



УДК 595.3:549.25 (268.45)

Среда обитания водных биологических ресурсов

Содержание свинца в промысловых ракообразных Баренцева моря (по многолетним данным)

М. А. Новиков^{1,2}, Е. А. Горбачева¹, М. Н. Харламова²

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО («ПИНРО» им. Н.М.Книповича), ул. Академика Книповича, 6, Мурманск, 183038 Россия

²Мурманский арктический университет (ФГАОУ ВО «МАУ»), ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010

E-mail: mnovik@pinro.vniro.ru

SPIN-код: М.А.Новиков – 2063–5426; Е.А.Горбачева – 3135–1411; М.Н.Харламова – 5482–4673

Цель работы: исследовать и оценить уровень содержания свинца в мышцах и гепатопанкреасе основных промысловых ракообразных Баренцева моря.

Материалом исследования послужили образцы камчатского краба *Paralithodes camtschaticus*, краба-стригуна *Chionoecetes opilio* и северной креветки *Pandalus borealis*, выловленных в ходе экспедиций «ПИНРО» им. Н.М.Книповича в период 2014–2024 гг. Изучены пробы мышц, а также гепатопанкреаса крабов.

Новизна: впервые на большом объеме материала выполнен сравнительный анализ содержания Pb в камчатском крабе, крабе-стригуне опилио и северной креветке Баренцева моря. Предложены уровни естественного природного содержания Pb в мышцах исследованных крабов и северной креветки из Баренцева моря, которые следует рассматривать в качестве регионального фона.

Используемые методы: свинец в пробах определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре фирмы «Shimadzu» (Япония). Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel 2016 и прикладном пакете Statistica 13.

Результаты: показано, что среднее содержание Pb в мышцах и гепатопанкреасе исследованных гидробионтов не превышало установленный норматив допустимого содержания 10 мг/кг сырой массы. Отмечено более высокое среднее содержание Pb в мышцах креветки по сравнению с крабами. Содержание Pb в гепатопанкреасе изученных крабов в 2,6 и 8,5 раза превышает таковое в мышцах. Сделано предположение о выраженной видоспецифичности уровня содержания Pb в мышцах краба-стригуна опилио. Предложены расчётные фоновые уровни содержания Pb в мышцах камчатского краба, краба-стригуна и северной креветке Баренцева моря, которые могут быть использованы для выявления антропогенного воздействия.

Практическая значимость: полученные результаты использованы для установления соответствия безопасности промысловых беспозвоночных принятым в России требованиям технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»).

Ключевые слова: Арктика, токсичные металлы, крабы, креветка, мышцы, гепатопанкреас.

Lead content in commercial crustaceans of the Barents Sea

Mikhail A. Novikov^{1,2}, Elena A. Gorbacheva¹, Marina N. Kharlamova²

¹Polar branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

²Murmansk Arctic University («MAU»), 13, Sportivnaya St., Murmansk, 183010, Russia

This study aims to identify the lead content in the muscle and hepatopancreas of the main commercial crustaceans from the Barents Sea.

The material for this study was the samples of red king crab *Paralithodes camtschaticus*, snow crab *Chionoecetes opilio* and northern shrimp *Pandalus borealis* caught during the research cruises conducted by «PINRO» from 2014 to 2024. This study examines the samples of muscles collected from crustaceans, as well as the samples of hepatopancreas collected crabs.

Novelty: for the first time, a comparative analysis of Pb content in Kamchatka crab, snow crab, and northern shrimp from the Barents Sea was performed using a large volume of material. Natural Pb levels in the muscles of the studied crabs and northern shrimp from the Barents Sea were proposed, which should be considered as a regional background.

Methods used: the lead in samples was detected by flame atomic absorption spectrophotometry using Shimadzu (Japan) spectrophotometer. Processing of statistical data and diagram plotting were performed in MS Excel and Statistica 13 application package.

Results: It was shown that the average Pb content in the muscle and hepatopancreas of the studied aquatic organisms did not exceed the established permissible content standard of 10 mg/kg wet weight. A higher average Pb content was noted in shrimp muscle compared to crabs. The Pb content in the hepatopancreas of the studied crabs was 2.6 and 8.5 times higher than that in muscle. An assumption was made about pronounced species-specific Pb levels in the muscle of the snow crab *opilio*. Estimated background levels of Pb content in the muscles of the red king crab, snow crab, and northern shrimp of the Barents Sea are proposed, which can be used to identify anthropogenic impacts.

Practical relevance: the obtained results were used to estimate the compliance with safety standards for commercial invertebrates established by the technical regulations of the Customs Union accepted in Russia (TP CU 021/2011 «On food safety»).

Keywords: Arctic, toxic metals, crabs, shrimps, muscle, hepatopancreas.

ВВЕДЕНИЕ

Свинец является одним из наиболее токсичных металлов, он способен к аккумуляции в живых организмах и не имеет, как принято считать, известной полезной биологической функции, т.е. является неэссенциальным элементом [Stankovic et al., 2012]. По этой причине его накопление в организме при употреблении пищевой продукции с высоким содержанием Pb может представлять серьёзный риск для здоровья человека. В частности, у детей Pb может вызывать снижение интеллектуальных способностей и когнитивного развития, а у взрослых – повышение артериального давления и сердечно-сосудистые заболевания¹.

Свинец попадает в прибрежные воды посредством сброса промышленных сточных вод химических, металлургических, покрасочных, красильных, аккумуляторных производств, нефтеперерабатывающих заводов и т.д. Противообрастающие краски, используемые для предотвращения роста морских организмов на днищах морских судов, также содержат Pb в качестве важного компонента. Эти краски способны к постоянному выщелачиванию токсичных металлов в воду, чтобы оказывать токсическое воздействие на организмы-обрастатели (ракообразные, моллюски и др.) [Филенко, Михеева, 2007; Израэль, Цыбань, 2009].

Свинец попадает в Мировой океан и прибрежные воды не только из наземных источников, но также и из атмосферы с аэрозолем и осадками. Атмосферное поступление свинцовых аэрозолей может быть весьма значительным. Важнейшим источником поступления Pb в атмосферу является автомобильный транспорт. В этилированном бензине содержится органическое соединение Pb – триэтилсвинец, которое

более токсично для живых организмов, чем неорганический Pb [Clark, 2011; Kumar et al., 2020].

Достаточно много Pb может находиться в морской рыбе, моллюсках и ракообразных. Наибольшее содержание Pb обнаружено в мягких тканях моллюсков. В то же время, признаков повышения содержания Pb на более высоких трофических уровнях не выявлено; скорее просматривается обратное [Dietz et al., 1996]. Этот вывод согласуется с результатами исследований D. Muir с соавт. [1992], которые представили коэффициент биоаккумуляции 0,2 от рыбы к тюленям и 0,07 от рыбы к китообразным.

Согласно TP TC 021/2011², в нерыбных объектах промысла (моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные) и продуктах их переработки допускается содержание свинца не более 10,0 мг/кг.

Цель работы – исследовать и оценить уровень содержания свинца в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба и краба-стригуна *опилио*, а также в мышцах северной креветки Баренцева моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследований – пробы камчатского краба, краба-стригуна *опилио* и северной креветки собиравшиеся в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом, на судах «ПИНРО» им. Н.М.Книповича «Вильнюс», «Фритюф Нансен», «Профессор Бойко», «Смоленск», «Протей» и др. в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

Камчатский краб, *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) – ценный промысловый вид. Интродуцент. Промысел камчатского краба в Баренцевом море ведётся с 2004 г. Среднегодовой вылов в ИЭЗ России в последние годы составляет около 12,5 тыс. т

¹ OJEC. Official Journal of the European Communities. 2001. Commission Regulation N° 466/2001 of 8 March 2001. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. L77: 1–13. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC034471>

² Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (TP TC - 021-2011). М.: Росстандарт, 2011. 242 с. <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/technicalregulationses>

[Амелькина и др., 2024]. Мясо камчатского краба является сырьём для приготовления деликатесной продукции, обладает хорошими вкусовыми качествами и высокой пищевой ценностью. В пищу употребляется мясо (белого цвета), находящееся в ногах, клешнях и в месте сочленения ног с карапаксом. Сырое мясо краба содержит много влаги и мало жира (0,18–0,91%), в гепатопанкреасе, напротив, содержание жира достигает 13–20% [Стесько и др., 2021; Лебская и др., 1998; Акулин и др., 2005].

Краб-стригун опилио, *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) – бореально-арктический вид. В отличие от камчатского краба, процесс интродукции которого детально документирован, время появления краба-стригуна опилио в Баренцевом море неизвестно. Ширина карапаксов крабов-стригунов Баренцева моря достигает 166 мм. Спектр пищевых объектов включает представителей практически всех основных групп баренцевоморского бентоса [Соколов и др., 2016]. Промысел краба-стригуна в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) России в Баренцевом море был

открыт в апреле 2016 г. В период с 2017 по 2019 гг. в Баренцевом море в ИЭЗ РФ успешно велся промысел краба-стригуна со среднесуточной производительностью от 9,2 до 11,4 т. На конец 2024 г. промысловая биомасса оценивалась на уровне 396 тыс. т [Александров и др., 2021; Анциферов и др., 2025].

