

Бондарева Л.Г., Родионов А.С., Сеницкая Т.А., Федорова Н.Е.

Потенциальные видоизменения форм нахождения мышьяка в рыбе в процессе переработки, на примере осетра русского

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, г. Мытищи, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. В рыбе и морских организмах обнаруживается широкий спектр соединений мышьяка, включая неорганический мышьяк. Рыба хранится и/или обрабатывается (замораживается, сушится, солится) и обычно потребляется, в том числе и после обработки, например, жарится или варится. Хранение и обработка рыбы может потенциально изменить концентрацию и/или структуру соединений мышьяка. Отмечается, что с точки зрения безопасности пищевых продуктов важно изучить влияние обработки на поведение (трансформацию) соединений мышьяка в морепродуктах.

Цель исследования – оценка перераспределения соединений мышьяка в рыбе при её замораживании, солении и различной тепловой переработке, на примере русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii*.

Материал и методы. В качестве объектов исследования выступали образцы филе осетра русского, выращенного на акваферме. Количественное определение мышьяксодержащих веществ проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Пробоподготовка образцов выполнена микроволновым методом.

Результаты. В ходе выполнения работы установлено содержание общего мышьяка в филе осетра при различном времени хранения при температуре минус 18 °С. Также результатом данной работы явилось получение и сопоставление концентрации мышьяка (органических и неорганических соединений) в филе осетра как в исходном (охлаждённом) виде, так и после некоторых видов кулинарной обработки. Установлено, что в зависимости от вида кулинарной обработки соотношение форм нахождения мышьяка может значительно изменяться.

Ограничения исследования. Определение концентрации мышьяка проводили в отдельном виде рыбы – осётр русский, который относится к семейству осетровых, выращивается в естественных и искусственных условиях, и является деликатесным видом рыб, реализуется в коммерческих торговых предприятиях.

Заключение. Любое воздействие, как индивидуальное (добавление соли), так и комплексное (соль и повышенная температура), на рыбу вызывает неоднозначные эффекты, приводящие к видимым видоизменениям в формах существования мышьяка.

Ключевые слова: мышьяксодержащие соединения; рыба; продукты переработки; высокоэффективная жидкостная хроматография; масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Бондарева Л.Г., Родионов А.С., Сеницкая Т.А., Федорова Н.Е. Потенциальные видоизменения форм нахождения мышьяка в рыбе в процессе переработки, на примере осетра русского. *Токсикологический вестник*. 2024; 32(6): 357–363. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-6-357-363>

Для корреспонденции: Родионов Александр Сергеевич, e-mail: rodionov.as@fncg.ru

Участие авторов: Бондарева Л.Г. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста; Федорова Н.Е. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Родионов А.С. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, сбор данных литературы; Сеницкая Т.А. – формулирование общей концепции. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Lidiya G. Bondareva, Alexander S. Rodionov, Tatyana A. Sinitskaya, Nataliya E. Fedorova

Potential transformations of arsenic forms in fish during cooking processing: a case study of Russian sturgeon

Federal Budgetary Institution of Science “Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman” of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A wide range of arsenic compounds, including inorganic arsenic, is found in fish and marine organisms. Fish is stored and/or processed (frozen, dried, salted) and is typically consumed after cooking processing, such as frying or boiling. Storage and processing of fish can potentially alter the concentration and/or structure of arsenic compounds. It is noted that from a food safety perspective, it is important to study the impact of cooking processing on the behaviour (transformation) of arsenic compounds in seafood.

The aim of the study is to assess the redistribution of arsenic compounds in fish during freezing, salting and various thermal processing, using the example of the Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*.

Material and methods. The study objects were samples of Russian sturgeon fillets, farmed in aquaculture. The quantitative determination of arsenic-containing substances was conducted using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry with inductively coupled plasma. Sample preparation was performed using microwave methods.

