

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 7 (73). 2021. № 4. С. 3–22.

УДК 597.583.1.152.6 (268.81)

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ СВИНЦА В ЭКОСИСТЕМЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ершова Т. С.¹, Зайцев В. Ф.¹, Чаплыгин В. А.²

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,
Российская Федерация

²Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), Астрахань,
Российская Федерация
E-mail: ershova_ts@mail.ru

Исследования посвящены изучению особенностей миграции свинца в экосистеме Каспийского моря. Показано, что Pb преимущественно аккумулируется илистыми донными отложениями. Среди исследованных таксономических групп организмов аккумуляторами свинца являются моллюски *Cerastoderma lamarcki* и *Mytilaster lineatus*, ракообразные *Rhithropanopeus harrisi* и *Balanus improvisus*, из рыб *Benthophilus macrocephalus* и *Syngnathus abaster caspius*. Отмечено, что в *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus*, а также в *Alosa braschnikowii* и *Alosa kessleri* свинец депонируется преимущественно жабрами, почками. У *Phoca caspica* свинец аккумулируется в жировой ткани и легких.

Ключевые слова: свинец, миграция, донные отложения, моллюски, ракообразные, рыбы, каспийский тюлень, Каспийское.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня содержания свинца в окружающей среде обусловлено его широким применением в промышленности [1] и выносом в водоемы со сточными водами металлургических предприятий, химических производств и т. д. [2, 1]. Производственный потенциал Волгоградской области включает в себя все источники техногенного воздействия (металлургические предприятия, химическая промышленность, металлообрабатывающие предприятия и т. д.) [3]. Таким образом, тяжелые металлы являются одними из основных загрязняющих веществ, поступающих в р. Волгу со всего ее огромного водосборного бассейна [4]. В связи с этим волжский сток, транспортирующий в своем составе различные загрязняющие вещества, оказывает влияние на качественный состав воды Каспийского моря [5, 4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами 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), балянусы (*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 caspicus*, 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 braschnikowii*, Borodin, 1904), каспийский тюлень (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788).

Пробы гидробионтов получены в результате экспедиций от различных организаций в период 2011–2020 гг.

Концентрацию свинца 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 согласно методик ПНД Ф 14.1:2:4.214-06 [6], ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 [7] и ГОСТ 30178-96 [8]. Концентрацию химического элемента выражали в мг/кг сухого веса. Коэффициент накопления (Кн) [9] рассчитывался по формуле:

$$K_n = \frac{C_i}{C}$$

где: C_i – содержание химического элемента в гидробионтах;

C – содержание химического элемента в морской воде, донных отложениях, организмах питания.

Полученные в ходе исследования результаты обрабатывали статистически.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вода Северо-Западной части Каспийского моря. В ходе исследований показано, что содержание свинца в морской воде Северо-Западной части Каспийского моря невысокое и составляло $4,41 \pm 0,26$ мкг/л и выявленная концентрация не превышала соответствующие предельно-допустимые концентрации для морских вод (10 мкг/л) и водоемов рыбохозяйственного значения (5 мкг/л). По сравнению с 2012–2014 гг. [10] в изучаемом водоеме концентрация свинца снизилась в 1,5 раза.

По мнению Е. В. Островской с соавторами [4] свинец распространялся в волжской струе в основном в поверхностном слое, и его концентрация уменьшалась по мере роста солености, и, следовательно, частично он был принесен на исследуемую акваторию с волжским стоком.

Донные отложения Каспийского моря. Биогеохимический анализ донных отложений показал, что свинец преимущественно аккумулировался илистыми образованиями северной части Каспийского моря, где его концентрация составляла $11,15 \pm 0,94$ мг/кг (таблица 2). Концентрация свинца в песчаных и ракушечных донных отложениях по сравнению с илистыми ниже в 1,4 и 1,6 раза соответственно.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ СВИНЦА В ЭКОСИСТЕМЕ ...

В северной части Каспийского моря концентрация свинца во всех исследованных донных отложениях выше, чем в средней части Каспийского моря (таблица 2), что свидетельствует о возможном осаждении свинца из воды в грунтах северной части Каспийского моря по мере увеличения солёности воды.

Рассчитанный кларк концентрации свинца данного показателя составляет 0,88 мг/кг в грунтах северной части Каспийского моря и 0,59 мг/кг – в грунтах средней части Каспийского моря, что свидетельствует об относительно низкой биофильности элемента, т.к. кларк концентрации свинца значительно ниже, чем в литосфере (10 мг/кг) [11].

Рассчитанные кларки рассеяния свинца в исследованных видах донных отложений больше 1, причем в средней части Каспийского моря этот процесс происходит более интенсивно (таблица 2).

В таблице 1 представлены значения коэффициента концентрации свинца грунтов северной и средней частей Каспийского моря относительно воды северо-западной части.

Таблица 1

Коэффициент концентрации свинца

	Концентрация свинца, мг/кг сухого вещества	Коэффициент концентрации $K_k = C_{\text{грунт}}/C_{\text{вода}}$
вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л	0,004±0,0003	
донные отложения северной части Каспийского моря (усредненные данные)	8,75±0,31	2188
донные отложения средней части Каспийского моря (усредненные данные)	5,95±0,42	1488

Таблица 2

Содержание свинца в различных видах донных отложений Каспийского моря, мг/кг сухого вещества

Виды донных отложений	Северная часть Каспийского моря	Кларки концентрации свинца относительно кларка по А. П. Виноградову $K_k = C_i/K_{\text{кларк}}$	Кларки рассеяния свинца относительно кларка по А. П. Виноградову $K_p = K_{\text{кларк}}/C_i$	Средняя часть Каспийского моря	Кларки концентрации свинца относительно кларка по А. П. Виноградову $K_k = C_i/K_{\text{кларк}}$	Кларки рассеяния свинца относительно кларка по А. П. Виноградову $K_p = K_{\text{кларк}}/C_i$
Илистые	11,15±0,94	1,12	0,89	9,47±0,97	0,95	1
Песчаные	8,23±0,68	0,82	1,2	3,10±0,30	0,31	3,2
Ракушечные	6,88±0,22	0,69	1,5	5,18±0,66	0,52	1,9
Средние значения	8,75±0,31	0,88	1,2	5,95±0,42	0,59	2,03
Кларк свинца по А.П. Виноградову [11] 10 мг/кг						

Свинец – тяжелый металл, который не является эссенциальным элементом и обладает высокой степенью токсичности в отношении гидробионтов, и в связи с этим возникает необходимость в мониторинге данного химического элемента в компонентах гидроценозов Каспийского бассейна.

Моллюски. Выбор церастодермы (*Cerastoderma lamarcki*), митилястера (*Mytilaster lineatus*) и моллюсков рода *Didacna* для биогеохимического исследования обусловлен тем, что они являются ценными кормовыми объектами для бентосоядных морских, полупроходных и проходных рыб Каспийского моря [12, 13].

Значения аккумуляции свинца в моллюсках митилясторе и церастодерме сопоставимы и составляли $42,46 \pm 2,22$ и $44,18 \pm 1,85$ мг/кг (рисунок 1) и по сравнению с митилястером и церастодермой содержание свинца в моллюсках рода *Didacna* почти в 20 раз ниже ($2,97 \pm 0,2$ мг/кг сухого вещества).