Северная креветка, *Pandalus borealis* Krøyer, 1838 – также важный промысловый объект. Промысел северной креветки в Баренцевом море и в районе архипелага Шпицберген имел место с середины прошлого столетия. В 2003–2012 гг. промысел креветки был фактически прекращён. С 2013 г. наблюдается возобновление промысловой активности российских креветколовов. С 2017 г. отечественный вылов значительно увеличился, с 4 до 30 тыс. т, достигнув рекордных показателей в 2019 г. Согласно прогнозу, вылов северной креветки в пределах ИЭЗ России в Баренцевом море в 2025 г. может составить 26,5 тыс. т [Баканев, 2020; Александров и др., 2021; Анциферов и др., 2025]. Основное направление использования креветки – производство деликатесной

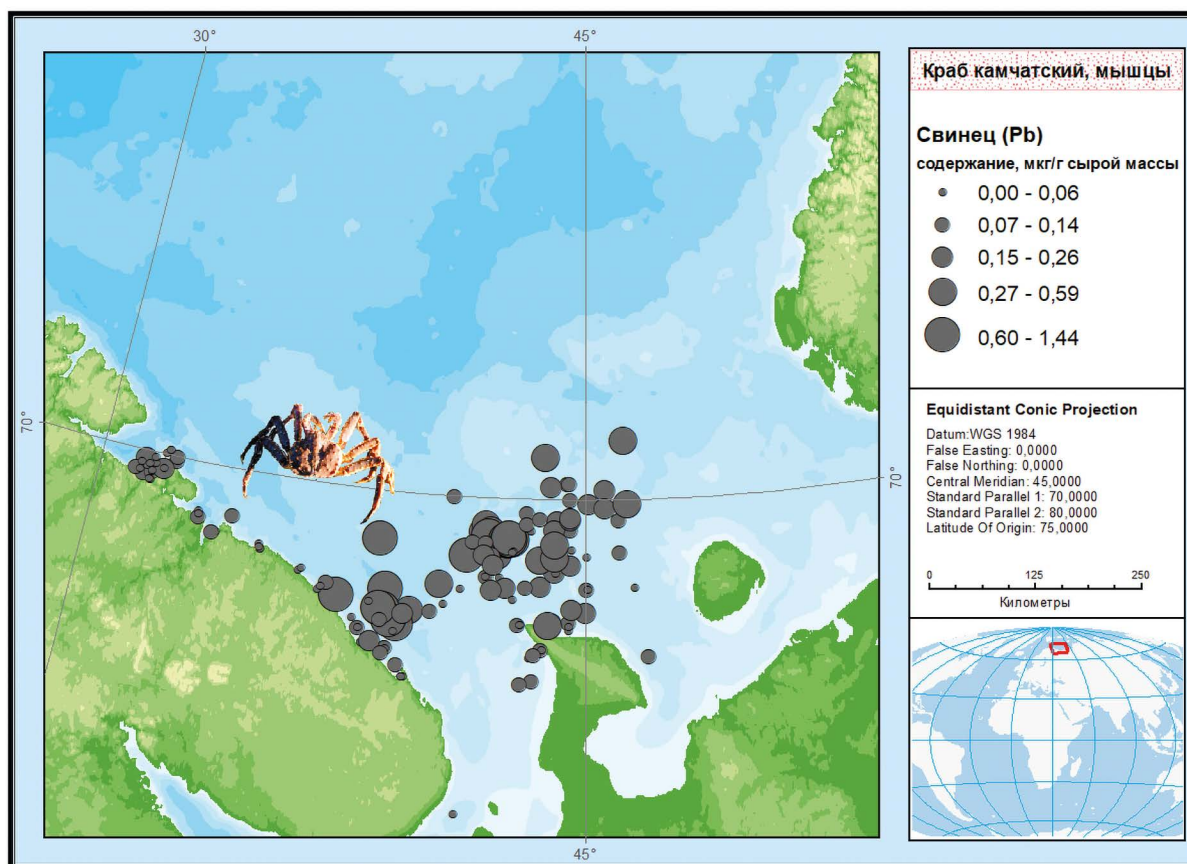


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб и содержание свинца в мышцах краба *P. camtschaticus* Баренцева моря (по данным 2014–2024 гг.)

Fig. 1. The map of sampling and lead content in the muscle of *P. camtschaticus* of the Barents Sea, mg/kg w.w. (according to 2014–2024 data)

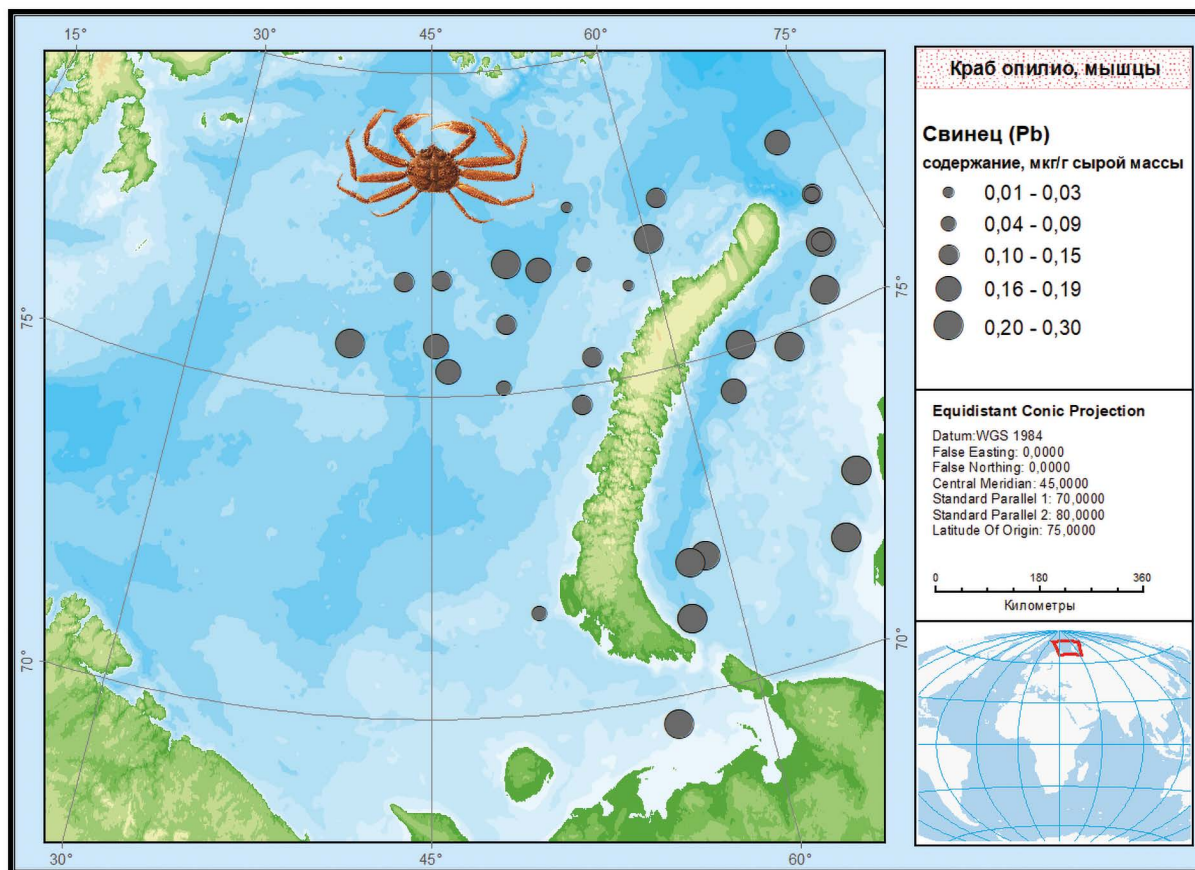


Рис. 2. Карта-схема расположения станций отбора проб и содержание свинца в мышцах краба *Ch. opilio* Баренцева моря (по данным 2019–2024 гг.)

Fig. 2. The map of sampling and lead content in the muscle of *Ch. opilio* of the Barents Sea, mg/kg w.w. (according to 2019–2024 data)

пищевой продукции, в том числе варено-мороженой, консервов, кулинарных изделий. Средний выход мяса креветки – 39–40%; содержание жира в мясе до 1,2%, белка – 18,3–19,7% [Лебская и др., 1998; Химический состав..., 2002].

В настоящей работе представлены результаты анализа проб мышечной ткани камчатского краба (самцы, $n = 167$ экз., отобраны в 2014–2024 гг.), краба-стригуна (самцы, $n = 47$ экз., период отбора 2019–2024 гг.) и северной креветки ($n = 206$ проб, собраны в 2019–2024 гг.). Практически все пробы были отобраны во время учётных ловов донным тралом и крабовыми ловушками на акватории Баренцева моря (рис. 1–3). Как следует из рис. 1, отдельные экземпляры камчатского краба были пойманы в Воронке Белого моря. Исследование содержания Pb в гепатопанкреасе крабов выполнялось на меньшем объёме материала, чем мышцы: для камчатского краба $n = 142$ проб, для краба-стригуна $n = 46$ проб. Одна проба камчатского краба соответствовала 1 экземпляру размером не менее 100 мм, для чего измеряли

ширину карапакса. Одна проба краба-стригуна, как правило, была объединённой и включала в себя 2–4 экз. размером от 61 до 134 мм. Из-за малых размеров особей северной креветки одна проба мышц включала материал из 12–30 экземпляров этого вида, отобранных случайным образом из 1 кг.

