

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

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

Сопоставление потенциального риска от воздействия мышьяка при употреблении рыбы, выращенной в естественных и искусственных условиях, на примере радужной форели

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Россия, г. Мытищи

РЕЗЮМЕ

Введение. В связи с ростом доли рыбы и рыбной продукции в рационе человека возрастают и гигиенические проблемы, особенно с ростом доли аквакультуры. Исследования уровня токсичности мышьяка в настоящее время приобретает все большую актуальность. Несмотря на то, что механизмы воздействия неорганического мышьяка в целом хорошо изучены, влияние видообразования других (органических) его соединений на вероятность проявления канцерогенных и не канцерогенных эффектов практически не исследуется.

Материал и методы. В качестве объектов исследования выступали образцы филе и икры лососевых рыб – форели радужной (дикая и аквакультура). Измерение концентрации соединений мышьяка выполнено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Подготовка образцов к анализу выполнена микроволновым методом. Расчет уровня риска осуществлен на основании рекомендаций Р 2.1.10.3968–23.

Результаты. В результате проведенных исследований было обнаружено, что концентрация мышьяка (как органических, так и неорганических соединений) в филе и икре радужной форели остается практически неизменной независимо от условий ее обитания. Также были определены уровни данного вещества в исследуемых образцах. Рассчитаны уровни канцерогенного и не канцерогенного риска неорганической формы мышьяка.

Ограничения исследования. Определение концентрации мышьяка проводилось в отдельном виде рыбы – форель радужная, которая относится к многочисленному семейству лососевых, выращивается в естественных и искусственных условиях и является одной из наиболее распространенных в коммерческих торговых предприятиях.

Заключение. Установлено, что при оценке потенциального гигиенического риска наибольший вклад вносит мышьяк, находящийся в виде неорганических соединений. Однако величина риска не превышает допустимых санитарно-гигиенических норм, при этом условия выращивания рыбы практически не влияют на эти величины.

Ключевые слова: мышьяксодержащие соединения; рыба; икра; оценка риска; 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: Родионов А.С., Бондарева Л.Г., Федорова Н.Е. Сопоставление потенциального риска от воздействия мышьяка при употреблении рыбы, выращенной в естественных и искусственных условиях, на примере радужной форели. *Токсикологический вестник*. 2024; 32(5): 307–312. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-5-307-312>

Для корреспонденции: Бондарева Лидия Георгиевна, e-mail: lydiabondareva@gmail.com

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

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила в редакцию: 22 июля 2024 / Поступила после исправления: 07 сентября 2024 / Принята в печать: 20 сентября 2024 / Опубликовано: 30 октября 2024

Alexander S. Rodionov, Lidiya G. Bondareva, Nataliya E. Fedorova

Comparison of the potential risk from arsenic exposure when eating fish grown in natural and artificial conditions, using the example of rainbow trout

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, Mytishchi, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Due to the increasing share of fish and fish products in the human diet, hygienic problems are also increasing, especially with the growing of aquaculture sector. The task of determining the level of arsenic toxicity is becoming extremely important. Although the toxicity mechanisms of inorganic arsenic are generally well understood, the impact of speciation of its other (organic) compounds on the likelihood of carcinogenic and non-carcinogenic effects has been largely unexplored.

Material and methods. The objects of study were samples of fillet and caviar of salmon fish – rainbow trout (wild and aquaculture). The quantitative determination of arsenic-containing substances was carried out using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry with inductively coupled plasma. The samples were prepared using microwave methods. The risk level was calculated based on recommendations R 2.1.10.3968–23.

Results. As the result of this work the information about concentration of arsenic (organic and inorganic compounds) in fillets and caviar of fish from the salmon family - rainbow trout was shown. It has been established that the content of inorganic and organic arsenic compounds practically does not differ, depending of the habitat of trout. The levels of carcinogenic and non-carcinogenic risk of inorganic arsenic were calculated.

Limitations. Determination of arsenic concentration was carried out in rainbow trout, which had been grown in natural and artificial conditions.

Conclusion. It has been established that inorganic arsenic makes the greatest contribution to the health risk. However, the magnitude of the risk does not exceed the acceptable sanitary and hygienic standards, while the conditions for growing fish have practically no effect on these values.

