



## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ПРОДУКТАХ РЫБОЛОВСТВА НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЯ)

<sup>1</sup>Осипова Н. А. ORCID ID 0000-0003-2340-8167,

<sup>1</sup>Шорохова М. Г., <sup>2</sup>Шкригун А. А., <sup>3</sup>Торопов А. В.

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск,  
Российская Федерация, e-mail: osipova-nina@yandex.ru;

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,  
Российская Федерация;

<sup>3</sup>Ассоциация патриотического воспитания «Хозяин Своей Земли», Бийск, Российская Федерация

Проблема, обсуждаемая в статье, связана с тем, что ртуть обладает способностью накапливаться в биологических тканях в опасной для здоровья метилированной форме. При регулярном употреблении рыбы, содержащей ртуть, могут возникнуть неблагоприятные последствия для здоровья. Целью исследования является определение содержания ртути в органах рыб в водоемах Алтая, используемых для любительского рыболовства, и оценка риска для человека методом анализа видов и последствий потенциальных отказов. Материал исследования – рыба, выловленная в природных водоемах Алтая. Изучено содержание ртути в органах рыбы, пойманной в водохранилищах Алтайского края, местах активного рыболовства – р. Бия, р. Курья (Усть-Пристанский район), Старообский канал (Шеболинский район). Определение содержания ртути в отобранных пробах проводилось атомно-абсорбционным методом (ртутный анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО-915). Установлено, что содержание ртути в мышечной ткани рыб не превышает допустимой остаточной концентрации. По уменьшению содержания ртути органы рыб (щука, окунь) располагаются в следующем ряду: мышцы > кишечник > кости > жабры > молоки > икра. Ориентировочно оценены уровни безопасного потребления рыбы при содержании в ней ртути на уровне установленных значений. Проведена оценка рисков для человека при заражении рыбы ртутью методом анализа видов и последствий потенциальных отказов. Интеграция этого анализа с натурными исследованиями и оценкой риска на основе референтных доз может быть использована при контроле качества продуктов рыболовства.

**Ключевые слова:** безопасность пищевых продуктов, ртуть в ихтиофауне, оценка рисков, метод анализа видов и последствий отказов, ихтиоиндикация водоемов

## THE IMPACT OF MERCURY CONTENT IN FISHING PRODUCTS ON THE QUALITY AND SAFETY OF FISH PRODUCTS (ON THE EXAMPLE OF NATURAL WATERBODIES IN ALTAI)

<sup>1</sup>Osipova N. A. ORCID ID 0000-0003-2340-8167,

<sup>1</sup>Shorokhova M. G., <sup>2</sup>Shkrigun A. A., <sup>3</sup>Toropov A. V.

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“National Research Tomsk State University”, Tomsk, Russian Federation,  
e-mail: osipova-nina@yandex.ru;

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“National Research Tomsk Polytechnic University”, Tomsk, Russian Federation;

<sup>3</sup>Association of Patriotic Education “Master of His Land”, Biysk, Russian Federation

The problem discussed in the article is related to the fact that mercury has the ability to accumulate in biological tissues in a methylated form that is dangerous to health. With regular consumption of fish containing mercury, adverse health effects may occur. The aim of the study is to determine the mercury content in fish organs in Altai reservoirs used for recreational fishing, and to assess the risk to humans by analyzing the types and consequences of potential failures. The materials for the study are fish caught in natural reservoirs of Altai. The mercury content in the organs of fish caught in reservoirs of the Altai Territory, places of active fishing – the Biya River, the Kurya River (Ust-Pristsansky district), the Staroobsky Canal (Shebolikhinsky district) has been studied. The mercury content in the organs of the fish was determined by atomic absorption method (Mercury analyzer RA-915+ with the prefix PYRO-915). It was found that the mercury content in the muscle tissue of fish does not exceed the permissible residual concentration. To reduce the mercury content, the organs of fish (pike, perch) are arranged in the following row: muscles > intestines > bones > gills > milks > caviar. The levels of safe consumption of fish with mercury content in it at the level of established values are estimated. An assessment of the risks to humans in case of mercury contamination of fish was carried out by analyzing the types and consequences of potential failures. The integration of this analysis with field studies and risk assessment based on reference doses can be used in quality control of fishery products.