Отбор проб гидробионтов и их хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО [Изучение экосистем ..., 2004]. По завершению отбора пробы были помещены в специальные пакеты, снабжённые бирками, и заморожены при -20 °C для доставки в стационарную лабораторию.

Подготовка и химический анализ проб выполнены в «ПИНРО» им. Н.М.Книповича на основе известной методики³. Подготовка проб проводили методом «мокрой» минерализации. Предварительно образцы тканей ракообразных тщательно измельчали и размешивали до пастообразного состояния. К навеске

³ ГОСТ 30178-96. Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ, 2010. 32 с. <http://gost.gtsever.ru/Data/91/9123.pdf>

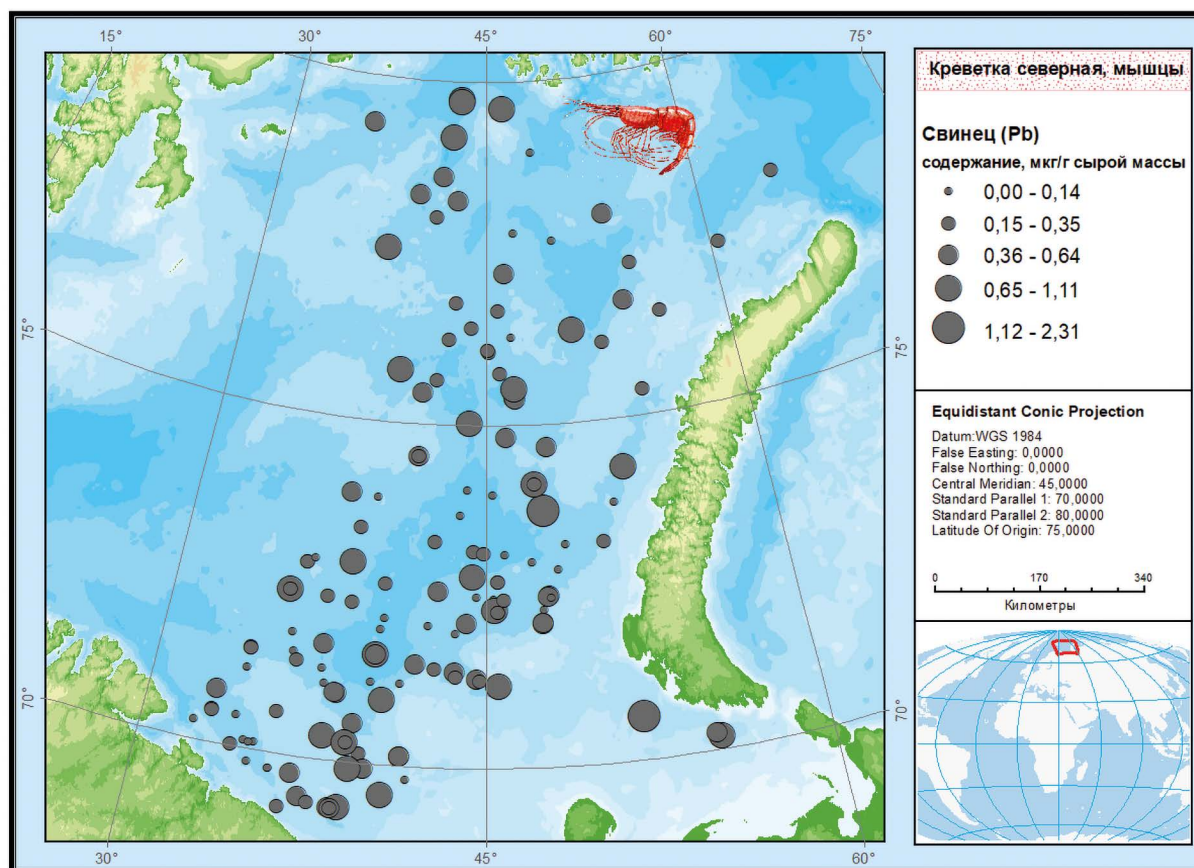


Рис. 3. Карта-схема расположения станций отбора проб и содержание свинца в мышцах креветки *P. borealis* Баренцева моря (по данным 2019–2024 гг.)

Fig. 3. The map of sampling and lead content in the muscle of *P. borealis* of the Barents Sea, mg/kg w.w. (according to 2019–2024 data)

мышц или гепатопанкреаса добавляли смесь 70% особо чистой HNO_3 и концентрированной H_2O_2 (4:1), выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре, затем помещали в микроволновую систему пробоподготовки МС-6 (НТФ «Вольта», г. Санкт Петербург, Россия). После охлаждения минерализат разбавляли деионизированной водой до объема 60 мл.

Свинец в пробах ракообразных определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы Shimadzu, модель AA 6800 (Япония). Условия проведения измерений на приборе следующие: длина волны 217 нм, ширина щели 0,5/0,7 нм, система коррекции фона D2. Тип пламени воздух/ацетилен. Для градуировки использовали Государственные стандартные образцы (ГСО) состава водных растворов ионов Pb. Каждая аналитическая серия включала «холостую» пробу, что позволяло контролировать возможное загрязнение образцов в процессе анализа. Содержание Pb в промышленных ракообразных указывали в мг/кг сырой массы. Статистическую обработку

данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel и программе Statistica 13. Карты выполняли в среде настольного ГИС-приложения ArcMap 10.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные по содержанию свинца в мышцах исследованных ракообразных, представлены на рис. 1–3 и в табл. 1.

Характер распределения величин содержания Pb в мышцах камчатского краба и северной креветки отличался от нормального по критерию Колмогорова-Смирнова ($p < 0,01$). Содержание Pb в мышцах краба-стригуна опилио, согласно тому же критерию, соответствует нормальному распределению ($p > 0,2$). Наибольшая вариабельность данных по содержанию Pb в мышцах рыб отмечена у камчатского краба – $\text{CV} = 146,6\%$. Относительно высокая вариабельность выявлена в пробах мышц северной креветки – $\text{CV} = 91,5\%$. Для краба-стригуна опилио вариабельность уровней содержания Pb в мышцах была заметно ниже – $\text{CV} = 64,2\%$.

Как видно из рис. 1–3 распределение содержания Pb в мышцах камчатского краба, краба-стригуна опилио и северной креветки на исследованной акватории относительно равномерное. Выявить географические районы низкого или, наоборот, повышенного содержания Pb не представляется возможным. В то же время, для северной креветки была предпринята попытка выполнить корреляционный анализ (по Спирмену) связи содержания Pb в мышцах с широтой и долготой расположения станций отбора проб. Проведённый статистический анализ не выявил заметной связи уровней содержания Pb в креветке ни широтой ($r_s = -0,017$, $p > 0,05$), ни с долготой ($r_s = 0,027$, $p > 0,05$).

Приведённые в табл. 1 уровни фонового содержания свинца в мышцах исследованных ракообразных Баренцева моря значительно ниже установленного норматива 10 мг/кг сырой массы. Величины фоновых уровней рассчитаны нами на основе подхода, предложенного ранее [Новиков и др., 2021, 2023].

В предшествующих исследованиях нами было показано отсутствие связи содержания Pb с массой (размером) трески и пикши Баренцева моря [Новиков и др., 2025]. Несколько иная картина наблюдается в случае камчатского краба. Из рис. 4 и статистического анализа следует, что содержание Pb в мышцах особей камчатского краба слабо коррелирует с шириной карапакса при $r_s = 0,33$ и $p < 0,05$ (по Спирмену). Следует учитывать, что при выполнении научной съёмки отбирались крабы преимущественно одного «стандартного» размера, в результате чего размерный состав крабов не отличался большим разнообразием и имел распределение, отличное от нормального по критерию Колмогорова-Смирнова ($p < 0,01$). Средняя ширина карапакса изученных камчатских крабов составила $157,5 \pm 1,34$ см.

Статистическая обработка представленных нами данных показала, что согласно однофакторному кри-

терию Краскела-Уоллиса ($p = 0,000$) имеют место значимые различия содержания Pb в мышцах исследованных ракообразных. Для выявления различий в отношении отдельных видов были выполнены межвидовые попарные сравнения с помощью *U*-критерия Манна-Уитни. В результате было показано, что содержание Pb в мышцах двух исследованных видов крабов достоверно различается ($p = 0,013$). Также достоверно отличается содержание свинца в мышцах камчатского краба и креветки ($p = 0,000$), краба-стригуна и креветки ($p = 0,003$).

