

С.В. ЧУСОВИТИНА, Н.И. СТЕБЛЕВСКАЯ,
Н.В. ПОЛЯКОВА, Е.А. ЖАДЬКО

Распределение микроэлементов в органах и тканях трех видов камбал залива Петра Великого (Японское море)

*Изучены особенности распределения микроэлементов в тканях и органах *Glyptocephalus stelleri* (Shmidt, 1904), *Hippoglossoides dubius* (Shmidt, 1904), *Cleisthenes herzensteini* (Shmidt, 1904) зал. Петра Великого Японского моря. Исследованы фрагменты мускулатуры, жабр, печени, кожи, позвонков, гонад и почек. Установлено преимущественное накопление микроэлементов в следующих органах и тканях камбал: железа – в печени и жабрах; меди, селена, мышьяка – в печени; марганца, стронция, мышьяка – в костной ткани; цинка – в гонадах; никеля – в мышцах и коже.*

Ключевые слова: микроэлементы, камбала, залив Петра Великого.

Distribution of trace elements in organs and tissues of three species of flounder from the Peter the Great Gulf (the Sea of Japan). S.V. CHUSOVITINA¹, N.I. STEBLEVSKAYA^{1,2}, N.V. POLYAKOVA², E.A. ZHAD'KO¹ (¹Far East State Technical Fishery University (Dalrybtuz), Vladivostok; ²Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

*The distribution peculiarities of trace elements in tissues and organs of *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt, 1904), *Hippoglossoides dubius* (Schmidt, 1904), *Cleisthenes herzensteini* (Schmidt, 1904) of the Peter the Great Bay of the Sea of Japan were studied. Fragments of musculature, gills, liver, skin, vertebrae, gonads, and kidneys were researched. The predominant accumulation of trace elements in the following organs and tissues of flounders was found: iron – in the liver and gills; copper, selenium, arsenic – in the liver; manganese, strontium, arsenic – in the bone tissue; zinc – in the gonads; nickel – in the muscles and skin.*

Key words: microelements, flounders, Peter the Great Bay.

Структура водных сообществ и пищевых сетей в них, химические характеристики сточных вод и потенциальные возможности самоочистки водоема во многом определяют качественный и количественный состав эссенциальных и опасных или потенциально опасных элементов, накапливающихся в водорослях, беспозвоночных животных и рыбах. В связи с этим количественное распределение и состав микроэлементов в разных компонентах водных сообществ можно рассматривать как картирование проблем поступления и накопления тяжелых металлов в нетипично высоких концентрациях. Подобная информация необходима для контроля и планирования последующих действий по стабилизации или корректировке экологической ситуации.

Залив Петра Великого – один из наиболее крупных в северо-западной части Японского моря. Среди многих районов дальневосточных морей он выделяется обилием и разнообразием населяющих его гидробионтов. Ихтиоцен залива – звено в цепи миграции

ЧУСОВИТИНА Светлана Васильевна – кандидат биологических наук, доцент, ЖАДЬКО Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент (Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток), *СТЕБЛЕВСКАЯ Надежда Ивановна – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), профессор (Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток), ПОЛЯКОВА Наталья Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: steblevskaya@ich.dvo.ru

микроэлементов как естественного, так и антропогенного происхождения, и изменение микроэлементного состава тканей рыб – своеобразное предупреждение о возможных переменах в функционировании экосистемы в целом. Рыбы, занимая верхние уровни трофических цепей, составляют значимую ее часть. Концентрация в них микроэлементов определяется комплексом причин, среди которых наряду с внешними факторами – пищевые привычки, физиологическое состояние, половая принадлежность и возраст [3, 12, 15]. Заметно сказывается антропогенное воздействие. В береговой зоне залива расположен г. Владивосток и другие населенные пункты, развивается сельское хозяйство, функционируют предприятия рыбообрабатывающей, судоремонтной, энергетической, горнодобывающей и иных видов промышленности, осуществляющие сброс стоков; кроме того, с судов в залив попадает мазут [19].

Известно, что основу биомассы рыбной части биоты залива формируют представители четырех семейств, одним из которых являются камбаловые [5]. Многие виды семейства имеют промысловую привлекательность и входят в состав востребованных объектов на рыбных рынках. Пищевую и товарную стоимость камбал во многом определяет качество, в частности микроэлементный состав.