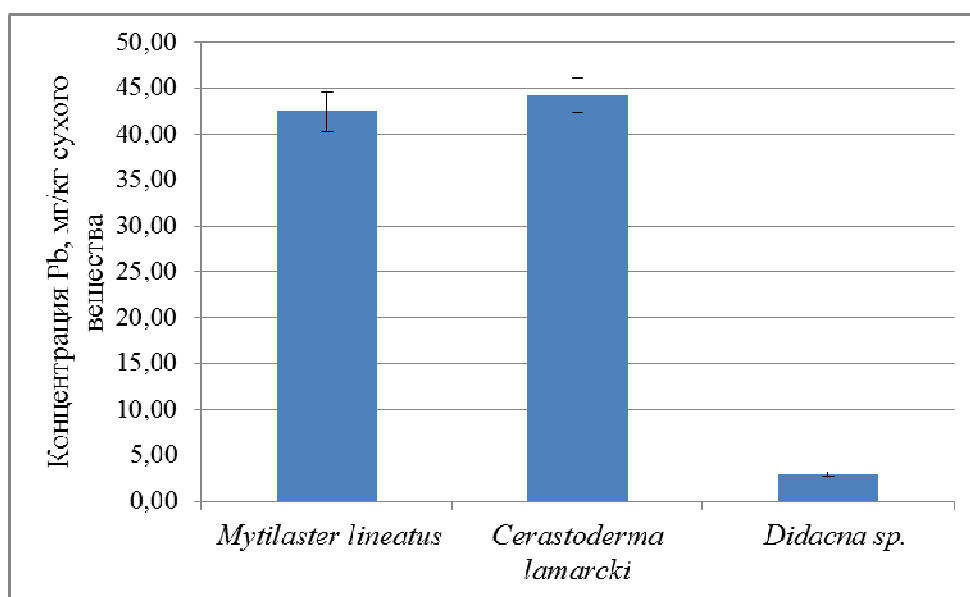


Рис. 1. Концентрация свинца в моллюсках Каспийского моря.

Известно, что химический элементарный состав организмов является одним из их видовых критериев [14]. Кроме того, на видовую специфику аккумуляции металлов моллюсками указывали Л. Т. Ковековдова и М. В. Симоконь [15] в своих исследованиях на данной группе животных Дальнего Востока России.

Исследованные виды моллюсков по способности аккумулировать свинец располагались в следующий убывающий ряд:

Cerastoderma lamarcki > *Mytilaster lineatus* > моллюски рода *Didacna*.

С целью выяснения источников поступления свинца в организм моллюсков рассчитаны коэффициенты накопления свинца относительно воды и грунта (таблица 3).

Таблица 3

Коэффициент накопления свинца моллюсками Каспийского моря

	Концентрация Pb, мг/кг сухого вещества	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{вода}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{грунт}$
морская вода, мг/кг	0,004±0,0003		
грунт усредненные данные	7,35±0,69		
<i>Mytilaster lineatus</i>	42,46±2,22	10615	5,78
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	44,18±1,85	11045	6,01
<i>Didacna sp.</i>	2,97±0,2	743	0,4

Коэффициенты накопления свинца (K_n) относительно воды свидетельствуют о том, что все исследованные виды моллюсков являются его концентраторами. Ранее на это в своих работах обращала свое внимание А. В. Махлун [16]. При этом у митиластера и церастодермы K_n выше в 15 раз по сравнению с таковым дидакны.

Ракообразные. Среди исследованных видов ракообразных, обитающих в Каспийском море, наибольшими значениями аккумуляции свинца отличались крабы и баянусы (41,25±1,71 и 43,56±0,05 мг/кг) (рисунок 2), тогда как креветки, напротив, обладали наименьшими концентрациями этого элемента (14,18±0,11 мг/кг сухого вещества), что почти в 3 раза меньше, чем в крабах и баянусах.

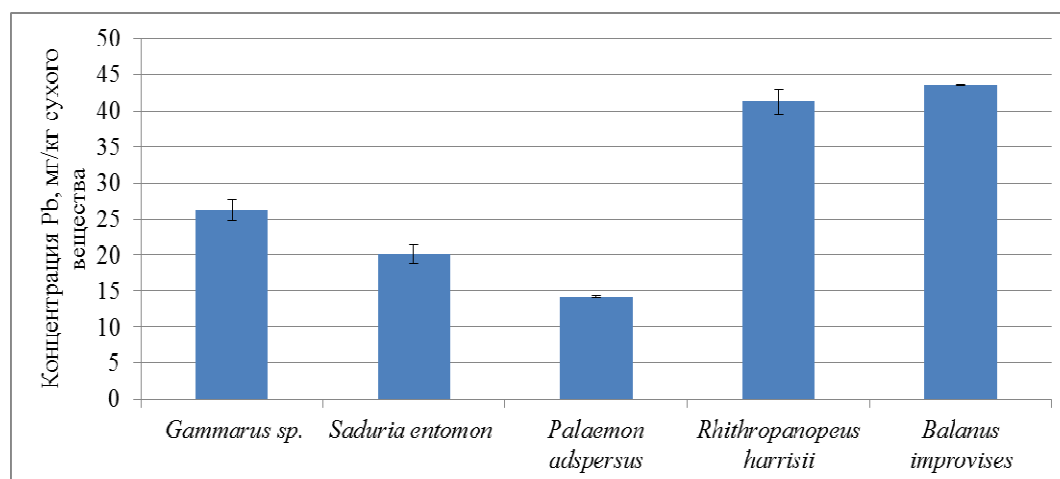


Рис. 2. Концентрация свинца в различных видах ракообразных Каспийского моря.

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

Balanus improvises > *Rhithropanopeus harrisii* > *Gammarus sp.* > *Saduria entomon* > *Palaemon adspersus*.

В таблице 4 представлены рассчитанные коэффициенты накопления свинца исследованными видами ракообразных.

Таблица 4
Коэффициент накопления свинца ракообразными Каспийского моря

	Концентрация Pb, мг/кг сухого вещества	Коэффициент накопления Кн вода = Ci/Свода	Коэффициент накопления Кн вода = Ci/Сгрунт
вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л	0,004±0,0003		
грунт усредненные данные	7,35±0,69		
<i>Gammarus sp.</i>	26,24±1,44	6560	3,57
<i>Saduria entomon</i>	20,18±1,22	5045	2,75
<i>Palaemon adspersus</i>	14,18±0,11	3545	1,93
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	41,25±1,71	10313	5,62
<i>Balanus improvisus</i>	43,56±0,05	10890	5,94

На основании рассчитанных коэффициентов накопления свинца относительно воды и грунта показано, что все исследованные виды ракообразных обладают способностью к его аккумуляции.

Лучше всего концентрационная функция выражена у балянусов и крабов.

Рыбы-бентофаги. Свинец, влияя на энзиматические процессы рыб, является постоянной нормальной составной частью их органов и тканей [17]. В организме рыб этот микроэлемент накапливается незначительно, так как малые дозы свинца необходимы для нормальной жизнедеятельности рыб [17, 18].

Среди исследованных видов рыб максимальное количество свинца обнаружено в *Benthophilus macrocephalus* (12,47±0,1 мг/кг сухого вещества) (рисунок 3), и в организме *Neogobius fluviatilis* и *Neogobius caspius* этот уровень был достоверно ниже в 1,6 и более чем в 3 раза соответственно.

Наименьшее количество свинца аккумулировалось в организме *Rutilus rutilus caspicus*, где его содержание не превышало 0,5 мг/кг сухого вещества [19].

