

УДК 669.018.674

Поступила в редакцию 01.11.2018
Received 01.11.2018**И.М. Почицкая, Е.С. Александровская, В.Е. Денисюк, К.С. Рябова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь***ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В РЫБЕ
И ОБЪЕКТАХ НЕРЫБНОГО ПРОМЫСЛА МЕТОДОМ
АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

Аннотация: Ртуть является одним из самых опасных и высокотоксичных элементов, обладающим способностью накапливаться в растениях, в организме животных и человека. Рыба и морепродукты способны в разной степени к аккумуляции соединений ртути. Содержание ртути и вредных веществ в тканях рыб сильно зависит от видовой принадлежности рыбы, размера и времени жизни. Представлены результаты исследования образцов рыбы по видовой принадлежности, а также объектов нерыбного промысла по содержанию общей ртути, представленных на испытания в 2016 г. После анализа полученных результатов разделили все испытанные образцы на 3 группы. Выявили уровень накопления ртути в морской и речной рыбе. Исследования позволили выявить виды рыб, потенциально небезопасных из-за высокого значения содержания ртути. Контроль содержания ртути проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением.

Ключевые слова: ртуть, рыба, атомно-абсорбционная спектроскопия, предельно допустимая концентрация, метод холодного пара

I.M. Pochitskaya, E.S. Aleksandrovskaya, V.E. Dzenisiuk, K.S. Ryabova*RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food»,
Minsk, Republic of Belarus***THE STUDY OF THE MERCURY CONTENT IN FISH AND NON-FISHERY
OBJECTS BY METHODS OF ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY**

Abstract: Mercury is one of the most dangerous and high toxic element which has ability to accumulate in plants, animal and human body. Fish and sea products in different degree are capable to accumulate mercury compounds. The content of mercury and harmful substances depends on the specie, size and lifetime. There are presented the results of research of the total content of mercury in fish samples according to species, as well as the non-fishery objects presented for tests in 2016. After the results analysis all the samples were divided into 3 groups. The level of accumulation of mercury in sea and river fish was determined. The research allowed identifying fish species potentially unsafe due to high level of mercury content. The control of mercury content was carried out by the method of cold vapor atomic absorption spectrometry with preliminary mineralization of the sample under pressure.

Keywords: mercury, fish, atomic absorption spectrometry, maximum permissible concentration, cold vapour method

Введение. Употребление в пищу рыбы и морепродуктов стало неотъемлемой частью здорового питания. Регулярное употребление этих продуктов улучшает работу сердца и нервной системы, укрепляет опорно-двигательный аппарат, благотворно влияет на кожу и слизистые оболочки, предупреждает развитие атеросклероза, уменьшает риск развития злокачественных опухолей. Однако, наряду с высокой пищевой ценностью, рыба и морепродукты обладают способностью накопления токсичных элементов, в частности, ртути. Основными источниками загрязнения окружающей среды ртутью являются отходы деятельности предприятий химической промышленности, машиностроения,

металлообработки и теплоэнергетики при их неправильной утилизации. Ртуть и её соединения поступают в водоемы главным образом из атмосферы, донных отложений и с поверхностным стоком [4].

Ртуть является ядом кумулятивного действия; соли ртути накапливаются в организме человека, в первую очередь, в почках, но попадают также в печень, костный мозг, селезенку, легкие, кишечник и кожу. Токсичность ртути зависит от вида ее соединений, которые по-разному всасываются, метаболизируются и выводятся из организма человека. В пищевых продуктах ртуть может присутствовать в 3-х формах: элементарная, неорганическая ртуть и алкилртуть (монометилртуть, диметилртуть). Органические и неорганические соединения ртути, попадая в организм человека, оказывают негативное влияние на обмен белков и аминокислот, некоторых витаминов (аскорбиновой кислоты, пиридоксина), макро- и микроэлементов (кальция, меди, цинка, селена) [5]. Наиболее токсичным соединением для человека является метилртуть. Воздействие метилртути на организм человека происходит при употреблении в пищу рыбы и морских продуктов. Установлено, что 97 % от общего содержания ртути в мышцах рыб находится в метилированной форме [6].

Таким образом, контроль содержания ртути в рыбе и объектах нерыбного промысла является актуальной задачей при обеспечении безопасности продуктов питания.

Целью настоящей работы является проведение исследований рыбы (по видовой принадлежности) и объектов нерыбного промысла по содержанию общей ртути на соответствие требованиям нормативных документов Беларуси.

