

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.24 (597.2/5)

DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Микроэлементный состав каспийского тюленя (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) в условиях техногенеза биосферы

Татьяна С. Ершова¹, Вячеслав Ф. Зайцев¹, Магомед З. Гаджидадаев²,
Шамсутдин М. Самудов², Владимир А. Чаплыгин³, Юлия А. Шевченко³

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия

Контактное лицо

Татьяна С. Ершова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра гидробиологии и общей экологии, 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., Гаджидадаев М.З., Самудов Ш.М., Чаплыгин В.А., Шевченко Ю.А. Микроэлементный состав каспийского тюленя (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) в условиях техногенеза биосферы // Юг России: экология, развитие. 2022. Т.17, N 1. С. 49-61. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Получена 13 марта 2021 г.

Прошла рецензирование 7 июля 2021 г.

Принята 5 сентября 2021 г.

Резюме

Цель. Выявить особенности аккумуляции и закономерности распределения Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Hg, Cd, Pb в органах и тканях Каспийского тюленя.

Материалы 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. В организме каспийского тюленя цинк, марганец, хром, кобальт и ртуть преимущественно аккумулируются в печени, никель и кадмий в почках, медь – в желудке, а свинец – в жировой ткани. При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Самки каспийского тюленя по сравнению с самцами аккумулируют в большей мере медь, ртуть и кадмий. Половых различий в накоплении цинка, никеля, кобальта и свинца органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. С возрастом у каспийского тюленя происходит достоверное увеличение концентрации цинка, меди, ртути и кадмия, а усвояемость марганца, хрома, кобальта и свинца снижается.

Заключение. Химические элементы распределяются в организме тюленя неравномерно в зависимости от свойств металлов и функциональных особенностей органов. Значительные концентрации металлов отмечены, прежде всего, в органах, для которых характерно активное протекание процессов метаболизма с одной стороны, а с другой – активно участвующих в процессах, направленных на поддержание гомеостаза.

Ключевые слова

Каспийский тюлень, *Phoca caspica*, химические элементы, аккумуляция, кормовые объекты, коэффициент накопления.

Trace element composition of organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) in the conditions of technogenesis of the biosphere

Tatiana S. Ershova¹, Vyacheslav F. Zaitsev¹, Magomed Z. Gadzhidadaev², Shamsutdin M. Samudov², Vladimir A. Chaplygin³ and Yulia A. Shevchenko³

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Volga-Caspian Branch, Russian Federal Institute of Fisheries and Oceanography, Astrakhan, Russia

Principal contact

Tatiana 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., Gadzhidadaev M.Z., Samudov Sh.M., Chaplygin V.A., Shevchenko Yu.A. Trace element composition of organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) in the conditions of technogenesis of the biosphere. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 49-61. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-49-61

Received 13 March 2021

Revised 7 July 2021

Accepted 5 September 2021

Abstract

Aim. To identify features of the accumulation and distribution patterns of Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Hg, Cd, Pb in organs and tissues of the Caspian seal.

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

Results. In the body of the Caspian seal, zinc, manganese, chromium, cobalt and mercury are mainly deposited in the liver, nickel and cadmium in the kidneys, copper in the stomach and lead in adipose tissue. Under the same living conditions, females have in most cases higher coefficients of accumulation of trace elements than males. Female Caspian seals accumulate more copper, mercury and cadmium than males. Sexual differences in the accumulation of zinc, nickel, cobalt and lead by organs and tissues of the Caspian seal were not detected. With age, the Caspian seal has a significant increase in the concentration of zinc, copper, mercury and cadmium, and the digestibility of manganese, chromium, cobalt and lead decreases.

Conclusion. Chemical elements are distributed unevenly in the body of a seal, depending on the properties of metals and the functional features of organs. Significant concentrations of metals are noted primarily in organs that are characterized by active metabolic processes on the one hand, and on the other are actively involved in processes aimed at maintaining homeostasis.

Key Words

Caspian seal, *Phoca caspica*, chemical elements, accumulation, feed objects, accumulation coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийский тюлень – это единственное морское млекопитающее на Каспии, уникальный эндемичный вид. С середины 1980-х годов популяция каспийского тюленя находится в депрессивном состоянии [1-3] и в 2020 году в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ каспийский тюлень занесен в Красную книгу РФ. Эксперты по охране каспийского тюленя объясняют данное снижение численности тюленя рядом факторов. Наиболее важным из них является промысловая охота в течение прошлого столетия, сокращение рыбных запасов, ухудшение состояния среды обитания в результате изменения климата, колебаний уровня моря, антропогенной деятельности, а также попадание в рыбные сети [4]. Одной из главных причин сокращения численности популяции каспийского тюленя является химическое загрязнение организма, и как следствие выявленный у этих животных кумулятивный политоксикоз [1; 3]. Таким образом, микроэлементный состав органов и тканей тюленя является отражением не только его физиологического состояния, но и характеризует среду его обитания, поскольку он является высшим трофическим звеном Каспийского моря [5-7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлся каспийский тюлень (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). Образцы проб органов каспийского тюленя получены от павших животных в районе о. Малый Жемчужный в результате экспедиций в период с 2011 по 2018 гг.

Сырую пробу весом 10-15 г. помещали в сушильный шкаф и высушивали при температуре 80°C не менее 4 часов. После этого температуру в сушильном шкафу увеличивали до 105°C и продолжали высушивать около 4 часов до полного обезвоживания. Пробы измельчали до состояния порошка и помещали в колбу Кьельдаля V=10 см³. В колбу добавляли 5 см³ концентрированной азотной

кислоты. После суточной экспозиции колбы устанавливали на песчаную баню. Раствор в колбе кипятили до полного осветления. Затем охлаждали и отфильтровывали. Полученный раствор доводили 1% раствором азотной кислоты до метки 15-20 см³. Параллельно с исследуемой пробой готовили холостую пробу. Пробы хранили в хорошо проветриваемом помещении до момента определения содержания химических элементов.

Определение микроэлементов (Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co) и токсичных элементов (Pb, Cd, Hg) в органах и тканях погибших тюленей выполняли на кафедре «Гидробиология и общая экология» АГТУ, а также на кафедре «Экология» ДГУ методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Концентрацию Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, Co, Cd, Pb в органах и тканях каспийского тюленя выражали в мг/кг сухого вещества, а Hg – мг/кг влажного вещества.

Коэффициент накопления (Кн) химических элементов органами и тканями каспийского тюленя рассчитывался по формуле:

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

где: C_i – содержание химического элемента в гидробионтах;

C – содержание химического элемента в организмах питания.

Полученные результаты подвергали статистической обработке.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными объектами питания каспийского тюленя *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) являются бычки семейства Gobiidae, кильки рода *Clupeonella* [8] и атерина (*Atherina mochon caspia*) [9] (табл. 1). Ценные промысловые рыбы – вобла, сельди, судак и др. – в пищевом рационе его занимают второстепенное место [8].