Сказанное выше, а также сравнительно низкие величины стандартного отклонения и уровня 95 перцентиля для значений содержания Pb в мышцах краба-стригуна указывают на видоспецифичный характер его загрязнения этим металлом. Распространение этого вида в северных частях Баренцева и Карского морей, по-видимому, не имеет решающего значения, т.к. здесь широко встречается и северная креветка (см. рис. 2, 3).

В ходе анализа полученных данных нами предпринята попытка выявить зависимость между содержанием Pb и жира в мышцах камчатского краба. Как и ожидалось, достоверная корреляция этих параметров не обнаружена ($r_s = 0,17$; $p > 0,05$). Среднее содержание жира в мышцах исследованных крабов составляло 0,40%. Отмечено также, что изменчивость уровня содержания жира в мышцах особей камчатского краба отлична от нормального распределения.

Среднее содержание жира в мышцах исследованных крабов-стригунов составило 0,55% ($n = 15$), а в мышцах северной креветки – 0,85% ($n = 95$). Достоверная корреляция между содержанием Pb и жира в мышцах краба-стригуна ($r_s = 0,13$) и креветки ($r_s = 0,19$) также не выявлена.

В Баренцевом море выделяют несколько относительно изолированных пространственных группиро-

Таблица 1. Содержание свинца в мышцах промысловых ракообразных Баренцева моря

Table 1. Lead content in the muscle of commercial crustaceans of the Barents Sea

Вид гидробионта	Диапазон содержания, мг/кг	Среднее содержание $\pm m$ / медиана, мг/кг сырой массы	Стандартное отклонение	Фоновый уровень, 95 перцентиль
Камчатский краб, ♂	0,002–1,44	$\frac{0,20 \pm 0,02}{0,08}$	0,29	0,7
Краб-стригун опилио, ♀	0,01–0,64	$\frac{0,20 \pm 0,02}{0,20}$	0,12	0,4
Северная креветка	<0,001–2,31	$\frac{0,35 \pm 0,02}{0,27}$	0,31	0,9

Примечание: m – стандартная ошибка среднего арифметического; < 0,001 – значения ниже предела обнаружения применяемого метода анализа.

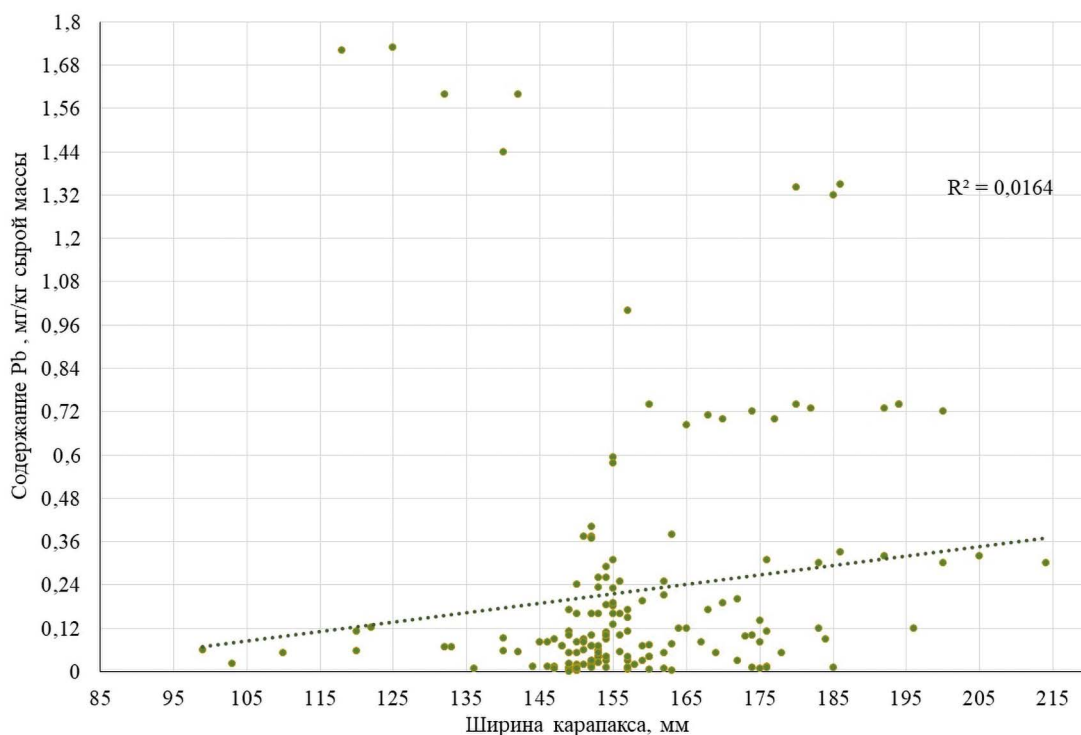


Рис. 4. Связь содержания свинца в мышцах краба *P. camtschaticus* Баренцева моря с шириной карапакса. Приведена линия тренда и коэффициент детерминации

Fig. 4. Correlation between lead content in the muscle of the crab *P. camtschaticus* from the Barents Sea and carapace width. Trend line and determination coefficient are shown

вок камчатского краба с собственным воспроизводством. Так относительно изолированными являются поселения крабов в Варангер-фьорде, Мотовском заливе, губе Западная Зеленецкая и в районе, распо-

ложенном восточнее 36° в.д., включая прибрежную зону и шельф [Стесько и др., 2021]. Мы сравнили содержание Pb в тканях крабов, обитающих в западном (к западу от 36° в.д., $n = 40$) и восточном (к востоку

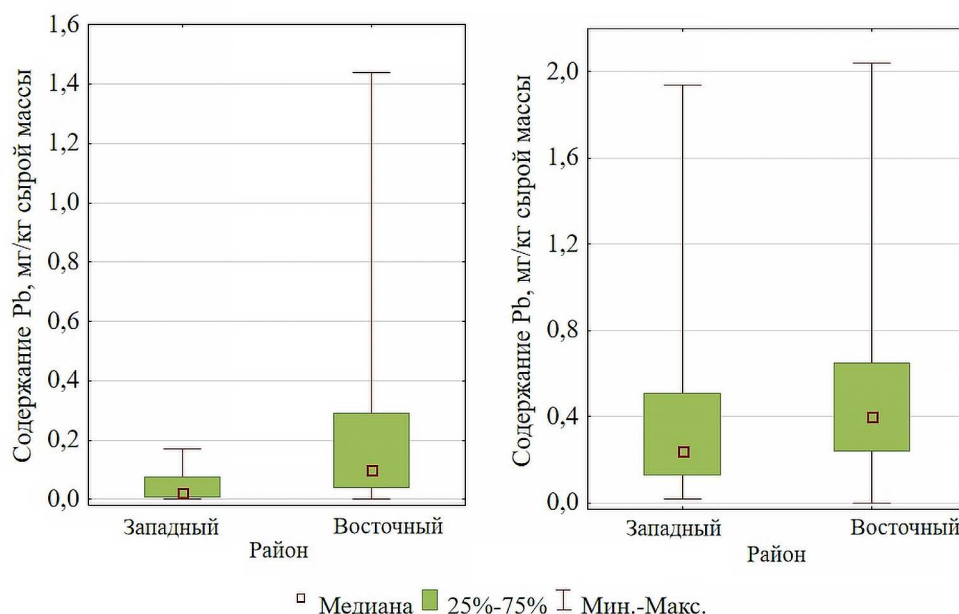


Рис. 5. Содержание свинца в *P. camtschaticus* из разных районов Баренцева моря: А - мышцы, В - гепатопанкреас

Fig. 5. Lead content in *P. camtschaticus* from different areas of the Barents Sea: А - the muscle, В - the hepatopancreas

от 36° в.д., $n = 125$) районах моря с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни. По данным проведённого анализа в крабах восточного района, по сравнению с крабами, выловленными на западе, статистически значимо выше содержание Pb в мышцах ($p = 0,000$) и гепатопанкреасе ($p = 0,04$). Так, в крабах из восточного района среднее содержание Pb составляло в мышцах 0,22 мг/кг, в гепатопанкреасе – 0,52 мг/кг, в крабах западного района - в мыш-

цах 0,05 мг/кг, а в гепатопанкреасе – 0,44 мг/кг сырой массы (рис. 5).

Данные по содержанию Pb в гепатопанкреасе камчатского краба и краба-стригуна представлены в табл. 2 и на рис. 6.