Относительно русского и персидского осетров был проведен сравнительный анализ микроэлементного состава лишь некоторых органов (жабры, мышцы, почки и печень).

Результаты биогеохимических исследований органов показали максимальные концентрации свинца в жабрах осетров (3 и 2,5 мг/кг сухого вещества у русского и персидского осетров) (рисунок 4). Ранее на кумулятивный эффект этих органов в отношении свинца обращали свое внимание В. И. Воробьев, В. Ф. Зайцев и Е. Н. Щербакова [20].

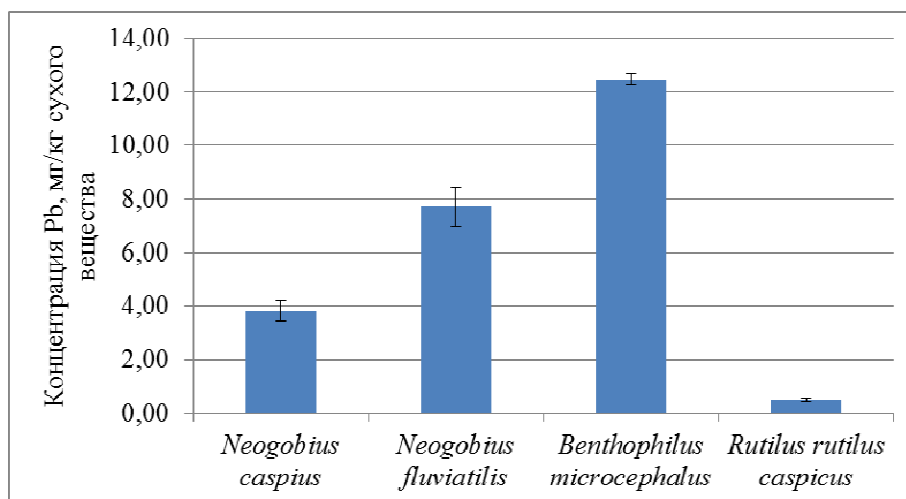


Рис. 3. Концентрация свинца в бентосных представителях ихтиофауны Каспийского моря.

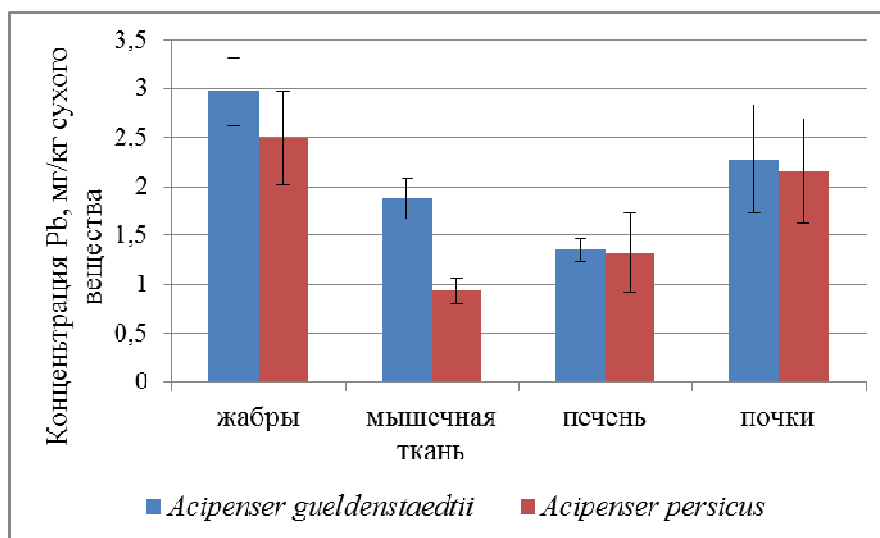


Рис. 4. Концентрация свинца в органах и тканях русского и персидского осетров.

Наибольшие значения исследованного элемента в жабрах можно объяснить их респираторной функцией и, в связи с этим их барьерной ролью, контролирующей проникновение этого поллютанта в организм: в организме в процессах переноса и отложения свинец аналогичен кальцию. Pb^{2+} , подобно Ca^{2+} , включается в метаболические процессы, поглощаясь жабрами пресноводных рыб через апикальный Ca-канал [1].

По мнению А. И. Моисеенко с соавторами [1] органом – мишенью для свинца является, прежде всего, почки, как функционально важный орган. Биосинтез и содержание металлотионеинов значительно увеличиваются в почках и печени при поступлении в организм соединений тяжелых металлов. Содержание металлотионеинов в печени меньше, чем в почках, и, соответственно, концентрация свинца выше в почках [21].

На основании вышесказанного далее по накоплению металла органами следовали почки (2,28 и 2,16 мг/кг), а затем печень рыб (1,35 и 1,32 мг/кг сухого вещества у русского и персидского осетров). Содержание свинца в печени у обоих видов осетров почти в 2 раза уступало таковому в жабрах.

По мнению А. Р. Исуева с соавт. [22] свинец легко проникает в организм, концентрируясь в почках и печени, где, как и другие металлы, связывается с протеиновыми ферментами, в частности с SH-группами. Это, в свою очередь, приводит к разрушению клеточных органелл в результате снижения интенсивности синтеза протеиновых белков [23].

Наименьшая кумуляция металла происходила в мышцах персидского осетра и составляла 0,93 мг/кг сухого вещества. У русского осетра по сравнению с персидским уровень накопления свинца мышечной тканью в 2 раза ниже (1,88 мг/кг сухого вещества). В отличие от русского осетра, где содержание поллютанта в мышцах выше предельно установленной концентрации почти в 2 раза, у персидского осетра и не превышало установленных норм в России (1,0 мг/кг сухого вещества). Стоит заметить, что во всех исследованных органах и тканях уровень аккумуляции данного химического элемента выше у русского осетра. При этом это связано не с видовой спецификой аккумуляции, на отсутствие которой ранее указывала в своих работах на других видах рыб Т. И. Моисеенко с соавторами [1], а возможно, причиной этому являются геохимические характеристики мест нагула рыб. Известно, что водные экосистемы суши в сравнении с морскими в большей степени подвержены антропогенному загрязнению [24]. Основным источником свинца в море является речной сток, в связи с этим концентрация химического элемента в компонентах экосистемы выше в северной части Каспийского моря. Русский осетр нагуливается северной части Каспийского моря, где существенно влияние речного стока, тогда как персидский осетр нагуливается в средней и южной части Каспийского моря.

Кроме того, В. Т. Комов, В. А. Гремячих и П. Н. Ершов [24] высказали предположение, что процесс накопления тяжелых металлов в морской рыбе ограничивают повышенная соленость, щелочность и более низкие среднегодовые температуры воды.

Для бентосных представителей ихтиофауны рассчитаны коэффициенты накопления свинца, которые представлены в таблице 5.

У персидского и русского осетров накопителями свинца являются все исследованные органы и ткани, но в большей мере это характерно для жабр и почек.

Рассчитанные коэффициенты накопления свинца органами русского и персидского осетров относительно объектов их питания (рыб-бентофагов) свидетельствуют об отсутствии перехода химического элемента по пищевой цепи.