Results. The study determined the total arsenic content in sturgeon fillets at various storage times at a temperature of minus 18 °C. Additionally, the study resulted in obtaining and comparing the concentrations of arsenic (organic and inorganic compounds) in sturgeon fillets, both in their original (chilled) state and after certain types of culinary processing. It was found that depending on the type of culinary processing, the ratio of arsenic forms can significantly change.

Limitations. The determination of arsenic concentration was conducted on a specific type of fish – the Russian sturgeon, which belongs to the sturgeon family, is farmed in natural and artificial conditions, and is considered a delicacy fish sold in commercial enterprises.

Conclusion. Any impact, whether individual (such as adding salt) or complex (salt and increased temperature), on fish leads to ambiguous effects, resulting in noticeable transformations in the forms of arsenic existence.

Keywords: *arsenic-containing compounds; fish; processed products; high-performance liquid chromatography; inductively coupled plasma mass spectrometry*

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Bondareva L.G., Rodionov A.S., Sinitskaya T.A., Fedorova N.E. Potential transformations of arsenic forms in fish during cooking processing: a case study of Russian sturgeon. *Toksikologicheskii vestnik / Toxicological Review*. 2024; 32(6): 357–363. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-6-357-363>

For correspondence: Alexander S. Rodionov, e-mail: rodionov.as@fncg.ru

Contribution of the authors: Bondareva L.G. – concept and design of the study, writing the text, data collection and processing; Fedorova N.E. – concept and design of the study, editing; Rodionov A.S. – data collection and processing, statistical analysis, writing the text, literature data collection; Sinitskaya T.A. – formulation of the overall concept. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Funding. The study had no sponsorship.

Conflict of interests. Authors declare no conflict of interest.

Accepted: October 18, 2024 / Received: November 12, 2024 / Published: December 28, 2024

Введение

Рыба и продукты её переработки содержат значительный перечень питательных веществ, полезных для здорового рациона населения. Рыба является богатым источником белков, омега-3 жирных кислот, витамина D, витамина B12, селена и йода. Тем не менее, рыба, как и морепродукты, также вносит значительный вклад в уровень содержания мышьяка в организме человека, который является одним из микроэлементов, вызывающих беспокойство в отношении безопасности пищевых продуктов [1].

В рыбе и морских организмах обнаруживается широкий спектр соединений мышьяка, включая неорганический мышьяк. Неорганические соединения мышьяка, арсенат (As(V)) и арсенит (As(III)) токсичны и канцерогенны, тогда как метилированные виды – метиларсенат (MA), диметиларсенат (DMA) и ион тетраметиларсония (TETRA) менее токсичны [1]. Научным советом по мышьяку в пищевых продуктах в Европейском агентстве по безопасности пищевых продуктов (EFSA) [2] рекомендован диапазон значений нижнего доверительного предела ($BMDL_{0.1}$) контрольной дозы от 0,3 до 8 мкг/кг массы тела в день (EFSA, 2009). Объединённый комитет FAO/ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA) в свое время также провёл повторную оценку мышьяка [3]. По результатам эпидемиологических исследований установлен нижний предел дозы воздействия неорганического мышьяка при увеличении выявляемой заболеваемости раком лёгких на 0,5 % ($BMDL_{0.5}$) – 3,0 (диапазон 2–7) мкг/кг массы тела (м.т.) в день, отменив предыдущую допустимую ежедневную дозу (PTWI) в размере 15 мкг/кг м.т. Таким образом был зафиксирован средний уровень содержания неорганического мышьяка в рационе питания, который варьируется от 0,1 до 3,0 мкг/кг м.т. в день в Соединённых Штатах Америки (США) и во многих европейских и азиатских странах. Исходя из этого JECFA отметил, что для улучшения оценок воздействия неорганических видов мышьяка в рационе питания необходима более точная информация о содержании неорганического мышьяка в продуктах питания по мере их потребления.

Преобладающее соединение мышьяка в рыбе, как и во всех морепродуктах, арсенобетаин (AsB), который выводится из организма в неизменном виде, и считается нетоксичным [4]. Другими соединениями мышьяка, которые могут встречаться в рыбе и морепродуктах, являются арсенохолин (AC), триметиларсониипропионат

(ТМАР), оксид триметиларсина (ТМАО) и арсеносахара, последние особенно часто встречаются в морских водорослях.

