

Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Уланова Т.С., Стенно Е.В., Вейхман Г.А.

Выбор модельных сред для тестирования алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевых продуктов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь

Введение. Актуальность исследования обусловлена широким распространением алюминиевой фольги на потребительском рынке и активным её применением в бытовых условиях в качестве упаковочного материала. Риски для здоровья при хроническом потреблении алюминия ещё недостаточно изучены, и поэтому поступление алюминия с продуктами питания потенциально небезопасно для здоровья. В этой связи актуальным является изучение соответствия методик и модельных сред задачам тестирования алюминиевой фольги для её безопасного применения в качестве упаковки пищевых продуктов.

Цель исследования – совершенствование методических подходов к выбору модельных сред для тестирования алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевых продуктов.

Материал и методы. Применён метод изучения и критического анализа отечественной и зарубежной нормативной базы, а также релевантных научных источников в отношении методических подходов к изучению уровня содержания алюминия в пищевых продуктах и модельных средах при тестировании алюминиевой фольги для пищевой упаковки. Проведена оценка адекватности применения методов количественного химического анализа уровня содержания алюминия в модельных средах и пищевых продуктах при тестировании бытовой фольги, указанных в различных нормативно-методических документах. Осуществлён эксперимент по изучению уровней содержания алюминия в модельных средах и непосредственно в пищевых продуктах.

Результаты. Установлено, что регламентированные модельные среды не в полной мере учитывают особенности применения алюминиевой фольги в качестве пищевой упаковки, например, режимы использования алюминиевой фольги в условиях повышенных температур.

Заключение. Действующей нормативно-методической базе требуется усовершенствование, целесообразна разработка специальной методики тестирования алюминиевой фольги для бытовых целей с описанием температурно-временных режимов и условий имитации процесса запекания пищевых продуктов.

К л ю ч е в ы е с л о в а : алюминиевая фольга бытового назначения; пищевая упаковка; модельные среды.

Для цитирования: Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Уланова Т.С., Стенно Е.В., Вейхман Г.А. Выбор модельных сред для тестирования алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевых продуктов. Гигиена и санитария. 2020; 99 (11): 1280-1287. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1280-1287>

Для корреспонденции: Редько Светлана Валентиновна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаборатории методов анализа внешнесредовых рисков ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 614045, Пермь. E-mail: redkosv@fcrisk.ru

Благодарность. Авторский коллектив выражает благодарность Акционерному обществу «РУСАЛ САЯНАЛ» и лично директору направления (бизнес фольги, ленты и упаковочных материалов) АО «РУССКИЙ АЛЮМИНИЙ Менеджмент» Агафонову А.Г.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках внебюджетного сотрудничества и при финансовой поддержке Акционерного общества «РУСАЛ САЯНАЛ».

Участие авторов: Зайцева Н.В., Шур П.З., Уланова Т.С. – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Редько С.В., Стенно Е.В., Вейхман Г.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста.

Поступила 15.07.2020
Принята к печати 05.11.2020
Опубликована 22.12.2020

Nina V. Zaitseva, Pavel Z. Shur, Svetlana V. Redko, Tatyana S. Ulanova, Elena V. Stenno, Galina A. Vejzman

Selection of food simulators for testing aluminum foil as a food packaging

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. The wide distribution of aluminum foil in the consumer market and its active use in the home as a packaging material determine this study's relevance. Because health risks associated with aluminum's chronic consumption are still poorly understood, aluminum intake with food is potentially unsafe for health. In this regard, it is relevant to investigate the conformity of methods and food simulators to the tasks of testing aluminum foil for its safe use as food packaging. The aim of the study is to improve methodological approaches to the selection of food simulators for testing aluminum foil as packaging for food products.

Material and methods. The study approach and critical analysis of the domestic and foreign regulatory framework and relevant scientific sources were applied to methodological approaches to study the level of aluminum content in food products and food simulators when testing aluminum foil for food packaging. The adequacy of the application of the methods of quantitative chemical analysis of the aluminum content in food simulators and food products was evaluated in testing household foil, indicated in various regulatory and methodological documents. An experiment was carried out to study the levels of aluminum in simulating media and directly in food.

Results. The regulated food simulators do not fully consider the features of the use of aluminum foil as food packaging, for example, the modes of using aluminum foil at elevated temperatures.