**Keywords:** food safety, mercury in the ichthyofauna, risk assessment, method of analysis of types and consequences of failures, ichthyoindication of reservoirs

### Введение

При оценке качества пищевой продукции содержание в ней тяжелых металлов, в частности ртути, занимает особое место. Известны случаи массовых отравлений рыбой жителей Японии (бухта Минамата) [1]. В последние годы концепция риска приобрела первостепенное значение в международном регулировании пищевых продуктов, в том числе рыбы [2, 3]. Промышленным предприятиям все чаще приходится проводить оценку рисков, связанных с рыбной продукцией. Развитию этой методологии в немалой степени способствуют научные исследования о накоплении ртути в промысловых рыбах [4], выявление взаимосвязи биохимических показателей рыб с концентрацией ртути [5].

Для обеспечения безопасности рыбной продукции среди прочих факторов необходимо устранить такие риски, как биоаккумуляция тяжелых металлов и образование токсинов [6].

Вследствие специфических физико-химических свойств ртуть обладает способностью накапливаться в биологических тканях в опасной для здоровья метилированной форме. При регулярном употреблении рыбы, содержащей ртуть, могут возникнуть неблагоприятные последствия для здоровья. Ртуть вызывает заболевания нервной, репродуктивной, иммунной систем, почек [7]. Геоэкологические и геохимические исследования вносят весомый вклад в оценку безопасности потребления рыбы в пищу [8]. Щука обыкновенная (*Esox lucius* L., 1758) и речной окунь (*Perca fluviatilis*) вследствие биологических особенностей и строения [9, 10] используются как индикаторы экологического состояния водоемов. Повышенное содержание ртути в мышечной ткани рыбы обнаружено во многих водоемах России как в Западной Сибири [11], так и в европейской части страны [12, 13].

Содержание ртути в органах рыб определяется условиями обитания, химическим составом воды, природными и техногенными факторами. Согласно нормам и требованиям ТР/ТС 021/2011 к живой, свежей и замороженной продукции предельно допустимый показатель у нехищных пресноводных видов 0,3 мкг/г, у морских 0,5, у хищных пресноводных 0,6<sup>1</sup>. Принятая в России допустимая остаточная концентрация (ДОК)

ртути в мышечной ткани свежих рыбопродуктов (согласно СанПиН 2.3.2.560-96 и ГН 2.1.5.690-98) составляет 0,5 мкг/г сырой массы.

Среди методов оценки рисков метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA) может использоваться для оценки качества рыбы (например, в пищевой промышленности [6, 14, 15]). Метод помогает выявить потенциальные дефекты (отказы), их причины и последствия, оценить риски их появления и обнаружения, а также принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления.

Так, для оценки рисков при производстве лосося был применен метод FMEA в сочетании с ISO 22000 [6]. Метод был использован для анализа и прогнозирования возможных сбоев в системе пищевой цепочки при переработке лосося на основе функций, характеристик и/или взаимодействий ингредиентов или процессов, от которых зависит система. Было показано, что на стадии ловли рыбы опасность заражения тяжелыми металлами идентифицируется наряду с такими опасностями, как микроорганизмы, пестициды, химические токсины. Приоритетное число риска (ПЧР) для этих конкретных рисков превышает критический предел безопасности. После принятия мер по исправлению ситуации (например, смена места вылова, регулярный контроль и аудит) показатель ПЧР снижается до нормального уровня.

**Цель исследования** – определение содержания ртути в органах рыб в водоемах Алтая, используемых для любительского рыболовства, и оценка риска для человека методом анализа видов и последствий потенциальных отказов.

### Материалы и методы исследования

В ходе работы были отобраны 4 партии проб в водоемах Алтайского края, изучены 10 особей. Пробы отобраны рыбаками Алтайского рыболовного клуба. Именно в этих местах вылавливается много рыбы, которая составляет пищевую корзину жителей близлежащих поселков.

Место отбора партии I (щуки) – р. Бия, на 1 км ниже по течению от края жилой застройки г. Бийска Алтайского края, на 4 км ниже по течению Бийского речного порта.

