

УДК 597.583.1.152.6 (268.81)

МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ РЫБ СЕМЕЙСТВА *Gobiidae*

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

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

²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань,
Россия

E-mail: ershova_ts@mail.ru

В работе представлены исследования содержания тяжелых металлов в пуголовке *Benthophilus macrocephalus*, бычке песочнике *Neogobius fluviatilis* и бычке хвалынском *Neogobius caspius*, обитающих в Каспийском море. Показано, что концентрации тяжелых металлов, обнаруженные в некоторых видах семейства *Gobiidae* за последние 9 лет увеличились в несколько раз. В изученных видах рыб выявлено превышение допустимых остаточных концентраций тяжелых металлов (исключение составляет медь). Отмечено, что *Benthophilus macrocephalus* по сравнению с другими представителями семейства бычковые *Gobiidae* является аккумулятором всех исследованных тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, аккумуляция, пуголовка, бычок песочник, бычок хвалынский, Каспийское море.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море – уникальный водоем, который обладает богатым видовым разнообразием рыб [1]. Загрязнение морской среды способно разрушить среду обитания гидробионтов, приводя к снижению видового богатства [2].

Тяжелые металлы являются одними из основных загрязнителей воды Каспийского моря [3–6]. Возрастание их концентраций в морской воде связано, прежде всего, с работами по разведке и добыче углеводородного сырья [5, 7–9]. Кроме того, источниками тяжелых металлов является речной сток, содержащий сточные воды промышленных предприятий [5, 10, 11].

Существует определенная связь между микроэлементным составом рыб и условиями среды их обитания [12–14]. Химические элементы, необходимые в строго определенных количествах, входя в состав биологически активных веществ, играют большую роль в метаболизме рыб, но, достигая высоких концентраций, превращаются в тяжелые металлы, обладая токсическими свойствами [13, 15–17]. Металлы, включаясь в биогеохимический цикл водной экосистемы, способны аккумулироваться в гидробионтах из различных экологических групп [17–19].

При этом бентосные организмы, являясь важными звеньями в пищевых цепях водоемов, играют огромную роль в концентрации и биогенной миграции микроэлементов [18, 19]. Различные виды бычков – важная составляющая часть экосистемы Каспийского моря, так как они служат кормом для таких ценных видов

рыб как русский и персидский осетры [20, 21]. При этом по данным Э. Ю. Тихоновой [21] доля бычков в пищевом комке русского (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) и персидского (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) осетров составляет более 50 %.

На основании вышесказанного целью данного исследования является оценить микроэлементный состав некоторых видов рыб семейства *Gobiidae*, обитающих в Каспийском море.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись три вида семейства *Gobiidae* (пуголовка *Benthophilus macrocephalus*, Pallas, 1787), бычок песочник (*Neogobius fluviatilis*, Pallas, 1814), бычок хвалынский (*Neogobius caspius*, Eichwald, 1831), выловленных в северной и средней частях Каспийского моря во время различных экспедиций в период 2013–2019 гг.

Определение меди, марганца, кобальта, свинца и меди в представителях семейства *Gobiidae* проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии [22, 23] с применением атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД. Концентрацию химических элементов выражали в мг/кг сухого вещества. Результаты исследования обрабатывались статистически при помощи программного продукта Microsoft Office Excel 2010, Statistica 10 согласно общепринятым методикам биометрии [24–27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены выявленные концентрации меди, марганца, кобальта, свинца и кадмия в представителях семейства *Gobiidae*.

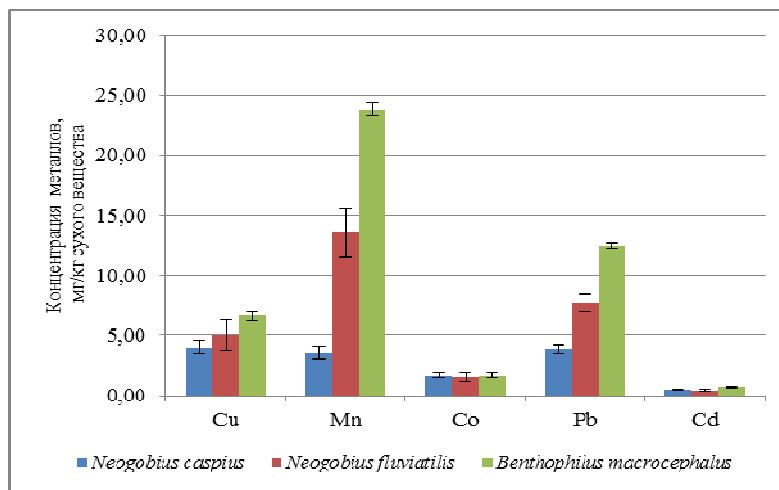


Рис. 1. Содержание меди, марганца, кобальта, свинца и кадмия в рыбах семейства *Gobiidae* Каспийского моря.