Conclusion. The current regulatory and methodological framework requires improvement. It is advisable to develop a special method for testing aluminum foil for household purposes with a description of temperature and time modes and conditions for simulating the process of baking food products.

Key words: aluminum foil for domestic use; food packaging; food simulators

For citation: Zaitseva N.V., Shur P.Z., Redko S.V., Ulanova T.S., Stenno E.V., Vejhmán G.A. Selection of simulating media for testing aluminum foil as food packaging. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (11): 1280-1287. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1280-1287> (In Russ.)

For correspondence: Svetlana V. Redko, Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Environmental Risk Analysis Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: redkovs@fcrisk.ru

Information about the authors:

Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>; Shur P.Z., <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105>; Redko S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2736-5013>; Ulanova T.S., <https://orcid.org/0000-0002-9238-5598>; Stenno E.V., <https://orcid.org/0000-0001-5772-2379>; Veikhman G.A., <https://orcid.org/0000-0002-8490-7624>

Gratitude. The authors team is grateful to RUSAL SAYANAL joint-Stock company and personally to Agafonov A.G., Director of the business of foil, tape and packaging materials division of RUSSIAN ALUMINUM Management JSC.

Acknowledgment. The research work was carried out as part of off-budget cooperation and with the financial support of Open Joint Stock Company «RUSAL SAYANAL».

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Contribution: Zaitseva N.V., Shur P.Z., Ulanova T.S. – 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; Redko S.V., Stenno E.V., Vejhmán G.A. – collection and processing of material, statistical processing, writing text.

Received: July 15, 2020

Accepted: November 05, 2020

Published: December 22, 2020

Введение

В разных странах мира система применения изделий и материалов, используемых в качестве пищевой упаковки, включает множество компонентов государственного регулирования: формулирование общих требований безопасности в соответствии с надлежащей практикой [1, 2], создание «положительных» списков разрешённых к использованию материалов и пр. [3, 4]. Общие требования безопасности вводят запрет на миграцию веществ, в результате которой может быть нанесён ущерб здоровью человека или происходит существенное (неприемлемое) изменение состава, вкуса, запаха пищевых продуктов. В настоящее время наиболее востребованным упаковочным материалом является алюминиевая фольга. Обладая высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками, алюминиевая фольга обеспечивает возможность её использования для упаковки многих видов продукции [5–7]. К настоящему времени выявлены разного рода токсические эффекты воздействия алюминия на организм, которые обуславливают риск развития различных заболеваний [8, 9]. Известно, что уровень поступления алюминия в организм человека с пищевыми продуктами невысокий, однако международные эксперты считают, что риски для здоровья при хроническом поступлении этого элемента в организм человека недостаточно изучены, поэтому поступление алюминия с пищей потенциально небезопасно для здоровья [10, 11]. Резолюцией Совета Европы № CM/Res (2013)9¹ установлено предельное значение выделения алюминия из пищевой упаковки в пищевые продукты или их имитаторы (модельные среды) SRL (specific release limit) на уровне 5 мг/кг продукта.

Уровень миграции алюминия из пищевой упаковки и его содержание в пищевых продуктах или модельных средах, имитирующих таковые, зависит от нескольких факторов: продолжительность времени контакта, химический состав продукции (водородный показатель (рН)). Кроме того, увеличение температуры кулинарной обработки повышает уровень миграции, а значит, чрезмерное потребление продуктов, запечённых в алюминиевой фольге, представляет определённый риск для здоровья [12, 13]. В Резолюции Совета Европы № CM/Res (2013)9 указывается, что при исследовании металлов модельные среды строго соотносятся с типом пищевых продуктов, контактирующих с пищевой

упаковкой. Например, для пищевых продуктов на основе воды, спирта или жира предлагается использование искусственной (подготовленной) водопроводной воды в качестве модельной среды, тогда как для кислых пищевых продуктов (рН ≤ 4,5) необходимо выбрать для испытаний лимонную кислоту. В отношении фольги алюминиевой для запекания допускается проводить лабораторные испытания с применением в качестве модельной среды водопроводной воды в режиме 2 ч при 100 °С.

В странах – членах Евразийского экономического союза (ЕАЭС) безопасность жизни и здоровья потребителей при использовании алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевой продукции обеспечивается положениями ТР ТС 005/2011². В то же время перечень модельных сред, изложенных в ТР ТС 005/2011, не учитывает особенностей тестирования алюминиевой фольги в качестве пищевой упаковки и не отражает необходимость особых температурно-временных режимов тестирования фольги, хотя запекание в фольге как способ кулинарной обработки достаточно распространён [14].