Таблица 1. Пищевые предпочтения *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) [4]

Table 1. Food preferences of *Phoca caspica* (Gmelin, 1788) [4]

Кормовые организмы Food organisms	Доля, % Share, %
<i>Clupeonella engrauliformis</i> (Borodin, 1904)	57,0
<i>Clupeonella cultriventris caspia</i> (Svetovidov, 1941)	21,4
<i>Clupeonella grimmi</i> (Kessler, 1877)	3,4
семейство Gobiidae / family Gobiidae	7,9
<i>Rutilus rutilus caspicus</i> (Jacowlew, 1870)	4,2
<i>Atherina mochon caspia</i> (Risso, 1826)	3,3
<i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	0,7
Другие виды рыб / other fish species	1,1
<i>Caspiomizon wagneri</i> (Kessler, 1870)	0,1
класс Crustacea / Crustacea class	0,9
Итого / Total	100,0

На основании данных Б.И. Бадамшина [8] и Л.С. Хураськина [9], касающихся пищевой потребности популяции каспийского тюленя, был изучен микроэлементный состав тех объектов питания, доля которых составляет более 1%. Так как отбор проб осуществлялся в пределах Северной части

Каспийского моря, а по мнению Л.С. Хураськина [9] потребление тюленем *Clupeonella engrauliformis* и *Clupeonella grimmi* ограничено пределами Среднего и Южного Каспия, то эти виды килек не рассматривались в данном исследовании.

Цинк содержится во всех органах и тканях животных [10]. Распределение цинка в органах и тканях

каспийского тюленя *Phoca caspica* представлено на рисунке 1.

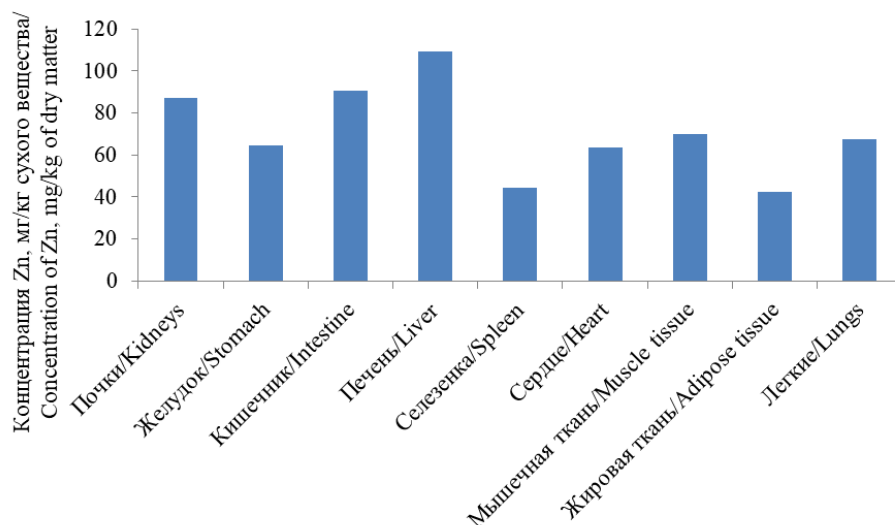


Рисунок 1. Содержание цинка в органах и тканях каспийского тюленя *Phoca caspica* Gmelin, 1788

Figure 1. Zinc content in organs and tissues of the Caspian seal, *Phoca caspica* Gmelin, 1788

Анализ накопления цинка в организме каспийского тюленя позволяет заключить, что наибольшими значениями цинка отличались печень ($109,39 \pm 22,14$ мг/кг), кишечник ($90,65 \pm 12,93$ мг/кг сухого вещества). Это связано с тем, что пищеварительный тракт является основным путем поступления цинка в организм. Соединения металла всасываются в кишечнике [10], что и обуславливает в нем высокую концентрацию химического элемента, а наименьшее количество металла выявлено в жировой ткани ($42,51 \pm 5,12$ мг/кг сухой массы). Органы и ткани каспийского тюленя по концентрации цинка можно расположить в следующий убывающий ряд: печень > кишечник > почки > мышечная ткань > легкие > желудок > сердце > селезенка > жировая ткань. Показано, что значения биоаккумуляции цинка в органах и тканях самок и самцов каспийского тюленя

находились на одном уровне. Половых различий в накоплении цинка органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. Отмечены возрастные изменения в печени и кишечнике нерпы [11-14]. Рассчитанные коэффициенты накопления цинка органами и тканями каспийского тюленя относительно объектов их питания (рыб – планктофагов, рыб-бентофагов) свидетельствуют о том, что они не способны существенно повлиять на его содержание в организме. Так, значения коэффициентов накопления цинка органами тканями тюленя составляли менее 1 (табл. 1).

У каспийского тюленя медь в наибольшем количестве выявили в желудке ($36,82$ мг/кг сухого вещества) (рис. 2). По мнению А.П. Авцына с соавторами [15] это связано с тем, что основные процессы всасывания меди происходят в желудке.

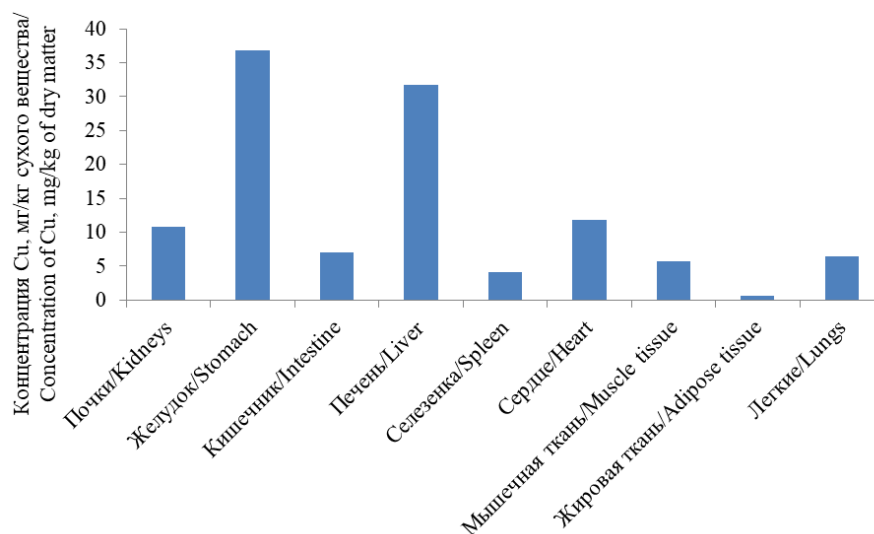


Рисунок 2. Содержание меди в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 2. Copper content in organs and tissues of the Caspian seal

Отмечено, что этот химический элемент накапливается в печени (31,78 мг/кг сухого вещества). При этом гепатоциты играют ключевую роль в обмене меди. Минимальное значение меди выявлено в жировой ткани млекопитающих, где оно составляло 0,63 мг/кг сухого вещества. По накоплению меди органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: желудок > печень > сердце > почки > кишечник > легкие > мышечная ткань > селезенка > жировая ткань. У самок и самцов наблюдалась сходная картина распределения меди по органам и тканям, при этом более высокие значения наблюдались у самок по сравнению с самцами. Выявлено, что с возрастом происходит достоверное увеличение концентрации металла в легких, желудке и мышцах. В печени и жире значения аккумуляции химического элемента с возрастом не изменялись. На основании рассчитанных коэффициентов накопления все исследованные органы являлись концентраторами этого металла. Наибольшими значениями Кн отличались желудок и печень морского млекопитающего (Кн желудка =

9369, Кн печени = 8087), а наименьшими – жировая ткань (Кн = 160). В пищевом комке каспийского тюленя присутствуют килька обыкновенная (21,4%), рыбы семейства *Gobiidae* (7,9%), вобла (4,2%) и атерина (3,3%) [16]. Для того чтобы оценить степень аккумуляции меди органами и тканями каспийского тюленя относительно этих пищевых компонентов рассчитаны коэффициенты накопления. Эти показатели значительно ниже таковых из воды. В то же время все исследованные органы и ткани по отношению к кормовым организмам являются концентраторами, исключение составляет жировая ткань, Кн которой значительно меньше 1. Наибольшие значения Кн относительно планктофагов и бентофагов зафиксированы в желудке и печени каспийского тюленя. Стоит отметить, что по сравнению с рыбами-бентофагами рыбы-планктофаги приносят больший вклад в накопление меди органами и тканями каспийского тюленя.

