

УДК 557.170.49:594.11:577.118

Л.Е. Лебедев <sup>1</sup>, Н.В. Полякова <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

<sup>2</sup>Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159д

### **СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ ТЕМНОЙ КАМБАЛЫ *PSEUDOPLEURONECTES OBSCURUS* (HERZENSTEIN, 1890) (PLEURONECTIDAE) ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ**

*Впервые с использованием рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением изучено содержание 9 тяжелых металлов: Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd, Pb в мышечной ткани, жабрах и печени темной камбалы *Pseudopleuronectes obscurus* (Herzenstein, 1890) (Pleuronectidae), обитающей в трех районах зал. Петра Великого Японского моря. Показаны особенности распределения микроэлементов в органах и тканях камбалы. Выявлены более высокие показатели накопления некоторых элементов у камбалы из бухты Северной Славянского залива. Содержание токсичных нормируемых металлов Pb и Cd в органах и тканях не превышает предельно допустимых норм.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, темная камбала, *Pseudopleuronectes obscurus*, рентгенофлуоресцентный анализ, залив Петра Великого, Японское море.*

L.E. Lebedev, N.V. Polyakova

### **HEAVY METALS CONTENT OF TISSUES AND MEMBERS OF BLACK PLAICE *PSEUDOPLEURONECTES OBSCURUS* (HERZENSTEIN, 1890) (PLEURONECTIDAE) OF PETER THE GREAT BAY, SEA OF JAPAN**

*For the first time by TXRF X-ray fluorescence analysis с полным внешним отражением the contents of 9 heavy metals: Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd, Pb in muscular tissue, gills and liver of Black plaice *Pseudopleuronectes obscurus* (Herzenstein, 1890) (Pleuronectidae), обитающей in three parts of Peter the Great Bay. Sea of Japan, were studied. Characteristic features of these microelements distribution in organs and tissues are shown. Higher accumulation of some elements by Black plaice of Severnaya Bay, Slavyansky Bay, was found. The content of toxic нормируемые metals in the organs and tissues does not exceed the maximum permissible concentration.*

**Key words:** *heavy metals, Black plaice, *Pseudopleuronectes obscurus*, X-ray fluorescence analysis, Peter the Great Bay, Sea of Japan.*

#### **Введение**

Человек сталкивается с рядом проблем, добывая и выращивая водные биологические ресурсы (ВБР). Главная из них – проблема биологической безопасности ВБР [1]. Уровни содержания микроэлементов в пищевых продуктах, получаемых из гидробионтов, регламентированы законодательно, поэтому обязательно контролируются. Микроэлементы в тканях и органах гидробионтов представлены прежде всего тяжелыми металлами (ТМ). Многие металлы являются биофильными элементами, необходимыми для нормальной жизнедеятельности. Поступление ТМ в водную среду связано с природными (вода, донные осадки, кормовые объекты) и антропогенными (хозяйственная деятельность) источниками.

Одним из направлений мониторинговых исследований антропогенного воздействия на морские экосистемы является изучение микроэлементного состава гидробионтов. Выяснено, что содержание микроэлементов в тканях некоторых гидробионтов адекватно отражает распределение этих элементов в морской среде. Концентрационная способность морских

организмов в сочетании с распространенностью и низкой миграционной активностью позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов [1, 2].

Морские рыбы также обладают способностью аккумулировать ТМ, степень накопления которых зависит от гидрохимических показателей среды и принадлежности вида к той или иной экологической группе. У бентоядных и донных представителей ихтиофауны, к которым относятся и виды семейства Pleuronectidae, концентрации ТМ, как правило, выше, чем у хищных и пелагических видов [2].

Вид *Pseudopleuronectes obscurus* (Herzenstein, 1890), таксономическая принадлежность которого приведена в соответствии с базой данных WoRMS [3], или темная камбала, является прибрежным и низкобореальным субтропическим. Ареал *P. obscurus* охватывает Японское, частично Желтое море и южную часть Охотского моря [4, 5, 6]. В зал. Петра Великого Японского моря темная камбала обитает в течение всего года на глубинах 0–60 м на песчаных грунтах. В отличие от других приморских камбал, она не совершает значительных сезонных миграций [7]. Этот вид переносит широкие колебания температуры и солености, часто заходит в предустьевые пространства рек. Темная камбала нерестится раньше других приморских камбал, с февраля по апрель, при температуре воды от –0,3 до 10 °С [8]. Икра клейкая, откладывается на песок и камни. До и после нереста камбала питается донными беспозвоночными: червями, моллюсками, ракообразными [9].

