A. *Rasseyannyye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi: Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya* [Dispersed Elements in Surface Terrestrial Waters: Technophilicity, Bioaccumulation and Ecotoxicology]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 261 p. (In Russian)
 6. Chuiko E.V., Abdusamadov A.S. Features of migration of heavy metals in the ecosystem of the Northern Caspian. *South of Russia: ecology, development*, 2013, vol. 8, no. 3, pp. 110-116. (In Russian) DOI: 10.18470 / 1992-1098-2013-3-110-116
 7. Karygina N.V., Popova O.V. Average characteristic concentrations of toxicants in bottom sediments of the Volga delta and the Northern Caspian. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaistvo* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries]. 2017, no. 4, pp. 29-36. (In Russian)
 8. Popova, O.V., Karygina N.V., Lvova O.A., Galley E.V., Yatsun E.V., Bedritskaya I.N. Sovremennoe ekologo-toksikologicheskoe sostoyanie vodnoi sredy Severnogo Kaspiya [Modern ecological and toxicological state of the aquatic environment of the Northern Caspian]. *Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoi sredy i nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: II mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya internet-konferentsiya, Solenoe Zaimishche, 28 fevralya 2017* [Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management: II international scientific and practical Internet conference, Salt Zaimishche, 28 February, 2017]. Solenoe Zaimishche, 2017, pp. 150-153. (In Russian)
 9. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V. *Biomonitoring metallov v presnovodnykh ekosistemakh* [Biomonitoring of metals in freshwater ecosystem]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1991, 312 p. (In Russian)
 10. Khuraskin L.S., Zakharova N.A., Kuznetsov V.V., Chernook V.I., Sokolsky A.F. Otsenka chislennosti tyulenya v Kaspiiskom more [Estimation of the number of seals in the Caspian Sea]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii "Sovremennye problemy Kaspiya", Astrakhan', 2001* [Proceedings of the International Conference "Modern problems of the Caspian", Astrakhan, 2001]. Astrakhan, 2001, pp. 358-363. (In Russian)
 11. Zakharova N.A., Kuznetsov V.V., Valedskaya O.M. [Assessment of the state of the seal population in the Caspian Sea and the forecast of its production for 2007]. In: *Rybokhozyaistvennye issledovaniya na Kaspii* [Fisheries research in the Caspian Sea]. Astrakhan, CaspNIRKH Publ., 2007, pp. 389-401. (In Russian)
 12. Chuiko E.V., Popova O.V. Accumulation of heavy metals in bottom sediments of the western part of the Northern Caspian. *Yug Rossii: ekologiya i razvitie* [South of Russia: ecology and development]. 2013, no. 1, pp. 11-15. (In Russian)
 13. Ostrovskaya E.V. *Zagryaznyayushchie veshchestva v vodakh Volzhsko-Kaspiiskogo basseina* [Polluting substances in the waters of the Volga-Caspian]. Astrakhan, 2017, pp. 236-251. (In Russian)
 14. Lithner G. Quality criteria for lakes and watercourses. Background report 2, Metals, Stockholm, 1989, 59 p.
 15. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1957, 298 p. (In Russian)
 16. Moore J.V., Ramamurthy S. *Tyazhelye metally v prirodnnykh vodakh: Kontrol' i otsenka vliyaniya* [Heavy metals in natural waters: Control and assessment of impact]. Moscow, Mir Publ., 1987, 288 p. (In Russian)
 17. Nazarova L.B., Semenov V.F., Sabirov R.M., Efimov I.Yu. State of benthic communities and assessment of water quality in the Cheboksary reservoir. *Vodnye resursy* [Vodnye resursy]. 2004, vol. 31, no. 3, pp. 347-353. (In Russian)
 18. Kovekovdova L.T., Simokon M.V., Kiku D.P. Toxic elements in commercial aquatic organisms of the coastal waters of the northwestern part of the Sea of Japan. *Voprosy rybolovstva* [Issues of fishing]. 2006, vol. 7, no. 1 (25), pp. 185-190. (In Russian)
 19. Andrianov V.A., Kanateva N.S. Mollyuski kak indikator nakopleniya tyazhelykh metallov na primere *Anodonta piscinalis* [Shellfish as an indicator of the accumulation of heavy metals on the example of *Anodonta piscinalis*]. *Problemy ekologicheskoi bezopasnosti Nizhnego Povolzh'ya v svyazi s razrabotkoi i ekspluatatsiei neftegazovykh mestorozhdenii s vysokim soderzhaniiem serovodoroda: nauchno-prakticheskii seminar, Astrakhan' 2000* [Problems of ecological safety of the Lower Volga region in connection with the development and operation of oil and gas fields with a high content of hydrogen sulfide: scientific-practical seminar, Astrakhan, 2000]. Astrakhan, 2000, pp. 122-124. (In Russian)
 20. Chaplygin V.A., Ershova T.S., Zaitsev V.F. Metals transformation in the system: soil sturgeon food chains of the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 138-143. (In Russian) DOI: 10.18470 / 1992-1098-2019-3-138-143
 21. Chaplygin V.A., Tanasova A.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F. The content of some trace elements in 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
 22. Davydova O.A., Klimov E.S., Vaganova E.S., Vaganov A.S. *Vliyanie fiziko-khimicheskikh faktorov na soderzhanie*

tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh [Influence of physicochemical factors on the content of heavy metals in aquatic ecosystems]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2014, 167 p. (In Russian)

23. Alabaster J., Lloyd R. *Kriterii kachestva vody dlya presnovodnykh ryb* [Water quality criteria for freshwater fish]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1984, 384 p. (In Russian)

24. Avtsyn A.P., Zhavoronkov M.A., Rish M.A., Strochkova L.S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya* [Human microelementosis: etiology,

classification, organopathology]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)

25. Vorobiev V.I., Zaitsev V.F., Shcherbakova E.N.

Biogennaya migratsiya tyazhelykh metallov v organizme russkogo osetra [Biogenic migration of heavy metals in the body of the Russian sturgeon]. Astrakhan, LLC "TsNTEP" Publ., 2007, 116 p. (In Russian)

26. Voinar A.I. *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka* [The biological role of trace elements in the body of animals and humans]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960, 544 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир А. Чаплыгин и Алишер С. Хурсанов собрали и обработали материал. Татьяна С. Ершова проанализировала полученные данные, написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем. Вячеслав Ф. Зайцев проанализировал полученные данные, проверил рукопись до подачи в редакцию.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vladimir A. Chaplygin and Alisher S. Khursanov processed the material and analysed the data obtained. Tatyana S. Ershova analysed the data obtained, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions. Vyacheslav F. Zaitsev analysed the data obtained and checked the manuscript before submission to the Editor.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна С. Ершова / Tatyana S. Ershova <https://orcid.org/0000-0003-4089-6115>

Вячеслав Ф. Зайцев / Vyacheslav F. Zaitsev <https://orcid.org/0000-0001-6350-2129>

Владимир А. Чаплыгин / Vladimir A. Chaplygin <https://orcid.org/0000-0002-0509-702X>

Алишер С. Хурсанов / Alisher S. Khursanov <https://orcid.org/0000-0002-3604-9362>