Распределение содержания Pb в гепатопанкреасе камчатского краба и краба-стригуна опилио отличалось от нормального по критерию Колмогорова-Смирнова ($p < 0,01$). Выполненный корреляционный

Таблица 2. Содержание свинца в гепатопанкреасе промысловых крабов Баренцева моря

Table 2. Lead content in the hepatopancreas of commercial crabs of the Barents Sea

Вид гидробионта	Диапазон содержания, мг/кг	Среднее содержание $\pm m$ / медиана, мг/кг сырой массы	Стандартное отклонение	Превышение содержания в мышцах, разы
Камчатский краб, ♂	0,02–2,0	$\frac{0,52 \pm 0,04}{0,37}$	0,45	2,6
Краб-стригун опилио, ♀	0,02–9,8	$\frac{1,70 \pm 0,33}{0,95}$	2,14	8,5

Примечание: m – стандартная ошибка среднего арифметического

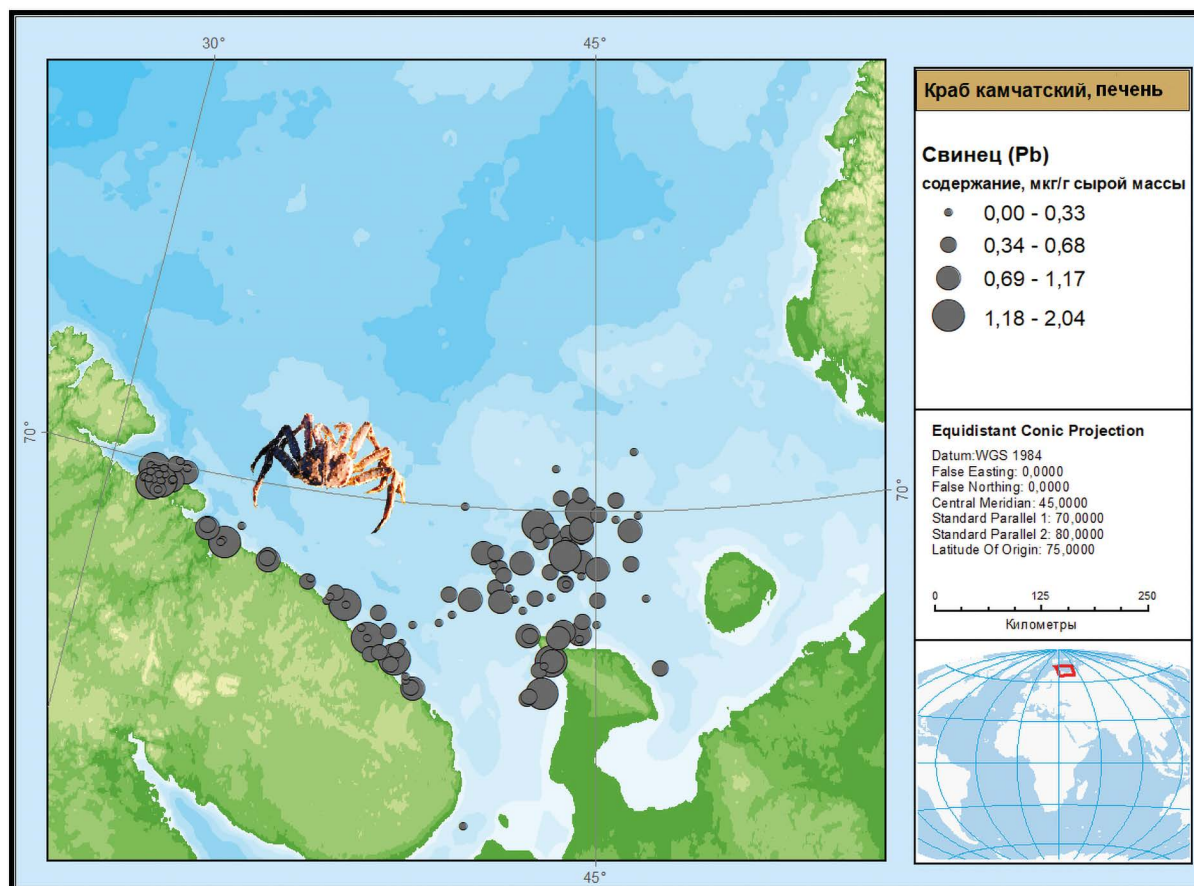


Рис. 6. Содержание свинца в гепатопанкреасе *P. camtschaticus* Баренцева моря (по данным 2014–2024 гг.)

Fig. 6. Lead content in the hepatopancreas of *P. camtschaticus* of the Barents Sea, mg/kg w.w. (according to 2014–2024 data)

анализ выявил слабую значимую связь между содержанием Pb в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба ($r_s = 0,25$; $p < 0,05$). Аналогичная низкая корреляция сравниваемых показателей отмечена и для краба-стригуна ($r_s = 0,33$; $p < 0,05$).

Содержание свинца в гепатопанкреасе исследованных крабов Баренцева моря было в среднем значительно выше, чем в мышцах (см. табл. 2). Максимальное содержание Pb в гепатопанкреасе исследованных крабов не превышало предельного допустимого уровня, установленного ТР ТС 021/2011 – 10 мг/кг сырой массы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам исследований, проведённых ранее норвежскими учёными в западных прибрежных районах Баренцева моря, содержание Pb в мышцах камчатского краба не отличалось разнообразием и всегда было ниже предела обнаружения 0,01 применяемого метода анализа мг/кг сырой массы ($n = 184$) [Julshamn et al., 2015]. Это очень низкие значения, кажущиеся тем более труднообъяснимыми, принимая во внимание то, что норвежские учёные в целях контроля измерений использовали стандартный референтный образец гепатопанкреаса омара (CRM TORT-2 – «lobster hepatopancreas»), где сертифицированное содержание составляло 0,35 мг/кг сырой массы.

По другим данным содержание Pb в мышцах камчатского краба из Японского моря в 2014–2016 гг. изменялось в широком диапазоне от 0,001 до 0,05 мг/кг сырой массы со средним значением 0,045 мг/кг [Наревич, Ковековдова, 2017], а в мае 2019 г. – от 0,023 до 0,026 мг/кг со средним 0,024 мг/кг сырой массы [Ковековдова и др., 2022].

Приведённые выше данные вполне согласуются с полученными нами результатами по камчатскому крабу из Западного района исследований, где среднее содержание Pb в мышцах составило 0,046 мг/кг сырой массы (медиана – 0,021 мг/кг), а минимальное измеренное – 0,002 мг/кг.

В мышцах небольших особей камчатских крабов с шириной карапакса в среднем $105 \pm 1,4$ мм ($n = 146$), выловленных у западного побережья Аляски (северо-восточная часть Берингова моря) в конце 1980-х гг. среднее содержание Pb составляло 0,537 мг/кг сырой массы [Jewett, Naidu, 2000]. Эти значения ближе к таковым, полученным нами для камчатских крабов восточного района обитания. Напомним, что полученные нами значения содержания Pb в мышцах камчатских крабов из Восточного района области исследований были в 4,8 выше, чем из Западного и в среднем со-

ставляли 0,22 мг/кг. По всей видимости, эти различия отражают разницу в экологической ситуации, характерной для районов обитания сравниваемых группировок камчатского краба. Восточный район находится под сильным влиянием Беломорского стокового течения.

В клешнях и фалангах краба-стригуна опилио из Японского моря, согласно данным И.С. Наревич и Л.Т. Ковековдовой [2017], содержание Pb в 2014–2016 гг. составляло 0,01–0,05 мг/кг со средним значением 0,025 мг/кг сырой массы. Среднее содержание Pb в мышцах краба-стригуна опилио из Охотского моря было немного выше, чем Японского – 0,039 мг/кг сырой массы [Ковековдова и др., 2022]. Приведённые значения значительно ниже полученных нами данных по содержанию Pb в мышцах краба-стригуна опилио баренцевоморской популяции. Таким образом, отмеченные различия в содержании Pb в мышцах крабов-стригунов опилио также могут быть весьма значительными между различными популяциями и группировками.

С целью выявить причины большой изменчивости содержания Pb в мышцах крабов мы привлекли данные из более южных и загрязнённых морских районов. Среднее содержание Pb в мышцах 60 экз. чёрного краба *Grapsus adscensionis* (Osbeck, 1765) из прибрежной зоны о. Тенерифе (Восточная Атлантика) в 2014–2015 гг. составляло 1,09 мг/кг, а максимальное – 3,0 мг/кг сырой массы. Это сравнительно высокие значения, особенно принимая во внимание норматив 0,5 мг/кг, установленный Еврокомиссией (ЕС)⁴ для морских беспозвоночных. В то же время отмечено, что среднее содержание Pb в мышцах чёрных крабов ($n = 30$), пойманных на относительно чистых, мало урбанизированных участках прибрежной зоны о. Тенерифе было заметно ниже и составляло 0,12–0,16 мг/кг сырой массы [Gutierrez et al., 2017]. Последние значения даже ниже полученных нами для крабов из Баренцева моря, что, несомненно, показывает вклад антропогенного фактора в уровень загрязнения крабов свинцом. Так, согласно данным упомянутых выше авторов из Испании, на северо-западном участке прибрежной зоны о. Тенерифе, где расположена столица о-ва г. Санта-Крус-де-Тенерифе и нефтеперерабатывающий завод, среднее содержание Pb в чёрном крабе возрастало до 1,25 мг/кг сырой массы ($n = 30$).

Согласно данным, представленным L. Vat с соавт. [2020], содержание Pb в мышцах бородавчатого

⁴ EC (European Commission), Commission Regulation (EU) No. 488/2014 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs, Off. J. Eur. Union 2014. L138. P. 75–79.