Результаты исследования содержания марганца в органах и тканях каспийского тюленя представлены на рисунке 3.

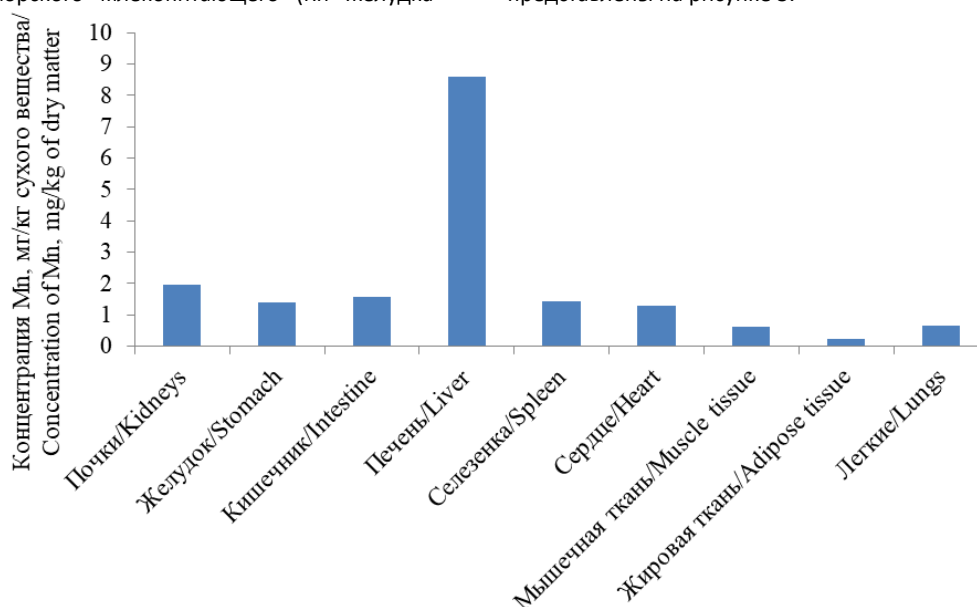


Рисунок 3. Содержание марганца в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 3. Manganese content in organs and tissues of the Caspian seal

Наибольшие концентрации марганца наблюдали в печени каспийского тюленя ($8,58 \pm 0,13$ мг/кг), а далее по мере убывания содержания марганца шли почки ($1,95 \pm 0,024$ мг/кг сухого вещества), концентрация элемента в которых в 4,4 раза меньше, чем в печени. В наименьшей степени аккумуляция металла происходит жировой тканью тюленя ($1,24 \pm 0,08$ мг/кг сухого вещества). По накоплению меди органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > почки > кишечник > селезенка > желудок > сердце > легкие > мышечная ткань > жировая ткань. Концентрация марганца в органах и тканях самцов выше, чем в самках. Показано, что у каспийского тюленя с возрастом усвояемость марганца снижается, и наиболее ярко возрастные изменения зарегистри-

рованы в почках, кишечнике, поджелудочной железе и селезенке. На основании рассчитанных коэффициентов накопления марганца показано, что все исследованные органы являлись концентраторами этого металла. Наибольшими значениями Кн отличалась печень морского млекопитающего (Кн печени = 2145), а наименьшими – жировая ткань (Кн = 165). Анализируя значения коэффициентов накопления марганца относительно концентрации этого элемента в организмах планктофагов, показано, что печень является органом-аккумулятором (Кн = 1,3).

Анализ результатов биогеохимических исследований каспийского тюленя показал высокие значения хрома в печени животного ($10,13$ мг/кг сухого вещества) (рис. 4).

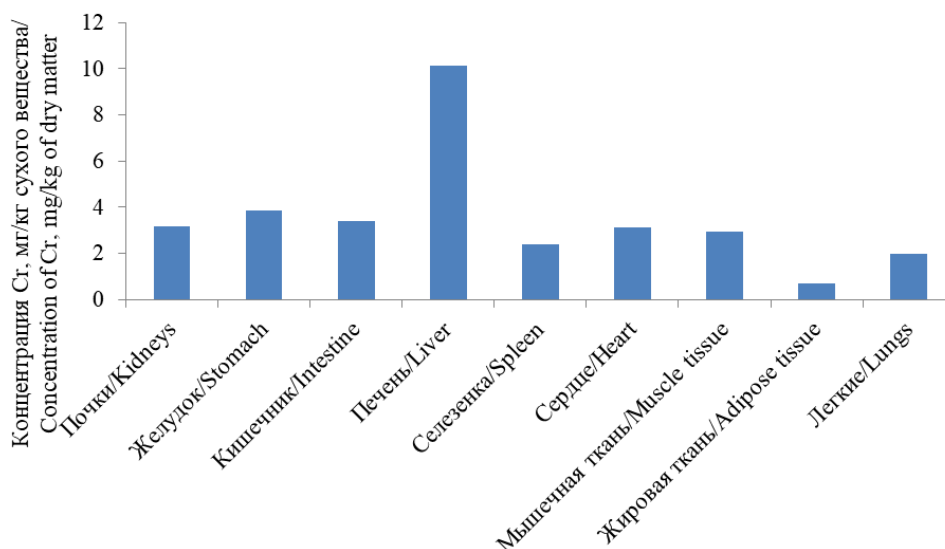


Рисунок 4. Содержание хрома в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 4. Chrome content in organs and tissues of the Caspian seal

Концентрация химического элемента в остальных органах по сравнению с печенью заметно ниже (более чем в 2 раза). Так, содержание хрома в таких органах как почки, желудок, кишечник, селезенка, сердце и мышечная ткань колебалось в пределах от 2,41 (селезенка) до 3,86 (желудок). Минимальное накопление хрома зафиксировано в легких (1,99 мг/кг сухого вещества) и жировой ткани (0,71 мг/кг сухого вещества). По накоплению хрома органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > желудок ≥ кишечник ≥ почки ≥ сердце ≥ мышечная ткань ≥ селезенка > легкие > жировая ткань. Достоверных различий в накоплении этого химического элемента у самцов и самок не выявлено. Отмечено, что с возрастом количество хрома в организме каспийского тюленя снижается и наиболее ярко это выражено в почках.

Чтобы проследить источники хрома в органах и тканях каспийского тюленя рассчитаны коэффициенты накопления химического элемента, которые представлены в таблице 1. Показано, что рыбы-планктофаги влияют на увеличение концентрации хрома в печени. Коэффициент накопления хрома в печени составляет 2,5. В то же время вклад бентофагов в аккумуляционную способность органов и тканей каспийского тюленя несколько больше.

В организм животного соединения *никеля* поступают с пищей. В желудочно-кишечном тракте млекопитающих всасывается от 1 до 10% поступившего с пищей никеля [17].

Распределение никеля в органах и тканях каспийского тюленя *Phoca caspica* Gmelin, 1788 представлено на рисунке 5.