Keywords: *arsenic-containing compounds; fish; caviar; risk assessment; high-performance liquid chromatography; inductively coupled plasma mass spectrometry*

Compliance with ethical standards. The study does not need the approval of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Rodionov A.S., Bondareva L.G., Fedorova N.E. Comparison of the potential risk from arsenic exposure when eating fish grown in natural and artificial conditions, using the example of rainbow trout. *Toksikologicheskiy vestnik / Toxicological Review*. 2024; 32(5): 307–312. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-32-5-307-312>

For correspondence: Lidiya G. Bondareva, E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Author contribution: *Bondareva L.G.* – concept and design of the study, collecting and processing of material, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Fedorova N.E.* – concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; *Rodionov A.S.* – collecting and processing of material, statistical processing, writing the text, collecting of literary data.

Conflict of interests. Authors declare no conflict of interests.

Funding. The study had no sponsorship.

Accepted: July 22, 2024 / Revised: September 7, 2024 / Received: September 20, 2024 / Published: 30 October, 2024

Введение

Обеспечение надлежащего качества пищевых продуктов входит в число основных инструментов поддержания здоровья человека в условиях возрастающей экологической нагрузки [1]. Между тем пищевое сырье и продукты питания неизбежно подвергаются естественной и антропогенной контаминации, сказывающейся на степени химического воздействия продукции.

Существенную часть рациона питания человека представляет рыба и морепродукты. По данным ВЦИОМ (Всероссийский центр изучения общественного мнения) и ВАРПЭ (Всероссийская ассоциация рыбохозяйственных предприятий), доля россиян, регулярно покупающих рыбную продукцию, составляет 93%, из них 42% потребляют рыбу один раз в неделю и чаще [2]. Как прогнозируется в сельскохозяйственном докладе Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций (ФАО) и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), потребление рыбы на душу населения увеличится до 21,2 кг к 2030 г., что превысит средний показатель в 20,5 кг за период 2018–2020 гг. Следует отметить, что увеличение вклада аквакультуры в общий рацион питания способствует повышению интереса к объектам рыбоводства со стороны исследователей санитарно-гигиенического профиля [3].

Среди широкого спектра ксенобиотиков, обнаруживаемых в организме рыб, особое внимание уделяется глобальным загрязнителям – тяжелым металлам и металлоидам [4], из которых отдельный интерес представляет мышьяк.

Мышьяк обладает мутагенными, тератогенными, генотоксичными и нейротоксичными эффектами, каждый из которых проявляется в той или иной степени в зависимости от формы соединения и степени его окисления [5]. Согласно классификации ФАО/ВОЗ (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций/Всероссийская организация здравоохранения), неорганический мышьяк, находящийся в природе в виде арсенатов (As V) и более токсичных и мобильных, но менее стабильных арсенитов (As III), относится к 1-му классу канцерогенов.

В Российской Федерации, согласно требованиям ТР/ТС 021–2011¹, норматив содержания общего мышьяка в пресноводной рыбе составляет 1,0 мг/кг, в морской – 5,0 мг/кг. В организме человека мышьяк метаболизируется до малоток-

сичного соединения арсенобетаина (AsB), который достаточно быстро выделяется и не накапливается [6, 7]. В связи с этим отмечается низкая вероятность проявления канцерогенных эффектов от поступления мышьяка с пищевыми продуктами [8].

Согласно данным ФАО/ВОЗ, превышение допустимой суточной дозы в 3 мг/сут для взрослого человека может привести к нарушению синтеза и репарации ДНК, а также реакций окислительного фосфорилирования, что приводит к ингибированию синтеза АТФ [9].

Ввиду включения мышьяка в список канцерогенов 1-й категории контроль за его содержанием в пищевых продуктах, в частности в рыбе, в первую очередь важен для мониторинговых исследований и установления реального уровня риска для человека [10].

Цель исследования – анализ потенциальных рисков здоровью, связанных с потреблением промысловой рыбы, выращенной в естественных и искусственных (аквакультура) условиях, с последующим сопоставлением полученных данных.

Материал и методы

В качестве объектов исследования выступали образцы филе форели радужной (*Oncorhynchus mykiss irideus*) и ее икры в сопоставлении с режимами выращивания. Для последующего анализа выбраны образцы с длиной тела 50–90 см, массой до 2 кг, реже до 6 кг.