Партия II (окуни) отобрана в левобережной медленнотекущей протоке р. Бия на 2 км ниже по течению от с. Соусканиха Красногорского района Алтайского края. Протока является местом нереста, нагу-

<sup>1</sup> Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет. 2011. 36 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://sh5-svetlograd-r07.gosweb.gosuslugi.ru/netcat\\_files/50/2891/TR\\_TS\\_021.pdf](https://sh5-svetlograd-r07.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/50/2891/TR_TS_021.pdf) (дата обращения: 13.03.2026).

ла и зимовки щуки, окуня, плотвы, уклеи, ельца, постоянным местом обитания карася. Промпредприятия отсутствуют, развито сельское хозяйство, в том числе посевы зерновых, заготовка сена, выпас скота.

Окуни партии III выловлены в р. Курья, в пределах с. Клепиково Усть-Пристанского района Алтайского края, на территории заказника с разрешенным любительским рыболовством и запретом на использование моторных лодок. Курья – медленнотекущая река правобережной поймы р. Оби, место нереста, нагула и зимовки щуки, окуня, плотвы, постоянное место обитания карася и линя. Антропогенная нагрузка минимальная и связана с любительским рыболовством.

Партия IV (окуни) отбиралась в протоке Старая Обь в устье курьи Заломная (акватория Алтайского края), которая течет в западном направлении по заболоченной пойме Оби. Впадает в Обь по левому берегу в 3192 км от ее устья на высоте 115,5 м над уровнем моря.

Каждую особь очищали от чешуи. Далее извлекали органы, отделяли костную и мышечную ткань и высушивали их до постоянной массы. Образцы измельчали и приступали к измерениям.

Определение содержания ртути в органах отобранных проб рыб проводилось атомно-абсорбционным методом (ртутный анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО-915) в лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» (МИНОЦ «Урановая геология») Томского политехнического университета, действующего на основании Положения о Центре от 25.11.2019, соответствующего требованиям ISO 9001:2015. Прибор регулярно проходит поверку. Настоящая схема аналитического прибора основана на принципе Зеemanовской коррекции фона, для исключения снижающих точность измерения факторов, таких как пыль и аэрозоли, по методике М 03-09-2013<sup>2</sup>. Источник излучения помещен в постоянное магнитное поле, под действием которого резонансная линия ртути с длиной волны 254 нм расщепляется на ряд зеemanовских компонент. Предел обнаружения – 0,005 мкг/г, ошибка метода не более 20 %. В качестве стандарта использовали стандартный образец состава мышечной ткани байкальского

окуня Бок-2 (ГСО № 9055-2008). Точность измерений контролировали методом внутреннего контроля.

### Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке показано содержание ртути в изученных пробах. Средние содержания ртути в пробах рыбы (мышечная ткань) равны соответственно: 173 нг/г (р. Бия, нижнее течение); 120 нг/г (протока ниже с. Соусканиха); 163 нг/г (с. Клепиково); 172 нг/г (протока Малышевская), среднее значение составило 157 нг/г.

Максимальное содержание в мышечной ткани отмечено в р. Бия (173 нг/г), место отбора находится ниже речпорта и жилой застройкой. Близкое значение (172 нг/г) отмечено в рыбах протоки Малышевская, причина чего пока неясна, так как антропогенная нагрузка в этом районе минимальна. Возможно, это связано с рельефом местности. В горной местности содержание ртути в подсистемах окружающей среды может быть выше, чем в равнинных районах [16, 17]. Содержание ртути в пробах рыбы партии II (120 нг/г, протока ниже с. Соусканиха) значительно ниже, чем в остальных (табл. 1).

Наибольшие концентрации Hg приходятся на мышечную ткань, это может быть связано с наличием серосодержащих аминокислот и белков, способствующих связыванию, а также условиями обитания и формой трофического взаимодействия.

По уменьшению содержания ртути в рыбе (рисунок) органы рыб (как щуки, так и окуня) располагаются в следующем ряду (нг/г): мышцы (160) > кишечник (78) > кости (59) > жабры (42) > молоки (34) > икра (15). Среди органов данных видов гидробионтов, по данным настоящего исследования, наибольшую концентрацию ртути содержат мышцы и кишечник, а наименьшую – молоки и икра.