Рыба хранится и/или обрабатывается (замораживается, сушится, солится) и обычно потребляется, в том числе и после обработки, например, жарится или варится. Хранение и обработка рыбы может потенциально изменить концентрацию и/или форму нахождения мышьяка. Отмечается, что с точки зрения безопасности пищевых продуктов важно изучить влияние обработки на соединения мышьяка в морепродуктах и главным образом в рыбе [5].

Цель исследования – оценка перераспределения соединений мышьяка в рыбе при её замораживании, солении и различной тепловой переработке, на примере русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii*, выращенного на акваферме в Астраханской области.

Материал и методы

Русский осётр (*Acipenser gueldenstaedtii*) – рыба семейства осетровых, образует проходную и жилую (пресноводную) формы. В Красной книге России указан как проходной вид, который заходит в реки из моря только на нерест, находится на грани исчезновения. В настоящих исследованиях не использовалась рыба, выращенная в естественных условиях.

В наших исследованиях изучались образцы осетра, выращенные на ферме в Астраханской области. Рыба (возраст, размер) соответствовала категориям, установленным для промысла [6] и ГОСТ 24896–2013¹.

Рыба доставлялась в лабораторию в свежем виде, где впоследствии она подвергалась непосредственным исследованиям, либо заморозке и хранению определённое время при температуре минус 18 °С. Филе охлаждённой рыбы засаливали. Замороженное сырьё после оттаивания подвергали кулинарной обработке. Переработка рыбы проводилась в соответствии с [7–10] и ГОСТ 7636–85², ГОСТ 814–2019³.

Отбор съедобной части (фила) осуществлён в соответствии с рекомендациями ГОСТ 31339–2006⁴. Пробоподготовку всех образцов при определении соединений мышьяка, включая микроволновое разложение образцов, проводили по методике,

¹ ГОСТ 24896–2013 «Рыба живая. Технические условия».

² ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки».

³ ГОСТ 814–2019 «Рыба охлаждённая. Технические условия».

⁴ ГОСТ 31339–2006 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб».

Таблица 1 / Table 1

Содержание общего мышьяка в свежем охлаждённом филе осетра и после хранения в замороженном виде, мг/кг сухого веса (% сухого вещества), n = 3

Total arsenic content in fresh chilled sturgeon fillets and after frozen storage, mg/kg, dry weight (% dry matter), n = 3

Свежее филе	Сроки хранения, месяц			
	1	2	3	6
5,7 ± 0,8 (37,9)	5,7 ± 1,0 (37,9)	5,5 ± 0,7 (34,0)	5,2 ± 0,9 (39,4)	5,0 ± 0,8 (27,6)

описанной в работе S. Hirata и соавт. [11], при этом процедура пробоподготовки и измерений позволяет сохранить исходные формы соединений мышьяка. Также использованы методические подходы, описанные R.W. Dabeka и соавт. [12].

Разделение и идентификацию соединений мышьяка проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с детектированием ИСП-МС (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой). Условия хроматографирования приведены в работе S. Hirata и соавт. [11]. Для количественного определения превалирующих мышьяксодержащих веществ использовали высокоэффективный жидкостной хроматограф Agilent 1260 Infinity II LC в тандеме с масс-спектрометром с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7800 ICP-MS.

Статистический анализ данных выполнен в компьютерной среде Microsoft Excel.

Результаты

Концентрация общего мышьяка в свежих и хранившихся при температуре минус 18 °С образцах филе осетра показана в табл. 1.

Как видно из представленных данных, концентрация общего мышьяка была довольно постоянной во время хранения (т. е. свежие образцы по сравнению с образцами, замороженными на один, два, три или шесть месяцев) – от 5,7 до 5,0 мг/кг. Тогда как содержание сухого веса имело существенные различия и достигало 10% при хранении в течение 6 мес при температуре минус 18 °С. Расчёт на сухой вес позволил исключить влияние изменения содержания влаги при хранении в замороженном виде и тем самым снизить погрешность определения общего мышьяка в филе рыбы. Потеря веса во время оттаивания из-за потери воды, а также потеря растворимых видов мышьяка в оттаивающей воде может объяснить различия в наборе данных между свежими и замороженными образцами для различных видов мышьяка.