Цель настоящей работы – определение и оценка содержания 11 микроэлементов (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Se, Sr, As, Cd, Pb) в органах и тканях трех массовых видов камбал зал. Петра Великого (Японское море) – малорота Стеллера, япономорской палтусовидной и остроголовой камбал, а также характеристика межорганных видовых особенностей их распределения.

Объекты и методы исследований

В работе исследован микроэлементный состав тканей бентофагов, типичных представителей прибрежных сообществ. Объектами исследований служили органы и ткани камбал: малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt, 1904), япономорской, или южной палтусовидной камбалы *Hippoglossoides dubius* (Schmidt, 1904), остроголовой камбалы *Cleisthenes Herzensteini* (Schmidt, 1904), пойманных осенью и весной в зал. Петра Великого (Японское море). Первый вид относится к группе малоротых, два других вида – к группе большеротых камбал.

Исследовано по 45–60 проб каждого вида, фрагменты соматической мускулатуры, жабр и печени. Помимо этого у японской палтусовидной камбалы и малорота Стеллера концентрации микроэлементов определены в коже, позвонках, гонадах, у последнего вида в почках. Подготовка проб осуществлялась по стандартным методикам [1]. В тefлоновые автоклавы помещали образцы, добавляли смесь азотной кислоты и перекиси водорода (2 : 1) и разлагали в микроволновом реакторе Milestone Ultra Clave (Италия) в течение 60 мин при температуре 200 °С и давлении 60 атмосфер. Элементный анализ проводили рентгенофлуоресцентным методом с полным внешним отражением (TXRF) на приборе TXRF 8030 C (FEI Company, Germany). Пробу объемом 10 мкл наносили на подложку из полированного кварцевого стекла. Время измерения – 500 с, источники возбуждения – MoK α и WBr β 35. Внутренний стандарт – раствор иттрия с концентрацией 50 мкг/мл. Предел обнаружения варьирует для различных элементов в пробах от 10⁻⁷ до 10⁻¹⁰ %. Все цифровые данные представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение.

Результаты исследования

Состав кормовых объектов исследованных рыб меняется не только с возрастом и размером, но и с сезоном, а также местом обитания [18]. В зал. Петра Великого основу питания *G. stelleri* формируют полихеты и гаммариды, значительно меньше доля

моллюсков, офиур, креветок, мизид и других организмов. В спектре питания *H. dubius* более 10 таксономических групп беспозвоночных животных и рыбы. Летом преобладают ракообразные (гаммариды, кумовые креветки), двустворчатые моллюски и полихеты, зимой интенсивность потребления пищи снижается, увеличивается вклад в рацион офиур. Пища *C. herzensteini* во время зимовки состоит из эвфаузид, гиперид и мизид. В апреле поедается большое количество донных десятиногих, полихет, офиур и мелких рыб, в том числе сельдь и сардина. Летом и осенью в рационе присутствуют преимущественно офиуры и ракообразные.

В большинстве исследованных органов и тканей малоротой камбалы *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt, 1904) по концентрации элементов доминировало железо, максимальное среднее значение (157,5 мг/кг) которого выявлено в печени. В жабрах железа обнаружено в три раза меньше, в коже и почках показатели были сопоставимы – 92,4 и 95,9 мг/кг (см. таблицу). Ранее высокие концентрации железа в печени были установлены и для других видов камбал [6, 10, 17].

В исследованных образцах органов и тканей вторым по концентрации элементом был цинк, среднее содержание которого в большинстве органов не превышало 22 мг/кг. Только в гонадах количество цинка в два раза больше, чем железа (75,1 и 37 мг/кг соответственно).

В позвонках (193 мг/кг) и фрагментах жабр (69,5 мг/кг) количественно лидировал стронций, в коже он уступал только концентрации железа. Размах вариации содержания стронция в жабрах достигал 90,7 мг/кг.

Концентрация брома в большинстве проб была меньше предыдущих двух элементов и в среднем изменялась от 2,7 мг/кг в костной ткани до 12,5 мг/кг в гонаде. Относительно много брома выявлено в пограничных органах – жабрах (8,1 мг/кг) и коже (9,4 мг/кг).

В коже отмечены максимальные средние показатели никеля (10,8 мг/кг), разность предельных его значений в коже отдельных особей составляла 27,9 мг/кг.

Наименьший разброс микроэлементов наблюдался в почках и мускулатуре.

