

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

## СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ ТРЁХ ВИДОВ МОРСКИХ РЫБ

**Ковековдова Лидия Тихоновна**

Доктор биолог. наук

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО)

г. Владивосток

**Симоконь Михаил Витальевич**

кандидат биолог. наук

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО)

г. Владивосток

## THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE ORGANS OF THREE TYPES OF MARINE FISH

**Kovekovdova Lidia Tikhonovna**

Doctor of biology

Pacific branch of FSBSE «VNIRO» (TINRO)

Vladivostok

**Simokon Mikhail Vitalievich**

Ph.D.

Pacific branch of FSBSE «VNIRO» (TINRO)

Vladivostok

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.3.58.280](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.3.58.280)

### Аннотация

Определены уровни содержания 24 элементов в органах морских промысловых рыб: скумбрии (*Scomber japonicus*), минтая (*Theragra chalcogramma*), трески тихоокеанской (*Gadus macrocephalus*) из промысловых зон дальневосточного региона. Концентрации элементов в органах рыб меняются в диапазоне нескольких порядков величин, что обусловлено уровнем их содержания в среде обитания и ролью элементов в биохимических процессах, обеспечивающих жизнедеятельность рыб. Печень рыб накапливает максимальные концентрации большинства элементов, мышцы рыб отличаются относительно низким содержанием металлов. Средние концентрации токсичных элементов As, Cd, Hg, Pb, в съедобных тканях скумбрии, минтая и трески не превышают предельно допустимых уровней.

### Abstract

The concentrations of 24 elements were investigated in the organs and tissues of commercial fish species – pollock, cod and scomber from fishing zones of Far Eastern region. The levels of element concentration in fish are changed greatly in several orders of magnitude, reflecting its content in the environment from the one side, and its role in biochemical processes from the other side, providing vital functions and survival of fish. The liver accumulates maximal concentrations of most elements, the muscle tissues are distinguished by relatively low content of elements. The average concentrations of toxic elements As, Cd, Hg, Pb don't exceed its maximal permissible levels of concentration.

**Ключевые слова:** рыбы, эссенциальные и токсичные элементы, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, предельно допустимые концентрации.

**Key words:** fish, essential elements, inductively coupled plasma mass-spectrometry, maximal permissible concentrations.

Интерес к содержанию металлов и металлоидов в морских рыбах связан как с отсутствием сведений об уровнях содержания отдельных элементов, так и с увеличением антропогенной нагрузки на водные экосистемы дальневосточных морей, которая способна нарушить естественный круговорот химических элементов. Элементы участвуют в процессах дыхания, образовании белков, углеводном и жировом обмене. Индивидуальная потребность рыб во многих элементах невелика и накопление их из компонентов среды может привести к негативным последствиям, вызвать нарушение жизнедеятельности рыб и сделать их

непригодными для использования в пищевых целях.

Цели работы: определить содержание элементов (Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Fe, K, Mg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V, Zn) в мышцах и печени морских промысловых рыб: скумбрии (*Scomber japonicus*), трески тихоокеанской (*Gadus macrocephalus*) и провести оценку качества рыб по содержанию токсичных элементов.

Объектами исследования на содержание Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Fe, K, Mg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V, Zn были морские

рыбы из промысловых районов Дальневосточных морей.

Рыбы были выловлены научно-исследовательскими судами ФГБНУ «ТИНРО-Центр». Минтай и треска были выловлены в

Охотском море, скумбрия в открытой части Тихого океана.

Время вылова минтая и трески июль 2017 г., скумбрии - август 2017 г.

Таблица 1

## Размерно-массовые характеристики рыб

Объект	Координаты вылова	Количество особей	Диапазон длины (см.)	Диапазон массы (г.)
<b>Скумбрия</b> ( <i>Scomber japonicus</i> )	45° 19,6 С. Ш. 155° 12,3 В. Д.	9	27,0 – 30,0	300,4 – 335,5
<b>Минтай</b> ( <i>Theragra chalcogramma</i> )	54° 51,7 С. Ш. 155° 21,8 В. Д.	11	40,0 – 43,9	510,4 – 705,5
<b>Треска тихоокеанская</b> ( <i>Gadus macrocephalus</i> )	52° 49,8 С. Ш. 155° 27,4 В. Д.	9	46,3 – 47,2	1250 - 1320

Подготовка проб рыб к определению металлов проводилась методом кислотной минерализации с азотной кислотой в соответствии с ГОСТ 26929-94 [8, с. 20].