Дикая форель была выловлена в Северо-Западном регионе Российской Федерации – Карелия, Ладожское озеро ($n = 15$). Аквакультура была выращена в том же регионе ($n = 20$), на ферме Sorola Village (Лахденпохский район, поселок Соролы, Лахденпохья, Республика Карелия). Образцы рыбы и икры доставляли в лабораторию в замороженном виде в индивидуальных пластиковых пакетах и хранили до осуществления анализа при температуре минус 18 °С. Перед заморозкой фиксировали массу каждого образца.

Подготовка образцов рыбы. Рыбу непосредственно перед проведением анализа размораживали, отделяли съедобную часть (филе), промыли деионизированной водой 1-го класса чистоты по ГОСТ 52501–2005² и гомогенизировали при помощи лабораторного блендера. На каждом этапе подготовки проб фиксировали массу образца для оценки возможных изменений массы на стадиях заморозки/разморозки.

¹ Технический регламент таможенного союза ТР/ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 23 июня 2023 года). М.: АО «Кодэкс»; 2023.

² ГОСТ Р 52501–2005. Вода для лабораторного анализа. Технические условия.

Содержание общего мышьяка и неорганического мышьяка (iAs) в филе дикой форели радужной и аквакультуре

Content of total arsenic and inorganic arsenic (iAs) in wild rainbow trout fillets and aquaculture

Показатель	Продукт	Образцы	
		аквакультура (n = 15)	дикая (n = 20)
Концентрация неорганического мышьяка, мг/кг	Филе	0,018 ± 0,003 – 0,179 ± 0,081	0,023 ± 0,009 – 0,196 ± 0,011
	Икра	0,084 ± 0,025 – 0,124 ± 0,061	0,072 ± 0,013 – 0,132 ± 0,087
Концентрация общего мышьяка, мг/кг	Филе	2,51 ± 0,04 – 5,3 ± 0,15	2,95 ± 0,11 – 5,17 ± 0,20
	Икра	2,19 ± 0,06 – 2,51 ± 0,11	2,74 ± 0,28 – 3,54 ± 0,31
Доля iAs от общего, %	Филе	0,7–3,3	0,8–3,8
	Икра	3,8–4,9	2,6–3,5

Из каждого образца филе готовили по две параллельные пробы. Метод подготовки образцов включал использование микроволновой техники, при этом в качестве растворителя для экстракции выбрали смесь, содержащую 5 см³ 0,3 М раствора азотной кислоты и 0,1 см³ перекиси водорода (37%). Процесс микроволновой экстракции проходил при температуре 95 °С в течение 90 мин. Для удаления нежелательных компонентов матрицы применяли центрифугирование. Этот процесс продолжался 10 мин при угловой скорости вращения центрифуги 9000 об/мин, после чего осуществлялась фильтрация супернатанта через мембранный фильтр с размером пор 0,22 мкм непосредственно в виалу.

Подготовка образцов икры. Процесс анализа икры включал измельчение образцов в ступке до достижения однородного состояния и подготовку усредненной пробы в соответствии с ГОСТ 7636–85³. Дальнейшая минерализация с последующим центрифугированием образцов икры выполнялась аналогично образцам рыбы. Далее, после расслоения полученного супернатанта отбирали алкивоту из его водной части, фильтровали через мембранный шприцевой фильтр с размером пор 0,22 мкм непосредственно в виалу и анализировали.

Определение содержания мышьяка в подготовленных образцах рыбы и икры осуществляли при помощи сочетания высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ВЭЖХ-ИСП-МС). Условия разделения, хроматографирования и детектирования описаны в нашей работе, опубликованной ранее [11].

Оценка риска воздействия соединений мышьяка. Основные подходы, примененные при оценке

риска, выбраны в соответствии с Руководством Р 2.1.10.3968–23⁴.

Характеристика риска осуществлялась для неорганических форм мышьяка. Общий неорганический мышьяк определяли после перевода всех присутствующих соединений в пятивалентную форму при помощи пероксида водорода. Уровень риска рассчитывали для наименьшей и наибольшей обнаруженных концентраций для каждого объекта исследования.

Для расчёта экспозиции мышьяка и его соединений, присутствующих в филе и икре, использованы данные по потреблению рыбы на душу населения в течение года [12] и значения медианы измеренных концентраций в реальных образцах. Значение фактора канцерогенного потенциала для неорганического мышьяка (iAs) и референтной дозы при хроническом поступлении выбрано в соответствии с Приложением 1 к Р 2.1.10.3968–23⁴.