Концентрация железа в органах и тканях палтусовидной камбалы *Hippoglossoides dubius* (Schmidt, 1904) так же, как и у *G. stelleri*, превышала концентрации других элементов в пробах печени, кожи, мускулатуры (см. таблицу). В печени средний показатель содержания железа составлял 126,4 мг/кг, в жабрах – 85,9 мг/кг. Минимальные значения содержания железа (15 мг/кг) определены в гонадах.

Больше всего стронция обнаружено в позвонках (248,7 мг/кг) и жабрах (99,2 мг/кг). В коже его количество уступало содержанию железа и цинка. Концентрация последнего изменялась от 10,1 мг/кг в мускулатуре до 39,2 мг/кг в гонадах.

Содержание цинка в большинстве органов довольно большое, однако его концентрация в жабрах (32 мг/кг) уступает количеству стронция, железа и никеля (см. таблицу).

Концентрация микроэлементов в тканях камбал зал. Петра Великого (Японское море), мг/кг сухой массы

Органы/ ткани	Микроэлементы										
	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Se	Rb	Sr	As	Pb
	<i>Glyptocephalus stelleri</i>										
Мышцы	0-0,83 0,42	5,29-12,87 8,84	0,24-0,86 0,61	0,3-0,94 6,33	3,9-4,85 4,36	2,59-3,49 3,08	0,5-1,64 1,19	0,55-1,69 1,08	0,61-1,85 1,22	13,96-31,04 20,62	0,03-0,5 0,17

Жабры	1,85-3,73	31,46-89,2	0,55-2,87	0,74-2,54	13,4-21,9	7,26-9,48	1,1-4,85	1,24-2,44	22,3-113	4,02-9,9	0,15-0,7
	2,82	58,95	1,87	1,49	18,27	8,11	2,49	1,86	69,50	6,14	0,42
Кость	3,21-5,26	2,11-10,89	0,3-2,89	1,4-3,01	9,11-28,9	1,02-5,12	0,89-3,01	0,91-2,46	145-248	5,97-10,01	0,12-0,39
	4,58	6,89	1,62	2,39	11,45	2,67	1,86	1,13	193	7,23	0,3
Печень	0,82-1,45	61,52-222	0,59-1,06	0,85-1,3	18,8-26,9	2,56-9,42	2,53-4,57	0,78-1,31	1,17-1,77	93,11-9,41	0,3-0,97
	1,07	157,51	0,81	1,08	21,97	5,57	3,79	1,01	1,56	7,31	0,42
Кожа	1,37-3,96	30,2-216	1,4-29,27	0,96-4,54	9,9-13,2	7,87-11,3	1,25-5,03	0,96-5,49	12,33-32,3	6,44-15,34	0,5-0,8
	2,99	92,39	10,82	2,40	11,71	9,45	2,73	2,82	20,74	12,37	0,43
Гонады	1,95-2,54	16,38-57,7	1,01-2,06	1,19-1,85	32,18-118	5,53-19,44	1,69-3,24	1,2-2,51	2,34-5,46	6,88-11,1	0
	2,245	37,04	1,535	1,52	75,09	12,485	2,465	1,855	3,9	8,99	
Почки	0,01-1,39	80,56-111,2	0,88-1,67	1,03-1,32	15,98-21,14	4,09-4,61	2,52-3,09	1,0-2,21	1,42-2,07	4,83-5,11	0,4-0,5
	0,695	95,88	1,235	1,175	18,56	4,35	2,81	1,61	1,745	4,97	0,45
<i>Hippoglossoides dubius</i>											
Мышцы	0-2,47	6,50-70,59	1,51-17,81	0,68-1,52	3,43-20,76	1,64-5,3	0,38-0,61	0,32-0,65	0,61-8,38	2,62-4,67	0,14-0,25
	1,69	23,21	5,23	1,17	10,05	3,18	0,49	0,54	3,74	4,23	0,18
Жабры	3,36-14,7	63,13-107,15	1,77-162,23	1,80-3,68	16,84-47,29	7,35-16,14	0,61-1,9	0,67-1,23	22,9-144,56	1,17-1,54	0,40-2,43
	6,76	85,88	46,22	2,49	31,99	11,07	1,14	0,96	99,19	1,35	1,05
Кость	10,53-14,29	34,98-63,3	0	0	16,56-25,23	2,89-7,25	0	0-2	108-362	2,01-11	0,53-0,62
	12,94	52,63			21,03	5,49		0,67	248,67	5	0,56
Печень	1,32-2,38	78,82-192	0	2,66-17,68	14,16-33,62	2,06-6,91	0,71-2,21	0,33-1,13	0,35-1,18	1,75-6,49	0,18-0,48
	1,68	126,42		9,58	27,41	4,15	1,61	0,66	0,75	4,82	0,28
Кожа	0	27,41-78,97	3,66-6,8	0-2,24	9,55-32,53	4,23-10,11	0	0,75-1,56	1,38-30,01	2,83-3,56	0,28-0,49
	1,06-1,37	11,81-20,92	0,73-1,66	0,84-3,68	23,72-65,37	2,48-3,66	0,42-0,54	0-0,75	0,89-0,98	0	0,1-0,15
Гонады	1,19	14,93	1,17	2,71	39,16	2,88	0,47	0,38	0,95	0,95	0,12
<i>Cleisthenes herzensteini</i>											
Мышцы	0	8,67-9,34	0,65-1,38	0,31-0,82	3,90-10,58	0,07-1,02	0,27-1,04	0	0,40-1,36	1,01-5,32	0
		9,01	1,01	0,598	7,46	0,377	0,593		0,875	3,43	
Жабры	7,12-17,6	68,4-189,3	0	0,91-2,09	18,76-59	0	0	0	37,8-94,5	0	0
	9,05	95,87		1,53	35,58				59,54		
Печень	0	169-294	0	5,34-12,01	21,2-49,03	0,33-0,94	1,92-4,67	0	0,91-2,65	1,79-5,09	0
		223		7,39	33,75	0,629	2,33		1,41	3,54	