В последние годы заметно вырос интерес к прибрежному рыболовству. Залив Петра Великого также является ареной активной рыбохозяйственной деятельности, несмотря на значительную загрязненность отдельных его районов [10, 11, 12]. В прибрежных акваториях залива расположены многочисленные рыбопромысловые участки. Вид *P. obscurus*, хотя и не входит в группу основных промысловых камбал Приморья, добывается в зал. Петра Великого в качестве прилова [13]. Камбалы сравнительно малоподвижны, поэтому доступны для промысла, спортивной рыбалки и наблюдения. В связи с прибрежным образом жизни выбор темной камбалы в качестве биоиндикатора, отражающего современное состояние прибрежных морских экосистем, вполне оправдан.

Целью работы являлось выявление особенностей распределения и уровней ТМ в тканях и органах темной камбалы из бухт Воевода, Северная и Постовая зал. Петра Великого.

### **Объекты и методы исследований**

Материалом послужили сборы особей вида *Pseudopleuronectes obscurus*, выполненные в трех районах зал. Петра Великого Японского моря в марте–мае 2019 г. (рис. 1).

Район 1 – бухта Воевода. Располагается в восточной части мористого района Амурского залива и глубоко вдается в западное побережье о. Русский. В северный берег бухты вдаются бухты Круглая и Мелководная. Дно каменистое, местами песчаное и песчано-илистое [14]. Район находится в непосредственной близости от крупного города и порта Владивосток.

Район 2 – бухта Северная Славянского залива. Бухта значительно вдается в материк и ограничена от залива мысом Мальцева и юго-западной оконечностью п-ова Янковского. Северная вершинная часть бухты наиболее мелководная и заиленная. Глубины на входе варьируют от 11 до 20 м. Грунты песчаные, илисто-песчаные, илистые [14]. Район удален от крупных населенных пунктов Хасанского района и от влияния их стоков.

Район 3 – бухта Постовая зал. Посъета. Расположена в западной мелководной части залива, глубины более 10 м отмечены только в бухте Рейд Паллады и у входа в бухту Новгородскую. Бухта Постовая вдается в северную часть побережья бухты Новгородской [14]. На дне встречаются илистые и каменистые участки. Вдоль северного и западного берегов расположены остатки разрушенных пирсов и металлической эстакады, а также затонувшая швартовая бочка. На дне лежат обломки затонувших судов. Район находится в пределах мелкого населенного пункта и прилегает к акватории порта Посъет.



Рис. 1. Карта-схема района исследований. Квадратами показаны районы: 1 – бухта Воевода Амурского залива; 2 – бухта Северная Славянского залива; 3 – бухта Постовая зал. Посыета

Fig. 1. The schematic map of the study area. Districts marked by quadrates: 1 – Voevoda Bay of Amursky Bay; 2 – Severnaya Bay of Slavic Gulf; 3 – Postovaya Bay of Posyet Bay

Для исследования были взяты фрагменты мышечной ткани, жабр и печени темной камбалы. Всего анализу подвергнуто 48 образцов тканей. Пробы, взятые для определения элементного состава, подвергали глубокой и быстрой заморозке при температуре  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для экспресс-доставки образцов от мест сбора до аналитической лаборатории использовали термопакеты. Пробоподготовку осуществляли следующим образом. Навеску помещали в кварцевый стакан, добавляли раствор иттрия из расчета  $20\text{ мкг/г}$  сырого образца, добавляли  $2\text{ мл}$  концентрированной азотной кислоты (sup. pure) и помещали в печь Тэмос-Экспресс. Растворяли образец при температуре  $95\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$   $2\text{ ч}$ , затем охлаждали и вносили  $0,5\text{ мл}$  перекиси водорода (sup. pure). Выдерживали при температуре  $95\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$   $30\text{ мин}$ . Из раствора отбирали  $20\text{ мкл}$  и наносили на подложку из полированного кварцевого стекла. Высушивали под лампой и измеряли спектр. Многоэлементный анализ проводили методом РФА ПВО (рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением) на приборе FEI-TXRF 8030 C. Источник излучения – рентгеновская трубка с W анодом, время измерения –  $500\text{ с}$ . Концентрации металлов определяли методом внутреннего стандарта с помощью программного комплекса Oxford, встроенного в ПО (программное обеспечение) спектрометра. СКО (стандартное квадратичное отклонение) для концентраций свыше  $100\text{ мкг/г}$  составляет  $10\%$ ,  $1\text{--}100\text{ мкг/г}$  –  $15\%$ , менее  $1\text{ мкг/г}$  –  $20\%$ . Используемые кислоты предварительно перегоняли на аппарате Distillacid BSB-939-IR BERGHOF, Германия. Ряды концентраций ТМ в тканях рыб для каждого исследованного района в отдельности и для зал. Петра Великого в целом рассчитывали путем усреднения первичных данных и ранжирования средних значений в программе Microsoft Excel 2007.