В наших расчётах учитывалась референтная доза для неорганического мышьяка $RfD_{iAs} = 0,0000035$, а также коэффициенты пересчёта на съедобную часть пищевой продукции, T: 0,58 – для лосося и 1 – для икры.

Статистическая обработка данных осуществлялась в среде Microsoft Excel при помощи пакета «Анализ данных».

Результаты

Оценка пригодности выбранного аналитического подхода проводилась методом «внесено-найдено».

В таблице представлены данные, отражающие содержание общего и неорганического мышьяка в филе и икре форели.

³ ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.

⁴ Р 2.1.10.3968-23. «Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. Руководство». 2024.

В ходе проведенного исследования были установлены диапазоны валового содержания мышьяка в филе форели (2,5–5,3 мг/кг) и икры (2,2–3,5 мг/кг).

По итогам исследования были получены следующие результаты. Несмотря на то, что концентрация общего мышьяка в филе форели колеблется от 2,5 мг/кг до 5,3 мг/кг, а для икры 2,2–3,5 мг/кг, концентрация iAs составляет от 0,02 до 0,2 мг/кг (филе) и от 0,07 до 0,13 мг/кг (икра). То есть во всех случаях (филе и икра) доля iAs не превышает 5 % от общей концентрации мышьяка.

Обсуждение

Проводимые ранее исследования [12] показали удовлетворительный режим работы хроматографической системы при использовании аммонийно-фосфатного буфера и изократического режима элюирования. Однако подобный режим не позволял провести полное разделение пиков арсенобетаина и трехвалентного неорганического мышьяка. Помимо этого, интенсивность сигнала As (III) была наименьшей по сравнению с другими соединениями при одновременном детектировании, что являлось лимитирующим фактором при попытке снижения предела количественного определения. Более серьезной причиной, вызывающей невозможность одновременного определения As (III) и As (V) на одной хроматограмме, явилось наблюдаемое перекрестное загрязнение стандартных образцов, а также обнаруженная возможность бесконтрольного взаимного перехода одной формы в другую при хранении. На основании отмеченных особенностей было принято решение проводить предварительное окисление As (III) в As (V) при помощи пероксида водорода. Подобный подход позволил снизить предел количественного определения метода, а также избежать необходимости разделения пары пиков AsB-As (III).

В исследованных образцах филе не отмечено существенных различий между общим содержанием мышьяка в рыбе, выращенной в естественных условиях, и аквакультурой. Концентрации соединений мышьяка в икре исследуемых рыб, выращенных в естественных условиях, и аквакультурой также схожи. Концентрация органических соединений мышьяка в проанализированной пищевой продукции преобладает над концентрацией неорганических форм. Следует отметить, что при установлении соответствия содержания мышьяка в образцах филе лососевых рыб требованиям ТР/ТС 021–2011, опираясь на

общее содержания мышьяка в пробе, возможно было бы констатировать превышение норматива в 1 мг/кг в 5 раз.

На основании проведенной оценки уровней канцерогенного риска установлено, что уровни канцерогенного риска по критериям приемлемости находятся ниже величины целевого риска. Для iAs максимальная величина канцерогенного риска составляет $4,53 \cdot 10^{-10}$ для форели, выращенной в естественных условиях и $7,16 \cdot 10^{-10}$ для аквакультуры.

Рассчитанные коэффициенты опасности (HQ) для iAs не превышают 1 и характеризуются как не вызывающие беспокойства. Эмпирически установленные значения HQ варьируются: для филе форели (дикой рыбы и аквакультуры) от 0,31 до 0,41 и 0,11 для икры дикой рыбы и аквакультуры. Полученные значения не превышают границу допустимого риска величины допустимого риска, так, суммарный индекс опасности < 1 . Таким образом, если коэффициент опасности < 1 , то потенциального риска причинения вреда здоровью человека нет [11].

Ограничения исследования. Определение концентрации мышьяка проводилось в отдельном виде рыбы – форель радужная, которая относится к многочисленному семейству лососевых, выращивается в естественных и искусственных условиях, и является одной из наиболее распространенных в коммерческих торговых предприятиях.

Заключение

Таким образом, при проведении оценки потенциального гигиенического риска для населения, употребляющего рыбу, установлено следующее.

Несмотря на то, что содержание общего мышьяка в некоторых образцах филе рыбы превышало допустимое содержание, установленное в Российской Федерации, доля более токсичных неорганических соединений не превышала 5%.