Ртуть определяли на прямом анализаторе ртути Milestone DMA-80.

Определение элементов в органах рыб проводили на приборе Agilent 7700 Series ICP-MS (2М).

Для сравнения использовали калибровочные стандарты фирмы Agilent Technologies, изготовленные в соответствии с UL ISO 9001. Относительная ошибка не превышала 7%.

В таблицах 2, 3 представлены результаты определения элементов в мышцах и печени рыб.

Таблица 2

## Диапазоны концентраций элементов в мышцах и печени рыб, мг/кг сыр. массы

Вид	Орган	Be	Mg	Al	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
<b>Скумбрия</b>	<i>мышцы</i>	0,001 – 0,100	47-324	1,1-3,3	1138-3927	136-227	0,003-0,054	0,01-0,09	0,55-2,39	2,9-18,8	0,002-0,019	0,008-0,088	0,08-0,75	0,51-7,68
	<b>среднее</b>	<b>0,004</b>	<b>126</b>	<b>2,25</b>	<b>2859</b>	<b>198</b>	<b>0,017</b>	<b>0,045</b>	<b>1,20</b>	<b>10,6</b>	<b>0,009</b>	<b>0,040</b>	<b>0,38</b>	<b>2,99</b>
	<i>печень</i>	0,001-0,010	73-324	1,3-3,2	1266-3927	436-598	0,007-0,133	0,02-0,09	0,27-2,39	6,3-105,8	0,005-0,118	0,026-0,108	0,31-2,63	1,10-10,79
	<b>среднее</b>	<b>0,003</b>	<b>179</b>	<b>2,4</b>	<b>2401</b>	<b>516,8</b>	<b>0,044</b>	<b>0,056</b>	<b>1,03</b>	<b>37,5</b>	<b>0,033</b>	<b>0,069</b>	<b>1,06</b>	<b>4,73</b>
<b>Минтай</b>	<i>мышцы</i>	0,001 – 0,100	310-376	3,6-9,2	3684-5500	160-585	0,014-0,02	0,06-0,11	0,12-0,34	2,5-14,3	0,004-0,012	0,074-0,175	0,33-1,09	3,64-5,82
	<b>среднее</b>	<b>0,004</b>	<b>338</b>	<b>6,4</b>	<b>4484</b>	<b>272</b>	<b>0,018</b>	<b>0,08</b>	<b>0,21</b>	<b>6,1</b>	<b>0,008</b>	<b>0,118</b>	<b>0,69</b>	<b>4,84</b>
	<i>печень</i>	0,002-0,010	353-1617	6,0-30,4	6025-22704	190-685	0,048-0,030	0,04-0,09	1,88-7,47	19,2-313,1	0,037-0,409	0,052-0,998	4,79-28,96	32,0-143,0
	<b>среднее</b>	<b>0,006</b>	<b>993</b>	<b>13,7</b>	<b>13890</b>	<b>489</b>	<b>0,385</b>	<b>0,060</b>	<b>4,69</b>	<b>110,6</b>	<b>0,211</b>	<b>0,340</b>	<b>13,90</b>	<b>77,36</b>
<b>Треска</b>	<i>мышцы</i>	0,002 – 0,100	346-	3,5-9,9	1580-6316	61-256	0,023-0,037	0,04-0,08	0,20-0,36	3,0-13,8	0,004-0,011	0,027-0,111	0,37-1,63	4,70-12,44
	<b>среднее</b>	<b>0,006</b>	<b>250</b>	<b>6,0</b>	<b>4122</b>	<b>173</b>	<b>0,030</b>	<b>0,06</b>	<b>0,27</b>	<b>7,67</b>	<b>0,007</b>	<b>0,060</b>	<b>0,91</b>	<b>8,06</b>
	<i>печень</i>	0,004-0,012	352-640	6,6-7,3	4127-8861	445-593	0,044-0,269	0,08-0,11	0,44-1,22	13,7-253,9	0,011-0,180	0,103-0,258	2,02-5,97	9,82-32,30
	<b>среднее</b>	<b>0,007</b>	<b>452</b>	<b>7,0</b>	<b>5782</b>	<b>496</b>	<b>0,122</b>	<b>0,09</b>	<b>0,93</b>	<b>125,5</b>	<b>0,088</b>	<b>0,169</b>	<b>4,38</b>	<b>22,30</b>