Медь относится к истинным биоэлементам и участвует азотистом обмене [13, 28]. При этом в организм рыб преимущественно проникает ионная форма меди [16]. Среди представителей семейства *Gobiidae* наибольшее содержание меди выявлено в *Benthophilus macrocephalus* ($6,62 \pm 0,36$ мг/кг сухого вещества), а наименьшее – в *Neogobius caspius* ($3,98 \pm 0,55$ мг/кг сухого вещества) [19, 29]. Концентрация меди в указанных видах рыб ниже допустимой остаточной концентрации (10 мг/кг).

Марганец принимает участие в обменных процессах, влияя на рост и размножение рыб [13, 28]. Среди исследованных видов семейства бычковые *Gobiidae* максимальное содержание марганца обнаружено в *Benthophilus macrocephalus* – $23,83 \pm 1,7$ мг/кг сухого вещества, что выше таковых показателей у бычка песочника *Neogobius fluviatilis* и бычка хвалынского *Neogobius caspius* в 2 и 8 раза соответственно. По сравнению с изученными бентосными рыбами минимальный уровень концентрации элемента обнаружен у бычка хвалынского *Neogobius caspius* ($3,54 \pm 0,6$ мг/кг) [19, 29]. Сравнивая полученные концентрации с нормативными значениями, в случае с бычком песочником и пуголовкой показано превышение соответствующих нормируемых величин в 1,4 и 2,5 раза. Содержание марганца в бычке хвалынском ниже значения ДОК.

Кобальт входит в состав гормонов, витаминов (B_{12}), участвующих во многих метаболических процессах, влияя на белковый обмен, процессы кроветворения и продуктивность организмов [13, 28]. Концентрация кобальта в исследованных представителях семейства *Gobiidae* находилась на одном уровне и выявленные различия недостоверны ($p > 0,05$) [19, 29]. В организме рыб отмечено превышение нормативной величины в 3 раза.

Свинец, влияя на энзиматические процессы рыб, является постоянной нормальной составной частью их органов и тканей [13]. В организме рыб этот микроэлемент накапливается незначительно, так как малые дозы свинца необходимы для нормальной жизнедеятельности рыб [13, 30]. При этом, свинец способен аккумулироваться в организме гидробионтов, приводя к повреждению клеток организма [31]. Среди исследованных видов рыб максимальное количество свинца обнаружено в *Benthophilus macrocephalus* и составляло $12,47 \pm 0,2$ мг/кг сухого вещества. В то же время *Neogobius fluviatilis* и *Neogobius caspius* аккумулировали данный металл достоверно ниже, в 1,6 и более чем в 3 раза соответственно [19, 29]. Показано превышение нормативного значения и концентрация свинца в *Neogobius caspius* составляла 3,8 ДОК, в *Neogobius fluviatilis* – 7,7 ДОК, а в *Benthophilus macrocephalus* – 12,5 ДОК.

Кадмий аккумулируется в основном жабрами, где он принимает участие в осморегуляторных процессах [16]. В небольших концентрациях он участвует в углеводном обмене [13]. При этом соединения кадмия обладают значительной токсичностью и широким спектром действия на биологические процессы [32]. Содержание кадмия в *Benthophilus macrocephalus* составляло $0,65 \pm 0,05$ мг/кг сухого вещества, что являлось максимальным по сравнению с другими исследованными видами рыб. Уровень биоаккумуляции кадмия *Neogobius caspius* и бычком песочником *Neogobius fluviatilis* несколько ниже, чем в пуголовке, причем различия в значениях аккумуляции металла между этими видами рыб недостоверны ($p > 0,05$) [19,

29, 33]. Концентрация кадмия в исследованных объектах выше допустимой остаточной концентрации: в пуголовке более чем в 3 раза, в бычках – в 2 раза.