В Российской Федерации и на территории стран ЕАЭС для идентификации и количественных характеристик присутствия алюминия в продуктах питания или модельных средах используется совокупность методов санитарно-химического анализа с привлечением зарубежных регулирующих источников и российской нормативно-методической документации, которая, однако, не содержит специальных указаний для тестирования алюминиевой фольги: ТР ТС 005/2011, гигиенические нормативы ГН 2.3.3.972-00³; ГОСТ 18165-2014⁴; ГОСТ 31870-2012⁵; инструкция 2.3.3.10-15-64-2005⁶. В этих условиях важной задачей является гармонизация законодательной практики [15, 16] и методической базы Российской Федерации и стран ЕАЭС с международными стандартами. Вместе с тем построение системы мониторинга безопасности пищевой продукции, сырья и упаковки при определе-

² ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» (утверждён Решением Комиссии Таможенного союза от 16.08.2011 г. № 769).

³ Гигиенические нормативы ГН 2.3.3.972-00 «Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами».

⁴ ГОСТ 18165-2014 «Вода. Методы определения содержания алюминия».

⁵ ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии».

⁶ Инструкция 2.3.3.10-15-64-2005 «Санитарно-химические исследования изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, контактирующих с пищевыми продуктами».

¹ Резолюция Совета Европы № CM/Res (2013)9. Resolution CM/Res (2013)9 «Metals and alloys used in food contact materials and articles: A practical guide for manufacturers and regulators».

нии запрещённых и ненормируемых веществ невозможно без внедрения современных, усовершенствованных химико-аналитических средств [17] и требует строжайшего контроля чистоты лабораторных исследований [18]. В этой связи актуальным представляется совершенствование методических подходов к исследованию алюминиевой фольги в качестве материала для упаковок пищевых продуктов.

Цель — совершенствование методических подходов к выбору модельных сред для тестирования алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевых продуктов.

Материал и методы

Применён метод изучения и критического анализа отечественной и зарубежной нормативной базы, а также релевантных научных источников в отношении методических подходов к изучению уровня содержания алюминия в пищевых продуктах и модельных средах при тестировании алюминиевой фольги для пищевой упаковки. Проведена оценка адекватности применения методов количественного химического анализа уровня миграции алюминия из пищевой упаковки, указанных в различных нормативно-методических документах. С целью изучения соответствия методик и модельных сред задачам тестирования алюминиевой фольги для её безопасного применения в качестве упаковки пищевых продуктов осуществлён эксперимент по изучению уровней содержания алюминия в модельных средах и пищевых продуктах. Исследования выполнены на базе аккредитованной лаборатории методов атомно-абсорбционного и электрохимического анализа отдела химико-аналитических методов исследования ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН». Объектами исследования являлись 85 проб модельных сред, 115 проб продуктов. Всего выполнен анализ 245 проб (464 экспериментальных образца).

Измерение содержания алюминия в растворах модельных сред осуществляли после контакта с фольгой и без фольги. Содержание алюминия в модельной среде определяли как разницу между этими пробами, выраженную в мг/дм³ (мг/л). Поскольку миграция алюминия предположительно осуществляется с обеих поверхностей образца, полученный уровень содержания алюминия считали целесообразным делить на 2. Использована действующая нормативно-техническая документация: НСАМ № 480-Х⁷; ГОСТ Р 53150-2008⁸; ГОСТ Р ИСО 6486-1-2007⁹; МУК 4.1.3480-17¹⁰; FDA «Elemental Analysis Manual for Food and Related products Analytical Methods 4.7 ICP-MS Multi-element in Food (Ver. 1.0; 2013)»¹¹; Resolution CM/Res (2013)9.