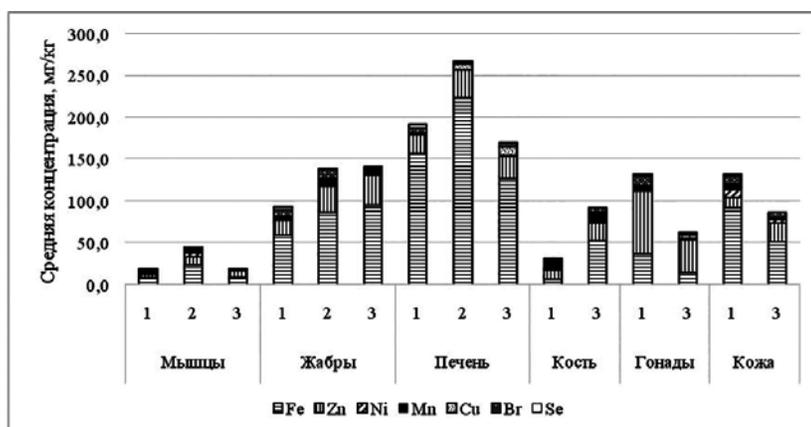
В пробах печени обнаружено высокое по сравнению с другими элементами содержание меди.

Анализ предельных значений показал, что в исследованных образцах камбалы *H. dubius* концентрация микроэлементов у отдельных особей могла отличаться на порядок и больше. Например, разность вариации по никелю в мускулатуре составляла 16,3 мг/кг, в жабрах превышала 150 мг/кг, по мышьяку и стронцию соответственно в мускулатуре – 2,1 и 7,8 мг/кг, в костной ткани – 9 и 254 мг/кг. По цинку разность лимитов достигала в мускулатуре 17,4 мг/кг, в гонадах – 41,7 мг/кг.

У остроголовой камбалы *Cleisthenes herzensteini* (Schmidt, 1904) определен микроэлементный состав печени, соматической мускулатуры и жабр (см. таблицу).

Минимальные и максимальные средние значения соответственно выявлены в следующих органах и тканях: железа – в мускулатуре (9,01 мг/кг) и в печени (223,0 мг/кг); цинка – в мускулатуре (7,5 мг/кг) и жабрах (35,6 мг/кг) (см. таблицу). Преимущественно в костной ткани аккумулировался стронций (59,5 мг/кг), в жабрах – марганец (9,1 мг/кг).

В образцах тканей и органов исследованных *G. stelleri*, *H. dubius*, *C. herzensteini* выявлены некоторые различия состава и количественных показателей микроэлементов (см. рисунок).