Сравнивая полученные усредненные значения тяжелых металлов в организме исследованных видов семейства *Gobiidae* в 2019 году с данными С. А. Гуцуляк и Л. М. Васильевой [5] за 2010 год, показано увеличение концентрации в объектах изучения всех исследованных химических элементов, за исключением кадмия (табл. 1).

Таблица 1
Концентрация тяжелых металлов в организме рыб семейства *Gobiidae*, мг/кг сухого вещества

Металлы	2010 (по данным С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильевой, 2016)	2019 г (наши данные)	ДОК, мг/кг
Cu	1,43±0,3	5,21±0,84	10,0
Mn	2,27±0,3	13,64±1,07	10,0
Co	0,72±0,2	1,6±0,2	0,5
Pb	4,43±0,7	8,01±0,36	1,0
Cd	0,42±0,2	0,5±0,06	0,2

Так, показано, что содержание меди в организме рыб увеличилось примерно в 5 раз, по сравнению с 2010 годом, но все же находилось в пределах нормы (10 мг/кг).

Концентрация марганца в исследованных видах рыб в 2019 году возросла в 6 раз по сравнению с данными С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева [5]. Хотя указанные авторы не выявили в 2010 году в исследованных ими бычках превышения допустимых значений, в нашем случае превышение ДОК составило в 1,4 раза.

Уровень аккумуляции кобальта и свинца изученными видами семейства *Gobiidae* в 2019 году по сравнению с соответствующими значениями в 2010 году выше в 2 раза. Концентрация кобальта в бычках превышала допустимую величину (0,5 мг/кг) в 3 раза, а концентрация свинца – в 8 раз.

Стоит заметить, что значение накопления кадмия исследованными видами семейства *Gobiidae* в 2019 году не отличалось от данных С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева [5] и составляло 0,5±0,06 мг/кг сухого вещества. При этом концентрация кадмия в представителях семейства *Gobiidae* выше ДОК в 2,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты проведенных исследований по выявлению содержания ряда тяжелых металлов в организме некоторых видов семейства *Gobiidae* позволили установить следующее:
2. Содержание Cu, Mn, Co, Pb и Cd, обнаруженные в *Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis*, *Neogobius caspius* за последние 9 лет увеличилось.
3. В *Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis*, *Neogobius caspius* выявлено превышение допустимых остаточных концентраций Mn, Co, Pb и Cd.

4. Отмечено, что *Benthophilus macrocephalus* по сравнению с другими представителями семейства бычковые *Gobiidae* является аккумулятором всех исследованных тяжелых металлов.

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» № госрегистрации АААА-А20-120032590074-3

Список литературы

1. Иванов В. П. Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел) / В. П. Иванов, Г. В. Комарова – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. – 224с.
2. Иванов В. П. Мы понимаем, насколько ответственны за судьбу Каспия – уникального водоема / В. П. Иванов // Вестник Каспия. – 2001. – №4. – С. 70–73
3. Островская Е. В. Тяжелые металлы в системе «Дельта Волги – Северный Каспий» / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, С. К. Монахов, А. А. Курапов, А. Г. Кочарян // Юг России: экология, развитие. – 2008. – №4. – С. 133–139.
4. Чуйко Е. В. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия / Е. В. Чуйко, А. С. Абдусаматов / Юг России: экология, развитие. – 2013. – №3. – С. 110–116.
5. Гуцуляк С. А. Содержание тяжелых металлов в организме бычковых в российской зоне Северного Каспия / С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2016. – № 2. – С. 19–25.
6. Островская Е. В. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова – Астрахань: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – С. 236–251.
7. Хураськин Л. С. Оценка численности тюленя в Каспийском море / Л. С. Хураськин, Н. А. Захарова, В. В. Кузнецов, В. И. Черноок, А. Ф. Сокольский // Современные проблемы Каспия. Материалы Международной конференции. – Астрахань: КаспНИРХ, 2001. – С. 358–363.
8. 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.
9. Головинский В. С. Нефть как источник загрязнения акваторий шельфа тяжелыми металлами / В. С. Головинский, Г. К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2009. – №4. – С. 124–128.
10. Кирьянов С. В. Влияние стока Волги на состояние загрязнения Северного Каспия / С. В. Кирьянов, Н. А. Афанасьева // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 6. – С. 114–117.
11. Зубкова В. М. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища / В. М. Зубкова, В. П. Болотов, Н. Ю. Белозубова // Аграрная наука. – 2015. – №1. – С. 14–16.
12. Лисицын А. П. Биогеохимия океана / А. П. Лисицын, Л. Л. Демина, В. В. Гордеев. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
13. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А. И. Войнар. – М.: Высшая школа, 1960. – 544 с.
14. 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. – 116 с.
15. Spry D. J. Metal bioavailability and toxicity to fish from low-alkalinity lakes: a critical review / D. J. Spry, T. G. Wiener // Environ. Pollut. – 1991. – Vol. 71, № 2–4. – P. 243–304.
16. 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.