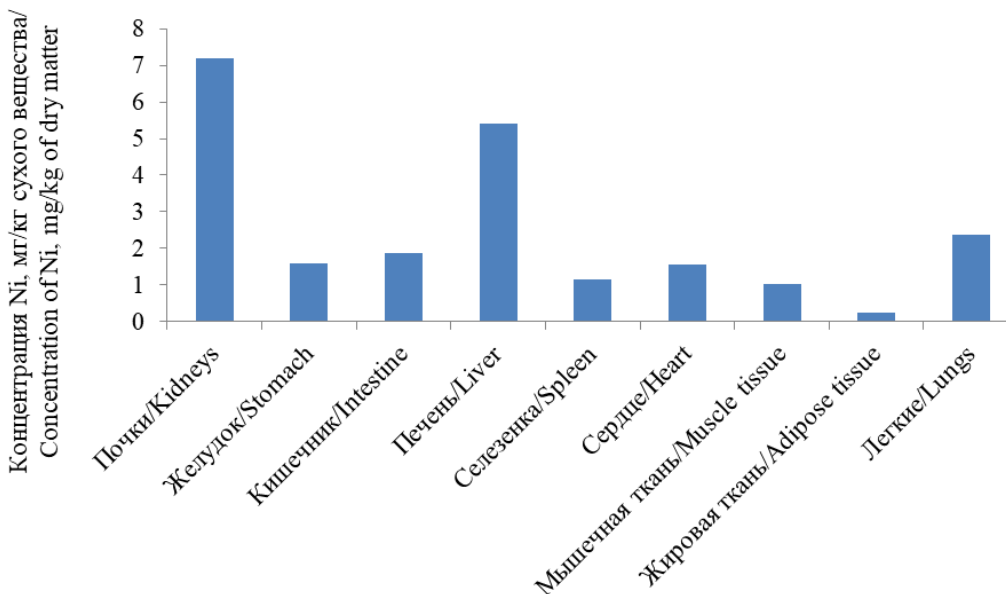


Рисунок 5. Содержание никеля в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 5. Nickel content in organs and tissues of the Caspian seal

Таблица 1. Коэффициенты накопления цинка, марганца, хрома, никеля и меди органами и тканями Каспийского тюленя
Table 1. Coefficients of accumulation of zinc, manganese, chromium, nickel and copper by organs and tissues of the Caspian seal

Объекты исследования Objects of research	Концентрация химических элементов Concentration of chemical elements					Коэффициент накопления относительно рыб планктофагов Accumulation coefficient relative to planktophagous fish					Коэффициент накопления относительно рыб бентофагов Accumulation coefficient relative to benthic fish				
	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu										
	Каспийский тюлень / Caspian seal														
рыбы-планктофаги (килька и атерина) planktophagous fish (sprat and sand smelt)	141,42	6,58	4,03	11,83	3,86										
рыбы-бентофаги (вобла и виды семейства бычковые) benthic fish (roach and goby species)	109,58	11,94	3,3	4,57	4,15	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu
Почки / Kidneys	87,27	1,95	3,17	7,2	10,84	0,6	0,3	0,79	0,6	2,81	0,8	0,16	0,96	1,6	2,61
Желудок / Stomach	64,74	1,39	3,86	1,58	36,82	0,5	0,2	0,96	0,1	9,54	0,6	0,12	1,17	0,3	8,87
Кишечник / Intestine	90,65	1,58	3,42	1,88	7,04	0,6	0,2	0,85	0,2	1,82	0,8	0,13	1,04	0,4	1,7
Печень / Liver	109,39	8,58	10,13	5,4	31,78	0,8	1,3	2,51	0,5	8,23	0,9	0,72	3,07	1,2	7,66
Селезенка / Spleen	44,17	1,43	2,41	1,16	4,17	0,3	0,2	0,6	0,1	1,1	0,4	0,12	0,73	0,3	1,00
Сердце / Heart	63,62	1,3	3,14	1,55	11,79	0,4	0,2	0,78	0,1	3,05	0,6	0,12	0,95	0,3	2,84
Мышечная ткань / Muscle tissue	69,77	0,6	2,95	1,02	5,77	0,5	0,1	0,73	0,1	1,49	0,6	0,05	0,89	0,2	1,39
Жировая ткань / Fatty tissue	42,51	0,24	0,71	0,23	0,63	0,3	0,03	0,18	0,01	0,16	0,4	0,02	0,22	0,1	0,15
Легкие / Lungs	67,44	0,66	1,99	2,37	6,39	0,5	0,1	0,49	0,2	1,66	0,6	0,06	0,6	0,5	1,54

Таблица 2. Коэффициенты накопления кобальта, ртути, кадмия, свинца органами и тканями Каспийского тюленя
Table 2. Coefficients of accumulation of cobalt, mercury, cadmium and lead in organs and tissues of the Caspian seal

Объекты исследования Objects of research	Концентрация химических элементов Concentration of chemical elements				Коэффициент накопления относительно рыб планктофагов Accumulation coefficient relative to planktophagous fish				Коэффициент накопления относительно рыб бентофагов Accumulation coefficient relative to benthic fish			
	Co	Hg	Cd	Pb	Co	Hg	Cd	Pb	Co	Hg	Cd	Pb
	Каспийский тюлень / Caspian seal											
рыбы-планктофаги (килька и атерина) planktophagous fish (sprat and sand smelt)	1,89	0,02	1,98	5,55								
рыбы-бентофаги (вобла и виды семейства бычковые) benthic fish (roach and goby species)	1,52	0,02	0,51	6,13	Co	Hg	Cd	Pb	Co	Hg	Cd	Pb
Каспийский тюлень / Caspian seal												
Почки / Kidneys	1,50	2,64	7,28	1,9	0,8	123	3,4	0,3	0,9	123	14	0,3
Желудок / Stomach	0,63	1,15	0,37	0,16	0,3	58	0,2	0,03	0,4	58	0,7	0,03
Кишечник / Intestine	0,87	0,41	0,24	0,18	0,5	21	0,1	0,03	0,6	21	0,5	0,03
Печень / Liver	2,62	5,18	3,45	1,8	1,4	259	1,7	0,03	1,7	259	6,7	0,3
Селезенка / Spleen	0,57	0,57	0,29	0,54	0,3	29	0,15	0,1	0,4	29	0,6	0,09
Сердце / Heart	0,74	0,34	0,16	0,7	0,4	17	0,1	0,13	0,5	17	0,1	0,11
Мышечная ткань / Muscle tissue	0,70	0,29	0,29	1,05	0,4	14,5	0,15	0,2	0,5	14,5	0,15	0,2
Жировая ткань / Fatty tissue	0,34	0,12	1,7	2,94	0,2	6	0,9	0,5	0,2	6	3,3	0,5
Легкие / Lungs	0,53	0,27	0,81	2,13	0,3	14	0,4	0,4	0,3	14	1,6	0,3

Из исследованных органов каспийского тюленя наиболее богаты никелем почки и печень.

В почках содержится 7,2 мг/кг, тогда как в печени – в 1,3 раза меньше (5,4 мг/кг) и за печенью по количеству никеля следуют легкие (2,37 мг/кг сухого вещества). Аккумуляция элемента остальными исследованными органами млекопитающего небольшая и не превышает 2 мг/кг сухого вещества. В жире тюленя количество металла зарегистрировано в следовых количествах (0,23 мг/кг сухого вещества). По накоплению никеля органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: почки > печень > легкие > кишечник > желудок ≥ сердце > селезенка > мышечная ткань > жировая ткань. Стоит отметить, что различия в содержании никеля в органах и тканях самцов и самок, а также возрастные изменения в аккумуляции никеля органами и тканями каспийского тюленя не

достоверны. Об отсутствии возрастных различий в накоплении гидробионтами ранее сообщалось другими авторами [18]. В таблице 1 представлены коэффициенты накопления никеля органами и тканями каспийского тюленя. На основании данных, представленных в таблице 1, показано, что никель не аккумулируется по пищевой цепи каспийского тюленя, т.к. его коэффициент накопления органами и тканями составляет меньше 1. В то же время рыбы-бентофаги способны повлиять на концентрации этого химического элемента в почках и печени нерпы. Стоит отметить, что Кн почек в 1,3 раза больше, чем в печени.