Содержание микроэлементов в органах и тканях камбал *Glyptocephalus stelleri* (1), *Cleisthenes herzensteini* (2), *Hippoglossoides dubius* (3)

Обсуждение результатов

Трансформация микроэлементов в разных компонентах водных экосистем имеет характерные особенности: одни из них накапливаются, мигрируя по пищевой цепи, другие нет [15]. В организм рыб микроэлементы поступают перорально во время питания, через жабры и кожу. Обитая в одних и тех же условиях, но имея разный состав пищи, хищники, планктофаги и бентофаги аккумулируют тяжелые металлы не одинаково [2, 4, 11].

Сведения о видовых особенностях накопления металлов в тканях гидробионтов противоречивы. Наряду с мнением об отсутствии достоверной связи между концентрацией элементов и видовой принадлежностью рыб [14] приводятся доводы в пользу специфики разных видов аккумулировать тяжелые металлы. Например, показано, что аккумуляционная способность печени персидского осетра в 1,4 раза выше, чем русского [16].

Анализ состава органов и тканей камбал *G. stelleri*, *H. dubius*, *C. herzensteini* зал. Петра Великого выявил различные уровни накопления микроэлементов.

Содержание железа в печени и в коже изменялось соответственно от 126,4 (*H. dubius*) до 223,0 мг/кг (*C. herzensteini*) и от 51,9 мг/кг (*H. dubius*) до 92,4 мг/кг (*G. stelleri*), т.е.

в 1,8 раз, в мышцах – от 8,8 (*G. stelleri*) до 23,2 мг/кг (*C. herzensteini*), т.е. в 2,6 раз. В коже и жабрах разных видов средняя концентрация железа была сопоставима.

Цинк преимущественно аккумулировался в гонадах, где его количество у *G. stelleri* было больше, чем у *H. dubius*, почти вдвое. Содержание цинка варьировало в жабрах в пределах 18,27–35,6 мг/кг, в печени – от 22,0 до 33,8 мг/кг.

Максимальные концентрации никеля и брома отмечены у *H. dubius*, количество этих микроэлементов в мышцах более чем в 5 и 8 раз соответственно превышало значения у других видов, брома в печени и жабрах – соответственно в 7 и 11 раз.

Максимальные значения стронция зафиксированы у *H. dubius*, мышьяка – у *G. stelleri*. Повышенные концентрации стронция выявлены в костной ткани и жабрах *H. dubius* (248,7 мг/кг) и *G. stelleri* (193 мг/кг), что связано с известной способностью элемента замещать кальций.

В настоящее время известно о влиянии на процессы аккумуляции микроэлементов экологических и физиологических характеристик водных животных, факторов среды, свойств металлов. Ранее проведенные исследования локализации токсичных элементов в промысловых гидробионтах Берингова моря показали особенности распределения металлов по органам представителей различных эколого-трофических групп и более высокие уровни концентраций у рыб, потребляющих донных животных [8].

Особенности аккумуляции микроэлементов в пробах бентофагов, возможно, определяются разными сроками и местами поимки. *G. stelleri*, *H. dubius* были пойманы весной в Амурском заливе, *C. herzensteini* – осенью в бухте Северная. В Амурский залив поступают дождевые и речные воды, принося тяжелые металлы и мышьяк, влияя таким образом на сезонное изменение их концентрации в среде. Вынос паводковых вод наиболее ощутим в приустьевых участках весной и в начале лета.

Независимо от видовой принадлежности камбал исследование показало избирательность депонирования микроэлементов, что, полагаем, прежде всего связано со сходством физиологических и биохимических процессов, проходящих в тех или иных органах.

В целом по уровню накопления у исследованных рыб элементы можно ранжировать следующим образом:

Мышцы:	<i>G. stelleri</i> – Fe > Zn > Br > Sr > Se > Cu > Ni > Mn; <i>H. dubius</i> – Fe > Zn > Ni > Sr > Br > Mn > Cu > Se; <i>C. herzensteini</i> – Fe > Zn > Ni > Sr > Cu > Br > Se.
Жабры:	<i>G. stelleri</i> – Sr > Fe > Zn > Br > Mn > Se > Ni > Cu; <i>H. dubius</i> – Sr > Fe > Zn > Br > Mn > Cu > Se > Ni; <i>C. herzensteini</i> – Fe > Sr > Zn > Mn > Cu.
Печень:	<i>G. stelleri</i> – Fe > Zn > Br > Se > Sr > Mn > Ni; <i>H. dubius</i> – Fe > Zn > Cu > Br > Mn, Se > Sr; <i>C. herzensteini</i> – Fe > Zn > Cu > Se > Sr > Br.
Кость:	<i>G. stelleri</i> – Sr > Zn > Fe > Mn > Br > Cu > Se > Ni; <i>H. dubius</i> – Sr > Fe > Zn > Cu > Mn > Br.
Кожа:	<i>G. stelleri</i> – Fe > Sr > Zn > Ni > Br > Mn; <i>H. dubius</i> – Fe > Zn > Sr > Br > Ni > Cu.
Гонады:	<i>G. stelleri</i> – Zn > Fe > Cu > Br > Sr > Se > Cu > Mn; <i>H. dubius</i> – Zn > Fe > Br > Cu > Se > Sr > Mn.
Почки:	<i>G. stelleri</i> – Fe > Zn > Cu > Br > Se > Sr > Cu > Mn.

Выявлено значительное варьирование содержания стронция и мышьяка. По величине концентрации этих элементов органы камбал располагаются следующим образом (в порядке убывания):

Sr: кость > жабры > печень > мышцы;

As: кожа > кости > гонады > жабры > мышцы.

Таким образом, у камбал *G. stelleri*, *H. dubius*, *C. herzensteini* железо лидировало в большинстве органов и тканей (см. рисунок). Одной из многочисленных функций этого

элемента является хранение и транспортировка кислорода в составе гемоглобина крови и миоглобина. Помимо этого, железо включают ферменты и белки, контролирующие обмен веществ, кроветворение и другие функции. Ожидаемо, что наиболее высокие концентрации железа обнаруживаются в органах, отличающихся активным кровотоком, таких как печень и жабры. В печени его концентрация была в 1,5–3 раза выше по сравнению с жабрами и кожей. Печень традиционно исследуют как биоиндикатор, так как, являясь полифункциональным органом, она не только обеспечивает преобразование питательных веществ и депонирование органического материала, но и выполняет барьерную и гомеостатическую функции. О преимущественном накоплении этого элемента в печени как пресноводных, так и морских рыб сообщалось ранее [4, 7, 9]. В органах осетровых рыб концентрация железа также сокращалась в ряду печень – жабры – почки, кишечник – мышцы, гонады [16].

Жабры, являясь основным органом дыхания рыб, обеспечивают барьерные и обменные процессы. Жаберные лепестки богато васкуляризованы, в капиллярах происходит аэрация крови. Помимо железа в них выявлены высокие по сравнению с другими органами концентрации цинка и марганца.

Почки, выполняя экскреторную и осморегуляторную функции, участвуют в гемопоэзе. Как и в печени, в условиях техногенной нагрузки в них происходит разрушение и обезвреживание различных токсических веществ, на фоне увеличения концентрации которых у рыб развиваются гистопатологии этих органов. По данным А.К. Минеева, загрязнение тяжелыми металлами (Cu, Ni, Zn) вызывает нарушение структуры почек, при совместном воздействии меди и никеля наблюдается синергический эффект [13]. В нашей работе микроэлементный состав почек определен только у малорота *G. stelleri*. Предельных концентраций тяжелых металлов в них не выявлено.

Распределение меди в пробах исследованных камбал имело общие черты как по количеству, так и по локализации – максимальные значения отмечены в печени, минимальные – в мышечной ткани. Марганец обнаружен в жабрах и в гонадах. Селен выявлялся в коже, жабрах и гонадах. В костной ткани обнаружены максимальные концентрации стронция.

Минимальными концентрациями определяемых элементов в пробах камбал характеризовалась мускулатура, где, например, уровень содержания железа в среднем был ниже, чем в печени, в 5 (*H. dubius*) – 25 (*C. herzensteini*) раз, а стронция по сравнению с костной тканью – в 60 (*H. dubius*) – 160 (*C. herzensteini*) раз. Различия других показателей были не столь ощутимы.

Заключение

Изучен микроэлементный состав печени, жабр, позвонков, соматической мускулатуры, гонады, кожи трех видов камбал зал. Петра Великого. По концентрации микроэлементов в органах и тканях лидировали: по содержанию железа и цинка – *C. herzensteini* и *G. stelleri*, брома – *G. stelleri* и *H. dubius*, марганца, никеля и стронция – *H. dubius*, регламентируемого санитарными нормами мышьяка – *G. stelleri*.