В табл. 2 приведены полученные нами результаты по содержанию арсенобетаина (AsB), диметиларсината (DMA), метиларсената (MM) и неорганического мышьяка (iAs) в филе сырой рыбы и продуктах её переработки. При этом солёная рыба произведена из охлаждённого сырья, а остальные виды переработки были получены из замороженного сырья.

Таблица 2 / Table 2

Среднее содержание мышьякорганических веществ (AsB, DMA, MMA) и общего неорганического мышьяка (iAs) в сыром филе осетра и продуктах его переработки

The average content of organic arsenic compounds (AsB, DMA, MMA) and inorganic arsenic (iAs) in raw fish fillets and their processed products

Объект	Концентрация вещества, мкг/кг			
	AsB	DMA	MMA	iAs
Осетр сырой	13,72	0,24	H/o	H/o
Осетр солёный*	12,34	0,17	H/o	0,09
Осетр варёный	10,94	0,42	H/o	H/o
Бульон из осетра*	1,24	H/o	H/o	0,15
Осетр гриль*	23,84	0,96	H/o	H/o
Осетр горячего копчения*	16,78	0,34	H/o	H/o

Примечание. * – содержание мышьяка в использованной поваренной соли менее предела обнаружения. H/o – не обнаружено (меньше предела количественного определения – 0,0125 мг/кг).

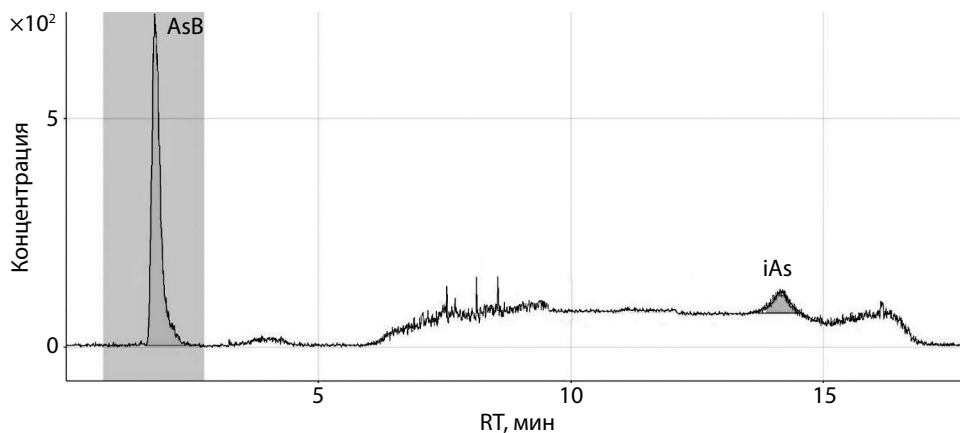


Рис. 1. Хроматограмма экстракта «рыбный бульон».

Fig 1. Chromatogram of "Fish Broth" Extract.