17. Ковековдова Л. Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах дальнего востока России: Дисс. ... док. биол. наук: 03.02.08 экология / Лидия Тихоновна Ковековдова. – Владивосток, 2011 – 307 с.
18. Давыдова О. А. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / О. А. Давыдова, Е. С. Климов, Е. С. Ваганова, А. С. Ваганов. – Ульяновск: УЛГТУ, 2014. – 167 с.
19. Зайцев В. Ф. Содержание некоторых металлов в звеньях трофической сети каспийского моря / В. Ф. Зайцев, Т. С. Ершова, В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова, А. А. Николенков // X международная биогеохимическая школа «Современные проблемы состояния и биогеохимической эволюции таксонов биосферы», посвященная 70-летию ГЕОХИ РАН. Материалы международной биогеохимической школы. – М.: ГЕОХИ РАН, 2017. – С. 198–205.
20. Молодцова А. И. Питание осетра, севрюги и белуги в Каспийском море / А. И. Молодцова, А. А. Полянинова // Вопросы рыболовства. – 2009. – Т. 10, № 4 (40). – С. 718–740.
21. Тихонова Э. Ю. Особенности питания русского и персидского осетра в Северном Каспии / Э. Ю. Тихонова // Рыбохозяйственные водоемы России – фундаментальные и прикладные исследования. Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию ГосНИОРХ. – СПб.: ГосНИОРХ, 2014. – С. 738–743.
22. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектрометрия / В. Прайс. – М.: Мир, 1976. – 355 с.
23. Брицке М. Э. Атомно-адсорбционный спектрохимический анализ / М. Э. Брицке. – М.: Химия, 1982. – 223 с.
24. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1967. – С. 7–65.
25. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
26. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии / Н. А. Плохинский. – М.: МГУ, 1980. – С. 35–48.
27. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М.: Просвещение, 1981. – С. 3–184.
28. Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов моря / А. П. Виноградов. – М.: Наука, 2001. – 620 с.
29. Зайцев В. Ф. Биогеохимические особенности аккумуляции элементов в гидробионтах разных экологических групп Каспийского моря / В. Ф. Зайцев, В. А. Чаплыгин, Т. С. Ершова // XII Съезд Гидробиологического общества при РАН (г. Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 г.): тезисы докладов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. – 575 с.
30. Попов П. А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации: монография. / П. А. Попов. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос ун-та, 2002. – 270 с.
31. Абдулаева Н. М. Цитогематологическое исследование рыб при воздействии тяжелых металлов и сырой нефти: автореф. дис..... канд. биолог. наук. / Н. М. Абдулаева. – Махачкала, 2007. – С. 24.
32. Ермаков В. В. Геохимическая экология Животных / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
33. Зайцев В. Ф. Ртуть и кадмий в экосистеме Каспийского моря / В. Ф. Зайцев, Т. С. Ершова, В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова // Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде (Череповец, 14–16 мая 2018 г.): тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов. – Череповец: Череповецкий гос. ун-т, 2018. – 78 с.

MONITORING THE CONCENTRATION OF SOME HEAVY METALS IN THE BODY OF FISH OF THE GOBIDAE FAMILY

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

¹*The Volga-Caspian branch of the fgbi "VNIRO" ("CaspNIRKh"), Astrakhan, Russia*

²*Astrakhan state technical university, Astrakhan, Russia*

E-mail: ershova_ts@mail.ru

Heavy metals are one of the main pollutants of the Caspian sea water. The increase in their concentrations in seawater is primarily due to the exploration and production of

hydrocarbons. In addition, sources of heavy metals are river runoff containing industrial waste water. Various types of gobies are an important part of the Caspian sea ecosystem, as they serve as food for such valuable fish species as Russian and Persian sturgeon. The objects of the study were three species of the Gobiidae family (*Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis* and *Neogobius caspius*) caught in the Northern and middle parts of the Caspian sea during various expeditions in the period 2013–2019. Determination of copper, manganese, cobalt, lead, and copper in members of the Gobiidae family. it was performed by atomic absorption spectrometry. The concentration of chemical elements was expressed in mg/kg of dry matter.