### Результаты и их обсуждение

Среди рыб зал. Петра Великого ранее были исследованы на содержание ТМ промышленные виды шести семейств: Clupeidae (Сельдевые), Gadidae (Тресковые), Pleuronectidae (Камбаловые), Hexagrammidae (Терпуговые), Osmeridae (Корюшковые) и Salmonidae (Лососевые). Установлено, что преобладающими ТМ в печени являются Fe, Cu, Cd, Pb и Hg; в

гонадах – Zn и Cu; в чешуе, коже, жабрах – Zn, Mn и Sr; в мышцах и костях – Fe, Zn, Cu, Hg и Mn. При этом для планктоноядной тихоокеанской сельди характерны повышенные концентрации Cu, Fe в мышцах и Zn, Cd, Hg в печени. Бентоядная полосатая камбала отличалась высокими концентрациями Fe в печени и Mn в костях и жабрах. Железо преобладало в мышцах сельди, а также тихоокеанского минтая, пелагического хищника. Во всех исследованных органах и тканях всеядной желтоперой камбалы концентрации Fe и Zn были близки [15, 16, 17, 18, 19].

Особенности содержания ТМ в тканях тихоокеанской сельди, дальневосточной наваги, тихоокеанского минтая, полосатой, палтусовидной и остроголовой камбал изучали в конце 1990-х и начале 2000-х гг. Определено, что накопление металлов в тканях, в общем, отражает степень загрязнения компонентов среды. Это позволяет использовать придонных рыб как биоиндикаторов загрязнения морской среды ТМ [15, 19, 20, 21].

У пелагических хищников, красноперки и минтая, отмечен довольно высокий уровень содержания Fe, Cu и Zn в печени и гонадах. Наименьшие концентрации ТМ характерны для мышечной ткани, наибольшие – для печени [22]. У дальневосточной красноперки наибольшие средние концентрации Fe отмечены в печени и гонадах, Zn – в мышцах, Sr – в жабрах. Концентрации ТМ в мышцах самые низкие [23]. Железо лидировало в тканях южного одноперого терпуга, а его максимальные концентрации выявлены в печени. Уровни содержания Sr были высокими в костях и жабрах, а Cu – в печени. Содержание ТМ в органах и тканях терпуга ниже, чем у палтусовидной камбалы [24].

Таким образом, распределение ТМ в тканях рыб зал. Петра Великого неравномерно и зависит от типа питания. У планктоядных в коже и чешуе накапливается в основном Zn, а у бентоядных – более тяжелые элементы: Mn, Ni, Cd. В гонадах у планктофагов лидирует Zn, у бентофагов – Cu. В костях планктофагов накапливается Mn, а в костях бентофагов – нет. В мышцах у планктоядных много Fe и Cu, а у бентоядных – Zn, Mn и Cu [25]. Рыбы-бентофаги сильнее аккумулируют ТМ, пелагические хищники чаще накапливают биоэлементы, полифаги накапливают меньшие количества всех ТМ [26].

В бухте Северной Славянского залива ранее определено содержание ТМ в мышечной ткани, жабрах и печени камбалы остроголовой и наваги тихоокеанской. В жабрах рыб содержалось значительное количество Fe, Sr и Zn. Цинк, медь и железо отмечены во всех анализируемых тканях рыб. Содержание Zn в жабрах наваги превышало ПДК [27]. Для остроголовой камбалы, дальневосточной наваги, тихоокеанского минтая и дальневосточной красноперки из бухты Северной отмечены высокие концентрации Fe, Cu и Zn в жабрах и печени [28].

Нами впервые установлен состав ТМ в жабрах, печени и мышцах темной камбалы *P. obscurus* из трех районов зал. Петра Великого. В жабрах рыб всех районов накапливались Sr, Fe, Mn и Zn. При этом в рыбах района 1 их концентрации были самые низкие. Более высокие концентрации Sr и Fe отмечены в рыбе из района 2, Zn и Mn – из бухты Постовой (рис. 2, А; 3, А). Остальные ТМ содержались в жабрах рыб всех районов в низких количествах.