Для эксперимента использовали образцы алюминиевой фольги толщиной 0,009 мм из алюминиевого сплава 8011. Измерение содержания алюминия проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с октопольной ячейкой на масс-спектрометре Agilent 7500cx с применением внутреннего стандарта ⁷²Ge. Эксперимент проведён с применением модельных сред и условий, регламентированных приложением № 2 ТР ТС 005/2011, Резолюцией Совета Европы № CM/Res (2013)9 и методикой, изложенной в инструкции 2.3.3.10-15-64-2005. Согласно указанным документам, соотношение площади образца фольги к объёму

модельной среды должно составлять 2:1, поэтому образцы фольги площадью 20 см² (4 × 5 см) выдерживали в 10 см³ модельной среды. Для учёта уровня содержания алюминия в пищевом продукте образец продукта помещали в фольгу размером 15 × 15 см, соблюдая аналогичное соотношение к площади продукта 2:1.

При использовании в качестве модельной среды дистиллированной воды выполняли прямое определение без пробоподготовки. Погрешность результатов определения содержания алюминия в пробах дистиллированной воды соответствует методике НСАМ № 480-Х. Погрешность определения содержания алюминия в пробах других модельных сред рассчитана по результатам измерения аттестованных растворов стандартного образца с концентрацией алюминия 0,01 мг/дм³. В качестве исходного раствора использовали ГСО 7758-2000 с концентрацией ионов алюминия 1 г/дм³.

При изучении условий, предполагающих нагревание образца, эксперимент, проведённый в соответствии приложением 2 «Температурный режим при исследовании упаковки (укупорочных средств)» ТР ТС 005/2011, заключался в следующем: раствор нагревали до температуры, указанной в табл. 1, затем этим раствором заливали образец фольги и выдерживали при комнатной температуре в течение регламентированного времени (табл. 1).

Изучение выделения химических веществ из пищевой упаковки в реальные пищевые продукты не всегда осуществимо, поэтому на первом этапе эксперимента уровень содержания алюминия при выделении из пищевой упаковки осуществляли на модельных средах, которые обладают определёнными общими характеристиками с одним или несколькими типами пищевых продуктов. На практике могут смешиваться различные типы пищевых продуктов, например, липофильные и кислые. В этой связи с учётом действующей нормативной базы, принципа создания условий, максимально приближенных к режимам эксплуатации с некоторой аггравацией, и для достижения сопоставимости результатов испытания проводили в стандартизированных условиях, включая время тестирования, температуру, представляющие наихудшие прогнозируемые условия использования того или иного материала или изделия, контактирующего с пищей.

Для подготовки проб пищевых продуктов и растительного масла подобраны условия их минерализации с использованием микроволновой системы Berghof. Образец продукта измельчали, перемешивали, затем отбирали аликвоту образца и подвергали минерализации в микроволновой системе. Для минерализации проб мяса, рыбы, курицы, колбасных изделий к навеске образца 0,8–1,2 г, помещённого в тефлоновые сосуды, добавляли 10 см³ концентрированной азотной кислоты и проводили минерализацию при давлении 40 бар и температуре 170 °С – 5 мин, 200 °С – 20 мин, разбавляли полученные растворы дистиллированной водой и проводили измерение на масс-спектрометре.

Для минерализации проб овощей к навеске образца 0,5–0,8 г, помещённого в тефлоновые сосуды микроволновой системы, добавляли 1 см³ перекиси водорода, 6 см³ концентрированной азотной кислоты и проводили минерализацию при давлении 40 бар и температуре 170 °С – 10 мин, 200 °С – 15 мин, разбавляли полученные растворы дистиллированной водой и проводили измерение на масс-спектрометре. Правильность результатов подтверждена анализом аттестованного референтного материала SRM 1573a (Tomato Leaves).

При минерализации сыра, сливочного масла к навеске пробы 0,5–0,55 г добавляли 0,5 см³ воды дистиллированной, 3,5 см³ перекиси водорода, 6 см³ концентрированной азотной кислоты и проводили минерализацию при давлении 40 бар и температуре 145 °С 5 мин, 170 °С 10 мин, 190 °С 10 мин, разбавляли полученные растворы дистиллированной водой и проводили измерение на масс-спектрометре.

⁷ НСАМ № 480-Х «Определение элементного состава природных и питьевых вод методом ICP MS».

⁸ ГОСТ Р 53150-2008 «Определение следовых элементов. Подготовка проб методом минерализации при повышенном давлении».

⁹ ГОСТ Р ИСО 6486-1-2007 «Посуда керамическая, стеклокерамическая и стеклянная столовая, используемая в контакте с пищей. Выделение свинца и кадмия».

¹⁰ МУК 4.1.3480-17 «Измерение массовых концентраций химических элементов (кадмий, свинец, мышьяк, ртуть) в молоке и молочных продуктах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой».