Таблица 3

Диапазоны концентраций элементов в мышцах и печени рыб, мг/кг сыр. массы													
Вид	Орган	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb	Th	U	Hg
<i>Скумбрия</i>	<i>мышцы</i>	0,10 - 1,76	0,07 - 0,41	0,00 5- 0,03 2	0,00 2- 0,01 6	0,00 8- 0,05 3	0,00 2- 0,23 0	0,06 - 4,80	0,00 2- 0,00 2	0,032 - 0,100	0,00 1- 0,00 5	0,00 1- 0,00 7	0,09 0- 0,15 6
	<b>среднее</b>	<b>0,97</b>	<b>0,19</b>	<b>0,017</b>	<b>0,007</b>	<b>0,027</b>	<b>0,048</b>	<b>1,33</b>	<b>0,001</b>	<b>0,058</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>0,129</b>
	<i>печень</i>	1,22 - 2,41	0,15 - 7,32	0,01 2- 0,24 0	0,00 1- 0,02 3	0,01 4- 2,91 6	0,00 2- 0,22 9	0,19 - 2,36	0,00 0- 0,00 3	0,051 - 0,120	0,00 1- 0,00 9	0,00 2- 0,00 8	0,14 9- 0,25 8
	<b>среднее</b>	<b>1,83</b>	<b>1,67</b>	<b>0,060</b>	<b>0,008</b>	<b>0,606</b>	<b>0,078</b>	<b>0,86</b>	<b>0,001</b>	<b>0,078</b>	<b>0,003</b>	<b>0,005</b>	<b>0,182</b>
<i>Минтай</i>	<i>мышцы</i>	1,37 - 3,49	0,22 - 0,52	0,01 0- 0,03 2	0,00 2- 0,01 2	0,00 3- 0,02 7	0,00 5- 0,58 0	0,16 - 8,35	0,00 1- 0,00 6	0,026 - 0,240	0,00 1- 0,03 3	0,00 2- 0,00 9	0,03 8- 0,08 9
	<b>среднее</b>	<b>2,39</b>	<b>0,33</b>	<b>0,025</b>	<b>0,006</b>	<b>0,012</b>	<b>0,121</b>	<b>4,19</b>	<b>0,002</b>	<b>0,087</b>	<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	<b>0,066</b>
	<i>печень</i>	0,45 - 11,7 9	1,41 - 7,35	0,11 0- 0,37 0	0,00 1- 0,02	0,07- 0,34	0,00 3- 0,02 1	0,40 - 9,97	0,00 1- 0,01 4	0,050 - 0,621	0,00 2- 0,19 2	0,00 6- 0,04 0	0,02 2- 0,08 1
	<b>среднее</b>	<b>3,48</b>	<b>3,30</b>	<b>0,210</b>	<b>0,009</b>	<b>0,18</b>	<b>0,010</b>	<b>2,59</b>	<b>0,006</b>	<b>0,210</b>	<b>0,055</b>	<b>0,020</b>	<b>0,055</b>
<i>Треска</i>	<i>мышцы</i>	0,86 - 1,28	0,12 - 1,08	0,01 0- 0,02 0	0,00 1- 0,01 8	0,02 6- 0,38 1	0,00 1- 0,00 3	0,21 - 0,41	0,00 1- 0,00 2	0,080 - 0,900	0,00 1- 0,00 2	0,00 2- 0,00 4	0,07- 0,08 2
	<b>среднее</b>	<b>1,04</b>	<b>0,54</b>	<b>0,018</b>	<b>0,008</b>	<b>0,200</b>	<b>0,002</b>	<b>0,33</b>	<b>0,002</b>	<b>0,420</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,077</b>
	<i>печень</i>	0,71 - 2,18	0,70 - 2,18	0,03 0- 0,09 0	0,00 2- 0,01 2	0,00 8- 1,40 6	0,00 4- 0,41 6	0,34 - 5,59	0,00 0- 0,00 5	0,080 - 0,129	0,00 1- 0,00 3	0,00 4- 0,01 5	0,05 6- 0,07 9
	<b>среднее</b>	<b>1,25</b>	<b>1,25</b>	<b>0,060</b>	<b>0,009</b>	<b>0,475</b>	<b>0,142</b>	<b>2,09</b>	<b>0,003</b>	<b>0,0980</b>	<b>0,002</b>	<b>0,008</b>	<b>0,066</b>