Таблица 5

Коэффициенты накопления свинца бентосными представителями ихтиофауны Каспийского моря

	Концентрация Pb, мг/кг сухого вещества	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{вода}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{грунт}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{рыб\ бентофагов}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{рыб\ планктофагов}$
вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л	0,004±0,0003				
грунт усредненные данные, мг/кг	7,35±0,69				
Рыбы-бентофаги (усредненное значение)	6,13±1,1				
<i>Neogobius caspius</i>	3,84±0,39	960	0,5		
<i>Neogobius fluviatilis</i>	7,71±0,75	1928	1,04		
<i>Benthophilus microcephalus</i>	12,47±0,1	3185	1,7		
<i>Rutilus rutilus caspicus</i>	0,5±0,08	125	0,07		
<i>Atherina mochon caspia</i>	6,53±0,77				
<i>Clupeonella caspia</i>	7,52±1,77				
<i>Syngnathus abaster caspius</i>	26±4,25				
Рыбы-планктофаги (усредненное значение)	13,35±1,23				
<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>					
жабры	2,968±0,35	742	0,4	0,5	0,22
мышцы	1,876±0,2	469	0,3	0,3	0,14
печень	1,348±0,12	337	0,2	0,2	0,1
почки	2,283±0,55	578	0,3	0,4	0,17
<i>Acipenser persicus</i>					
жабры	2,494±0,47	356	0,3	0,4	0,19
мышцы	0,93±0,13	232	0,1	0,2	0,07
печень	1,32±0,41	330	0,2	0,2	0,1
почки	2,157±0,53	539	0,3	0,4	0,16

Рыбы – планктофаги. Рыба-игла отличалась наибольшими значениями свинца в своем организме $26 \pm 4,25$ мг/кг (рисунок 5), а содержание в кильке *Clupeonella cultriventris caspia* и атерине *Atherina mochon caspia* составляло $7,52 \pm 1,77$ и $6,53 \pm 0,77$ мг/кг сухого вещества. По сравнению с рыбой-иглой уровень аккумуляции свинца у этих рыб ниже в более чем в 3 раза.

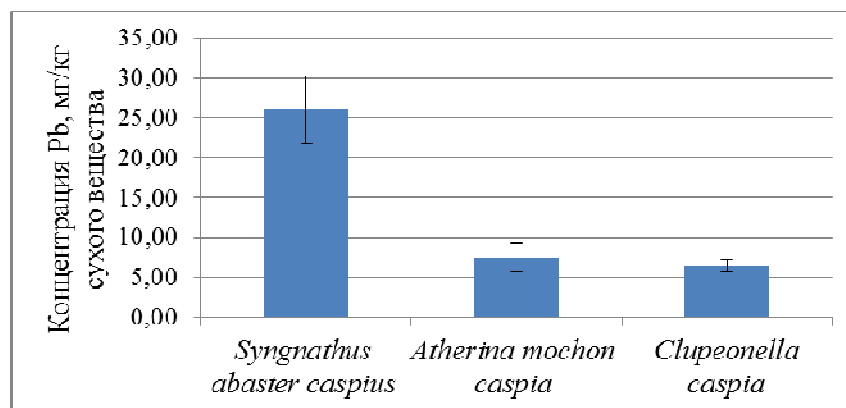


Рис. 5. Концентрация свинца в рыбах планктофагах.

Килька и атерина распространены по всей акватории Каспийского моря, также как и игла-рыба, но последняя в основном укрывается в траве – zostере, которая составляет фитобентос северной части Каспийского моря [25]. Возможно, этим можно объяснить повышенные концентрации свинца в игле-рыбе, которые зависят от биогеохимических условий обитания, связанные с более высокими концентрациями свинца в воде северной части Каспийского моря.

Как и у исследованных видов осетровых максимальные значения свинца зафиксированы в жабрах сельдей ($7,69 \pm 1,03$ и $8,45 \pm 0,89$ мг/кг сухого вещества у черноспинки *Alosa kessleri kessleri* и долгинской сельди *Alosa braschnicowii braschnicowii* соответственно) (рисунок 6). В остальных изученных органах содержание химического элемента находилось примерно на одном уровне. Концентрация свинца в них примерно в 8 раз меньше, чем в жабрах.

По способности к аккумуляции свинца органы и ткани исследованных видов сельдей располагаются в следующем убывающем порядке:

жабры > печень \geq гонады \geq мышцы.

Сравнивая полученные значения металла в мышечной ткани исследованных видов сельдей с предельно-допустимой (1 мг/кг), было зафиксировано незначительное превышение этой величины.

На основании рассчитанных коэффициентов накопления свинца показано, что все исследованные виды рыб способны аккумулировать в своем организме свинец ($K_n > 1$), а в наибольшей степени это характерно для рыбы-иглы ($K_n = 70,27$) (таблица 6).

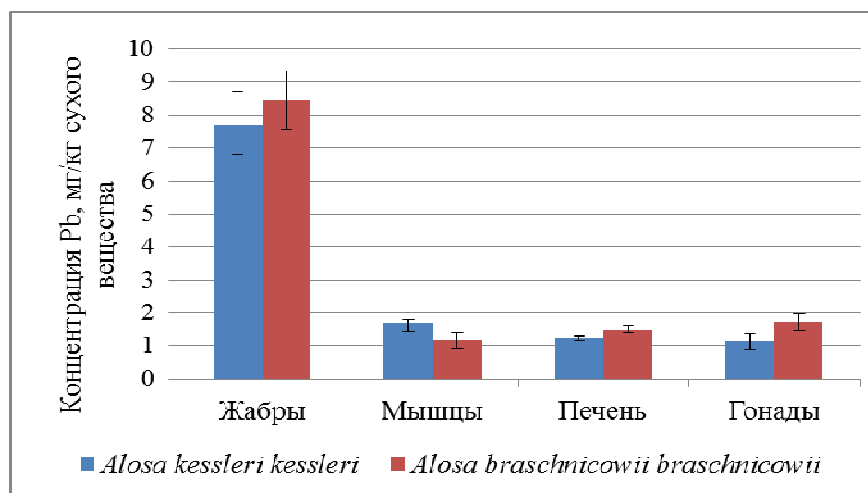


Рис. 6. Концентрация свинца в органах и тканях сельдей.

Таблица 6

Коэффициенты накопления свинца рыбами планктофагами Каспийского моря

	Концентрация Pb, мг/кг сухой массы	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{\text{вода}}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{\text{рыбы-планктофаги}}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{\text{рыбы-бентофаги}}$
вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л	0,004±0,0003			
<i>Atherina tochon caspia</i>	6,53±0,77	1632		
<i>Clupeonella caspia</i>	7,52±1,77	1880		
Рыбы-планктофаги (усредненное значение)	7,03±1,1			
<i>Neogobius caspius</i>	3,84±0,39			
<i>Neogobius fluviatilis</i>	7,71±0,75			
Рыбы-бентофаги (усредненное значение)	5,78±0,94			
<i>Alosa kessleri kessleri</i>				
жабры	7,69±1,03	1920		
мышцы	1,68±0,12	420		
печень	1,23±0,09	308		
гонады	1,13±0,24	283		
<i>Alosa brashnicowii brashnicowii</i>				
жабры	8,45±0,89	2112		
мышцы	1,16±0,24	290		
печень	1,49±0,1	373		
гонады	1,71±0,25	428		

У исследованных видов сельдей аккумуляционная способность выявлена во всех изученных органах. При этом жабры сельдей отличались высокими значениями коэффициента накопления.

Черноспинка *Alosa kessleri kessleri* и долгинская сельдь *Alosa braschnicowii braschnicowii* являются хищниками. Спектр их питания совпадает, где основными объектами питания по данным В. П. Иванова и Г. В. Комаровой [12] являются килька, атерина, бычки. В связи с этим выявлялась средняя концентрация свинца в объектах питания сельдей и посчитаны коэффициенты накопления металла органами сельдей. На основании рассчитанных коэффициентов накопления отмечено, что свинец не способен мигрировать по цепи питания сельдей.