Методы исследований. Определение содержания ртути в рыбе и морепродуктах проводилось по ГОСТ Р 53183-2008 «Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением». Метод холодного пара основан на измерении поглощения излучения определенной длины волны парами атомарной ртути. Раствор пробы вносят в реакционный сосуд ртутно-гидридной приставки, в котором ртуть восстанавливается борогидридом натрия, после чего потоком газа-носителя переносится в измерительную кювету спектрометра. Количественный анализ производится методом измерения атомной абсорбции при резонансной длине волны 253,7 нм. Данный метод является наиболее успешным для высокочувствительного определения ртути, обеспечивающий очень низкие пределы обнаружения, высокую сходимост, повторяемость и точность результатов анализа. Подчеркивается, что ртуть является единственным элементом, кроме благородных газов, который образует одноатомные пары при комнатной температуре. Способ отличает простота методики выполнения анализа и используемой аппаратуры [7].

Пробоподготовка образцов рыбы и объектов нерыбного промысла для атомно-абсорбционного анализа осуществлялась методом микроволнового кислотного разложения в системе MARS 6 при максимальной температуре 220 °С и максимальной мощности 1600 Вт в герметично закрытых деконтаминированных тефлоновых сосудах Mars Xpress Plus объемом 75 см³. Для обеспечения точности измерения абсорбционного сигнала ртути важным является полное разложение пищевой матрицы и получение бесцветного прозрачного минерализата. Для образцов рыбы различной жирности и объектов нерыбного промысла разработаны алгоритмы проведения разложения. Так, для образцов рыбы с высокой жирностью (более 8 %) целесообразно применить: дополнительный окислитель – перекись водорода; стадию выдерживания образцов в открытых стаканах; минерализацию в микроволновой системе в несколько стадий; увеличение температуры и времени стадии разложения. К жирным сортам рыбы относятся: палтус, сайра, скумбрия, угорь, жирная сельдь, килька каспийская, толстолобик, нототения, осетровые сорта. Нежирные и умеренно-жирные сорта рыбы содержат менее 8 % жира и минерализуются при менее жестких параметрах. К ним относятся камбала, треска, хек, путассу, сибасс, сайда, навага, пикша, минтай, ставрида, зубатка, тунец, горбуша, нежирная сельдь, салака, морской окунь, кета, лещ морской и речная рыба: щука, лещ, речной окунь, ерш, линь, судак, форель, карп, сом, карась.

В табл. 1 представлены оптимальные параметры микроволнового разложения проб рыбы и объектов нерыбного промысла различной жирности.

Измерения проводились на ртутно-гидридной приставке FIMS 100 (анализатор ртути), производства «PerkinElmer Inc» (США).

Метод основан на измерении поглощения света при длине волны 253,7 нм атомами ртути, выделяемыми из раствора после ее восстановления. Для измерений применяется линейная зависимость абсорбционного сигнала ртути от концентрации ртути в минерализате. Градуировочную зависимость строили по 4-м точкам в диапазоне 1–20 мкг/дм³. С помощью программного обеспечения определяли концентрацию ртути в исследуемом растворе.

Таблица 1. Условия минерализации проб пищевых продуктов в системе микроволнового разложения проб MARS plus
Table 1. The conditions of mineralization of food samples in the microwave decomposition system of MARS plus

Наименование объекта	Масса навески, г	Объем реактивов	Экспозиция, температура и время
Нежирные и умеренно-жирные сорта рыбы	1,0–1,5	HNO ₃ ; 5–10 см ³	Мощность: 400, 800, 1600 Вт Температура: 200–220 °С Время удержания 15–30 мин
Объекты нерыбного промысла (беспозвоночные, моллюски, морские водоросли)	1,0–2,0	HNO ₃ ; 5–10 см ³	Мощность: 400, 800, 1600 Вт Температура: 200–220 °С Время удержания 15–30 мин
Жирные сорта рыбы	1,0–1,3	5–10 см ³ HNO ₃ +1 см ³ H ₂ O ₂	1 стадия: Температура 180 °С, время удерживания 15 мин. 2 стадия: Температура 220 °С, время удержания 15 мин