В печени рыб всех районов в большем количестве аккумулировалось железо, средние концентрации которого изменялись от 265 до 337 мг/кг. Однако при общем доминировании Fe лидирующие группы ТМ включали разные элементы. В особях районов 1 и 3 на 2-м, 3-м и 4-м местах располагались Zn, Cu и Mn, а в камбалах района 2 – Cu, Zn и Sr. Дальнейший порядок ТМ в ряду убывания концентраций различался. В рыбах Амурского и Славянского заливов чаще всего накапливался Ni, Pb и Rb, а в камбалах зал. Посъета – Sr, Pb и Ni. Выход Sr на первое место, очевидно, определяется влиянием разноса угольной пыли в порте Посъет. Концентрации Fe и Cu в печени рыб района 3 были ниже, чем в районах 1 и 2 (рис. 2, Б; 3, Б). Zn в этом органе камбал района 1 накапливался в меньших количествах, чем в рыбах районов 2 и 3. Концентрации Sr, Mn и Ni в печени рыб всех районов были низкими и не превышали 1–3 мг/кг сырой массы.

В мышечной ткани особей из районов 1 и 3 лидировал Zn, а рыб района 2 – Fe. На 3-м месте всегда следовал Mn. Дальнейший порядок ТМ в ряду убывания концентраций несколько различался. В мышцах рыб районов 1 и 3 чаще всего накапливались Rb, Ni и Cu, района 2 – Ni, Cu и Sr; при этом, в общем, концентрации этих элементов были низкими (рис. 2, Б; 3, Б). Выход Rb на первое место, очевидно, также есть влияние разноса угольной пыли в портах Посыет и Владивосток.