¹¹ FDA «Elemental Analysis Manual for Food and Related products Analytical Methods 4.7 ICP-MS Multi-element in Food (Ver. 1.0; 2013)».

Уровень содержания алюминия в продуктах рассчитывали как разницу между пробами, контактировавшими с фольгой, и пробами без контакта, выраженную в мг/кг. Проверку правильности результатов измерений проводили с использованием стандартных образцов с матрицей пищевых продуктов. Для оценки достоверности полученных результатов применяли *t*-критерий Стьюдента, статистически значимыми считали различия при уровне $p \leq 0,05$. Обработку результатов исследований осуществляли с применением статистических методов (Statistica 6.0).

Результаты

Проведённый анализ отечественной и зарубежной нормативной базы, а также релевантных научных источников позволил выполнить сравнительную характеристику отечественных и европейских методических подходов к тестированию алюминиевой фольги при исследовании миграции алюминия из упаковки в пищевые продукты (см. табл. 1).

В ходе эксперимента по изучению уровней содержания алюминия в модельных средах установлено, что оптимальным

Таблица 1

Сравнительная характеристика методик и модельных сред в отношении методических подходов к тестированию алюминиевой фольги при исследовании миграции алюминия из упаковки в пищевые продукты

Документ	Пищевая продукция, подвергаемой упаковке	Образцы продуктов или модельных сред	Размер образца фольги	Хранение и температурный режим испытаний	Метод определения
ТР ТС 005/2011: металлическая, в том числе алюминий первичный; сплавы алюминия деформируемые; полимерная; бумажная и картонная; стеклянная; деревянная; из комбинированных материалов; из текстильных материалов; керамическая. Инструкция 2.3.3.10-15-64-2005 для синтетических и полимерных материалов	Мясо и рыба свежие	Дистиллированная вода, 0,3% раствор молочной кислоты	4 × 5 см ²	20 °С – 1 сут 20 °С – 3 сут 20 °С – 10 сут 80 °С – 1 сут при 20 °С	ГОСТ 31870-2012 Метод 1 – атомно-абсорбционной спектроскопия с электротермической атомизацией (диапазон 0,01–0,1 мг/дм ³ , точность 40%, воспроизводимость 52%). Метод 2 – атомно-эмиссионная спектроскопия (диапазон 0,01–50 мг/дм ³ , точность 16–32%, воспроизводимость 21–42%)
	Мясо и рыба солёные и копчёные	Дистиллированная вода, 5% раствор поваренной соли			
	Молоко, молочнокислые продукты и молочные консервы	Дистиллированная вода, 0,3% раствор молочной кислоты, 3% раствор молочной кислоты			
	Колбаса варёная; консервы: мясные, рыбные, овощные; овощи маринованные и квашеные, томат-паста и др.	Дистиллированная вода, 2% раствор уксусной кислоты, содержащей 2% поваренной соли; нерафинированное подсолнечное масло			
	Фрукты, ягоды, фруктово-овощные соки, консервы фруктово-ягодные, безалкогольные напитки, пиво	Дистиллированная вода, 2% раствор лимонной кислоты			
	Алкогольные напитки, вина	Дистиллированная вода, 20% раствор этилового спирта, 2% раствор лимонной кислоты			
	Водки, коньяки	Дистиллированная вода, 40% раствор этилового спирта			
Спирт пищевой, ликёры, ром	Дистиллированная вода, 96% раствор этилового спирта				
Рыбные консервы в собственном соку	Дистиллированная вода				
Практическое руководство по металлам и сплавам, используемым в материалах и изделиях, контактирующих с пищевыми продуктами (Resolution CM/Res (2013)9)	Влажная, алкогольсодержащая или жирная пища	Искусственная водопроводная вода DIN 10531	Площадь образца 1 дм ² ± 1 мм. При определении нормированного значения выделения учитывается только поверхность контакта с пищевыми продуктами. Участки режущих кромок учитываются, если толщина превышает 2 мм	Для фольги для выпечки испытания проводятся в течение 2 ч при 100 °С	GF-AAS атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией. ICP-AES атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. ICP-OES оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой; ICP MS масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Предел обнаружения (LOD) < 1/10 SRL. Предел квантификации (LOQ) < 1/5 SRL

является соотношением аналитического образца фольги площадью $4 \times 5 \text{ см}^2$ к объёму модельной среды (в см^3) как 2:1. Для решения проблемы адекватности применения модельных сред, рекомендованных ТР ТС 005/2011, для тестирования алюминиевой фольги эксперимент проведён с применением перечня модельных сред: дистиллированная вода, 10% этиловый спирт, 3% раствор уксусной кислоты, 0,3% раствор молочной кислоты, 3% раствор молочной кислоты, 2% раствор лимонной кислоты, 5% раствор поваренной соли, масло подсолнечное нерафинированное, 2% раствор уксусной кислоты, содержащей 2% поваренной соли.