Исследования микроэлементного состава рыб имеет несколько ключевых моментов, которые можно классифицировать по иерархическим уровням биотических систем. Прежде всего, изучается изменчивость содержания микроэлементов в органах и тканях рыб, соотносящаяся с предметом изучения морфологической экологии. На измененном уровне – это возрастная и сезонная изменчивость микроэлементного состава рыб, а также изменчивость в зависимости от половой принадлежности особи. Видовые различия содержания металлов в рыбах, зависимость его от типа питания рыб и географическая изменчивость микроэлементного состава являются следствием экологии видов и сообществ [13, Р. 313–318; 7, с. 367; 12, Р. 56–61].

Приведенные в таблицах данные позволяют дать оценку самым общим тенденциям локализации металлов в организме рыб, без учета видовых, возрастных, сезонных и половых различий.

В настоящей статье мы определили содержание элементов в мышцах и печени трех видов рыб и их элементный состав, включая элементы, сведения о содержании которых, практически отсутствуют.

Распределение концентраций элементов в органах рыб, в отличие от уровней их содержания, не зависит от их видовой принадлежности и среды обитания, а зависит от химических свойств элементов и их биологической роли в организме рыб. В печени рыб концентрируются максимальные количества большинства элементов по сравнению с мышцами рыб. Известно, что органы, играющие большую роль в процессах секреции, экскреции и депонирования в организме рыб, характеризуются повышенными концентрациями микроэлементов [3, с. 125-130; 11, с. 356-361].

Относительно высокая концентрация металлов в печени объясняется также большим содержанием в этом органе специфических низкомолекулярных

белков – металлотионеинов, которые являются специфическими белками, связывающими микроэлементы группы тяжелых металлов, особенно кадмия. Его концентрация в печени рыб на порядок превышает содержание в мышцах (табл. 3). В мышцах рыб обнаруживали минимальные концентрации тяжёлых металлов, за исключением ртути, количество которой в мышцах и печени довольно близко. Ртуть, в отличие от других микроэлементов группы металлов, в основном накапливается в мышечной

ткани. Как известно, этот микроэлемент обладает высокой степенью сродства к активным группам белковых макромолекул –SH, =NH<sub>2</sub>, –OH, –COOH. Ртутьорганические соединения при этом обладают высокой стойкостью [2, с. 26-31].

Анализ распределения средних концентраций элементов в мышцах рыб (мг/кг сыр. вещества) в пределах десятичного порядка величин позволил показать их макро- и микроэлементный состав. Концентрации элементов в мышцах более постоянны, чем в печени.

**Элементный состав мышц скумбрии**

$\frac{K}{n \cdot 10^3}$	$>$	$\frac{Ca, Mg}{n \cdot 10^2}$	$>$	$\frac{Fe}{n \cdot 10^1}$	$>$	$\frac{Zn, Al, As, Mn, Ba}{n \cdot 10^0}$	$>$	$\frac{Se, Cu, Hg}{n \cdot 10^{-1}}$	$>$	$\frac{Ni, Pb, Sb, Mo, Cd, V}{10^{-2}}$	$>$	$\frac{Co, Cr, Th, U}{n \cdot 10^{-3}}$
--------------------------	-----	-------------------------------	-----	---------------------------	-----	---	-----	--------------------------------------	-----	---	-----	---

**Элементный состав мышц минтая**

$\frac{K}{n \cdot 10^3}$	$>$	$\frac{Ca, Mg}{n \cdot 10^2}$	$>$	$\frac{Fe, Zn, Al, As, Ba}{n \cdot 10^0}$	$>$	$\frac{Cu, Se, Mn, Ni, Pb, Cd}{n \cdot 10^{-1}}$	$>$	$\frac{Cr, Mo, V, Sb, Hg}{10^{-2}}$	$>$	$\frac{Co, Th, U}{n \cdot 10^{-3}}$
--------------------------	-----	-------------------------------	-----	---	-----	--	-----	-------------------------------------	-----	-------------------------------------