краба *Eriphia verrucosa* (Forskål, 1775) у берегов Синопского п-ова (Чёрное море) варьировало от 0,15 до 0,24 мг/кг сырой массы ($n = 40$: 20♂ и 20♀), причём, содержание Pb у самцов всегда было немного выше, чем у самок. Среднее содержание Pb в мышцах самцов бородавчатого краба составляло 0,2 мг/кг сырой массы. Это совпадает с нашими данными по крабам. Для бородавчатого краба из Чёрного моря также показано монотонное нарастание содержания Pb в мышцах каждый месяц с мая по август.

Для синего краба-плавунца *Portunus pelagicus* L., 1758 из залива Бантен (Тихий океан, Индонезия) показано, что в незагрязнённых водах мангровых зарослей биоконцентрация (BCF) Pb в его мышцах была сравнительно невысока, изменяясь по месяцам от 2,50 (апрель) до 34,25 (август). Содержание Pb в мясе краба-плавунца из залива варьировало от 0,005 до 0,071 мг/кг сырой массы и не зависело от размеров особей [Febrianessa et al., 2020].

Исследования содержания Pb в мышцах широкого краба (*Episesarma* sp.) на трёх станциях в эстуарии р. Моросари (о. Ява, Индонезия) показали, что оно изменяется в незначительных пределах, от 0,220 до 0,269 мг/кг сырой массы [Saraswati et al., 2022], что очень близко к полученным нами значениям для крабов Баренцева моря (см. табл. 1). Этот краб является важным промысловым объектом в тропических морях Африки и Юго-Восточной Азии. Среднее содержание Pb в мышцах широкого краба из эстуария р. Гоньёл (Gonjol, Нигерия) также было близко к нашим данным и составляло 0,17 мг/кг сырой массы [Cerlyawati, Iswogo, 2021]. По мнению авторов цитируемой статьи, Pb может проникать в клетки и накапливаться в тканях, кроме того, он способен образовывать комплексные соединения с органическими веществами, содержащимися в его организме.

Согласно данным, приведённым N. Saher и N. Kanwal (2018), содержание Pb в мышцах четырёх видов коммерческих крабов *Portunus pelagicus*, *P. sanguinolentus*, *Charybdis feriata* и *Scylla serrata* (самцы и самки, $n = 60$), выловленных вблизи побережья Пакистана (Аравийское море), варьировало от 3,46 до 8,31 мг/кг сухой массы, что в пересчёте на сырую массу составляет 0,68 и 1,65 мг/кг. Среднее содержание Pb в мышцах перечисленных крабов составляло $4,776 \pm 4,187$ мг/кг сухой массы (0,946 мг/кг сырой массы). При пересчёте масс использовали переводной коэффициент 5,05 [Erviq et al., 2020].

Из приведённых выше данных следует, что содержание Pb в мышцах различных крабов из тропических и субтропических районов хорошо согласуется с нашими результатами. Уровни содержания Pb

в мышцах, представленные в ряде цитируемых работ по камчатскому крабу и крабу-стригуну из умеренных и северных широт, напротив, значительно ниже наших. Известная роль антропогенного влияния на накопление Pb в мышцах ракообразных [Gutierrez et al., 2017; Trivedi et al., 2018] не может быть применена к Баренцеву морю, где уровень присутствия Pb в воде оценён как не высокий, без признаков загрязнения [Новиков, Драганов, 2018]. Отсюда следует, что имеют место региональные особенности содержания Pb у отдельных популяций крабов, вероятно связанные, например, с сезонными градиентами присутствия этого металла в среде обитания.

Относительное постоянство уровня содержания Pb в мышцах краба-стригуна опилио из Баренцева моря с учётом нормального распределения этого показателя позволяет говорить о способности этого вида держать оборот этого металла в организме под гомеостатическим контролем [Гашкина и др., 2022]. Вероятно, это эволюционная адаптация, связанная с относительно высоким присутствием Pb в среде обитания этого вида в прошлые эпохи.

Отмеченная в наших исследованиях высокая вариабельность содержания Pb в мышцах камчатского краба моря, вероятно, обусловлена целым комплексом факторов, среди которых следует отметить возраст, стадию жизненного цикла, спектр и интенсивность питания.

Установленная нами небольшая положительная связь увеличения содержания Pb в мышцах с размерами исследованных камчатских крабов может быть обусловлена особенностями рациона некоторой группы крупных крабов с шириной карапакса более 157 см (см. рис. 3). Содержание Pb может быть выше в тканях взрослых, с большими размерами особей из-за их способности поедать более крупные виды добычи, характеризующиеся более высоким содержанием Pb (рыба, другие крабы).

Содержание Pb в мышцах креветки *Pandalus hypsinotus* Brandt, 1851 из Японского моря в весенне-летний период 2019 г. изменялось в диапазоне 0,015–0,099 мг/кг сырой массы со средним значением 0,037 мг/кг ($n = 25$) [Наревич и др., 2020], что на порядок меньше полученных нами значений. Отсюда можно заключить, что естественное фоновое содержание Pb в мышцах ракообразных Баренцева моря относительно высокое, что, вероятно, связано с региональными особенностями присутствия этого металла в среде обитания.

Гепатопанкреас в организме членистоногих выполняет функции, которые в организме позвоночных выполняют печень и поджелудочная железа. Согласно

полученным нами результатам, содержание Pb в гепатопанкреасе исследованных *P. camtschaticus* Баренцева моря было во много раз выше, чем в мышцах (см. табл. 2), что было абсолютно аналогично соотношению содержания Pb в мышцах и печени баренцево-морских рыб [Новиков и др., 2025]. Вместе с тем, среднее содержание Pb в гепатопанкреасе камчатских крабов, выловленных у западного побережья Аляски в период 1987–1990 гг. – 0,386 мкг/г сухой массы, было ниже его содержания в мышцах – 0,537 мкг/г в 1,4 раза [Jewett, Naidu, 2000].

Содержание Pb в гепатопанкреасе краба *Cancer pagurus* L., 1758 из прибрежной зоны Центральной Норвегии (Норвежское море) в 2016–2018 гг. варьировало в широких пределах от 0,01 до 0,18 мг/кг сырой массы, в среднем составляя незначительную величину 0,03 мг/кг сырой массы ($n = 63$) [Ervik et al., 2020].

Принято считать, что изменчивость уровней содержания металлов в организме особей одного вида или между видами определяется двумя типами факторов: эндогенными – «метаболическими» (возраст, различные механизмы детоксикации, разбавление вследствие роста и т.д.) и экзогенными – воздействие через дыхание, пищу (содержание и биодоступность металла в потребляемой пище, в том числе её трофический уровень) [Chouvelon et al., 2012].

Ракообразные считаются важным ингредиентом здорового сбалансированного питания жителей приморских районов. Рассчитанное Испанским агентством по безопасности пищевых продуктов предполагаемое суточное потребление свинца составляет 1,13 мкг, а его вклад в условно допустимое еженедельное потребление (PTWI) составляет 0,06% (для взрослого человека весом 70 кг). Следовательно, значение предполагаемого потребления Pb было много ниже, чем допустимый уровень PTWI [Gutierrez et al., 2017]. Согласно приведённым данным, токсикологический риск потребления морских ракообразных минимален, если в неделю употреблять менее 1883 мкг содержащегося в них свинца. В нашем случае, это означает безопасное потребление 9415 г мяса любого из изученных крабов в неделю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённых исследований показано, что среднее содержание Pb в мышцах и гепатопанкреасе исследованных гидробионтов не превышало установленный норматив допустимого содержания 10 мг/кг сырой массы. Каких-либо признаков антропогенного загрязнения камчатского краба, краба-стригуна опилио и северной креветки свинцом не обнаружено.

Отмечено более высокое, в 1,5 раза, среднее содержание Pb в мышцах креветки по сравнению с исследованными крабами.

Сделано предположение о выраженной видоспецифичности уровня содержания Pb в мышцах краба-стригуна опилио.

Содержание Pb в гепатопанкреасе значительно, в 2,6 раза у камчатского краба и 8,5 раз у краба-стригуна, превышает таковое в мышцах. Выявлена слабая корреляционная зависимость между содержанием Pb в гепатопанкреасе и мышцах обоих видов исследованных крабов.

Связь уровня накопления Pb с уровнем содержания жира в мышцах и гепатопанкреасе исследованных крабов не выявлена.

Предложены расчётные фоновые уровни содержания Pb в мышцах камчатского краба, краба-стригуна опилио и северной креветки Баренцева моря: 1,2, 0,4 и 0,9 мг/кг сырой массы соответственно. Фоновое содержание Pb в мышцах ракообразных Баренцева моря по сравнению с аналогичными видами из других северных морей относительно высокое, что, по нашему мнению, связано с региональными особенностями присутствия этого металла в среде обитания и объектах питания.

Фоновые уровни отражают современное естественное природное содержание Pb в промысловых ракообразных Баренцева моря и могут быть использованы для выявления признаков антропогенного воздействия на экосистему.