Каспийский тюлень *Phoca caspica*. Свинец, независимо от путей поступления в организм связывается эритроцитами, и поэтому разносится кровью и накапливается, прежде всего, в жировой ткани органов. Возможно, это объясняет обнаружение наибольших значений металла в подкожно-жировой клетчатке тюленей. При этом необходимо отметить, что в возрастных группах особей от 1 до 7 лет и от 7 до 12 лет этот показатель превышал значения предельно допустимого уровня (в 2,5 и 1,5 раза соответственно) (таблица 7).

Таблица 7

Концентрация свинца в органах и тканях каспийского тюленя

Органы каспийского тюленя	по данным Т. Ikemoto et al., 2004 [30], мг/г сухой массы	по данным Н. А. Захаровой, 2007 [26], мг/кг сухой массы			По данным Т. С. Ершовой, В. Ф. Зайцева, 2016 [31], мг/кг сухой массы		
		1-7 лет	7-12 лет	12-17 лет	1-7 лет	7-12 лет	12-17 лет
почки	0,116	–	–	–	2,39	1,93	1,12
печень	0,006	4,79			1,97	1,87	1,76
легкие	–	–	–	–	2,3	2,53	1,56
подкожный жир	–	5,45			4,89	2,92	1,04

Наши данные вполне сопоставимы с данными Н. А. Захаровой [26], которая отмечала, что в период с 1992 по 2000 гг. наблюдалась тенденция к снижению концентрации свинца в органах и тканях каспийского тюленя с незначительным повышением его уровня в 2001 г.

Известно, что в кровь проникает всего 30–50 % свинца, поступившего в дыхательные пути, и можно предположить, что значительная его часть оседает в легких, что свидетельствует в пользу полученных результатов.

Биосинтез и содержание металлотионеинов значительно увеличиваются в почках и печени при поступлении в организм соединений тяжелых металлов. Причем содержание металлотионеинов в печени меньше, чем в почках, поэтому концентрация свинца выше в почках [21]. Кроме того, в составе соединений свинец способен откладываться в клетках почечных канальцев, образуя внутриядерные включения, так как у млекопитающих основным путем выведения свинца из тканей являются почки [21].

Часть свинца, поступившего с пищей, у животных превращается в хлорид и комплексы с желчными кислотами, которые всасываются как таковые. Желчь стимулирует транспорт свинца через эпителий слизистой оболочки [27–29, 21]. Тем не менее, в печени концентрация свинца имеет наименьшее значение среди исследованных органов.

Стоит отметить, что уровень содержания свинца в печени тюленей достаточно низкий по сравнению с таковыми, обнаруженными разными исследователями прошлых лет [30]. Так, у японских коллег концентрация свинца в печени соответствовала значению – 0,006 мг/г или 6 мг/кг сухой массы [30], что почти в 3 раза превосходит наши данные.

Данные И. А. Захаровой [26] по степени аккумуляции свинца печенью каспийского тюленя в период с 1992 по 2001 гг. также свидетельствует о достаточно высоких значениях поллютанта в тот период.

Концентрацию свинца в органах и тканях каспийского тюленя можно расположить в следующем убывающем порядке:

жир > легкие > почки > печень.

При проведении сравнительного анализа выявлена обратная тесная зависимость между возрастом тюленей и уровнем его аккумуляции в исследуемых органах ($r = -0,97$; $r = -0,96$; $r = -0,98$; $r = -0,77$ для почек, печени, жира и легких соответственно).

В результате проведенных исследований у каспийского тюленя по сравнению со старше возрастными особями в возрастном периоде от 1 до 7 лет установлена максимальная концентрация свинца в жире. Показано, что с возрастом степень накопления свинца в органах снижалась [31].

В таблице 8 представлены коэффициенты накопления свинца некоторыми органами и тканями каспийского тюленя.

Рассчитанные коэффициенты накопления свинца органами каспийского тюленя относительно объектов их питания (рыб-планктофагов, рыб-бентофагов) свидетельствуют об отсутствии перехода химического элемента по пищевой цепи.

На рисунках 7 и 8 представлены схемы миграции Pb по звеньям трофической цепи осетров (*Acipenser gueldenstaedtii*, *Acipenser persicus*) и сельдей (*Alosa kessleri kessleri* и *Alosa braschnicowii braschnicowii*). Показано, что свинец не способен мигрировать в цепях питания исследованных рыб. Этот химический элемент способен аккумулироваться лишь беспозвоночными животными.

Таблица 8
Коэффициенты накопления свинца органами и тканями каспийского тюленя

	Концентрация Pb, мг/кг сухого вещества	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{вода}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{рыб\ планктофагов}$	Коэффициент накопления $K_n = C_i/C_{рыб\ бентофагов}$
вода северо-западной части Каспийского моря, мг/л	0,004±0,0003			
рыбы – планктофаги (килька и атерина)	5,55±1,04			
рыбы – бентофаги (вобла и виды семейства бычковые)	6,13±1,1			
<i>Phoca caspica</i> почки	1,9±0,02	475	0,3	0,3
печень	1,8±0,04	450	0,3	0,3
жировая ткань	2,95±0,15	738	0,5	0,5
легкие	2,13±0,11	533	0,4	0,3

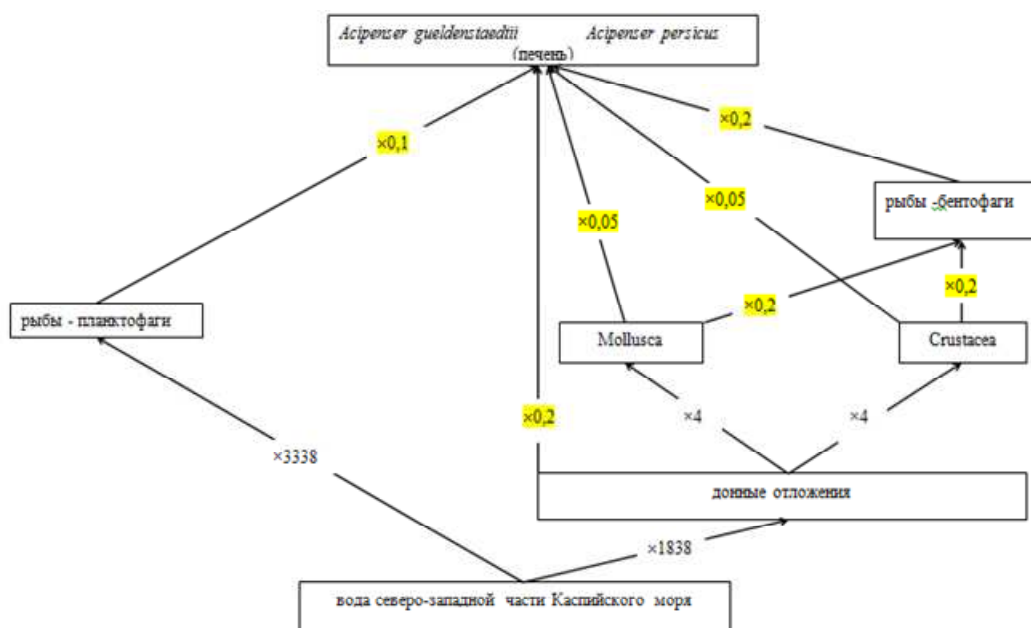


Рис. 7. Миграция Pb по звеньям пищевой цепи *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus*

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ СВИНЦА В ЭКОСИСТЕМЕ ...