Концентрация кобальта в органах и тканях каспийской нерпы по сравнению с концентрацией в них других химических элементов невелика. Распределение кобальта в органах и тканях каспийского тюленя представлено на рисунке 6.

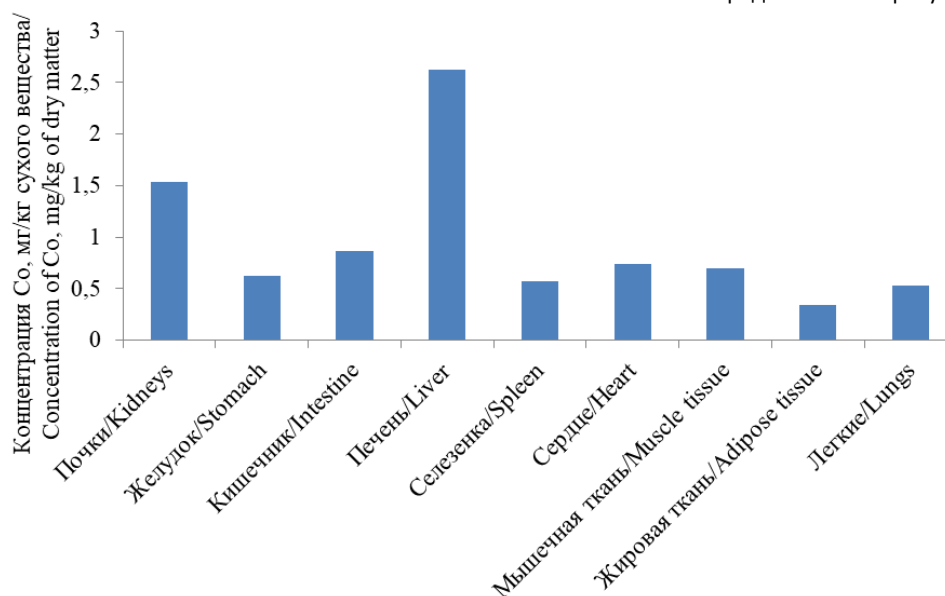


Рисунок 6. Содержание кобальта в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 6. Cobalt content in organs and tissues of the Caspian seal

В органах животных наибольшая концентрация кобальта приходится на печень, где более 40% кобальта связано с белковыми фракциями [19]. Здесь концентрация кобальта составляет 2,62 мг/кг сухой массы. Затем по уровню накопления химического элемента следуют почки, где его концентрация в 1,7 раза меньше, чем в печени. Известно, что почки способны аккумулировать кобальт при его избыточном поступлении в организм [19]. Анализ возрастных особенностей накопления химического элемента свидетельствует о его достоверном увеличении в легких, желудке и печени, в то же время в селезенке концентрация этого металла с возрастом снижается ($p < 0,05$). В таблице 2 представлены коэффициенты накопления кобальта органами каспийского тюленя. На основании данных, представленных в таблице 2, показано, что рассчитанные коэффициенты накопления свидетельствуют об алиментарном способе поступления кобальта в организм тюленя. Так, в печени $K_{\text{планктофаги}}=1,4$, а $K_{\text{бентофаги}}= 1,7$. Значения

коэффициентов накопления, рассчитанные для других органов каспийского тюленя, составляют меньше 1.

Распределение ртути в организме каспийского тюленя представлено на рисунке 7.

Исследование особенностей аккумуляции ртути органами каспийского тюленя выявило наибольшие концентрации ртути в печени ($4,69 \pm 0,9$ мг/кг), несколько ниже в почках ($2,075 \pm 0,12$). Наименьшее накопление ртути происходит в подкожном жире ($0,29 \pm 0,02$ мг/кг сырого вещества). Печень является основным депо по накоплению ртути, что подтверждается исследованиями В.Т. Комова с соавт. [20] и Е.С. Степиной [21] на других видах млекопитающих. Жировая ткань не обладает свойством избирательно накапливать ртуть, ее можно считать одним из депо ртути в организме с ненасыщенной и относительно незначительной емкостью [22]. По накоплению ртути органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: печень > почки > желудок > мышечная ткань > селезенка > кишечник > сердце ≥ легкие > жировая ткань.

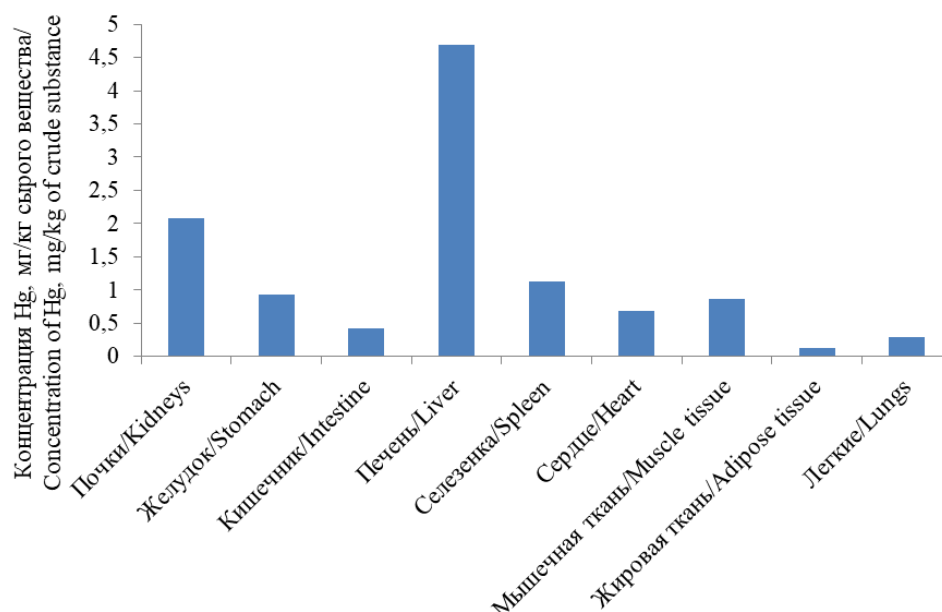


Рисунок 7. Содержание ртути в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 7. Mercury content in organs and tissues of the Caspian seal

Анализ полученных материалов по содержанию изученных химических элементов в органах и тканях каспийского тюленя показал, что на всех стадиях развития выявлены различные их концентрации, что объясняется их ролью в процессе онтогенеза. При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Сравнительный анализ полученных концентраций металлов в органах разновозрастных каспийских тюленей продемонстрировал сходство в их распределении [23; 24]. На основании данных, представленных в таблице 2 можно сделать вывод о том, что у ртути алиментарный способ поступления в

организм, причем рыбы-планктофаги и рыбы-бентофаги в одинаковой мере могут влиять на уровень аккумуляции металла органами. Отмечено, что с повышением занимаемого положения в трофической пирамиде у живых объектов происходило достоверное возрастание содержания металла ($r = 0,96$). Это свойство ртути обуславливает необратимое возрастание ее концентрации при переходе по трофической цепи от организмов низших звеньев к высшим.

Уровни накопления *кадмия* различными органами и тканями каспийских тюленей представлены на рис. 8.