Аминокислоты, содержащиеся в мышечной ткани, благодаря наличию серы, способны образовывать прочные связи с ртутью. Именно поэтому содержание ртути в мышечной ткани выше, чем в других органах. Уменьшение содержания ртути от мышц к икре объясняется особенностями строения рыб. Гонады ввиду их критической значимости для продолжения рода имеют сильную защиту от накопления поллютантов. Другие органы полости тела тоже важны, поэтому занимают срединные позиции между мышцами и икрой.

<sup>2</sup> ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013) Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных, глин и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М.

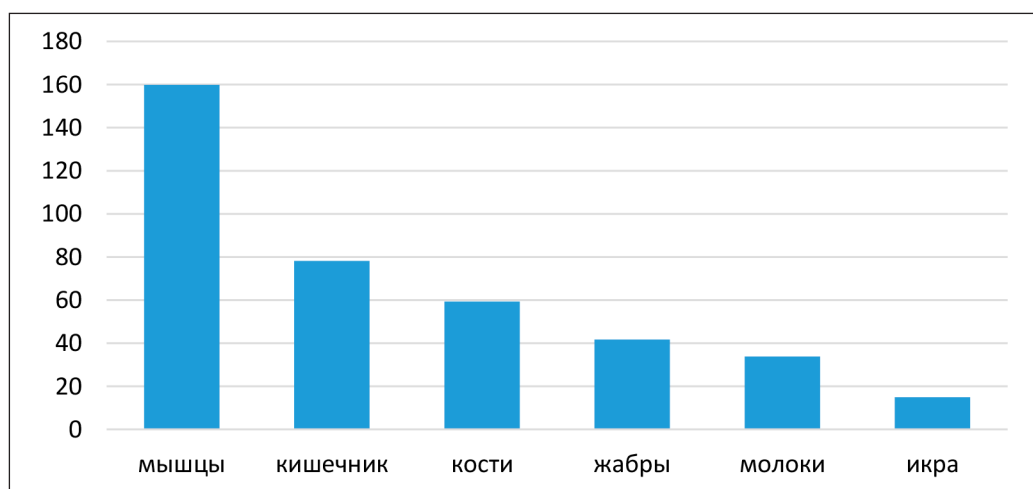
Таблица 1

Содержание ртути, нг/г, в тканях органов рыб в местах вылова

Номер особи	Вид особи	Место вылова	Длина особи, см	Содержание ртути в органах, нг/г					
				мышцы	кости	жабры	икра	кишечник	молоки
1	щука	I	35	$\frac{191 \pm 4}{1}$	$\frac{44 \pm 4}{0,23}$	$\frac{36 \pm 2}{0,19}$	$\frac{6 \pm 1}{0,03}$	$\frac{139 \pm 4}{0,73}$	$\frac{46 \pm 3}{0,24}$
2	щука	I	33	$\frac{177 \pm 7}{1}$	$\frac{24 \pm 1}{0,14}$	$\frac{14 \pm 1}{0,08}$	$\frac{15 \pm 4}{0,08}$	$\frac{52 \pm 1}{0,29}$	$\frac{14 \pm 2}{0,08}$
3	щука	I	32	$\frac{150 \pm 1}{1}$	$\frac{76 \pm 2}{0,5}$	$\frac{21 \pm 2}{0,14}$	$\frac{15 \pm 1}{0,10}$	$\frac{44 \pm 6}{0,29}$	$\frac{43 \pm 1}{0,29}$
4	окунь	II	15	$\frac{118 \pm 1}{1}$	$\frac{60 \pm 4}{0,51}$	$\frac{45 \pm 4}{0,38}$	$\frac{11 \pm 3}{0,09}$	$\frac{78 \pm 7}{0,66}$	$\frac{34 \pm 7}{0,29}$
5	окунь	II	18	$\frac{121 \pm 4}{1}$	$\frac{64 \pm 6}{0,53}$	$\frac{29 \pm 8}{0,24}$	$\frac{14 \pm 1}{0,12}$	$\frac{78 \pm 1}{0,65}$	$\frac{32 \pm 6}{0,27}$
6	окунь	III	18	$\frac{131 \pm 6}{1}$	$\frac{60 \pm 1}{0,46}$	$\frac{42 \pm 5}{0,32}$	$\frac{15 \pm 3}{0,11}$	$\frac{78 \pm 9}{0,60}$	$\frac{34 \pm 5}{0,26}$
7	окунь	III	25	$\frac{196 \pm 6}{1}$	$\frac{71 \pm 3}{0,36}$	$\frac{42 \pm 4}{0,21}$	$\frac{15 \pm 6}{0,08}$	$\frac{78 \pm 4}{0,40}$	$\frac{34 \pm 2}{0,17}$
8	окунь	IV	21	$\frac{209 \pm 4}{1}$	$\frac{86 \pm 6}{0,41}$	$\frac{82 \pm 6}{0,39}$	$\frac{29 \pm 6}{0,14}$	$\frac{78 \pm 4}{0,37}$	$\frac{34 \pm 4}{0,16}$
9	окунь	IV	24	$\frac{171 \pm 3}{1}$	$\frac{55 \pm 2}{0,32}$	$\frac{67 \pm 4}{0,39}$	$\frac{15 \pm 1}{0,09}$	$\frac{78 \pm 5}{0,46}$	$\frac{34 \pm 4}{0,20}$