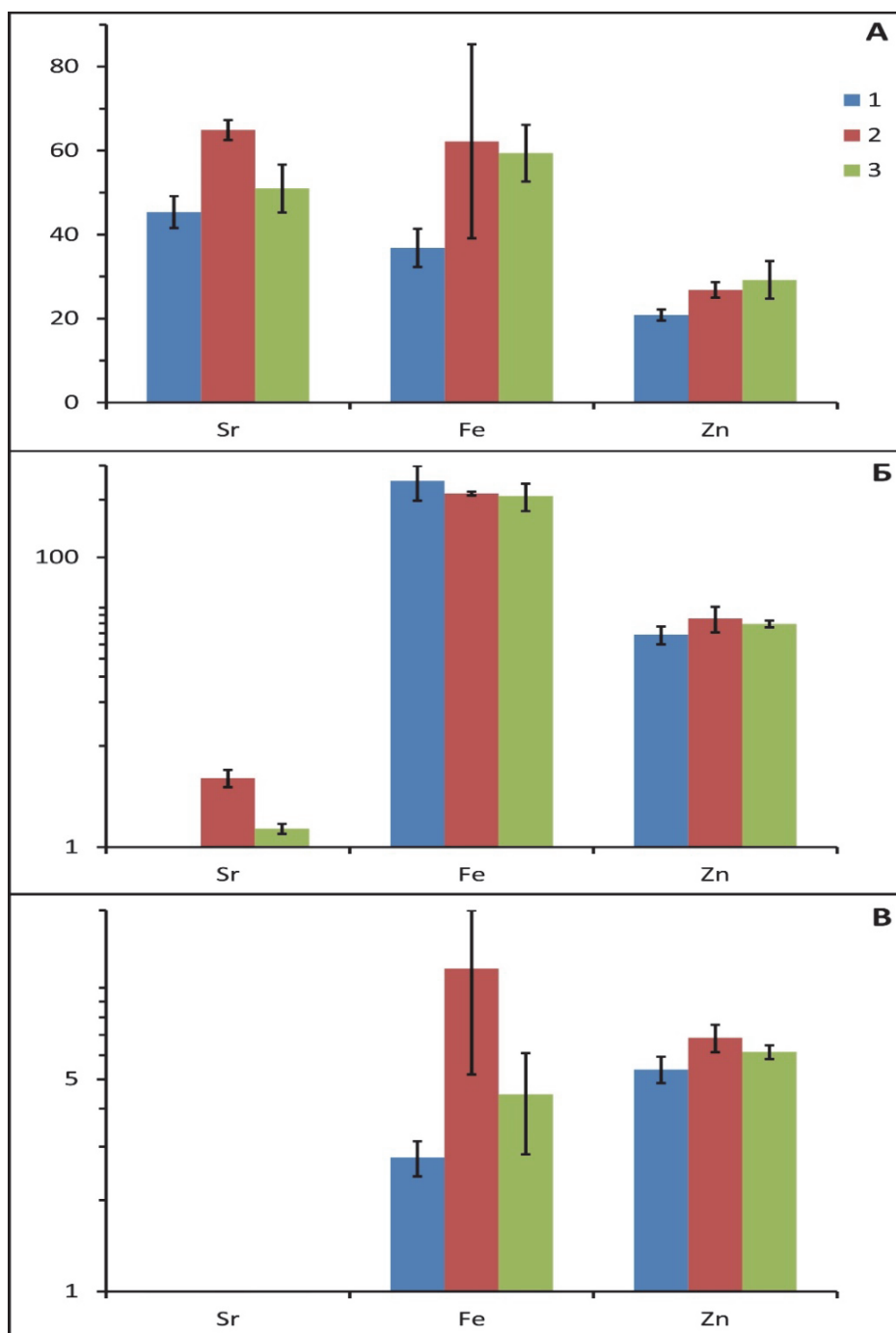


Рис. 2. Средние концентрации Sr, Fe и Zn в жабрах (А), печени (Б) и мышцах (В) темной камбалы *Pseudopleuronectes obscurus*, мг/кг сырой массы; 1, 2, 3 – районы

Fig. 2. Average concentrations of Sr, Fe and Zn in gills (A), liver (Б) and muscular tissue (B) of Black plaice *Pseudopleuronectes obscurus*, mg/kg of wet weight; 1, 2, 3 – districts

По уровню концентрации в тканях темной камбалы бухты Воевода (район 1) ТМ можно расположить следующим образом:

Жабры: Sr > Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Rb > Cd.

Печень: Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Pb > Rb > Sr > Cd.

Мышцы: Zn > Fe > Mn > Rb > Ni > Cu > Sr > Pb > Cd.

В жабрах камбалы наибольшие концентрации отмечены для Sr, Fe, Zn и Mn. В печени накапливались Fe, Zn, Cu и Mn. В мышцах при низких уровнях преобладали Zn, Fe, Mn и Rb.