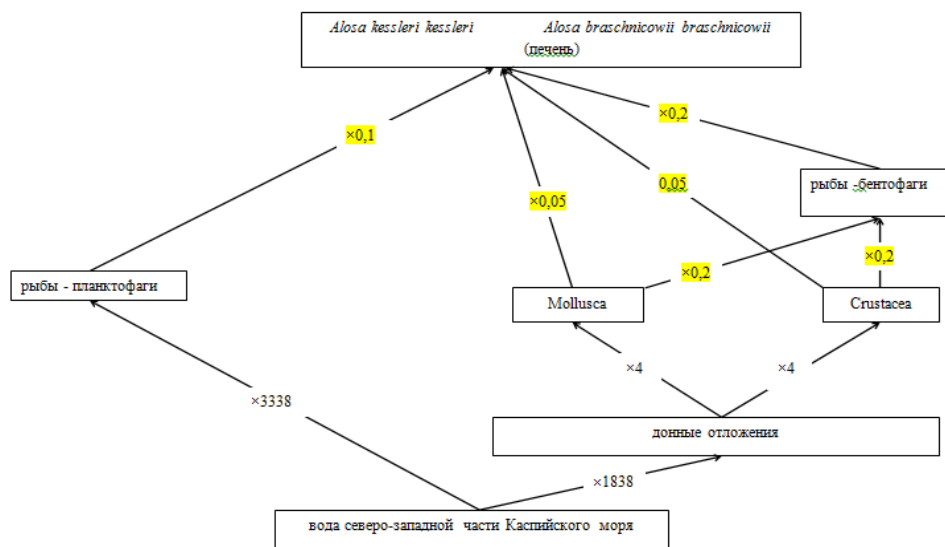


Рис. 8. Миграция Pb по звеньям пищевой цепи *Alosa kessleri kessleri* и *Alosa braschnicowii braschnicowii*.

На рисунке 9 представлена схема перехода Pb по звеньям трофической цепи *Phoca caspica*. Также как и в случае с исследованными трофическими цепями осетров и сельдей свинец в основном аккумулировался беспозвоночными животными. Исключение составляет коэффициент накопления свинца печенью зверя, рассчитанный относительно сельдевых рыб и который свидетельствует об их незначительном участии в накоплении свинца печенью.

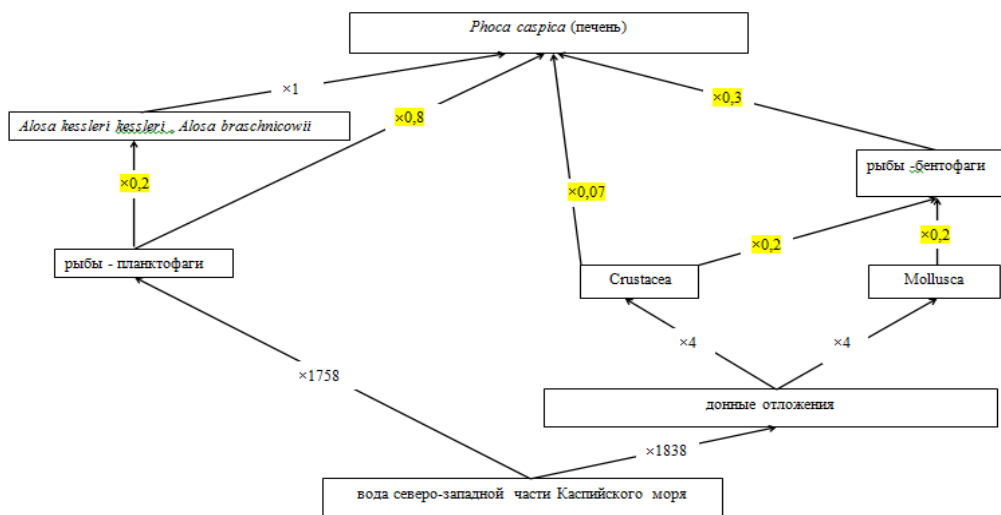


Рис. 9. Миграция Pb по звеньям пищевой цепи *Phoca caspica*.

Рассчитанные коэффициенты накопления свинца органами и тканями русского и персидского осетров, сельди черноспинки и долгинской сельди, а также каспийского тюленя относительно объектов их питания свидетельствуют о том, что он не способен мигрировать по их трофическим цепям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование грунта и воды Каспийского моря на содержание в них свинца показало, что концентрация свинца в морской воде не превышала предельно установленную величину для морской воды; концентрация свинца меньше его кларка для морской воды (10 мг/кг), предложенного А. П. Виноградовым; свинец осаждается в грунтах северной части, вследствие чего его концентрация в 1,5 раза выше, чем в грунтах средней части Каспийского моря; свинец преимущественно аккумулировался илистыми донными отложениями; в грунтах в период с 2015 по 2019 гг. отмечено уменьшение концентрации Pb в 1,5 раза.

Выявлены организмы – концентраторы свинца в экосистеме Каспийского моря: среди ракообразных *Rhithropanopeus harrisi* и *Balanus improvisus*; среди исследованных видов моллюсков *Mytilaster lineatus* и *Cerastoderma lamarcki*; среди представителей ихтиофауны *Benthophilus microcephalus* и *Syngnathus abaster caspius*. Стоит отметить, что Pb накапливали преимущественно беспозвоночные животные.

Выявлены закономерности распределения свинца в органах и тканях гидробионтов, занимающих вершины трофических уровней: у *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus*, *Alosa kessleri kessleri* и *Alosa brashnicowii brashnicowii* свинец преимущественно депонировался в почках и жабрах, у *Phoca caspica* – в жировой ткани, легких и почках.

Таким образом, Pb имеет особенность накапливаться лишь на некоторых трофических уровнях пищевых цепей *Acipenser gueldenstaedtii* и *Acipenser persicus*, *Alosa kessleri kessleri* и *Alosa brashnicowii brashnicowii*, а также *Phoca caspica*.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству на 2020 год по теме: «Исследование содержания тяжелых металлов в кормовой базе и промысловой ихтиофауне Каспийского моря» № государственной регистрации АААА-А20-120032590074-3

Список литературы

1. Моисеенко Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т. И. Моисеенко, Л. П. Кудрявцева, Н. А. Гашкина. – М.: Наука, 2006. – 261 с.
2. Добровольский В. В. Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия / В. В. Добровольский // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М.: МГУ, 1980. – С. 3–12.
3. Болотов В. П. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища / В. П. Болотов, В. М. Зубкова, Н. Ю. Белозубова // Аграрная наука. – 2015. – №1. – С. 14–16.
4. Островская Е. В. Тяжелые металлы в системе «дельта Волги – Северный Каспий» / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2008. – № 4. – С. 133–140.