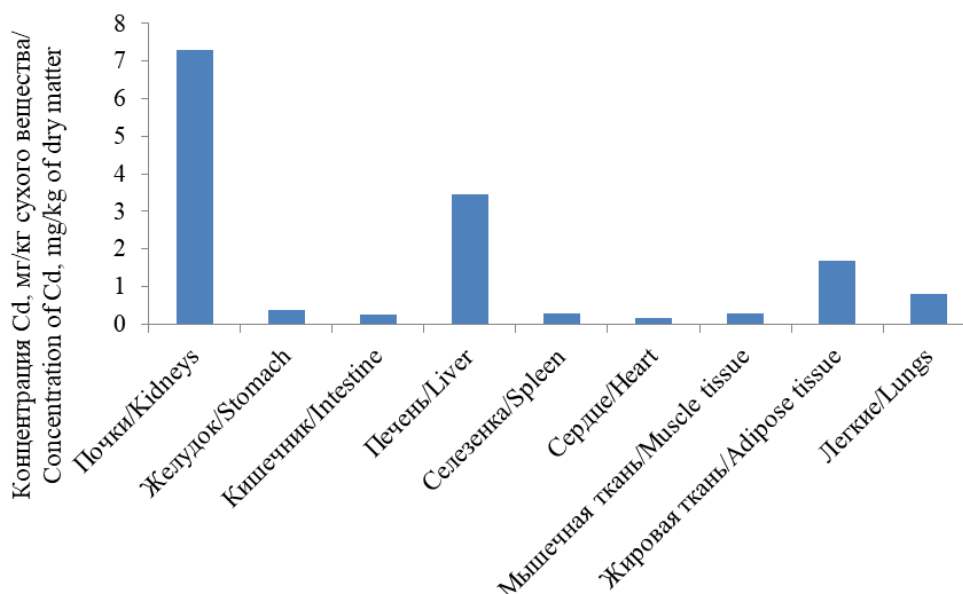


Рисунок 8. Содержание кадмия в органах и тканях каспийского тюленя
Figure 8. Cadmium content in organs and tissues of the Caspian seal

У каспийского тюленя наибольшие концентрации кадмия обнаружены в почках (7,28 мг/кг), печени (3,45 мг/кг) и в жире (1,7 мг/кг сухого вещества). По сравнению с почками и печенью жировая ткань в значительно меньшей степени аккумулирует кадмий. Если в отношении печени и почек можно говорить об аккумуляции металла, то для жировой ткани приходится говорить скорее о пассивном распределении кадмия в организме в пользу печени и почек [18]. Согласно данным Н.А. Захаровой [1] максимальное содержание кадмия в печени у самок и самцов тюленей приходилось на 2000 год. Она объясняет это тем, что в этот период в водах Северного Каспия в 1,7 раз увеличилась концентрация кадмия на фоне предшествующих лет. По сравнению с данными Н.А. Захаровой [1] концентрация кадмия в наших пробах тюленя превышает максимальный уровень 2000-го года, что свидетельствует о возможно большем техногенном загрязнении. Кроме того, были выявлены достаточно высокие концентрации кадмия в легких, особенно у особей старших возрастов. По накоплению кадмия органы и ткани каспийского тюленя выстраиваются в следующий убывающий ряд: почки > печень > жировая ткань > легкие > желудок ≥ селезенка, мышечная ткань ≥ кишечник > сердце. По мнению Н.В. Медведева [25] относительно других видов млекопитающих, присутствие кадмия в максимальной концентрации в печени и почках служит доказательством того, что поступление с пищей – главный путь проникновения химического элемента в организм млекопитающих; в то же время значи-

тельный уровень металла в легких позволяет предположить, что второй важный путь проникновения кадмия в организм – поступление его с атмосферным воздухом при дыхании. Выявлено, что самки тюленя обладают лучшей способностью к накоплению кадмия, а также с возрастом у тюленей происходило увеличение концентраций данного поллютанта в органах и тканях [24]. В таблице 2 представлены коэффициенты накопления кадмия каспийского тюленя. Коэффициент биологического поглощения кадмия исследованными органами был рассчитан в отношении взрослых особей (возрастная группа 12-17 лет). Показано, что максимальное значение зафиксировано у коэффициента накопления почками млекопитающих, тогда как для печени этот показатель в 2 раза ниже, а минимальное значение показателя рассчитано в отношении легких. Кадмий аккумулируется по трофической цепи экосистемы Каспийского моря. Об этом свидетельствуют рассчитанные коэффициенты накопления элемента относительно кормовых объектов.

Концентрация свинца в органах и тканях животного была несколько ниже, чем кадмия, что говорит о повышенных кумулятивных свойствах кадмия. Свинец, независимо от путей поступления в организм связывается эритроцитами, и поэтому свинец разносится кровью и накапливается, прежде всего, в жировой ткани органов, например, в почках и печени [17]. Возможно, это объясняет обнаружение наибольших значений металла в подкожно-жировой клетчатке тюленей (2,94 мг/кг сухого вещества) (рис. 9).

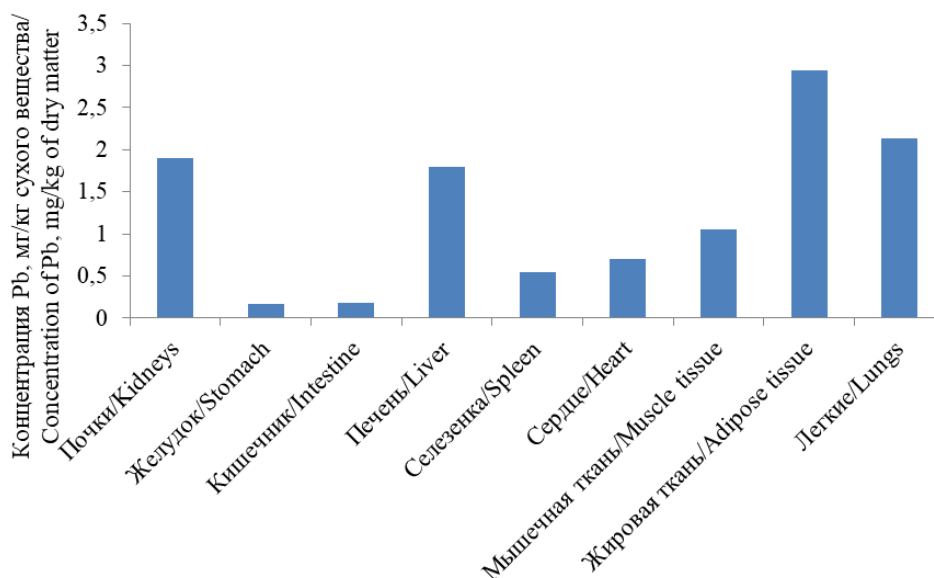


Рисунок 9. Содержание свинца в органах и тканях каспийского тюленя

Figure 9. Lead content in organs and tissues of the Caspian seal

Концентрацию свинца в органах и тканях каспийского тюленя можно расположить в следующем убывающем порядке: жировая ткань > легкие > почки > печень > мышечная ткань > сердце > селезенка > кишечник ≥ желудок. Полученные нами данные [24] позволяют заключить, что с возрастом степень накопления свинца в организме каспийского тюленя снижается, при этом различия в значениях

исследованного показателя в органах и тканях между самками и самцами недостоверны. В таблице 2 представлены коэффициенты накопления свинца органами и тканями каспийского тюленя. Рассчитанные показатели свидетельствуют о том, что исследованные объекты питания не способны существенно оказывать влияние на концентрацию свинца в органах и тканях каспийского тюленя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показано, что химические элементы распределяются в организме тюленя неравномерно в зависимости от свойств металлов и функциональных особенностей органов. Значительные концентрации металлов отмечены, прежде всего, в органах, для которых характерно активное протекание процессов метаболизма с одной стороны, а с другой – активно участвующих в процессах, направленных на поддержание гомеостаза. В организме каспийского тюленя цинк, марганец, хром, кобальт и ртуть преимущественно накапливаются в печени, никель и кадмий в почках, медь – в желудке, а свинец – в жировой ткани.