Comparing the obtained average values of heavy metals in the body of the studied species of the family Gobiidae in 2019 with the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva for 2010, an increase in the concentration of all the studied chemical elements in the objects of study, with the exception of cadmium, is shown. Thus, it was shown that the copper content in the fish body increased by about 5 times compared to 2010, but was still within the normal range (10 mg/kg). The concentration of manganese in the studied fish species in 2019 increased by 6 times compared to the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva. Although these authors did not find in 2010 in the bulls they studied exceeding the permissible values, in our case, the excess of the DOC was 1.4 times.

The level of accumulation of cobalt and lead by the studied species of the Gobiidae family in 2019 compared to the corresponding values in 2010 is 2 times higher. The concentration of cobalt in bulls exceeded the permissible value (0.5 mg/kg) by 3 times, and the concentration of lead – by 8 times.

It is worth noting that the value of cadmium accumulation by the studied species of the Gobiidae family in 2019 did not differ from the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva and was 0.5 ± 0.06 mg/kg of dry matter. At the same time, the concentration of cadmium in representatives of the Gobiidae family is 2.5 times higher.

The results of the research indicate that the content of heavy metals found in some species of the Gobiidae family has increased several times over the past 9 years. The danger is the fact that the studied fish species revealed excess of permissible residual concentrations of heavy metals (with the exception of copper). It is noted that *Benthophilus macrocephalus*, in comparison with other representatives of the Gobiidae family, is an accumulator of all the studied heavy metals.

Keywords: heavy metals, accumulation, starry goby, goby sandy, bull khvalynskoye Caspian sea.

References

1. Ivanov V. P. *Fish of the Caspian sea (systematics, biology, fishing)*, 224 (Astrakhan: AGTU publishing house, 2008). (in Russ.).
2. Ivanov V. P. We understand how responsible we are for the fate of the Caspian sea – a unique reservoir. *Bulletin Of The Caspian Sea*, **4**, 70 (2001). (in Russ.).
3. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Monakhov S. K., Kurapov A. A., Kocharyan A. G. Heavy metals in the Volga Delta – North Caspian system, *South of Russia: ecology, development*, **4**, 133 (2008). (in Russ.).
4. Chuiko E. V., Abdusamadov A. S. Features of heavy metal migration in the ecosystem of the Northern Caspian sea. *South of Russia: ecology, development*, **3**, 110 (2013). (in Russ.).