Метрологические характеристики использованного метода: избирательность, линейность и диапазон применения, повторяемость, прецизионность, правильность, робастность, неопределенность определены на основе экспериментальных данных процедуры подтверждения пригодности системы с применением анализатора FIMS 100 установленным требованиям ГОСТ Р 53183-2008. Результаты обработки данных, полученных при проведении эксперимента по установлению показателей точности, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Метрологические характеристики ГОСТ Р 53183-2008
Table 2. Metrological characteristics of GOST R 53183-2008

Предел обнаружения, мкг/дм ³	Предел определения, мкг/кг	Диапазон измерений, мг/кг	Повторяемость, %	Прецизионность, %
0,11	0,38	0,005–1,00	28	28

Результаты исследований. В рамках проведения сертификационных испытаний за период январь – декабрь 2016 г. были проведены исследования 2984 образцов рыбы и 336 – объектов нерыбного промысла. Из них 126 образцов рыбы пресноводной нехищной, 62 – пресноводной хищной, 2796 – морской (рис. 1).

В соответствии с ТНПА, устанавливающими требования к продукции в Республике Беларусь (СанПиПГН 52-2013, ЕСЭ и ГТ №299 от 28.05.2010 г., ТР ТС 021/2011) в морской рыбе установлен допустимый уровень содержания ртути не более 0,5 мг/кг, в пресноводной нехищной – 0,3 мг/кг и хищной – 0,6 мг/кг, в объектах нерыбного промысла – 0,2 мг/кг.

Анализ полученных результатов позволяет условно разделить все испытанные образцы на три группы. К первой группе отнесены виды рыб и моллюсков, в мышцах которых содержится не более 25 % от предельно допустимого уровня массовой концентрации ртути, установленного в ТНПА, ко второй – не более 50 % и к третьей – 50 % и выше, включая образцы рыбы, объекты нерыбного промысла с превышением установленной нормы.

В табл. 3 представлены результаты исследованных видов рыб и объектов нерыбного промысла со значением массовой доли ртути не более 25 % от установленного допустимого уровня.

Как видно из табл. 3 среди исследованных видов гидробионтов наибольшая концентрация ртути обнаружена в сельди (0,12 мг/кг) из семейства сельдевых. Минимальное фактическое значение установлено в образцах семейства лососевых рыб – 0,005 мг/кг, что составляет 1 % от допустимого уровня содержания ртути в морских видах рыб. Низкое содержание ртути обнаружено во всех 273 проверенных образцах кильки (семейство сельдевых) и 121 образце мойвы и корюшки (семейство корюшковых). Полученные фактические значения не превышали 0,02 мг/кг и 0,04 мг/кг соответственно, что состав-

ляет менее 8 % от допустимой нормы. Возможными причинами низкого содержания контаминанта в этих видах рыб является небольшой размер тушки и их принадлежность к короткоциклическим мелким рыбам с низким возрастом созревания. Среди объектов нерыбного промысла ракообразные (крабы, креветки, раки) в меньшей степени накапливают ртуть, чем моллюски (кальмары, осьминоги, мидии), что подтверждается фактическими данными, представленными в табл. 3.

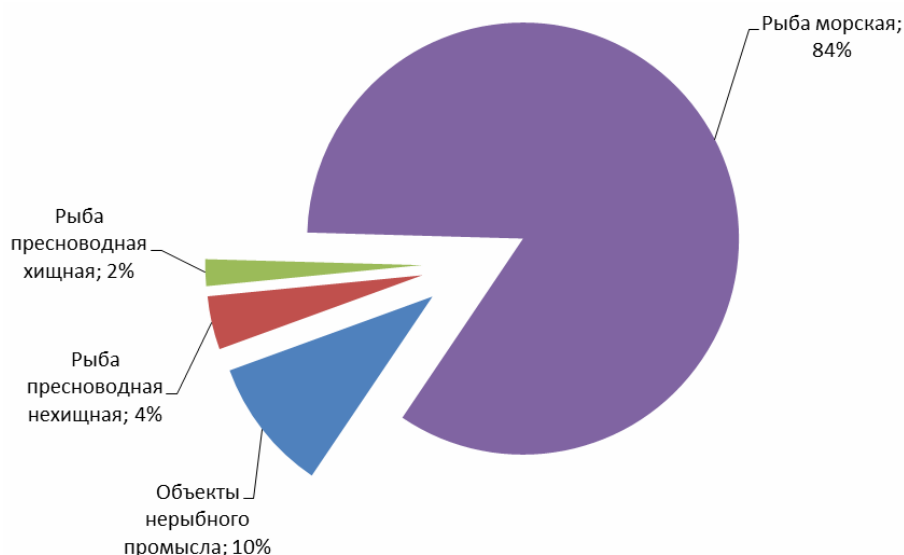


Рис. 1. Образцы рыбы и объектов нерыбного промысла, представленные на испытания за период январь – декабрь 2016 г.