Исследования показали преимущественное накопление микроэлементов в следующих органах и тканях камбал: железа – в печени и жабрах; меди, селена, мышьяка – в печени; марганца, стронция, мышьяка – в костной ткани; цинка – в гонадах; никеля – в жабрах и коже. В позвонках и туловищной мускулатуре содержание всех микроэлементов было минимальным. Концентрация мышьяка в коже, мышцах, печени *G. stelleri* в целом выше, чем у других видов.

Полученные данные свидетельствуют о химико-экологической ситуации в зал. Петра Великого, позволяя судить о безопасности рыбного сырья в его прибрежной части, а также дополняют сведения о распределении элементов в отдельных органах и тканях рыб.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ДВЦСИ ИХ ДВО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М.: Химия, 1984. 432 с.
2. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах. Ульяновск: УлГТУ, 2014. 167 с.
3. Доровских Г.Н., Мазур В.В., Петраков А.П. Содержание металлов в гольяне *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) (Cypriniformes, Cyprinidae), обитающем в бассейнах рек Печоры и Вычегды // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб: материалы конференции. 2011. С. 292–296.
4. Зубкова В.М., Разумная Л.А., Болотов В.П. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах разных видов рыб Волгоградского водохранилища // Вестн. АГТУ. 2016. № 4. С. 93–98.
5. Калчугин П.В., Бойко М.И., Соломатов С.Ф., Черниенко Э.П. Современное состояние ресурсов донных и придонных видов рыб в Российских водах Японского моря // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 54–69.
6. Ковековдова Л.Т. Оценка микроэлементного состава отдельных видов промысловых гидробионтов Японского и Охотского морей // Современное состояние водных биоресурсов : материалы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. С. 551–556.
7. Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В. Оценка содержания металлов и мышьяка в донных отложениях и рыбах из рек бассейна залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 223–235.
8. Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В., Наревич И.С., Корольков К.А. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах дальневосточных морей // Прибрежно-морская зона Дальнего Востока России: от освоения к устойчивому развитию: сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию Междунар. кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» ДВФУ, Владивосток, 8–10 ноября 2018 г. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2018. С. 57–59.
9. Кораблина И.В., Барабашин Т.О., Геворкян Ж.В., Евсеева А.И. Тяжелые металлы в органах и тканях промысловых рыб пресноводных объектов Северо-Кавказского региона // Тр. ВНИРО. 2019. Т. 177. С. 151–166.
10. Лаптева А.М. Тяжелые металлы и микроэлементы в промысловых рыбах Баренцева моря. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. С. 145–149.
11. Матвеева А.Ю., Кутлин Н.Г., Кардапольцева Д.Г., Муллагалиева А.Т. Влияние антропогенной нагрузки на аккумуляцию тяжелых металлов в органах и тканях промысловых рыб // Природообустройство. 2018. № 2. С. 132–136.
12. Мелякина Э.И., Бичарева О.Н. Анализ содержания железа и кобальта в органах и тканях щуки (*Esox Lucius*) // Вестн. АГТУ. 2009. № 2. С. 67–68.
13. Минеев А.К. Гистопатология почек у рыб из загрязненного участка реки Позимь (Удмуртская респ.) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 4. С. 215–221.
14. Петухов С.А., Морозов Н.П. К вопросу о «видовых» различиях микроэлементного состава рыб // Вопр. ихтиологии. 1983. Т. 23. Вып. 5. С. 870–873.
15. Чаплыгин В.А., Танасова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Исследование особенностей аккумуляции цинка и ртути гидробионтами Каспийского моря // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2018. Т. 45. № 2. С. 40–45.
16. Чаплыгин В.А., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Трансформация металлов в системе: грунт – пищевые цепи осетровых Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14 (3). С. 138–143.
17. Чусовитина С.В., Жадько Е.А., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. Содержание микроэлементов в органах южной палтусовидной и остроголовой камбал залива Петра Великого (Японское море) // Дальневосточные моря и их бассейны: биоразнообразие, ресурсы, экологические проблемы: вторая Всерос. конф. с междунар. участием, приуроченная к году экологии в России, Владивосток, 3–4 октября 2017 г.: сб. материалов / ред.: Н.К. Христофорова, В.Ю. Цыганков, Е.В. Журавель. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. С. 110–112.
18. Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения nektona и nektonbentosa в дальневосточных морях. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. 483 с.
19. Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д., Григоров Р.А. Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 3 (211). С. 116–126.