10	окунь	IV	25	$\frac{136 \pm 1}{1}$	$\frac{54 \pm 5}{0,40}$	$\frac{41 \pm 6}{0,30}$	$\frac{15 \pm 3}{0,11}$	$\frac{78 \pm 4}{0,58}$	$\frac{34 \pm 4}{0,25}$

Примечание: места вылова I–IV описаны в тексте статьи; в числителе – среднее ± среднее квадратичное отклонение при двукратной повторности, доверительной вероятности 0,95; в знаменателе – содержание ртути в органе относительно ее содержания в мышечной ткани.

Составлена авторами на основе полученных экспериментальных данных в ходе исследования



Среднее содержание ртути, нг/г, в различных органах рыб  
Примечание: составлен авторами на основе полученных экспериментальных данных в ходе исследования

Максимально допустимое среднее количество ртути в рыбе при заданном уровне потребления (1 порция в неделю) рассчитано по формуле

$$SV = (RfD \times BW) / CR,$$

где SV – максимально допустимое количество ртути в рыбе при заданном уровне потребления (мкг/г), RfD – допустимое ежедневное поступление ртути в организм человека, для расчета бралась величина, рекомендуемая Природоохранным агентством США 0,0007 мкг/г массы человека, BW – масса тела человека (60 кг), г, CR – ежедневное потребление рыбы (150 г/неделю). Оно составило 420 нг/г при заданных ограничениях числа и массы порций в неделю, что в 2,6 раз выше среднего содержания ртути в изученных пробах. Можно сделать вывод, что установленные уровни содержания ртути безопасны для взрослого населения, однако при повышении доли рыбных продуктов в пищевом рационе, что характерно для сельского населения, проживающего вдоль рек, проблема начинает обретать злободневность.

В рамках исследований [14, 15] проведена оценка рисков для человека при заражении рыбы ртутью методом анализа видов и последствий потенциальных отказов (FMEA-анализ).

В рамках FMEA-анализа рабочей группой проведен сбор первичной информации методом мозгового штурма. Состав рабочей группы включал в себя авторов статьи.

Оценка рисков – на основе расчета приоритетного числа рисков (ПЧР) по формуле

$$ПЧР = O \times D \times S,$$

где O – вероятность возникновения риска; D – рейтинг обнаружения; S – рейтинг значимости последствий.

Величина каждой составляющей риска имеет балльную шкалу – от 1 до 10 ед., где 1 – это минимальное значение, а 10 – макси-

мальное. Рейтинг оценки O, D, S представлен в табл. 2.