Fig. 1. Samples of fish and non-fish objects submitted for testing for the period January - December 2016

Таблица 3. Виды рыб и объектов нерыбного промысла со значением уровня ртути не более 25 %
Table 3. Types of fish and non-fish species with a mercury level value of not more than 25 %

Семейство вид	Норма, мг/кг	Массовая доля ртути мг/кг		Количество проверенных образцов
		Минимальное значение	Максимальное значение	
<i>Лососевых</i> (Лосось, горбуша форель, кета, кижуч, семга)	0,5	0,005	0,06	636
<i>Сельдевых</i> (Сельдь, салака, килька, сардина, сардинелла, аргентина)	0,5	0,01	0,12	756
Килька		0,01	0,02	273
Сельдь		0,04	0,12	248
<i>Осетровых</i> (Осетр, Стерлядь)	0,3	0,02	0,11	23
<i>Тресковых</i> (Треска, пикша, навага, сайда, минтай, хек)	0,5	0,01	0,09	573
Минтай		0,01	0,05	183
Треска		0,04	0,09	94
<i>Корюшковых</i> (Корюшка, мойва)	0,5	0,01	0,04	121
<i>Ракообразные</i> (Краб, креветки, рак)	0,2	0,01	0,04	25
<i>Моллюски</i> (Кальмары, осьминог, мидии)	0,2	0,01	0,06	311

К семейству тресковых относятся нежирные сорта рыб с содержанием жира менее 4 %: треска, пикша, навага, сайда, минтай, хек. Максимальные значения массовой доли ртути были установлены в образцах трески – 0,09 мг/кг, что составляет 18 % допустимого уровня. Минтай в семействе тресковых является сортом рыбы с минимальным накоплением ртути – 0,05 мг/кг или 10 % установленной нормы. Необходимо отметить, что жирные сорта рыб с содержанием жира более 8 %, такие как сельдь, килька каспийская, осетровые сорта, в большей степени загрязнены ртутью, чем менее жирные сорта рыб. Так максимальные фактические значения массовой доли ртути обнаружены в сельди и образцах рыб семейства осетровых, 0,12 мг/кг и 0,11 мг/кг соответственно.

Экспериментальные данные образцов рыбы с содержанием ртути не более 50 % предельно допустимой концентрации представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Виды рыб со значением уровня ртути не более 50 % от предельно допустимой концентрации
Table 4. Types of fish with a mercury level value of not more than 50 % of the maximum allowable concentration

Семейство вид	Норма, мг/кг	Массовая доля ртути мг/кг		Количество проверенных образцов
		Минимальное значение	Максимальное значение	
<i>Окуневых</i> (Окунь морской, судак)	0,5	0,10	0,23	27
<i>Камбаловых</i> (Камбала, палтус)	0,5	0,07	0,25	16
<i>Скумбриевых</i> (Скумбрия атлантическая, сайра)	0,5	0,03	0,15	444
Тунец	1,0	0,23	0,46	13
<i>Карповых</i> (Карп, карась, лещ, линь, вобла, толстолобик)	0,3	0,02	0,15	126
Лещ		0,02	0,06	22
Линь, вобла		0,06	0,15	36

Абсолютные значения содержания ртути в мышцах данных видов рыб варьировались в пределах от 0,15 до 0,25 мг/кг. Рекордсменом среди данной группы образцов является тунец (в том числе тунец консервированный) с содержанием ртути 0,23–0,46 мг/кг. Необходимо отметить, что предельно допустимая концентрация ртути в тунце вдвое превышает норму для других видов морской рыбы. Минимальное содержание ртути обнаружено у семейства скумбриевых, которое относится к жирным сортам рыбы – 0,15 мг/кг, что составляет 30 % от значения, регламентированного в ТНПА. Максимальное накопление ртути обнаружено в образцах рыб семейства камбаловых – 0,25 мг/кг, что составляет 50 % предельно допустимой концентрации. Массовая концентрация ртути у семейства рыб окуневых на 4 % меньше чем у семейства камбаловых.