5. Кирьянов С. В. Влияние стока Волги на состояние загрязнения Северного Каспия / С. В. Кирьянов, Н. А. Афанасьев // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 6. – С. 114–117.
6. ПНД Ф 14.1:2:4.214-06 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом плазменной атомно-абсорбционной спектrophотометрии» - М.: ФБУ «ФЦАО», 2011. – 22 с.
7. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами». – М.: ФБУ «ФЦАО», 2011. – 46 с.
8. ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Стандартформ. – 2010. – 8 с.
9. Морозов Н. П. Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях / Морозов Н. П. // Биогеохимия океана. – М.: Наука, 1983. – С. 127–165.
10. Бреховских В. Ф. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / В. Ф. Бреховских, Е. В. Островская, З. В. Волкова [и др.]. – Астрахань: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – С. 236–251.
11. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. / А. П. Виноградов. – М.: изд.-во АН СССР, 1957. – 298 с.
12. Иванов В. П. Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел) / В. П. Иванов, Г. В. Комарова // Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. – 224с.
13. Малиновская Л. В. Современная оценка макрозообентоса Каспийского моря как объекта питания бентосоядных рыб (на примере восточного района Северного и Среднего Каспия. / Л. В. Малиновская, Т. Д. Зинченко, Л. А. Кочнева // Аграрная Россия. – 2008. – № 3. – С. 29–34.
14. Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии / В. И. Вернадский // Труды биогеохимической лаборатории. – Москва, 1980. – Т. 16. – 320с.
15. Ковековдова Л. Т. Ртуть в донных отложениях и промысловых гидробионтах залива Петра Великого (Японское море). / Л. Т. Ковековдова, М. В. Симоконь // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 227–230.
16. Махлун А. В. Микроэлементный состав донных сообществ аванделты Волги и западной части Северного Каспия: дисс. ... канд. биол. наук. / А. В. Махлун. – Севастополь 2017. – 157 с.
17. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. / А. И. Войнар. – М.: Высшая школа, 1960. – 544 с.
18. Попов П. А. Оценка экологического состояния водоёмов методами ихтиоиндикации / П. А. Попов. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос ун-та, 2002. – 270 с.
19. Чаплыгин В. А. Бентосные организмы – концентраторы некоторых элементов в экосистеме Каспийского моря / В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова, Т. С. Ершова, В. Ф. Зайцев // Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России (Махачкала, 6-8 ноября 2018 г.): материалы XX Юбилейной Международной научной конференции. – Махачкала: Типография ИПЭ РД, 2018. – С. 627–630.
20. Воробьев В. И. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра / В. И. Воробьев, В. Ф. Зайцев, Е. Н. Щербакова. – Астрахань: Изд-во ООО «ЦНТЭП», 2007. – С. 116.
21. Бокова Т. И. Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов / Т. И. Бокова. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. – 284 с.
22. Исуюв А. Р. О накоплении мутагенных химических веществ в органах промысловых рыб Каспия / А. Р. Исуюв, А. К. Аскерханов // Каспий – 95 (Москва, 20-23 июня. 1995 г.): материалы Международной конференции. – М., 1995. – С. 100–101.
23. Немова Н. Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб / Н. Н. Немова. – Москва: Наука, 2005. – 164 с.
24. Комов В. Т. Сравнительное содержание ртути в мышцах рыб водоемов севера Европейской России (Кандалакшский залив Белого моря) / В. Т. Комов, В. А. Гремячих, П. Н. Ершов // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера (Петрозаводск, 5–8 октября 2009 г.): материалы XXVIII Междунар. конф. – Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2009. – С. 289–292.
25. Мукатова М. Д. Водные растения Волго-Каспия и возможность их переработки / М. Д. Мукатова, А. В. Привезенцев, Н. А. Киричко, Р. Р. Утеушев // Вестник АГТУ. – 2005. – №3 (26). – С.158–165.

26. Захарова Н. А. Оценка состояния популяции тюленя в Каспийском море и прогноз его добычи на 2007 год / Н. А. Захарова, В. В. Кузнецов, О. М. Валедская // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2007. – С. 389–401.
27. Трахтенберг И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты / И. М. Трахтенберг, В. С. Колесников, В. Р. Луковенко. – Минск: Наука и техника, 1994. – С. 285.
28. Барышников И. И. Тяжелые металлы в окружающей среде – проблема экологической токсикологии / И. И. Барышников, В. И. Барышников // Экологическая химия. –1997. – №2. – С. 102–106.
29. Лужников Е. А. Острые отравления / Е. А. Лужников, Л. Т. Костомарова. – М.: Медицина, 1989. – 432 с.
30. Ikemoto T. Comparison of trace element accumulation in Baikal seals (*Pusa sibirica*), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) / T. Ikemoto, T. Kunito, I. Watanabe [et al.]. // Environmental Pollution. – 2004. – Vol. 127. – P. 83–97.
31. Ершова Т. С. Тяжелые металлы в некоторых органах каспийской нерпы (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) / Т. С. Ершова, А. С. Танасова, В. Ф. Зайцев, В. В. Володина // Известия Дагестанского государственного педагогического университета «Естественные и точные науки». – 2016. – Т.10, №2. – С. 27–34.

FEATURES OF LEAD MIGRATION IN THE ECOSYSTEM OF THE CASPIAN SEA

Ershova T. S.¹, Zaitsev V. F.¹, Chaplygin V. A.²

¹*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

²*Volga-Caspian Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography-KaspNIRKh, Astrakhan, Russia*

E-mail: ershova_ts@mail.ru

The increase in lead in the environment is due to its widespread use in industry and its removal into water bodies with wastewater from metallurgical enterprises, chemical industries. In addition, the concentration of lead in the environment increases due to its increased content in the exhaust gases of vehicles due to the use of tetraethyl lead as an antiknock agent in motor fuel. The objects of study were various types of bottom sediments of the Caspian Sea, sea water, as well as organisms occupying the tops of food chains in the ecosystem of the Caspian Sea: *Acipenser gueldenstaedtii*, *Acipenser persicus*, *Alosa braschnikowii*, *Alosa kessleri*, *Phoca caspica* and their food organisms. Sampling was carried out in the period from 2011–2020. Determination of lead in the studied samples was carried out by atomic absorption spectrometry. The concentration of chemical elements was expressed in mg / kg dry matter. The accumulation coefficient was calculated according to N. P. Morozov.

The concentration of lead in the water of the northwestern part of the Caspian Sea does not exceed the maximum permissible level established for sea waters. Compared to 2012–2014 in the studied water, the lead concentration decreased by 1.5 times.

It is noted that lead is predominantly accumulated by silty bottom sediments, and in the northern part of the Caspian Sea, as compared to the middle one, it is more intensively deposited from the water, which indicates the possible deposition of lead from the water in the soils of the North Caspian as the salinity of the water increases.

Lead was better accumulated by benthic invertebrates. The studied species of mollusks, according to their ability to accumulate lead, were arranged in the following decreasing row: *Cerastoderma lamarcki* > *Mytilaster lineatus* > *Didacna* sp., and the revealed metal concentrations in the studied representatives of crustaceans made it possible to reveal the following pattern: *Balanus improvisus* > *Rhithropanopeus harrisi* > *Gammarus* sp. > *Saduria entomon* > *Palaemon adspersus*.

Among the studied species of benthophagous fish, the largest amount of lead was found in representatives of the *Gobiidae* family, and the smallest in *Rutilus rutilus caspicus*. Among planktophagous fish *Syngnathus abaster caspius* was distinguished by the highest values of lead in its body.

During the work, lead concentrating organisms were identified: the mollusks *Cerastoderma lamarcki* and *Mytilaster lineatus*, *Rhithropanopeus harrisi* and *Balanus improvisus*, from the benthophagous fish *Benthophilus macrocephalus*, from the planktophagous fish *Syngnathus abaster caspius*. In the body of the *Acipenser gueldenstaedtii*, *Acipenser persicus*, as well as in the black-backed herring and *Alosa braschnikowii*, lead is deposited mainly in the gills, kidneys, and liver. In the Caspian seal, lead accumulates in adipose tissue, kidneys and lungs.