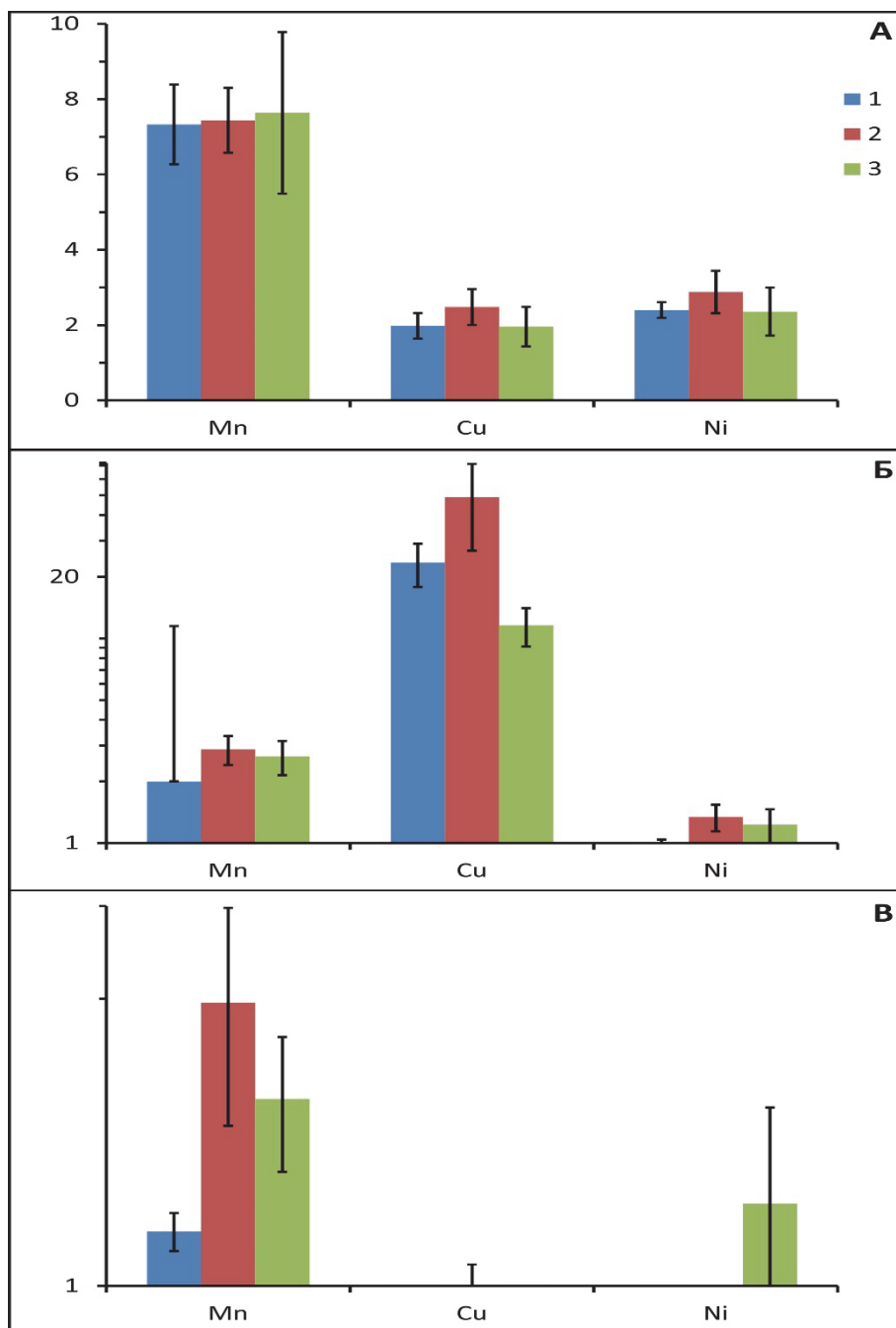


Рис. 3. Средние концентрации Mn, Cu и Ni в жабрах (А), печени (Б) и мышечной ткани (В) темной камбалы *Pseudopleuronectes obscurus*, мг/кг сырой массы; 1, 2, 3 – районы

Fig. 3. Average concentrations of Mn, Cu and Ni in gills (A), liver (B) and muscular tissue (B) of Black plaice *Pseudopleuronectes obscurus*, mg/kg of wet weight; 1, 2, 3 – districts

По уровню концентрации в тканях темной камбалы бухты Северной (район 2) ТМ можно расположить следующим образом:

Жабры:  $Sr > Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Rb > Cd$ .

Печень:  $Fe > Cu > Zn > Sr > Mn > Ni > Pb > Rb > Cd$ .

Мышцы:  $Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Sr > Rb > Pb > Cd$ .

В жабрах рыб района 2 лидировали Sr, Fe, Zn и Mn. В печени накапливались Fe, Cu, Zn, Sr и Mn. В мышечной ткани преобладали Fe, Zn, Mn, Ni и Cu.

По уровню концентрации в тканях темной камбалы бухты Постовой (район 3) ТМ можно расположить следующим образом:

Жабры:  $Fe > Sr > Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Rb > Cd$ .

Печень:  $Fe > Zn > Cu > Mn > Sr > Pb > Ni > Cd > Rb$ .

Мышцы:  $Zn > Fe > Mn > Ni > Rb > Cu > Sr > Pb > Cd$ .

В жабрах наибольшие концентрации установлены для Fe, Sr, Zn и Mn. В печени рыб накапливались Fe, Zn, Cu и Mn. В мышечной ткани при общих низких уровнях содержания ТМ преобладали Zn, Fe, Mn и Ni.

В районе 1 концентрации Fe в печени были максимальными, а Sr – минимальными в данном исследовании (см. рис. 2). Они в 9 раз превосходили таковые в жабрах. Жабры, в свою очередь, содержали в 13 раз больше Fe, чем мышцы. Концентрации Sr, Fe и Zn в жабрах у рыб района 1 ниже, чем в районах 2 и 3. Концентрации Mn в целом невысоки и примерно одинаковы для одних и тех же органов во всех изученных районах. Например, в жабрах они в среднем составляли от 7 до 8 мкг/г, в печени – от 2 до 3 мкг/г, а в мышцах – от 1 до 2 мкг/г.

В районе 2 средние концентрации Cu в печени рыб в 2 и 4 раза выше, чем в районах 1 и 3 (см. рис. 3). В жабрах рыб района 2 было в 1,2 раза больше Ni, чем в районах 1 и 3. Количество Fe в жабрах камбал районов 2 и 3 превышало таковое из района 1 в 1,7 и 1,6 раза; Zn – в 1,4 и 1,2 раза; Sr – в 1,4 и 1,1 раза. Концентрации Fe в печени в районе 1 (бухта Воевода) были в 1,2 и 1,3 раза выше, чем в районах 2 и 3. В мышцах рыб района 1 было в 1,7 и 1,4 раза меньше Mn, чем в районах 2 и 3. Итак, рыбы района 3 лидировали по содержанию Zn в жабрах, района 1 – по содержанию Fe в печени. Район 2 характеризовался преобладающими над другими районами количествами Sr и Fe в жабрах, Sr, Zn, Mn и Cu в печени, Fe, Zn и Mn в мышцах.