При сравнении уровня накопления ртути в речной и морской рыбе важно отметить, что содержание ртути в речной рыбе семейства карповых, составляет 50 % от допустимой массовой доли контаминанта в речных пресноводных нехищных рыбах. Наименьший уровень в этом семействе (0,06 мг/кг) был отмечен у рыбы лещ. Максимальные уровни содержания ртути были отмечены в видах рыб лини и воблы (0,15 мг/кг).

На рис. 2 представлены виды рыб с максимальными установленными значениями массовой доли ртути.

Как видно из рис. 2, данные виды рыб потенциально небезопасны из-за высокого значения содержания ртути. Более 50 % от допустимого уровня содержания ртути было обнаружено в таких образцах рыбы как путассу, лемонема и щука морская. Данные виды благодаря доступности и большому природному запасу, ничуть не уступают более дорогостоящим видам в полезности и вкусовых качествах и являются наиболее популярны и востребованы на рынке нашей страны.

Щука морская является ярко выраженным рыбацким (хищным) видом, содержание ртути в мышечной ткани щуки будет повышенным. Абсолютные значения ртути данного вида рыб варьировали в пределах 0,35–0,42 мг/кг, что выше среднего допустимого уровня. Из 18 проверенных образцов рыбы лемонемы, в 13 образцах массовая доля ртути была стабильно равна 0,49 мг/кг, значения содержания которой находятся близко к значению допустимого уровня. Значения ртути выше предельно допустимой концентрации были зарегистрированы при химическом анализе от 10 % до 20 % образцов рыбы-сабли, акуле-призраке и морском угре. В таком образце рыбы как акула-призрак, из 10 проверенных образцов, максимальное фактическое значение было 0,63 мг/кг в 10 % случаях, что на 26 % выше установленного уровня. Из 8 исследованных образцов рыбы-сабли, большая часть исследованных образцов данного вида характеризовались превышением предельно допустимого уровня на 48 %, что соответствует значению 0,74 мг/кг в 20 % случаях. Сравнивая уровень содержания ртути в мышцах этой группы рыб, можно отметить, что исследуемый показатель был самый высокий в угре морском. Из 16 проверенных образцов, в 12,5 % случаях полученные значения превышали допустимую массовую долю ртути на 50 %. Для самых крупных особей отдельных хищных видов (с массой тела более 2 кг) концентрации также несколько превышали 0,5 мг/кг. Высокое содержание ртути может быть следствием высокого положения в трофической цепи и сравнительно долгой продолжительности жизни и медленного роста. Последние виды являются пелагическими хищными. Высокое содержание ртути связано с тем, что эти виды обладают хорошей аккумулирующей способностью по отношению к данному элементу. Правительственные организации, которые регулируют коммерческую реализацию рыбы, рекомендуют беременным женщинам, кормящим матерям и маленьким детям не употреблять в пищу данные виды рыб (на уровне предельно-допустимой концентрации и выше).



Рис. 2. Виды рыб с установленными максимальными значениями массовой доли ртути

Fig. 2. Types of fish with established maximum values of mercury mass fraction

Вышеприведенные данные позволяют утверждать, что аккумуляция ртути является видовой особенностью рыб. Анализ полученных результатов показал, что рыбы различаются по уровню биоаккумулированной ртути. Наиболее низкое ее содержание от 0,005 мг/кг до 0,06 мг/кг обнаружено в рыбе семейства лососевых, корюшковых, ракообразных и в моллюсках. В данных видах рыб содержание ртути постоянно отмечается как низкое (не более 12 % от допустимого уровня). Среднее содержание ртути, принятое за 50 % от допустимого уровня в рыбе семейства окуневых, камбаловых. Немного ниже в скумбрии и нехищной пресноводной рыбе. Наиболее высокие значения содержания ртути в путассу, щуке морской, лемонеме. Максимальный уровень накопления

ртути среди рыб был отмечен в мышцах хищников, т.к. биоаккумуляция ртути возрастает с более высоким трофическим уровнем пищевой цепи. Данные виды представлены в рационе питания населения в меньшей степени. Исходя из этого следует, что частое употребление хищной и донной рыбы может привести к накоплению ртути в организме человека. Выявлено также, что концентрации ртути в мышцах исследованных видов гидробионтов в основном не превышают норм, установленных в Беларуси.