Thus, the calculated coefficients of lead accumulation in the organs of *Acipenser gueldenstaedtii* and *Acipenser persicus*, black-backed herring and *Dolginsky herring*, as well as the *Caspian seal* relative to their food objects indicate that it practically does not rise above the trophic level occupied by benthic invertebrates.

Keywords: lead, migration, bottom sediments, molluscs, crustaceans, fish, Caspian seal, Caspian.

References

1. Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Gashkina N. A. *Scattered elements in surface land waters: Technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology*, 261 p. (Moscow, Nauka, 2006). (in Russ).
2. Dobrovolsky V. V. Heavy metals: environmental pollution and global geochemistry, *Heavy metals in the environment*, 3 (Moscow, Moscow State University, 1980). (in Russ).
3. Bolotov V. P., Zubkova V. M., Belozubova N. Yu. The content and migration of heavy metals in the components of the ecosystems of the Volgograd reservoir. *Agricultural science*, 14, 1 (2015). (in Russ).
4. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V. Heavy metals in the «Volga delta – North Caspian» system. *South of Russia: ecology, development*, 133, 4 (2008). (in Russ).
5. Kiryanov S. V., Afanasyev N. A. Influence of the Volga runoff on the state pollution of the Northern Caspian. *Meteorology and Hydrology*, 114, 6 (1992). (in Russ).
6. HDPE F 14.1:2:4.214-06 «Quantitative chemical analysis of waters. Methods of measuring the mass concentration of iron, cadmium, cobalt, manganese, nickel, copper, zinc, chromium and lead in samples of natural and wastewater by plasma atomic absorption spectrophotometry», 22 p. (Moscow: FBU «FCAO», 2011) (in Russ).
7. HDPE F 16.2.2:2.3.71-2011 «Quantitative chemical analysis of soils. The method of measuring the mass fractions of metals in wastewater sediments, bottom sediments, samples of plant origin by spectral methods», 46 p. (M.: FBU «FCAO», 2011) (in Russ).
8. GOST 30178-96 Raw materials and food products. Atomic absorption method for the determination of toxic elements, 8 p. (M.: Standartinform, 2010). (in Russ).
9. Morozov N. P. Chemical elements in hydrobionts and food chains, *Biogeochemistry of the ocean*, 127 (M.: Nauka, 1983). (in Russ).
10. Brekhovskikh V. F., Ostrovskaya E. V., Volkov Z. V. *Pollutants in the waters of the Volga of the Caspian basin*, 236 p. (Astrakhan, Sorokin Roman Vasilievich, 2017). (in Russ).

11. Vinogradov A. P. *Geochemistry of rare and disseminated chemical elements in soils*, 298 (Moscow, publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1957). (in Russ).
12. Ivanov V. P., Komarova G. V. *Fish of the Caspian Sea (taxonomy, biology, fishing)*, 224 p. (Astrakhan: Publishing house of ASTU, 2008). (in Russ).
13. Malinovskaya L. V., Zinchenko T. D., Kochneva L. A. Modern assessment of the macrozoobenthos of the Caspian Sea as an object of feeding for benthic-eating fish on the example of the eastern region of the North and Middle Caspian. *Agrarian Russia*, 29, 3 (2008). (in Russ).
14. Vernadsky V. I. Problems of biogeochemistry. *Proceedings of the Biogeochemical Laboratory*, 16, 320 (1980). (in Russ).
15. Kovekovdova L. T., Simokon M. V. Mercury in bottom sediments and commercial aquatic organisms in the Peter the Great Gulf (Sea of Japan). *Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects*, 227 (Moscow, GEOKHI RAN, 2010). (in Russ).
16. Makhlyn A. V. *Microelement composition of benthic communities in the Volga delta and the western part of the North Caspian*: diss. ... cand. biol. sciences: 03.02.10 Hydrobiologiy, 157 (Sevastopol, 2017). (in Russ).
17. Voinar A. I. *The biological role of trace elements in the body animals and humans*, 544 p. (Moscow, Higher school, 1960). (in Russ).
18. Popov P. A. *Assessment of the ecological state of water bodies methods of ichthyoindication*, 270 p. (Novosibirsk: Publishing house Novosib. State University, 2002). (in Russ).
19. Chaplygin V. A., Tanasova A. S., Ershova T. S., Zaitsev V. F. Benthic organisms – concentrators of some elements in the ecosystem of the Caspian Sea. *Biological diversity of the Caucasus and the South of Russia*: Materials of the XX Anniversary International Scientific Conference (Makhachkala, November 6–8, 2018), 627 (Makhachkala, Printing house IPE RD, 2018). (in Russ).
20. Vorobiev V. I., Zaitsev V. F., Shcherbakova E. N. *Biogenic migration of heavy metals into the organism of the Russian sturgeon*, 116 p. (Astrakhan, Publishing house of LLC «TsNTEP», 2007.). (in Russ).
21. Bokova T. I. *Ecological foundations of innovative improvement of food products*, 284 p. (Novosibirsk, Publishing house of NSAU, 2011). (in Russ).
22. Isuev A. R., Askerkhanov A. K. *On the accumulation of mutagenic chemicals in the organs of commercial fish in the Caspian*. *Caspian - 95*: Materials of the International conference (Moscow, June 20–23, 1995), 100 (Moscow, 1995). (in Russ).
23. Nemova N. N. *Biochemical effects of mercury accumulation in fish*, 164 p. (Moscow, Nauka, 2005). (in Russ).
24. Komov V. T., Gremyachikh V. A., Ershov P. N. Comparative content of mercury in the muscles of fish in water bodies of the north of European Russia (Kandalaksha Bay of the White Sea). *Biological resources of the White Sea and inland water bodies of the European North*: Materials of the XXVIII Intern. conf. (Petrozavodsk, October 5–8, 2009), 289 (Petrozavodsk, Karelian scientific. Center of RAS, 2009). (in Russ).
25. Mukatova M. D., Privezentsev A. V., Kirichko N. A., Uteushev R. R. Aquatic plants of the Volgo-Caspian Sea and the possibility of their processing. *Vestnik AGTU*, 3 (26), 158 (2005). (in Russ).
26. 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. *Fisheries research in the Caspian*, 389. (Astrakhan: Publishing house of CaspNIRKh, 2007). (in Russ).
27. Trakhtenberg I. M., Kolesnikov V. S., Lukovenko V. R. Heavy metals in the external environment: modern hygienic and toxicological aspects, 285p. (Minsk, Navuka and tekhnika, 1994). (in Russ).
28. Baryshnikov I. I., Baryshnikov V. I. Heavy metals in the environment – a problem of ecological toxicology. *Environmental chemistry*, 102, 2 (1997). (in Russ).
29. Luzhnikov E. A., Kostomarov L. T. *Acute poisoning*, 432 p. (Moscow, Medicine, 1989). (in Russ).
30. Ikemoto T., Kunito T., Watanabe I. Comparison of trace element accumulation in Baikal seals (*Pusa sibirica*), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). *Environmental Pollution*, 83, 127 (2004).
31. Ershova T. S., Tanasova A. S., Zaitsev V. F., Volodina V. V. Heavy metals in some organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). *News of the Dagestan State Pedagogical University «Natural and Exact Sciences»*, 10 (2), 27 (2016). (in Russ).