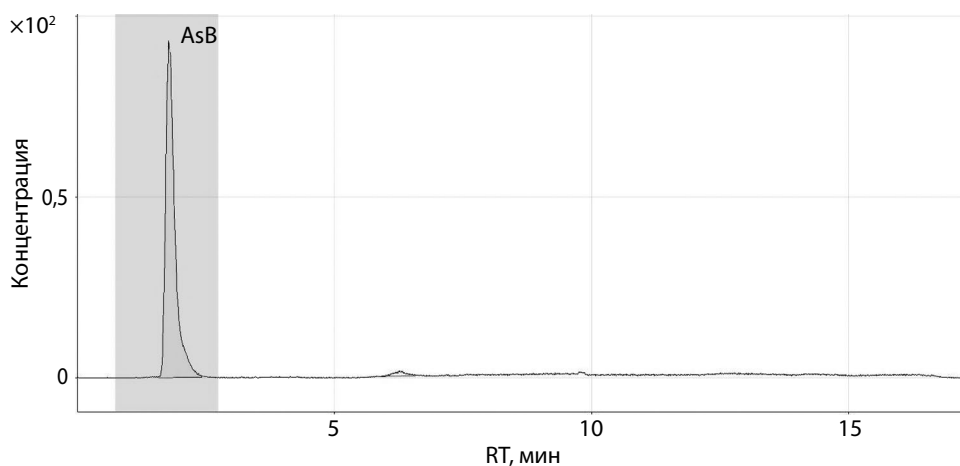


Рис. 2. Хроматограмма экстракта «осетр копчёный».

Fig 2. Chromatogram of «Smoked Sturgeon» Extract.

Обсуждение

Как видно из представленных результатов, в филе сырой рыбы, как и в продуктах её переработки, больше всего обнаружен мышьяк в самой нетоксичной форме – в виде арсенобетаина. Концентрация AsB составила около 95% от общего содержания мышьяка во всех образцах, тогда как другие виды были обнаружены только на следовых уровнях. Исключением является бульон, полученный при варке осетра, в котором была обнаружена неорганическая форма мышьяка, содержание которой составило 0,5% от общего содержания мышьяка. Вероятно, это потому, что содержание арсенобетаина в выварочном бульоне было обнаружено значительно меньше, чем в других средах. Тем самым, за счёт уменьшения пика AsB (при времени удерживания $\approx 1,8$ мин) удалось изменить форму отчета для хроматограммы, путем снижения уровня анализируемых площадей и минимизировать соотношение сигнал:шум. Тем самым удалось вычленить достоверный пик iAs (при времени удерживания $\approx 14,2$ м (рис. 1).

Исключением является и рыба соленая, в которой при сопоставимом содержании АВ с содержанием этого вещества в сырой рыбе достоверно обнаружен и iAs. Вероятно, в этом случае наблюдается перераспределение органических соединений в iAs за счёт потенциального изотонического эффекта, который создает повышенное, по сравнению с другими способами обработки, содержание поваренной соли. Доля iAs от общего мышьяка составляет 0,2% на сухой вес. В то же время этот эффект минимизирован в рыбе горячего копчения (рис. 2). На наш взгляд, это связано с добавочным фактором – повышенной температурой, при которой проводится копчение.

При обработке рыбы при более высокой температуре (жарка, горячее копчение) наблюдается также и повышенное содержание AsB, особенно при приготовлении на гриле. В этом случае это обосновано еще и тем, что при жарке выделяется значительное количество влаги, тем самым происходит концентрирование соединений мышьяка в филе. А с учётом того, что жарка на гриле

и копчение проводили без добавления масла, то эффект убыли мышьяка в результате экстракции в масло для жарки в данном случае не рассматривается, так как его влияние практически ничтожно. Влияние наличия собственного жира в тканях филе на изменение форм нахождения мышьяка не было достоверно установлено.

Предыдущие исследования влияния кулинарной обработки на общее содержание мышьяка в рыбе установили как уменьшение, так и увеличение общей концентрации мышьяка [13–15]. Эти вариации объяснялись изменением содержания воды во время приготовления. Процедуры приготовления (т. е. тепловая обработка), по-видимому, преобразуют некоторые формы мышьяка, присутствующие в рыбе и морепродуктах. Как подробно обсуждалось J. Devesa и коллегами [13], тепловая обработка приводит к декарбоксилированию AsV, образуя другие органические соединения, в то время как неорганический мышьяк и DMA могут образовываться путём разложения других присутствующих видов мышьяка, при температурах от 150 до 190 °С.

Таким образом, полученные данные имеют важное значение для создания технологических карт безопасного приготовления продуктов с повышенным содержанием мышьяка, особенно в регионах с высоким природным или антропогенным загрязнением этим элементом.