**Таблица 2**

Рейтинг оценки O, D, S FMEA-анализа

Рейтинг оценки	Балл
Очень высокая	9, 10
Высокая	7, 8
Умеренная	5, 6
Относительно низкая	3, 4
Низкая	1, 2

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Исходя из величины ПЧР, руководитель рабочей группы принимает решение о необходимости принятия мер по воздействию на риск:

– ПЧР меньше 40 означает низкий уровень данного риска, в этом случае не требуется принятия мер по воздействию на риск;

– ПЧР больше 40, но меньше 100 означает приемлемый уровень риска, и при этом возможно начать проработку предупреждающих мероприятий по его снижению;

– ПЧР больше 100 означает высокий уровень данного вида риска (критический риск), в этом случае требуется незамедлительная разработка и принятие мер для снижения риска.

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что уровень принимает пороговое значение «до 40» и все выявленные риски относятся к низким уровням риска и не требуют принятия мер для их минимизации. При этом следует учесть, что практически все пробы отобраны на территориях, где отсутствует антропогенное воздействие. Исключение составляют пробы рыбы, отобранные в реке ниже черты г. Бийска, но и в этом случае содержание ртути не превышает нормы.

**Таблица 3**

Часть FMEA-анализа при оценке рисков здоровью человека при потреблении рыбы

Риск-фактор	O	D	S	ПЧР
Частота употребления зараженной рыбы	2	2	7	28
Доля рыбных продуктов в пищевом рационе (в том числе зараженной рыбы)	3	2	6	30
Способ приготовления зараженной рыбы	2	2	5	20

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

### Заключение

В настоящее время изучение антропогенно ненарушенных территорий представляется весьма актуальным, чтобы получать фоновые, референтные значения для дальнейших измерений и сравнений в условиях антропогенеза. В целом следует рекомендовать ограничивать потребление рыбы, содержащей высокие уровни ртути, а не полностью исключать из рациона. Необходимо проводить специальные оценки на основе использования безопасных доз, а не ПДК, в том числе для детского населения, а при применении метода ФМЕА возможно расширить число факторов риска, принимаемых во внимание. Интеграция анализа ФМЕА с натурными исследованиями и оценкой риска на основе референтных доз может быть использована при контроле качества продуктов рыболовства.