По результатам эксперимента установлено, что концентрация алюминия в дистиллированной воде после экспозиции фольги от 2 ч до 3 сут при различных температурных режимах от 9 до 100 °С составила от $0,024 \pm 0,004$ до $0,031 \pm 0,005 \text{ мг/дм}^3$. Равнозначные результаты получены при тестировании фольги с другими модельными средами (10% этиловый спирт, 5% раствор поваренной соли, масло подсолнечное нерафинированное). Концентрация алюминия при испытании фольги с 2% раствором лимонной кислоты и с 5% раствором поваренной соли при нагревании до 80 °С составила $0,526 \pm 0,105$ и $0,543 \pm 0,109 \text{ мг/дм}^3$ соответственно, при этом концентрация алюминия при испытании фольги в модельной среде с 2% раствором уксусной кислоты, содержащим 2% поваренной соли, составила $65,67 \pm 13,15 \text{ мг/дм}^3$. Вместе с тем содержание алюминия в модельных средах с уксусной, молочной, лимонной кисло-

тами, а также с 2% раствором уксусной кислоты, содержащим 2% поваренной соли, оказалось достоверно выше, чем в других модельных средах ($p \leq 0,05$).

Для исследования уровней содержания алюминия непосредственно в пищевых продуктах при тестировании алюминиевой фольги отобраны образцы продукции мясной, молочной, рыбной промышленности, а также растениеводства, подвергавшиеся в ходе эксперимента температурной обработке в виде запекания. Во всех пищевых продуктах после экспозиции при определённых температурно-временных параметрах (3 сут и + 9 °С, 3 сут и + 23 °С) до контакта с фольгой выявлено содержание алюминия, по-видимому, включающее естественное природное содержание алюминия в продуктах [19, 20]. В отечественной нормативно-методической документации отсутствуют указания на необходимость тестировать алюминиевую фольгу с применением температурных режимов, имитирующих процесс запекания. В этой связи проведены экспериментальные исследования пищевых продуктов в условиях, имитирующих процесс запекания в фольге, и в результате установлено, что в 85,7% проб наблюдалось повышенное по сравнению с исходным (без контакта с фольгой) содержание алюминия. Для оценки результатов эксперимента путём сопоставления значения концентрации алюминия в модельной среде и уровня содержания алюминия в пищевом продукте рассчитан уровень содержания алюминия в модельных средах и пищевых продуктах, высвобождаемого с 1 см^2 алюминиевой фольги (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение количества алюминия (мкг) в модельных средах и пищевых продуктах, высвобождаемого с 1 см^2 алюминиевой фольги

Продукт	Модельная среда / пищевой продукт	Условия эксперимента		Количество алюминия (мкг) в модельных средах и пищевых продуктах, высвобождаемого с 1 см^2 алюминиевой фольги
		время	температура, °С	
Мясо свежее	0,3% раствор молочной кислоты	3 сут	2–8	$0,08 \pm 0,016$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Эскалоп из свинины			$0,007 \pm 0,0017$
Курица свежая	0,3% раствор молочной кислоты	3 сут	2–8	$0,08 \pm 0,016$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Филе куриное			$0,001 \pm 0,0003$
Колбаса варёная	2% раствор уксусной кислоты, содержащей 2% поваренной соли	3 сут	2–8	$16,45 \pm 3,3$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Масло подсолнечное нерафинированное			$0,0014 \pm 0,0004$
	Колбаса «Молочная»			< 0,0004 (НПО – нижний предел определения)
Сардельки	2% раствор уксусной кислоты, содержащей 2% поваренной соли	3 сут	2–8	$16,45 \pm 3,3$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Масло подсолнечное нерафинированное			$0,0014 \pm 0,0004$
	Сардельки «Татарские»			$0,0004 \pm 0,0001$
Курица копчёная	5% раствор поваренной соли	3 сут	2–8	$0,019 \pm 0,004$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Грудка куриная копченая			$0,004 \pm 0,001$
Мясо копчёное	5% раствор поваренной соли	3 сут	2–8	$0,019 \pm 0,004$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Мясо «Говядина копчёная»			$0,0045 \pm 0,0012$
Рыба копчёная	5% раствор поваренной соли	3 сут	2–8	$0,019 \pm 0,004$
	Вода дистиллированная			$0,008 \pm 0,0012$
	Скумбрия копчёная			$0,0004 \pm 0,0001$