Заключение

Изучение процессов перераспределения соединений мышьяка в процессе переработки рыбы показали важность данных исследований с точки зрения оценки безопасности пищево-

го рациона для населения. Рассмотрению этих явлений предшествовала оценка концентрации мышьяксодержащих веществ в образцах сырого осетра. Результаты анализа свидетельствовали об отсутствии токсичных неорганических соединений мышьяка, при этом все его содержание представлено нетоксичным арсенобетаином.

Показано, что любое воздействие как индивидуальное (добавление соли), так и комплексное (соль и повышенная температура) на рыбу приводит к неоднозначным эффектам, выражающимся в видимых изменениях в формах существования мышьяка. В частности, при хранении замороженной рыбы в течение 6 мес при температуре минус 18 °С наблюдается относительная стабильность общего содержания мышьяка. В процессе соления обнаружено появление неорганических форм мышьяка (до 0,09 мкг/кг), вероятно, вследствие изотонического эффекта поваренной соли. При термической обработке (жарка, копчение) отмечено повышение концентрации арсенобетаина, особенно при приготовлении на гриле (от 13,72 мкг/кг в сыром осетре, до 23,84 мкг/кг в готовом продукте), что связано с потерей влаги и концентрированием соединений мышьяка в филе. В бульоне после варки рыбы обнаружено присутствие неорганической формы мышьяка (до 0,15 мкг/кг) при значительно меньшем содержании арсенобетаина (до 1,24 мкг/кг) по сравнению с другими продуктами переработки.

В дальнейшем предполагается расширить перечень изучаемых видов рыб, с включением в том числе и видов, обитающих в естественных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 1–5, 11–14 см. References)

- Чаликов Б. Осетровые. Промысловые рыбы СССР: Описание рыб. Атлас. Москва: Пищепромиздат; 1949.
- Сарбатова Н.Ю., Забашта Н.Н., Нестеренко А.А. *Технология переработки рыбы и гидробионтов: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ*. Краснодар: КубГАУ; 2020.
- Инструкция по изготовлению осетровых рыб горячего копчения. КОДЕКС: [сайт]. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/1200064617?section=status> (дата обращения: 1 сентября 2024).
- Осетр отварной: технико-технологическая карта № 5653. Технолог: [сайт]. 2019, 21 мая. Доступно: <https://tekhnolog.com/2019/05/21/osetr-otvarnoj-ttk5653/> (дата обращения: 1 сентября 2024).
- Осетрина жареная на решетке: технико-технологическая карта № 4692. Технолог: [сайт]. 2019. Доступно: <https://tekhnolog.com/2019/02/25/osetrina-zharenaya-na-reshetke-ttk4692/> (дата обращения: 1 сентября 2024).
- Ракитский В.Н., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е., Родионов А.С. Совершенствование подхода к аналитическому контролю мышьяка и его соединений. Апробация на реальных объектах. *Химическая безопасность*. 2023; 7(2): 134–52. <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.2.25008>

REFERENCES

- Francesconi K.A. Toxic metal species and food regulations – Making a healthy choice. *Analyst*. 2007; 132: 17–20. <https://doi.org/10.1039/b610544k>
- Alexander J., Benford D., Boobis A., et al. Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal*. 2009; 7(10): 198. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>
- World Health Organization. Summary report of the seventy-second meeting of JECFA. Geneva: WHO; 2010. 16 p. Available at: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/infographics-pdf/chemical-safety/summary72_rev.pdf (Accessed 17 October 2024).
- Borak J., Hosgood H. Seafood arsenic: Implication for human risk assessment. *Regulatory Toxicology Pharmacology*. 2007; 47(2): 204–12. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.09.005>
- Devesa V., Velez D., Montoro R. Effect of thermal treatments on arsenic species content in food. *Food and Chemical Toxicology*. 2008; 46(1): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.08.021>
- Chalikov B. *Sturgeons. Commercial Fish of the USSR: Descriptions of Fish. Atlas [Osetrovyye. Promy'slovy'e ry' by' SSSR: Opisaniya ry' b. Atlas]*. Moscow: Pishchepromizdat; 1949. 788. (in Russian)
- Sarbatova N.Yu., Zabashata N.N., Nesterenko A.A. *Technology of Fish and Hydrobiota Processing: Methodological Recommendations for Laboratory Work [Tehnologiya pererabotki ry' by' i gidrobiontov: metodicheskie rekomendacii k vy'polneniyu laboratorny' h rabot]*. Krasnodar: KubGAU; 2020. 118. (in Russian)