### Список литературы

1. Eto K. Minamata disease // *Neuropathology*. Sep. 2000. Vol. 20 (Suppl). P. S14–S19. DOI: 10.1046/j.1440-1789.2000.00295. x.
2. Mufakhr F. R., Yoga G. P., Darusman T., Lestari D. P., Arriyadi D., Utami R. R., Sumardi S., Astuti W., Prasetya H. Mercury risk assessment scenarios: exposure from fish dietary behaviors of Katingan River Basin community // *International Journal of Environmental Health Researches*. 2024. Vol. 34 (9). P. 3317–3333. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38245837/> (дата обращения: 14.03.2026). DOI: 10.1080/09603123.2024.2303980.
3. Sumner J., Ross T., Ababouch L. Application of risk assessment in the fish industry. /FAO Fisheries Technical Paper. № 442. Rome. FAO. 2004. 78 p. URL: <https://www.fao.org/4/y4722e/y4722e00.htm#Contents> (дата обращения: 14.03.2026).
4. Лучшева Л. Н., Ковековдова Л. Т., Назаров В. А. Содержание ртути в промысловых видах рыб озера Ханка // *Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра*. 2000. № 127. № 1–2. С. 559–568. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-rtuti-v-promyslovyyh-vidah-ryb-ozera-hanka> (дата обращения: 14.03.2026).
5. Гарина Д. В., Тарлева А. Ф. Некоторые показатели биохимического статуса окуней *Perca fluviatilis* (L.) с разным содержанием ртути в мышцах // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2025. № 4. С. 397–406. URL: <https://journals.eco-vector.com/1026-3470/article/view/687621> (дата обращения: 14.03.2026). DOI: 10.31857/S1026347025040045.
6. Arvanitoyannis I. S., Varzakas T. H. Application of ISO 22000 and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for industrial processing of salmon: a case study // *Critical Review Food Science Nutrition*. 2008. Vol. 48 (5). P. 411–429. DOI: 10.1080/10408390701424410. PMID: 18464031.
7. Dragan F., Lestyan M., Lupu V. V. et al. The Threat of Mercury Poisoning by Fish Consumption // *Applied sciences*. 2023. Vol. 13 (1). P. 369–379. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/369> (дата обращения: 14.03.2026). DOI: 10.3390/app13010369.
8. Борисов М. Я., Иванова Е. С., Тропин Н. Ю., Шилова А. Е., Угрюмова Е. В., Баженова Д. Э. Оценка безопасности употребления в пищу рыбы из водоемов Вологодской области с различным содержанием ртути в мышечной ткани // *Трансформация экосистем*. 2023. Т. 6. Вып. 4. С. 97–118. DOI: 10.23859/estr-230920.
9. Попов П. А. К экологии щуки (*Esox lucius*) реки Оби // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2021. № 1. С. 76–90. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_46302030\\_91312234.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46302030_91312234.pdf) (дата обращения: 14.04.2026).
10. Попов П. А. К экологии речного окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) из водоемов Сибири // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2017. № 3. С. 109–120. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-ekologii-rechnogo-okunya-perca-fluviatilis-linnaeus-1758-iz-vodoemov-sibiri> (дата обращения: 17.01.2026).
11. Попов П. А., Андросова Н. В., Попов В. А. Характер накопления ртути в рыбах реки Оби // *Российский журнал прикладной экологии*. 2019. № 4 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakter-nakopleniya-rtuti-v-rybah-reki-obi> (дата обращения: 17.01.2026).
12. Гремячих В. А., Ложкина Р. А., Комов В. Т. Пространственно-временная вариабельность содержания ртути в речном окуне *Perca fl* Linnaeus, 1758 (*Perciformes: Percidae*) Рыбинского водохранилища на рубеже XX–XXI веков // *Трансформация экосистем*. 2019. № 2 (2). С. 85–95. URL: <https://www.ecosysttrans.com/publikatsii/transformatsiya-ekosistem-tom-2-2-2019/prostranstvenno-vremennaya-variabelnost-soderzhaniya-rtuti-v-rechnom-okune-perca-fluviatilis-linnaeu/> (дата обращения: 14.02.2026). DOI: 10.23859/estr-180816.
13. Немова Н. Н., Лысенко Л. А., Мещерякова О. В., Комов В. Т. Ртуть в рыбах: биохимическая индикация // *Биосфера*. 2014. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rtut-v-rybah-biohimicheskaya-indikatsiya> (дата обращения: 14.02.2026).
14. Якушева М. И. Качество управления: оценка рисков пищевой продукции. Инструменты анализа рисков согласно ИСО 22000:2018. URL: <https://kachestvo.pro/kachestvo-upravleniya/instrumenty-menedzhmenta/otsenka-riskov-pishchevyy-produktsii/> (дата обращения: 14.03.2026).
15. Никитченко В. Е., Рысцова Е. О., Чернышева А. Н. Анализ и предупреждение рисков при изготовлении лабораторных микробиологических питательных сред методом ФМЕА // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2019. Т. 14. № 1. С. 90–98. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-90-98. URL: <https://bio-media.ru/info/articles/analiz-i-preduprezhdenie-riskov-pri-izgotovlenii-laboratornykh-mikrobiologicheskikh-pitatelnykh-sred/> (дата обращения: 14.03.2026).
16. Евстафьева Е. В., Богданова А. М., Евстафьева И. А., Макарова А. С., Мешалкин В. П., Барановская Н. В. Комплексный анализ содержания ртути в подсистемах окружающей среды Крымского полуострова // *Теоретические основы химической технологии*. 2021. Т. 55 (4). С. 452–461. URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=toht&year=2021&vol=55&iss=4&file=ТОHT2104005Evstafeva.pdf> (дата обращения: 14.03.2026).
17. Богданова А. М., Евстафьева Е. В., Барановская Н. В., Ляпина Е. Е., Тымченко С. Л., Большунова Т. С. Территориальные особенности распределения ртути в эпифитных лишайниках Крымского полуострова // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2020. Т. 50. С. 135–156. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/territorialnye-osobennosti-raspredeleya-rtuti-v-epifitnyh-lishaynikah-krymskogo-poluostrova> (дата обращения: 04.03.2026).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Financing:** The research was performed without external funding.