**Элементный состав мышц трески**

$\frac{K}{n \cdot 10^3}$	$>$	$\frac{Ca, Mg}{n \cdot 10^2}$	$>$	$\frac{Fe, Zn, Al, As, ,}{n \cdot 10^0}$	$>$	$\frac{Cu, Se, Ba, Mn, Pb, Cd}{n \cdot 10^{-1}}$	$>$	$\frac{Cr, Mo, Ni, V, Sb, Hg}{10^{-2}}$	$>$	$\frac{Co, Th, U}{n \cdot 10^{-3}}$
--------------------------	-----	-------------------------------	-----	--	-----	--	-----	---	-----	-------------------------------------

Элементный состав мышц минтая и трески практически одинаков. Средние величины содержания Hg несколько больше в мышцах скумбрии. Низкое содержание Co, Th, U характерно для мышц всех трёх рассмотренных видов рыб.

Основную массу минеральных веществ в органах и тканях рыб, как морских, так и пресноводных составляют щёлочи [1, с. 628]. В мышцах, исследованных рыб K по уровню концентрации в мышцах стоит на первом месте. Ca и Mg на втором. Далее следует Fe и Zn. Железо в организме рыб присутствует в больших количествах относительно других тяжёлых металлов. Уровень содержания железа в компонентах морской среды относительно высок. Высокое содержание железа определяется тем, что оно является эссенциальным элементом для рыб; принимает активное участие в важнейших биохимических процессах. Уровни содержания цинка в рыбах близки к уровням содержания железа. Концентрация того или иного микроэлемента в органе и ткани характеризует концентрирующую способность этого органа или ткани в отношении данного элемента. Цинк является компонентом многих ферментов в организме, влияет на рост клеток, особенно во время их репродукции и дифференциации, участвует в обмене белков. По уровню содержания среди тяжёлых металлов в органах и тканях организмов эти элементы занимают первые места.

Данные по содержанию алюминия в органах рыб весьма ограничены. Тем не менее, алюминий

обнаружен во всех нормально функционирующих органах и тканях организма человека и животных. Содержание алюминия в мышечной ткани рыб открытого моря составляет порядка 0,1 мг/кг сырой массы, а в мышечной ткани рыб, выловленных в прибрежных водах неподалёку от завода по производству алюминия, наблюдалось его повышенное содержание, достигающее 1 мг/кг сырой массы [14, с. 431- 438]. Данные таблицы 2 свидетельствуют, что концентрация этого элемента в мышцах рыб находится на более высоком уровне, но не превышает порядка  $n \cdot 10^0$ . Мышьяк является постоянным компонентом органов любого организма. Содержание As в мышцах обследованных рыб также не превышает порядка  $n \cdot 10^0$ .

Селен, являясь условно токсичным, в то же время включен в число биологически активных (эссенциальных) элементов. Рыбы накапливают селен, прежде всего, через пищевую цепь [10, с.327-374], хотя при низких концентрациях в воде очень интенсивно идет внедрение его через жабры. Низкий уровень Se в мышцах рыб согласуется с низкими концентрациями его в среде их обитания [4, с. 151].

В пределах  $n \cdot 10^{-1}$  десятичного порядка величин в мышцах рыб содержались также Cu, Mn, Pb, Cd. Cu – это один из биологически активных элементов, который обеспечивает нормальное протекание многих жизненных функций организмов. Морские организмы, такие как моллюски и ракообразные накапливают этот элемент в больших количествах, чем мышцы рыб,

вследствие содержания в их тканях гемоцианина, обеспечивающего поступления кислорода к органам. Mn обнаруживается во всех живых организмах. Биогенная функция ионов  $Mn^{2+}$  состоит в регуляции активности ферментов. Ионы Mn обладают широким спектром биологических эффектов: оказывают влияние на кроветворение, минеральный обмен, рост, размножение. Кроме того, ионы  $Mn^{2+}$  стабилизируют структуру нуклеиновых кислот [9, с. 92]. Небольшое содержание Mn в мышечной ткани рыб может быть обусловлено высоким окислительным потенциалом этого элемента. Уровень содержания токсичных элементов Pb и Cd соответствовал одному порядку в мышцах минтая и трески и был на порядок ниже в мышцах скумбрии.