При одинаковых условиях обитания самки обладают в большинстве случаев более высокими коэффициентами накопления микроэлементов, чем самцы. Самки каспийского тюленя по сравнению с самцами аккумулируют в большей мере медь, ртуть и кадмий. Половых различий в накоплении цинка, никеля, кобальта и свинца органами и тканями у каспийского тюленя не выявлено. С возрастом у каспийского тюленя происходит достоверное увеличение концентрации цинка, меди, ртути и кадмия, а усвояемость марганца, хрома, кобальта и свинца снижается.

Коэффициенты накопления химических элементов являются неким результатом их биогеохимической миграции по звеньям трофических цепей. Известно, что ртуть обладает высокой аккумуляционной способностью по отношению к живым организмам и нами на основании коэффициентов накопления химических элементов органами и тканями каспийского тюленя это еще раз отмечено.

Отмечена миграция меди, кобальта, хрома и кадмия в системе: рыбы-бентофаги и рыбы-планктофаги – каспийский тюлень; миграция марганца в системе: рыбы-планктофаги – каспийский тюлень, а миграция никеля в системе: рыбы-бентофаги – каспийский тюлень.

В то же время исследованные кормовые объекты каспийского тюленя не способны оказывать существенного влияния на содержание в нем цинка и свинца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захарова Н.А. Количественное содержание микроэлементов в тканях каспийского тюленя // Вестник Астраханского Государственного Технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань: изд-во АГТУ. 2004. N 2 (21). С. 169-171.
2. Сокольский А.Ф., Ануфриев Д.П., Непоменко Л.Ф. Современное состояние популяции каспийского тюленя и мероприятия по ее сохранению. Астрахань: Изд-во Астраханского инженерно-строительного ин-та, 2013. 197 с.
3. Володина В.В., Грушко М.П., Фёдорова Н.Н. Морфофункциональное состояние органов и тканей каспийского тюленя на фоне паразитарных инвазий. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2015. 143 с.
4. Кузнецов В.В., Черноок В.И., Шипулин С.В. Оценка

численности популяции каспийского тюленя в современный период // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. по 5. С. 86-88.

5. Мэтсон К., Бикхэм Дж. Загрязнение, иммуотоксикология и эпизоотии: оценка риска для каспийского тюленя (*Phoca caspica*) // Материалы международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики», Архангельск, 23-26 мая, 2002. С. 200-201.
6. Захарова Н.А., Хураськин Л.С. Каспийский тюлень как вершина трофических цепей экосистемы Каспийского моря // Материалы международной конференции «Проблемы изучения и использования природных ресурсов морей», Астрахань, 2001. С. 55-60.
7. Кузнецов В.В. Влияние промысла на структуру популяции каспийского тюленя в исторической ретроспективе // Труды ВНИРО. 2017. Т. 168. С. 14-25.
8. Бадамшин Б.И. Каспийский тюлень и его промысловое использование // В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства на водоемах Средней Азии и Казахстана. Алма-Ата, 1966. С. 59-62.
9. Хураськин Л.С. Каспийский тюлень // В кн.: Каспийское море. Ихтиофауна и промысловые ресурсы. Москва: Наука, 1989. С. 198-205.
10. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. Москва: Наука, 2008. 315 с.
11. Зайцев В.Ф., Танасова А.С., Ершова Т.С., Володина В.В. Содержание ряда тяжелых металлов в организме Каспийского тюленя // Труды Биогеохимической лаборатории. 2016. Т. 25. С. 223-230.
12. Zaitsev V.F., Ershova T.S. The content of mercury and cadmium in the bodies of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // International Scientific Conference on Ecological Crisis: Technogenesis and Climate Change, Beograd, 21-23 April, 2016. P. 129-130.
13. Ershova T.S., Tanasova A.S., Zaitsev V.F. The contents of mercury, cadmium, lead, and zinc in organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // International Scientific Conference on Objectives of sustainable development in the third millennium, Beograd 20-22 April, 2017. P. 59-60.
14. Zaitsev V.F., Ershova T.S., Chaplygin W.A., Tanasova A.S. The migration of biogenic elements on the trophic chains of the Caspian Sea // International scientific conference on Green economy and Environment protection. Book of abstracts. Beograd, 23-25 April, 2018. 16 p.
15. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчков Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология: монография. Москва: Медицина, 1991. 496 с.
16. Хураськин Л.С., Захарова Н.А. Некоторые проблемы биологии каспийского тюленя в связи с антропогенной инвазией гребневика *Mnemiopsis* sp. // Материалы второй международной конференции «Морские млекопитающие Голарктики», Москва, 10-15 октября, 2002. С. 115-116.
17. Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. Москва: Высшая школа, 1960. 554 с.
18. Bradley R.W., Morris J.R. Heavy metals in fish from a series of metalcontaminated lakes near Sudbury, Ontario // Water, Air and Soil Pollut. 1986. Vol. 27. N 3/4. P. 341-354.
19. Гудиева И.Р. Физиологические свойства кобальта и его влияние на организм человека // Молодой ученый. 2019. N 5. С. 42-46. URL: <https://moluch.ru/archive/243/56245/> (дата обращения: 14.09.2020)