При расчёте рисков (канцерогенный и не канцерогенный) сумма величин не превышает целевых уровней риска, при этом условия выращивания рыбы не влияют на эти значения.

Следовательно, употребление форели радужной, выращенной в естественных условиях и аквакультуре, не будет оказывать негативного воздействия на здоровье населения. При этом среда жизненного цикла форели (дикая или аквакультура) практически не влияет на общее содержание и форму нахождения мышьяка.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 3–10 см. References)

1. Никифорова Т.Е. *Биологическая безопасность продуктов питания*. Иваново: ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т.; 2009.
2. ВЦИОМ. Новости: Рыбный день, или о потреблении рыбы в России. Доступно: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/rybnyi-den-ili-o-potreblenii-ryby-v-rossii>
11. 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.
12. Голохвастов А. Аквакультура лососевых в России: результаты и перспективы. Доступно: https://agricos.ru/upload/news_files/Agroxlodingi_2023.pdf

REFERENCES

1. Nikiforova T.E. *Biological food safety [Biologicheskaya bezopasnost' produktov pitaniya]*. Ivanovo: GOU VPO Ivan. gos. him.-tekhno. un-t.; 2009. (in Russian)
2. All-Russian Center for the Study of Public Opinion. News: Fish day, or about fish consumption in Russia. Available at: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/rybnyi-den-ili-o-potreblenii-ryby-v-rossii> (in Russian)
3. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. Fish. Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f5f1d519-dca8-4b55-8c0b-f7de6e7a7a48/content>
4. Ghafarifarsani H., Rohani Md. F., Raeeszadeh M., Ahani S., Yousefi M., Talebi M., et al. Pesticides and heavy metal toxicity in fish and possible remediation – a review. *Annals of Animal Science*. 2024.
5. Muzaffar S., Khan J., Srivastava R., et al. Mechanistic understanding of the toxic effects of arsenic and warfare arsenicals on human health and environment. *Cell Biology and Toxicology*. 2023; 39: 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10565-022-09710-8>
6. Griera J., Peremarti J., Annangi B., Marcos R. Oxidative DNA damage enhances the carcinogenic potential of in vitro chronic arsenic exposures. *Archives of Toxicology*. 2016; 90(8): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1605-7>
7. Kenyon E.M., Hughes M.F. A concise review of the toxicity and carcinogenicity of dimethylarsinic acid. *Toxicology*. 2001; 160: 227–36.
8. Kaise T., Watanabe S., Itoh K. The acute toxicity of arsenobetaine. *Chemosphere*. 1985; 14: 1327–32.
9. Rasheed H. Human Health Risk Assessment For Arsenic: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2016; 46 (19–20): 67. <https://doi.org/10.1080/10643389.2016.1245551>
10. Slejkovec Z., Bizjak T., Horvat M., Falnoga I. No clear concerns related to health risks in the European population with low inorganic arsenic exposure (overview). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2023; 29(1): 245–68. <https://doi.org/10.1080/10807039.2022.2143319>
11. Rakitsky V.N., Bondareva L.G., Fedorova N.E., Rodionov A.S. Improving the approach to analytical monitoring of arsenic and its compounds. Testing on real objects. *Ximicheskaya bezopasnost'*. 2023; 7(2): 134–52. (in Russian)
12. Golokhvastov A. *Salmon aquaculture in Russia: results and prospects [Akvakul'tura lososevy'x v Rossii: rezul'taty i perspektivy]*. Available at: https://agricos.ru/upload/news_files/Agroxlodingi_2023.pdf (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Родионов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник отдела аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, г. Мытищи, Россия. E-mail: rodionov.as@fncg.ru

Бондарева Лидия Георгиевна, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник отдела аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, г. Мытищи, Россия. E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Федорова Наталья Евгеньевна, доктор биол. наук, главный научный сотрудник аналитических методов контроля ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, г. Мытищи, Россия. E-mail: fedorova.ne@fncg.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander S. Rodionov, Junior Researcher of the Department of Analytical control methods of the Federal Budgetary Institution of Science "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erismann" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-0552-0174> E-mail: rodionov.as@fncg.ru

Lidiya G. Bondareva, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Department of Analytical control methods of the Federal Budgetary Institution of Science "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erismann" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1482-6319> E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Nataliya E. Fedorova, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Department of Analytical control methods of the Federal Budgetary Institution of Science "Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erismann" of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-8278-6382> E-mail: fedorova.ne@fncg.ru