Среднее содержание Cr, Mo Ni, V, Sb, Hg в мышцах минтая и трески находилось в пределах  $n \cdot 10^{-2}$ , в мышцах скумбрии Cr был обнаружен в концентрациях  $n \cdot 10^{-3}$ . Известно, что содержание хрома низко и в морских и в пресноводных видах. Так например, содержание хрома в губане из Средиземного моря (Ливан) достигает 1,6 мг/кг сырого веса, в других районах и в других видах рыб его содержание ниже [5, с. 285].

Биологическая роль Mo, Ni, V, Sb, Th, U в организме рыб практически не изучена. Поскольку уровни содержания элементов соответствуют результирующему действию таких факторов, как концентрация элементов в среде обитания, физико-химическим свойствам элементов и биологическим потребностям организма, минимальное содержание этих элементов в рыбах соответствует их минимальному содержанию в морской воде.

В съедобных тканях морских рыб контролю подлежат уровни содержания ртути, свинца, кадмия и мышьяка. Согласно нормативным документам допустимые уровни содержания токсичных элементов (ПДУ) в морских рыбах составляют: Pb – 1,0; As – 5,0; Cd – 0,2 (0,7-печень); Hg – 0,5 мкг/г сырой массы [6, с. 125]. Средние значения токсичных элементов в съедобных тканях скумбрии, минтая и трески не превышали ПДУ.

Определены уровни содержания элементов Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Fe, K, Mg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V, Zn в мышцах и печени морских промысловых рыб: скумбрии (*Scomber japonicus*), минтая (*Theragra chalcogramma*), трески тихоокеанской (*Gadus macrocephalus*).

Показаны изменения концентраций элементов в мышцах рыб в пределах десятичного порядка величин.

Независимо от вида рыб первые места в ряду уменьшения концентраций исследуемых элементов занимают биологически активные K, Ca, Mg, которые и в морской воде находятся в больших концентрациях. За ними следуют биологически активные металлы Fe и Zn, в минимальных количествах в мышечных тканях рыб содержатся

Th и U. Такое соотношение элементов сложилось в ходе эволюции биосферы и предопределено как геохимическими условиями среды, так и биологической ролью элементов.

Средние значения токсичных элементов As, Cd, Hg, Pb, в съедобных тканях скумбрии, минтая и трески не превышали предельно допустимых уровней, согласно Техническому Регламенту таможенного союза [6, с. 125].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря: монография. М.: Наука, 2001. 620 с.
2. Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Окина О.И., Шешуков В.С. Биоаккумуляция ртути в тканях пресноводных рыб // Экология человека. 2018. №11. С. 26 – 31.
3. Ковкевдова Л.Т., Симоконь М.В. Тяжёлые металлы в тканях промысловых рыб Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2002. Т. 28, № 2. С. 125–130.
4. Лукьянова О.Н., Ковкевдова Л.Т., Струпуль Н.Э., Иваненко Н.В. Селен в морских организмах: монография. Владивосток: ТИПРО-Центр, 2006. – 151 с.
5. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 285 с.
6. О безопасности пищевой продукции Технический Регламент таможенного союза (ТР ТС 021/2011) утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.
7. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества: концептуальная экология : монография. М.: ИЦ «Россия Молодая» – Экология, 1992. 367 с.
8. Сырьё и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов. М., 1994. 20 с.
9. Тменова А.О., Кубалова Л.М. Биологическая роль марганца и его соединений // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7-2. – С. 92.
10. Janz D.M. Selenium in Homeostasis and Toxicology of Essential Metals / Janz D.M. // Fish Physiology. 2012. Vol. 314. P. 327-374.
11. Jonathan M.P., Auriolles-Gamboa David, Campos Villegas L. E. Metal concentrations in demersal fish species from Santa Maria Bay, Baja California Sur, Mexico (Pacific coast) // Marine Pollution Bulletin. 2015. Vol. 99. P. 356 – 361.
12. McDowell J.E. How marine animals respond to toxic chemicals in coastal ecosystems // Oceanus. 1993. № 2. P. 56–61.
13. Mears H.S. Trace elements in liver from bluefish, tautog and tilefish in relation to body length // Chesapeake science. 1977. Vol. 18, № 3. P. 313–318.
14. Ranau R, Oechlenschläger J, Steinhart H. Aluminium content in edible parts of seafood // European Food Research and Technology. 2001. V. 212. P. 431-438.