<https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-6-357-363>
Оригинальная статья

8. *Instructions for the Production of Hot-Smoked Sturgeon Fish [Instrukciya po izgotovleniyu osetrovoy' h ry' b goryachego kopcheniya]*. KODEKS: [website]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200064617?section=status> (Accessed 1 September 2024) (in Russian)
9. *Boiled Sturgeon: Technical and Technological Card No. 5653. Technologist: website [Osetr otvarnoj: tekhniko-tekhnologicheskaya karta № 5653. Teknolog: [sajt]. 2019; 21 May. Available at: <https://tekhnolog.com/2019/05/21/osetr-otvarnoj-ttk5653/> (Accessed 1 September 2024) (in Russian)*
10. *Grilled Sturgeon: Technical and Technological Card No. 4692. Technologist: website [Osetrina zharenaya na reshetke: tekhniko-tekhnologicheskaya karta № 4692. Teknolog: [sajt]. 2019. Available at: <https://tekhnolog.com/2019/02/25/osetrina-zharenaya-na-reshetke-ttk4692/> (Accessed 1 September 2024) (in Russian)*
11. Hirata S., Toshimitsu H., Aihara M. Determination of arsenic species in marine samples by HPLC-ICP-MS. *Analytical Sciences*. 2006; 22(1): 39–43. <https://doi.org/10.2116/analsci.22.39>
12. Dabeka R.W., Mckenzie A.D., Lacroix G.M.A., et al. Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by Canadian adults and children. *Journal AOAC International*. 1993; 76(1): 14–25.
13. Devesa J., Macho M.L., Jalón M., et al. Arsenic in cooked seafood products: Study on the effect of cooking on total and inorganic arsenic contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(8): 4132–40. <https://doi.org/10.1021/jf010274l>
14. Ersoy E., Yanar Y., Kücükgülmez A., Celik M. Effects of four cooking methods on the heavy metal concentration of sea bass fillets (*Dicentrarchus labrax* Linne, 1785). *Food Chemistry*. 2006; 99(4): 748–51. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.055>
15. Rakitskii V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E., Rodionov A.S. Improvement of the Approach to Analytical Control of Arsenic and Its Compounds. Testing on Real Objects. *Ximicheskaya bezopasnost'*. 2023; 7(2): 134–52. <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.2.25008> (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бондарева Лидия Георгиевна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник отдела аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, г. Мытищи, Россия. E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Родионов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник отдела аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, г. Мытищи, Россия. E-mail: rodionov.as@fncg.ru

Синицкая Татьяна Алексеевна, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, руководитель центра гигиенического нормирования химических веществ в воздушной среде и почве ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, г. Мытищи, Россия. E-mail: sinitskaya.ta@fncg.ru

Федорова Наталья Евгеньевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Московская область, г. Мытищи, Россия. E-mail: fedorova.ne@fncg.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lidiya G. Bondareva, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Department of Analytical Control Methods, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Rospotrebnadzor, 141014, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1482-6319> E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Alexander S. Rodionov, Junior Researcher at the Department of Analytical Control Methods, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Rospotrebnadzor, 141014, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0552-0174> E-mail: rodionov.as@fncg.ru

Tatyana A. Sinitskaya, Doctor of Medical Sciences, Head of the Center for Hygienic Regulation of Chemicals in the Air and soil, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Rospotrebnadzor, 141014, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3794-6292> E-mail: sinitskaya.ta@fncg.ru

Nataliya E. Fedorova, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Department of Analytical Control Methods, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Rospotrebnadzor, 141014, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8278-6382> E-mail: fedorova.ne@fncg.ru