Используя современные на сегодняшний день принципы безопасности пищевых продуктов можно в значительной степени избежать вредного содержания ртути в рыбе.

Список использованных источников

1. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011: техн. регламент Тамож. союза. – Введ. 01.07.2013. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. – 196 с.
2. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 21 июня 2013 г., № 52 // Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/>. – Дата доступа: 08.09.2018.
3. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю): утв. решением Комис. Тамож. союза 28 мая 2010 г., № 299. – Минск, 2010. – С. 50–62.
4. Гремячих, В.А. Закономерности накопления ртути и биологические последствия действия ее сублетальных доз для гидробионтов: автореф. ... дис. канд. биол. наук / В.А. Гремячих; Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН – Борок, 2007. – 22 с.
5. Никифорова, Т.Е. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания: учеб. пособие / Т.Е. Никифорова. – Иваново : ГОУ ВПО «Иван. гос.хим.-технол. ун-т», 2007. – 46 с.
6. Чаплыгин, В.А. Содержание ртути в мышцах гидробионтов Каспийского моря / В.А. Чаплыгин, Т.С. Ершова, В.Ф. Зайцев // Вестник Астраханского гос. технич. ун-та. Серия рыбное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 108–114.
7. Пупышев, А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ / А.А. Пупышев. – Москва: Техносфера, 2009. – 269 с.

References

1. O bezopasnosti pishchevoy produktsii: TR TS 021/2011: tekhn. reglament Tamozh. Soyuz. - Vved. 01.07.2013. - Minsk: Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 2012. – 196 s.
2. Ob utverzhdenii Sanitarnykh norm i pravil «Trebovaniya k prodovol'stvennomu syr'yu i pishchevym produktam», Gigiyenicheskogo normativa «Pokazateli bezopasnosti i bezvrednosti dlya cheloveka». zdravookhraneniya Resp. Belarus', 21 iyunya 2013 g., № 52 // Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: <http://minzdrav.gov.by/>. – Data dostupa: 08.09.2018.
3. Yedinyye sanitarno-epidemiologicheskiye i gigiyenicheskiye trebovaniya k tovaram, podlezhat sanitarno-epidemiologicheskomu nadzoru (kontrol'): utv. resheniyem Komis. Tamozh. soyu, 28 maya 2010 g., № 299. – Minsk, 2010. – S. 50–62.
4. Gremyachikh, V.A. Zakonomernosti nakopleniya rtuti i biologicheskkiye posledstviya yeye subletal'nykh doz dlya gidrobiontov: avtoref. ... dis. kand. biol. nauk / V.A. Gremyachikh; Institut biologii vnutrennikh vod im. I D Papanina RAN. – Borok, 2007. – 22 s.
5. Nikiforova, T.Ye. Bezopasnost' prodovol'stvennogo syr'ya i produktov pitaniya: ucheb. posobiye / T.Ye. Nikiforova. - Ivanovo: GOU VPO «Ivan.gos.khim.-tekhnol. un-t », 2007. – 46 s.

6. Chaplygin, V.A. Soderzhaniye rtuti v myshtsakh gidrobiontov Kaspiyskogo morya / V.A. Chaplygin, T.S. Yershova, V.F. Zaytsev // Vestnik Astrakhanskogo gos.tekhnich.un-ta. Seriya rybnoye khozyaystvo. – 2016. – №2. – S. 108–114.
7. Pupyshev, A.A. Atomno-absorbtsionnyy spektral'nyy analiz / A.A. Pupyshev. – Moskva : Tekhnosfera, 2009. – 269 s.

Информация об авторах

Почицкая Ирина Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Александровская Елена Сергеевна – заведующая лабораторией токсикологических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: alexandrovskiy@inbox.ru

Денисюк Вера Евгеньевна – инженер-химик I категории Республиканского контрольно-испытательного комплекса, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: info@belproduct.com

Рябова Кристина Святославовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник-руководитель группы по радиологии Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: info@belproduct.com

Information about authors

Pochitskaya Iryna Mikhailovna – Ph.D. (Agricultural), the head of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE “Scientific-Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Aleksandrovskaya Elena Sergeevna – head of the laboratory of toxicological test of the Republican control and testing complex of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexandrovskiy@inbox.ru

Dzenisiuk Vera Evgenyevna – chemical engineer of the first category of the Republican control and testing complex of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com

Ryabova Kristina Svyatoslavovna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Radiology Group of the Republican Control and Testing Complex, RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com