Благодарности

Авторы благодарят главного специалиста лаборатории химико-аналитических исследований «ПИНРО» им. Н. М. Книповича Лаптеву А. М. за неоценимую помощь в химическом анализе проб ракообразных на содержание свинца.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Полярного филиала ГНЦ РФ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

- Акулин В. Н., Касьянов С. П., Рыбин В. Г., Караулов А. Е., Юрьева М. И. 2005. Исследования липидов гидробионтов // Известия ТИНРО. Т. 141. С. 335–347.
- Александров Д. И., Амеликин А. В., Амеликина А. С., Анциферов М. Ю., Бакай Ю. И., Баканев С. В. и др. 2021. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2021 г. Мурманск: ПИНРО им. Н. М. Книповича. 146 с.
- Амеликина А. С., Анциферов М. Ю., Бакай Ю. И., Баканев С. В., Балякин Г. Г., Безбородов А. С. и др. 2024. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. Мурманск: ПИНРО им. Н. М. Книповича. 168 с.
- Анциферов М. Ю., Бакай Ю. И., Баканев С. В., Балякин Г. Г., Безбородов А. С., Березина М. О. и др. 2025. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2025 г. Мурманск: ПИНРО им. Н. М. Книповича. 183 с.
- Баканев С. В. 2020. Современные проблемы оценки запаса северной креветки в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. Т. 21, № 2. С. 218–234.
- Гашкина Н. А., Моисеенко Т. И., Шуман Л. А., Королева И. М. 2022. Роль микроэлементов в адаптации метаболизма рыб к снижению загрязнения (на примере субарктического оз. Имандра) // Геохимия. Т. 67, № 2. С. 119–135. DOI: 10.31857/S0016752522020054
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В. 2009. Антропогенная экология океана. М.: Флинта. 532 с.
- Изучение экосистем рыбохозяйственных водоёмов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. 2004. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во ВНИРО. 299 с.
- Ковековдова Л. Т., Симоконь М. В., Наревич И. С. 2022. Особенности формирования элементного состава морскими ракообразными *Paralithodes camchaticus* и *Chionoecetes opilio* // Проблемы региональной экологии. № 5. С. 32–38. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-5-32-38
- Лаптева А. М., Плотицына Н. Ф. 2019. Микроэлементы в крабе-стригуне *Chionoecetes opilio* Баренцева моря // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование. Мат. X Нац. (всеросс.) науч.-практ. конф. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 35–39.
- Лебская Т. К., Двинин Ю. Ф., Константинова Л. Л., Кузьмина В. И., Толкачева В. Ф., Мухин В. А., Шаповалова Л. А. 1998. Химический состав и биохимические свойства гидробионтов прибрежной зоны Баренцева и Белого морей. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 150 с.
- Наревич И. С., Ковековдова Л. Т. 2017. Микроэлементы (As, Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Se, Hg) в промысловых ракообразных Японского моря // Известия ТИНРО. Т. 189. С. 147–155.
- Наревич И. С., Ковековдова Л. Т., Симоконь М. В. 2020. Химические элементы в мышцах креветки гребенчатой *Pandalis hypsinotus* из Японского моря // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Мат. VIII науч.-практ. конф. молодых учёных с межд. участием. М.: Изд-во ВНИРО. С. 104–105.
- Новиков М. А., Драганов Д. М. 2018. Определение фоновых значений содержания Hg, Zn, Pb и Cr в водных массах Баренцева моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. Вып. 37, № 1. С. 72–83.
- Новиков М. А., Горбачева Е. А., Лаптева А. М. 2021. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Известия ТИНРО. Т. 201, № 4. С. 833–844. DOI:10.26428/1606-9919-2021-201-833-844
- Новиков М. А., Горбачева Е. А., Харламова М. Н. 2023. Содержание ртути в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 112–123. DOI:10.36038/2307-3497-2023-191-112-123
- Новиков М. А., Горбачева Е. А., Харламова М. Н. 2025. Содержание свинца в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. Т. 200. С. 145–157. DOI:10.36038/2307-3497-2025-200-145-157
- Соколов К. М., Павлов В. А., Стрелкова Н. А., Ившин В. А., Балякин Г. Г., Стесько А. В. и др. 2016. Краб-стригун опилию *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях. Мурманск: ПИНРО. 242 с.
- Стесько А. В., Манушин И. Е., Баканев С. В., Матюшкин В. Б., Жак Ю. Е., Захаров Д. В. и др. 2021. Камчатский краб в Баренцевом море. М.: Изд-во ВНИРО. 712 с.
- Филенко О. Ф., Михеева И. В. 2007. Основы водной токсикологии. М.: Колос. 144 с.
- Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник. 2002. / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян ред. М.: ДеЛипринт, 188 с.
- Bat L., Arici E., Öztekin A., Şahin S. 2020. Toxic metals in the warty crab in the southern Black Sea: Assessment of human health risk // Marine Biological Journal. V. 5, no. 1. P. 3–11. DOI: 10.21072/mbj.2020.05.1.01
- Cerlyawati H., Isworo S. 2021. The Heavy Metal Characteristics (Pb and Cu) in Wideng Crab Tissue from the Gonjol River, Demak // Asian Journal of Biology. V. 13(4). P. 34–51. DOI: 10.9734/AJOB/2021/v13i430194
- Chouvelon T., Spitz J., Caurant F., Mèndez Fernandez P., Autier J., Lassus Débat A., Chappuis A., Bustamante P. 2012. Enhanced bioaccumulation of mercury in deep-sea fauna from the Bay of Biscay (north-east Atlantic) in relation to trophic positions identified by analysis of carbon and nitrogen stable isotopes // Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap. V. 65. P. 113–124. DOI: 10.1016/j.dsr.2012.02.010
- Clark R. B. 2011. Marine pollution. Fifth edition. Oxford University Press, USA. 230 p.
- Dietz R., Riget F., Johansen P. 1996. Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals // Sci. Tot. Environ. V. 186 (1), P. 67–93.
- Ervik H., Lierhagen S., Asimakopoulos A. G. 2020. Elemental content of brown crab (*Cancer pagurus*) – Is it safe for

- human consumption? A recent case study from Mausund, Norway // *Sci. Total Environ.* V. 716. 135175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135175
- Febrianessa N., Sulistiono, Samosir A. M., Yokota M. 2020. Heavy metal (Pb, Hg) contained in Blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Cengkok coastal waters, Banten Bay, Indonesia // *Indonesian Journal of Marine Sciences.* V. 25 (4). P. 157–164. DOI: 10.14710/ik.ijms.25.4.157-164
- Gutierrez A.J., Lozano G., Rubio C., Martin V., Hardisson A., Revert C. 2017. Heavy Metals in Black Crabs in the Atlantic Coast (Tenerife, Spain) – Human Risk Assessment // *Clean – Soil, Air, Water.* 45 (1):1600047. DOI: 10.1002/clen.201600047
- Jewett S.C., Naidu A.S. 2000. Assessment of heavy metals in red king crabs following offshore placer gold mining // *Mar. Pollut. Bull.* V. 40 (6). P. 478–490.
- Julshamn K., Valdernes S., Duinker A., Nedreaas K., Sundet J. H., Maage A. 2015. Heavy metals and POPs in red king crab from the Barents Sea // *Food Chemistry.* V. 167. P. 409–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.003
- Kumar A., Kumar A., Cabral-Pinto M.M.S., Chaturvedi A. K., Shabnam A.A., Subrahmanyam G., Mondal R., Gupta D. K., Malyan S.K., Kumar S.S., Khan A.S., Yadav K.K. 2020. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* V. 17(7):2179. DOI: 10.3390/ijerph17072179
- Saher N.U., Kanwal N. 2018. Some biomonitoring studies of heavy metals in commercial species of crustacean along Karachi Coast, Pakistan // *Int. J. Biol. Biotech.* Vol. 15(2). P. 269–275.
- Saraswati S.A., Suryaningtyas E.W., Wijayanti N.P.P. 2022. Heavy Metal Content of Pb and Cu in Wideng Crab (*Episesarma* sp.) in Morosari Water Demak Region // *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences.* V. 6 (1). P. 13–16. DOI: 10.24843/ATBES.2022.v06.i01.p03
- Stankovic S., Jovic M., Stankovic A.R., Katsikas L. 2012. Heavy metals in seafood mussels. Risk for human health. // *Environmental Chemistry for a Sustainable World.* Vol. 1: Nanotechnology and Health Risk / E. Lichtfouse, J.Schwarzbauer, D. Robert (Eds). Netherlands: Springer. P. 311–373.
- Trivedi S., Datta U., Das M., Zaman S., Mitra A. et al. 2018. Spatio-Temporal Variations of Heavy Metals in Edible Crabs Collected From the Lower Gangetic Delta Region // *Petroleum & Petrochemical Engineering Journal.* V. 2 (1): 000141. DOI: 10.23880/ppj-16000141
- Amelkina A. S., Antsiferov M.Yu., Bakai Yu.I., Bakanev S. V., Balyakin G. G., Bezborodov A. S. et al. 2024. Status of the living marine resources in the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2024. Murmansk: PINRO Publish. 168 p. (In Russ.)
- Antsiferov M.Yu., Bakai Yu.I., Bakanev S. V., Balyakin G.G., Bezborodov A. S., Berezina M. O. et al. 2025. Status of the living marine resources in the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2025. Murmansk: PINRO Publish. 183 p. (In Russ.)
- Bakanev S. V. 2020. Modern challenges of the northern shrimp stock assessment in the Barents Sea // *Voprosy rybolovstva.* V. 21, № 2. P. 218–234. (In Russ.)
- Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. 2022. The role of trace elements in the adaptation of fish metabolism under reduced pollution: a case study of the subarctic Lake Imandra // *Geochemistry International.* V. 60. № 2. C. 154–169. DOI: 10.1134/S0016702922020057 (In Russ.)
- Israel Yu.A., Tsyban A.V. 2009. Anthropogenic ecology of the ocean. Moscow: Flinta. 532 p. (In Russ.)
- Study of ecosystems of fishery water reservoirs, collection and processing of data on aquatic biological resources, techniques and technology for their extraction and processing.* 2004. Instructions and guidelines for the collection and processing of data on the seas of the European North and the North Atlantic. Moscow: VNIRO Publish. 299 p. (In Russ.)
- Kovekovdova L. T., Simokon M.V., Narevich I.S. 2022. The features of the elemental composition formation by marine crustaceans *Paralithodes camchaticus* and *Chionoecetes opilio* // *Problemy regional'noi ekologii.* № 5. P. 32–38. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-5-32-38. (In Russ.)
- Lapteva A.M., Plotitsyna N.F. 2019. Trace elements in the snow crab *Chionoecetes opilio* of the Barents Sea // *Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use: Proc. of the 10th National (All-Russian) Scient. and Pract. Conf. Petropavlovsk-Kamchatskii: KamchatSTU.* P. 35–39. (In Russ.)
- Lebskaya T.K., Dvinin Yu.F., Konstantinova L.L., Kuz'mina V.I., Tolkacheva V.F., Mukhin V.A., Shapovalova L.A. 1998. Chemical composition and biochemical properties of hydrobionts in the coastal zone of the Barents and White Seas. Murmansk: PINRO Publish. 150 p. (In Russ.)
- Narevich I.S., Kovekovdova L. T. 2017. Microelements (As, Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Se, Hg) in commercial crustaceans in the Japan Sea // *Izvestiya TINRO.* V. 189. P. 147–155. (In Russ.)
- Narevich I.S., Kovekovdova L. T., Simokon M. V. 2020. Chemical elements in the muscle of the Japanese scalloped shrimp *Pandalus hypsinotus* // *Current problems and prospects for the development of the fisheries complex: Proc. of the VIII Scient. and Pract. Conf. of Young Scientists with Intern.Participation.* Moscow: VNIRO Publish. P. 104–105. (In Russ.)
- Novikov M.A., Draganov D.M. 2018. Estimation of background values of the Hg, Zn, Pb and Cr content in the water