20. Комов В.Т., Степина Е.С., Гремячих В.А., Поддубная Н.Я., Борисов М.Я. Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих (Mustelidae) Вологодской области // Поволжский экологический журнал. 2012. N 4. С. 385-393.
 21. Степина Е.С. Содержание ртути в тканях и органах млекопитающих Вологодской области // Материалы международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», Москва, 7-9 сентября, 2010. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 314-318.
 22. Малов А.М., Сибиряков В.К., Семенов Е.В. Распределение ртути в некоторых органах и тканях крыс // Токсикологический вестник. 2009. N 5. С. 9-14.
 23. Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Содержание ртути в органах и тканях каспийского тюленя (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. N 1. С. 69-78 DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-69-78
 24. Ершова Т.С., Танасова А.С., Зайцев В.Ф., Володина В.В. Тяжелые металлы в некоторых органах каспийской нерпы (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета «Естественные и точные науки». 2016. Т. 10. N 2. С. 27-34.
 25. Медведев Н.В. Состояние популяций морских млекопитающих Карелии // В кн.: «Динамика популяций охотничьих животных северной Европы». Петрозаводск, 1998. С. 79-81.
- REFERENCES**
1. Zakharova N.A. Quantitative content of trace elements in the tissues of the Caspian seal. Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries]. 2004, no. 2 (21), pp. 169-171. (In Russian)
 2. Sokol'skiy A.F., Anufriev D.P., Nepomenko L.F. *Sovremennoe sostoyanie populyatsii kaspiiskogo tyulena i meropriyatiya po ee sokhraneniuyu* [The current state of the Caspian seal population and measures for its conservation]. Astrakhan', Astrakhan Engineering and Construction Institute Publ., 2013, 197 p. (In Russian)
 3. Volodina V.V., Grushko M.P., Fedorova N.N. *Morfofunktsional'noe sostoyanie organov i tkanei kaspiiskogo tyulena na fone parazitarnykh invazii* [Morphofunctional state of organs and tissues of the Caspian seal against the background of parasitic invasions]. Astrakhan', Astrakhan State Technical University Publ., 2015, 143 p. (In Russian)
 4. Kuznetsov V.V., Chernook V.I., Shipulin S.V. Estimation of the population of the Caspian seal in the modern period. Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse [Environmental protection in the oil and gas industry]. 2013, no. 5, pp. 86-88. (In Russian)
 5. Mjetson K., Bikhjem Dzh. Zagryaznenie, immunotoksikologiya i epizootii: otsenka riska dlya kaspiiskogo tyulena (*Phoca caspica*) [Pollution, immunotoxicology and epizootics: risk assessment for the Caspian seal (*Phoca caspica*)]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Morskije mlekopitayushchie Golarktiki»*, Arkhangel'sk, 23-26 maya, 2002 [Proceedings of International Conference "Marine Mammals of the Holarctic", Arkhangelsk, 23-26 May 2002]. Arkhangelsk, 2002, pp. 200-201. (In Russian)
 6. Zakharova N.A., Khuras'kin L.S. Kaspiiskii tyulen' kak vershina troficheskikh tsepei ekosistemy Kaspiiskogo morya [The Caspian seal as the top of the trophic chains of the Caspian Sea ecosystem]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy izucheniya i ispol'zovaniya prirodnikh resursov morei»*, Astrakhan', 2001 [Proceedings of international conference "Problems of studying and using natural resources of the seas", Astrakhan', 2001]. Astrakhan', 2001, pp. 55-60. (In Russian)
 7. Kuznetsov V.V. [The influence of fishing on the structure of the Caspian seal population in historical retrospect]. In: *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO]. 2017, vol. 168, pp. 14-25. (In Russian)
 8. Badamshin B.I. The Caspian seal and its commercial use. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaystva na vodoemakh Srednei Azii i Kazakhstana* [Biological foundations of fisheries in the reservoirs of Central Asia and Kazakhstan]. Alma-Ata, 1966, pp. 59-62. (In Russian)
 9. Huras'kin L.S. The Caspian seal. In: *Kaspiiskoe more. Ikhtiofauna i promyslovye resursy* [The Caspian Sea. Ichthyofauna and commercial resources]. Moscow, Nauka Publ., 1989, pp. 198-205. (In Russian)
 10. Ermakov V.V., Tyutikov S.F. *Geokhimicheskaya ekologiya zhivotnykh* [Geochemical ecology of animals]. Moscow, Nauka Publ., 2008, 315 p. (In Russian)
 11. Zaitsev V.F., Tanasova A.S., Ershova T.S., Volodina V.V. [The content of a number of heavy metals in the body of the Caspian seal]. In: *Trudy Biogeokhimicheskoi laboratorii* [Proceedings of the Biogeochemical Laboratory]. 2016, vol. 25, pp. 223-230. (In Russian)
 12. Zaitsev V.F., Ershova T.S. Soderzhanie rtuti i kadmiya v organizme kaspiiskogo tyulena (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) [The content of mercury and cadmium in the bodies of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788)]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Ekologicheskii krizis: tekhnogenez i izmenenie klimata»*, Belgrad, 21-23 aprelya 2016 [Proceedings of international scientific conference "Ecological Crisis: Technogenesis and Climate Change", Beograd, 21-23 April, 2016]. Beograd, 2016, pp. 129-130. (In Russian)
 13. Ershova T.S., Tanasova A.S., Zaitsev V.F. The contents of mercury, cadmium, lead, and zinc in organs of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). International Scientific Conference on Objectives of sustainable development in the third millennium, Beograd 20-22 April, 2017, pp. 59-60.
 26. Zaitsev V.F., Ershova T.S., Chaplygin W.A., Tanasova A.S. The migration of biogenic elements on the trophic chains of the Caspian Sea. International scientific conference on Green economy and Environment protection. Book of abstracts. Beograd, 23-25 April, 2018, 16 p.
 15. Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Stochkov L.S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya* [Human microelementoses: etiology, classification, organopathology]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)
 16. Khuras'kin L.S., Zakharova N.A. Nekotorye problemy biologii kaspiiskogo tyulena v svyazi s antropogennoi invaziei grebnevidnogo Mnemiopsis [Some problems of the biology of the Caspian seal in connection with the anthropogenic invasion of the combtail *Mnemiopsis* sp.]. *Materialy vtoroi mezhdunarodnoi konferentsii «Morskije mlekopitayushchie Golarktiki»*, Moskva, 10-15 oktyabrya, 2002 [Proceedings of the second International Conference "Marine Mammals of the Holarctic", Moscow, 10-15 October, 2002]. Moscow, 2002, pp. 115-116. (In Russian)
 17. 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)
 18. Bradley R.W., Morris J.R. Heavy metals in fish from a series of metalcontaminated lakes near Sudbury, Ontario.

Water, Air and Soil Pollut, 1986, vol. 27, no. 3/4, pp. 341-354.

19. Gudieva I.R. *Fiziologicheskiye svoystva kobal'ta i yego vliyaniye na organizm cheloveka* [Physiological properties of cobalt and its effect on the human body]. Available at: <https://moluch.ru/archive/243/56245/> (accessed 14.09.2020)

20. Komov V.T., Stepina E.S., Gremyachikh V.A., Poddubnaya N.Ya. Mercury content in the organs of mammals of the marten family (Mustelidae) Vologda region. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga Ecological Journal]. 2012, no. 4, pp. 385-393. (In Russian)

21. Stepina E.S. Soderzhanie rtuti v tkanyakh i organakh mlekoopitayushchikh Vologodskoi oblasti [Mercury content in mammalian tissues and organs of the Vologda Oblast] *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty», Moskva, 7-9 sentyabrya, 2010* [Proceedings of the International Symposium "Mercury in the Biosphere: Ecological and Geochemical aspects", Moscow, 7 September]. Moscow, 2010, pp. 314-318. (In Russian)

22. Malov A.M., Sibiryakov V.K., Semenov E.V. Distribution of mercury in some organs and tissues of rats.

Toksikologicheskii vestnik [Toxicological Bulletin]. 2009, no. 5, pp. 9-14. (In Russian)

23. Ershova T.S., Zaitsev V.F. Mercury content in organs and tissues of the Caspian seal (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788). *South of Russia: ecology, development Journal*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 69-78. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-69-78

24. 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). *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]. 2016, vol. 10, no. 2, pp. 27-34. (In Russian)

25. Medvedev N.V. The state of populations of marine mammals of Karelia. In: *Dinamika populyatsii okhotnich'ikh zhivotnykh severnoi Evropy* [Dynamics of populations of hunting animals of Northern Europe]. Petrozavodsk, 1998, pp. 79-81. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Шамсутдин М. Самудов и Владимир А. Чаплыгин обработали материал. Юлия А. Шевченко оформила статью. Татьяна С. Ершова проанализировала полученные данные, написала рукопись. Вячеслав Ф. Зайцев проанализировал полученные данные, проверил рукопись до подачи в редакцию. Магомед З. Гаджидадаев проверил и откорректировал рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Shamsutdin M. Samudov and Vladimir A. Chaplygin processed the material. Yulia A. Shevchenko designed the article. Tatiana S. Ershova analysed the data obtained and wrote the manuscript. Vyacheslav F. Zaitsev analysed the data obtained and checked the manuscript before submitting it to the Editor. Magomed Z. Gadzhidadaev checked and corrected the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

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

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

Магомед З. Гаджидадаев / Magomed Z. Gadzhidadaev <https://orcid.org/0000-0001-9468-8501>

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

Юлия А. Шевченко / Yulia A. Shevchenko <https://orcid.org/0000-0002-9900-5973>