5. Gutsulyak S. A., Vasilyeva L. M. Content of heavy metals in the body of bovids in the Russian zone of the Northern Caspian sea. *Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*, **2**, 19 (2016). (in Russ.).
6. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V. *Pollutants in the waters of the Volga-Caspian Basin*, 236 (Astrakhan: Roman V. Sorokin, 2017). (in Russ.).
7. Khuraskin L. S., Zakharova N. A., Kuznetsov V. V., Chernook V. I., Sokolsky A. F. Estimation of the number of seals in the Caspian sea. *Modern problems of the Caspian sea: materials of the International conference*, 358 (Astrakhan: KaspNIRKh, 2001). (in Russ.).
8. Zakharova N. A., Kuznetsov V. V., Valedskaya O. M. Assessment of the state of the seal population in the Caspian sea and its production forecast for 2007. *Fisheries research in the Caspian sea*, 389 (Astrakhan: Kaspnirka publishing house, 2007). (in Russ.).
9. Golovinsky V. S., Ivakhnyuk G. K. Oil as a source of pollution of the shelf waters by heavy metals. *Problems of risk management in the technosphere*, **4**, 124 (2009). (in Russ.).
10. Kiryanov S. V., Afanasyeva N. A. Influence of the Volga runoff on the state of pollution of the Northern Caspian sea. *Meteorology and hydrology*, **6**, 114 (1992). (in Russ.).
11. Zubkova V. M., Bolotov V. P., Belozubova N. Yu. Content and migration of heavy metals in components of ecosystems of the Volgograd reservoir, *Agrarian science*, **1**, 14 (2015). (in Russ.).
12. Lisitsyn A. P., Demina L. L., Gordeev V. V. *Biogeochemistry of the ocean*, 368 (Moscow: Science, 1983). (in Russ.).
13. Voynar A. I. *Biological role of microelements in the body of animals and humans*, 544 (Moscow: Higher school, 1960). (in Russ.).
14. Vorobyov V. I., Zaitsev V. F., Shcherbakova E. N. *Biogenic migration of heavy metals in the body of Russian sturgeon*, 116 (Astrakhan: Publishing house of LLC "TSNTEP", 2007). (in Russ.).
15. Spry D. J., Wiener T. G. Metal bioavailability and toxicity to fish from low-alkalinity lakes: a critical review, *Environ. Pollut.*, **71**(2), 243 (1991).
16. Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Gashkina N. A. *Scattered elements in surface waters of the land: Technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology*, 261 (Moscow: Science, 2006). (in Russ.).
17. Kovekovdova L. T. *Microelements in marine commercial objects of the Russian far East*: Diss. ... dock. Biol. Sciences: 03.02.08 ecology, 307 (Vladivostok, 2011). (in Russ.).
18. Davydova O. A., Klimov E. S., Vaganova E. S., Vaganov A. S. *Influence of physical and chemical factors on the content of heavy metals in water ecosystems*, 167 (Ulyanovsk: UISTU, 2014). (in Russ.).
19. Zaitsev V. F., Ershova T. S., Chaplygin V. A., Tanasova A. S., Nikolenkov A. A. The content of some metals in the links of the trophic network of the Caspian sea. *X international biogeochemical school "Modern problems of the state and biogeochemical evolution of biosphere taxa", dedicated to the 70th anniversary of geohi RAS: abstracts*, 198 (M.: GEOKHI RAN, 2007). (in Russ.).
20. Molodtsova A. I., Polyandinova A. A. Nutrition of sturgeon, sturgeon and Beluga in the Caspian sea, *Vopr. rybolovstva*, **4** (40), 718 (2009). (in Russ.).
21. Tikhonova E. Yu. Features of the Russian and Persian sturgeon nutrition in the Northern Caspian sea Tikhonova E. Yu. *Fisheries reservoirs of Russia - fundamental and applied research: materials of the international journal*, 738. (2014). (in Russ.).
22. Price V. *Analytical atomic absorption spectrometry*, 355 (Moscow: Mir, 1976). (in Russ.).
23. Britske M. E. *Atomic adsorption spectrochemical analysis: monograph*, 223 (M.: Chemistry, 1982). (in Russ.).
24. Lakin G. F. *Biometrics*, 7 (Moscow: Higher school, 1967). (in Russ.).
25. Lakin G. F. *Biometrics: A textbook for biological specialists. Higher education institutions*, 293 (Moscow: Higher school, 1980). (in Russ.).
26. Plokhinsky N. A. *Algorithms of biometrics*, 35 (Moscow: MSU, 1980). (in Russ.).
27. Plokhinsky N. A. *Biometrics*, 3 (Moscow: Prosveshchenie, 1981). (in Russ.).
28. Vinogradov A. P. *Chemical elementary composition of sea organisms*, 620 (Moscow: Science, 2001). (in Russ.).
29. Zaitsev V. F., Chaplygin V. A., Ershova T. S. Biogeochemical features of element accumulation in hydrobionts of different ecological groups of the Caspian sea. *XII Congress of the Hydrobiological society of the Russian Academy of Sciences: abstracts (Petrozavodsk, September 16 – September 20, 2019)*, 575 (Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2019). (in Russ.).

30. Popov P. A. *Evaluation of the ecological status of water bodies methods of actionialis monograph*, 270 (Novosibirsk: Novosibirsk publishing house. state University, 2002). (in Russ.).
31. Abdulaeva N. M. *Cytohematological study of fish under the influence of heavy metals and crude oil*, 24 (Makhachkala, 2007). (in Russ.).
32. Ermakov V. V., Tyutikov S. F. *Geochemical ecology of Animals*, 315 (Moscow: Science, 2008). (in Russ.).
33. Zaitsev V. F., Ershova T. S., Chaplygin V. A., Tanasova A. S. Mercury and cadmium in the ecosystem of the Caspian sea. *Modern methods for studying the content of heavy metals in the environment: Abstracts of the all-Russian scientific conference and school-seminar for young scientists, postgraduates and students (Cherepovets, may 14-16, 2018)*, 78 (Cherepovets: Cherepovets state University. UN-t, 2018). (in Russ.).