Для бентоядных видов зал. Петра Великого, южной палтусовидной и остроголовой камбал, ранее было установлено, что по уровню накопления лидируют следующие ТМ: Fe – в жабрах, мышцах, печени, костях, коже; Zn – в гонадах. В печени камбал найдено максимальное количество Fe и Cu. У южной палтусовидной камбалы выявлены более высокие средние показатели содержания Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Sr, однако концентрация токсичных элементов не превышала их ПДК для морепродуктов. Токсичный тяжелый металл Cr обнаружен только в коже и мышцах, а Pb содержался в рыбах в низких количествах [29, 30].

Сравнительный анализ содержания ТМ в тканях темной камбалы из 3 районов показал более высокие значения большинства тяжелых металлов у рыб бухты Северная, что, возможно, определяется геохимическими особенностями района [12]. Лидирование Fe в органах и тканях темной камбалы из всех трех районов, вероятно, связано с современными геохимическими условиями Амурского залива, в водах которого содержание Fe в 2 раза выше ПДК [31].

В целом, по уровню концентрации в органах и тканях темной камбалы ТМ в зал. Петра Великого можно расположить следующим образом:

Жабры:  $Sr > Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Rb > Cd$ .

Печень:  $Fe > Zn > Cu > Mn > Sr > Ni > Pb > Rb > Cd$ .

Мышцы:  $Fe > Zn > Mn > Ni > Cu > Rb > Sr > Pb > Cd$ .

Средние концентрации ТМ в съедобных тканях темной камбалы в зал. Петра Великого Японского моря не превышали ПДК [32].

### Заключение

Впервые с использованием многоэлементного рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением приведены данные о концентрации 9 тяжелых металлов в тканях *Pseudopleuronectes obscurus*, обычного вида прибрежной экосистемы Японского моря, обитающего в районах зал. Петра Великого с различной антропогенной нагрузкой.

Для всех исследованных особей темной камбалы *P. obscurus* группу лидирующих по содержанию ТМ составили Fe, Zn, Sr, Mn и Cu. Высокое содержание таких эссенциальных элементов, как Fe, Zn и Cu, связано с их особой ролью в метаболических процессах.

Уровни содержания некоторых ТМ в тканях рыб района 2 (бухта Северная Славянского залива) были выше, чем у рыб районов 1 (бухта Воевода Амурского залива) и 3 (бухта Постовая зал. Посыета). Более высокие концентрации ТМ в тканях *P. obscurus* из бухты Северной, вероятно, связано с локальными геологическими и гидрохимическими особенностями этого района.

Установлено, что концентрации 9 ТМ в органах и тканях темной камбалы зал. Петра Великого ниже ПДК, что свидетельствует о качестве и безопасности рыбного сырья.

### Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения НИР «Микроэлементный состав ценных промысловых и культивируемых гидробионтов залива Петра Великого Японского моря на примере двустворчатого моллюска *Mizuhopecten yessoensis* и темной камбалы *Pleuronectes obscurus*» (код проекта № 728/2019).

### Список литературы

1. Ким Г.Н., Лескова С.Е., Матросова И.В. Марикультура: учеб. пособие. М.: МОРК-НИГА, 2014. 273 с.
2. Ваганов А.С. Накопление тяжелых металлов тканями и органами промысловых видов рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища: дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.02.08 Экология / А.С. Ваганов. Ульяновск: Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, 2012. 120 с.
3. World Register of Marine Species [Electronic resource]. 2019. Режим доступа: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxlist> (дата обращения 05.09.2019).
4. Линдберг Г.У., Федоров В.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Л.: Наука, 1993. Ч. 6. 272 с.
5. Новиков Н.П., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы Приморья. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. 552 с.
6. Evseenko S.A. An annotated catalog of Pleuronectiformes Fishes (Order Pleuronectiformes) of the Seas of Russia and Adjacent Countries // Journal of Ichthyology. 2003. Vol. 43, Suppl. 1. P. 557–574.
7. Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы залива Петра Великого. 2-е изд., испр. и доп. Владивосток: Дальнаука, 2011. 431 с.
8. Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. Атлас икры личинок и мальков рыб российских вод Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2008. 220 с.
9. Тупоногов В.Н., Кодолов Л.С. Полевой определитель промысловых и массовых видов рыб дальневосточных морей России. Владивосток: Русский остров, 2014. 336 с.



10. Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоконь М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 55–63.
11. Шулькин В.М., Семькина Г.И. Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого и оценка их вклада в создание экологических проблем // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 252–287.
12. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И. Межгодовая динамика уровня загрязненности акваторий залива Петра Великого за последние 40 лет // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 6. С. 49–63.
13. Соколовский А.С., Дударев В.А., Соколовская Т.Г., Соломатов С.Ф. Рыбы российских вод Японского моря: аннотированный и иллюстрированный каталог. Владивосток: Дальнаука, 2007. 200 с.
14. Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина. М.: Управление начальника Гидрографической службы ВМФ, 1984. 314 с.
15. Симоконь М.В. Тяжелые металлы в промысловых рыбах залива Петра Великого в связи с условиями обитания: дис. ... канд. биол. наук / М.В. Симоконь. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2003. 150 с.
16. Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В. Тяжелые металлы в тканях промысловых рыб из Амурского залива Японского моря // Биол. моря. 2002. Т. 28, № 2. С. 125–130.
17. 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.
18. Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В., Кику Д.П. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопр. рыболовства. 2006. Т. 7, № 1(25). С. 185–190.
19. Ковековдова Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России: автореф. дис. ... доктора биол. наук / Л.Т. Ковековдова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2011. 40 с.
20. Зорина Л.Г., Гордиенко П.С., Добржанский В.Г. Оценка загрязнения водоемов по содержанию микроэлементов в рыбах // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 1999. Т. 124. С. 112–114.
21. Марченко А.Л., Христофорова Н.К. Видовые различия в содержании тяжелых металлов в массовых видах рыб из водоемов южного Приморья // Современное состояние водных биоресурсов: материалы науч. конф., посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. С. 591–595.
22. Жадько Е.А., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В., Чусовитина С.В. Микроэлементы в тканях некоторых видов гидробионтов залива Петра Великого // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2013. Т. 30. С. 19–27.
23. Чусовитина С.В., Жадько Е.А., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. Распределение некоторых макро- и микроэлементов в тканях дальневосточной красноперки *Tribolodon brandtii* залива Петра Великого (Японское море) // Инновации в рыбной отрасли – импульс эффективного использования и сохранения биоресурсов Мирового океана: материалы нац. очно-заоч. науч.-практ. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 85–88.
24. Чусовитина С.В., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В., Жадько Е.А. Распределение некоторых макро- и микроэлементов в органах и тканях терпуга *Pleurogrammus azonus* и камбалы *Hippoglossoides dubius* (Амурский залив, Японское море) // Вопр. рыболовства. 2019. Т. 20, № 2. С. 233–241.
25. Лебедев Л.Е. Микроэлементный состав промысловых рыб и моллюсков дальневосточных морей и их бассейнов // Рыболовство–аквакультура: материалы IV Междунар.

науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. С. 211–217.

26. Лебедев Л.Е. Особенности содержания металлов в органах и тканях дальневосточных видов рыб с различным типом питания // Природа без границ. XII Междунар. экологический форум, 18–19 октября 2018 г. Владивосток [Электронный ресурс]: сборник итоговых материалов / [отв. ред. Т.С. Вшивкова]. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2018. С. 152–154.

27. Стеблевская Н.И., Полякова Н.В., Жадько Е.А., Чусовитина С.В. Микроэлементный состав тканей некоторых видов гидробионтов залива Петра Великого (бухта Северная) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 5. С. 127–132.

28. Стеблевская Н.И., Чусовитина С.В., Полякова Н.В., Жадько Е.А. Изучение элементного состава тканей и органов некоторых видов промысловых рыб бухты Северная залива Петра Великого (Японское море) // Вопр. рыболовства. 2016. Т. 17, № 1. С. 96–102.

29. Чусовитина С.В., Жадько Е.А., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. Распределение некоторых макро- и микроэлементов в органах южной палтусовидной камбалы залива Петра Великого (Японское море) // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2017. Т. 42. С. 10–16.

30. Чусовитина С.В., Жадько Е.А., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. Содержание микроэлементов в органах южной палтусовидной и остроголовой камбалы залива Петра Великого (Японское море) // Дальневосточные моря и их бассейны: биоразнообразие, ресурсы, экологические проблемы: Вторая Всерос. конф. с международным 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.

31. Черкашин С.А. Биотестирование на ракообразных качества вод Амурского залива Японского моря // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: материалы Междунар. симп. М.: ГЕОС, 2016. 434 с.

32. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2002. 156 с.

**Сведения об авторах:** Лебедев Леонид Евгеньевич, студент, e-mail: drweqweb@mail.ru;

Полякова Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: polyakova@ich.dvo.ru.