REFERENCES

- Akulin V.N., Kasyanov S.P., Rybin V.G., Karaulov A.E., Yurjeva M.I. 2005. Hydrobionts' lipids research // *Izvestiya TINRO.* V. 141. P. 335–347. (In Russ.)
- Alexandrov D.I., Amelkin A.V., Amelkina A. S., Antsiferov M.Yu., Bakai Yu.I., Bakanev S.V. et al. 2021. Status of the living marine resources in the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2021. Murmansk: PINRO Publish. 146 p. (In Russ.)

- masses of the Barents Sea // Bulletin of KRAUNTS. Earth Sciences. Iss. 37, № 1. P. 72–83. (In Russ.)
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Lapteva A.M. 2021. Arsenic content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // Izveitiya TINRO. V. 201, Iss. 4. P. 833–844. DOI:10.26428/1606-9919-2021-201-833-844 (In Russ.)
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N. 2023. Mercury content in commercial fishes of the Barents Sea (based on long-term data) // Trudy VNIRO. V. 191. P. 112–123. DOI:10.36038/2307-3497-2023-191-112-123 (In Russ.)
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N. 2025. Lead content in commercial fishes of the Barents Sea (based on long-term data) // Trudy VNIRO. V. 200. P. 145–157. DOI:10.36038/2307-3497-2025-200-145-157. (In Russ.)
- Sokolov K.M., Pavlov B.A., Strelkova H.A., Ivshin V.A., Balyakin G.G., Stesko A.V. et al. 2016. Snow crab *Chionoecetes opilio* in the Barents and Kara Sea. Murmansk: PINRO Publish. 242 p. (In Russ.)
- Stresko A.V., Manushin I.E., Bakanev C.V., Matyushkin V.B., Zhak Yu.E., Zakharov D.V. et al. 2021. The red king crab in the Barents Sea. Moscow: VNIRO Publish. 712 p. (In Russ.)
- Filenko O.F., Mikheeva I.V. 2007. Fundamentals of aquatic toxicology. Moscow: Kolos. 144 p. (In Russ.)
- Chemical Composition of Russian Food Products: The Handbook. 2002. / I.M. Skurihin V.A. Tutel'yana eds. Moscow: DeLiprint, 188 p. (In Russ.)
- Bat L., Arici E., Öztekin A., Şahin S. 2020. Toxic metals in the warty crab in the southern Black Sea: Assessment of human health risk // Marine Biological Journal. V. 5, no. 1. P. 3–11. DOI: 10.21072/mbj.2020.05.1.01
- Cerlyawati H., Isworo S. 2021. The Heavy Metal Characteristics (Pb and Cu) in Wideng Crab Tissue from the Gonjol River, Demak // Asian Journal of Biology. V. 13(4). P. 34–51. DOI: 10.9734/AJOB/2021/v13i430194
- Chouvelon T., Spitz J., Caurant F., Mèndez Fernandez P., Autier J., Lassus Débat A., Chappuis A., Bustamante P. 2012. Enhanced bioaccumulation of mercury in deep-sea fauna from the Bay of Biscay (north-east Atlantic) in relation to trophic positions identified by analysis of carbon and nitrogen stable isotopes // Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap. V. 65. P. 113–124. DOI: 10.1016/j.dsr.2012.02.010
- Clark R.B. 2011. Marine pollution. Fifth edition. Oxford University Press, USA. 230 p.
- Dietz R., Riget F., Johansen P. 1996. Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals // Sci. Tot. Environ. V. 186 (1), P. 67–93.
- Ervik H., Lierhagen S., Asimakopoulou A.G. 2020. Elemental content of brown crab (*Cancer pagurus*) – Is it safe for human consumption? A recent case study from Mausund, Norway // Sci. Total Environ. V. 716. 135175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135175
- Febrianessa N., Sulistiono, Samosir A.M., Yokota M. 2020. Heavy metal (Pb, Hg) contained in Blue swimming crab (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) in Cengkong coastal waters, Banten Bay, Indonesia // Indonesian Journal of Marine Sciences. V. 25 (4). P. 157–164. DOI: 10.14710/ik.ijms.25.4.157-164
- Gutierrez A.J., Lozano G., Rubio C., Martin V., Hardisson A., Revert C. 2017. Heavy Metals in Black Crabs in the Atlantic Coast (Tenerife, Spain) – Human Risk Assessment // Clean – Soil, Air, Water. 45 (1):1600047. DOI: 10.1002/clen.201600047
- Jewett S.C., Naidu A.S. 2000. Assessment of heavy metals in red king crabs following offshore placer gold mining // Mar. Pollut. Bull. V. 40 (6). P. 478–490.
- Julshamn K., Valdernes S., Duinker A., Nedreaas K., Sundet J.H., Maage A. 2015. Heavy metals and POPs in red king crab from the Barents Sea // Food Chemistry. V. 167. P. 409–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.003
- Kumar A., Kumar A., Cabral-Pinto M.M.S., Chaturvedi A.K., Shabnam A.A., Subrahmanyam G., Mondal R., Gupta D.K., Malyan S.K., Kumar S.S., Khan A.S., Yadav K.K. 2020. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches // Int. J. Environ. Res. Public Health. V. 17(7):2179. DOI: 10.3390/ijerph17072179
- Saher N.U., Kanwal N. 2018. Some biomonitoring studies of heavy metals in commercial species of crustacean along Karachi Coast, Pakistan // Int. J. Biol. Biotech. Vol. 15(2). P. 269–275.
- Saraswati S.A., Suryaningtyas E.W., Wijayanti N.P.P. 2022. Heavy Metal Content of Pb and Cu in Wideng Crab (*Episesarma sp.*) in Morosari Water Demak Region // Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences. V. 6 (1). P. 13–16. DOI: 10.24843/ATBES.2022.v06.i01.p03
- Stankovic S., Jovic M., Stankovic A.R., Katsikas L. 2012. Heavy metals in seafood mussels. Risk for human health. // Environmental Chemistry for a Sustainable World. Vol. 1: Nanotechnology and Health Risk / E. Lichtfouse, J.Schwarzbauer, D. Robert (Eds). Netherlands: Springer. P. 311–373.
- Trivedi S., Datta U., Das M., Zaman S., Mitra A. et al. 2018. Spatio-Temporal Variations of Heavy Metals in Edible Crabs Collected From the Lower Gangetic Delta Region // Petroleum & Petrochemical Engineering Journal. V. 2 (1): 000141. DOI: 10.23880/ppej-16000141

Поступила в редакцию 19.03.2026 г.
Принята после рецензии 06.04.2026 г.