Окончание таблицы на стр. 1285.

Окончание таблицы 2. Начало на стр. 1284.

Продукт	Модельная среда / пищевой продукт	Условия эксперимента		Количество алюминия (мкг) в модельных средах и пищевых продуктах, высвобождаемого с 1 см ² алюминиевой фольги
		время	температура, °С	
Сыр	3% раствор молочной кислоты	3 сут	2–8	0,078 ± 0,016
	Вода дистиллированная			0,008 ± 0,0012
	Сыр «Голландский»			0,0005 ± 0,00013
Масло сливочное	3% раствор молочной кислоты	3 сут	2–8	0,078 ± 0,016
	Вода дистиллированная			0,008 ± 0,0012
	Масло сливочное «Крестьянское»			0,0003 ± 0,00008
Рыба жирных сортов солёная	5% раствор поваренной соли	3 сут	2–8	0,019 ± 0,004
	Вода дистиллированная			0,008 ± 0,0012
	Сельдь слабосолёная, филе			0,0020 ± 0,0005
Мясо запечённое	5% раствор поваренной соли	1 сут	80	0,028 ± 0,006
	3% раствор уксусной кислоты	4 ч	100	0,072 ± 0,014
	10% этиловый спирт	4 ч	100	0,004 ± 0,0008
	Масло подсолнечное нерафинированное	2 ч	175	< 0,0004
	Вода дистиллированная	1 сут	80	0,004 ± 0,0006
	Вода дистиллированная	2 ч	100	0,006 ± 0,001
	Мясо запечённое	2 ч	175	0,0048 ± 0,0012
Курица запечённая	5% раствор поваренной соли	1 сут	80	0,028 ± 0,006
	3% раствор уксусной кислоты	4 ч	100	0,072 ± 0,014
	Вода дистиллированная	1 сут	80	0,004 ± 0,0006
	Вода дистиллированная	2 ч	100	0,006 ± 0,001
	Масло подсолнечное нерафинированное	2 ч	175	< 0,0004
	курица запечённая	2 ч	175	0,0050 ± 0,0013
Овощи запечённые	2% раствор лимонной кислоты	1 сут	80	0,09 ± 0,018
	3% раствор уксусной кислоты	4 ч	100	0,072 ± 0,014
	10% этиловый спирт	4 ч	100	0,004 ± 0,0008
	Вода дистиллированная	1 сут	80	0,004 ± 0,0006
	Вода дистиллированная	2 ч	100	0,006 ± 0,001
	Масло подсолнечное нерафинированное	12 ч	175	< 0,0004
	Помидоры	2 ч	175	0,145 ± 0,038
Овощи запечённые	2% раствор лимонной кислоты	1 сут	80	0,09 ± 0,018
	3% раствор уксусной кислоты	4 ч	100	0,072 ± 0,014
	10% этиловый спирт	4 ч	100	0,004 ± 0,0008
	Масло подсолнечное нерафинированное	2 ч	175	< 0,0004
	Вода дистиллированная	1 сут	80	0,004 ± 0,0006
	Вода дистиллированная	2 ч	100	0,006 ± 0,001
	Баклажаны	2 ч	175	< 0,0004

В ходе эксперимента установлено, что уровень содержания алюминия, высвобождаемого с 1 см² алюминиевой фольги, контактирующей с пищевым продуктом или модельной средой, в пробах продуктов, в том числе после запекания, ниже, чем концентрация алюминия в большинстве модельных сред (0,3% раствор молочной кислоты; 5% раствор поваренной соли; 3% раствор молочной кислоты; 2% раствор лимонной кислоты; 10% этиловый спирт), и сопоставима с концентрацией алюминия в дистиллированной воде и нерафинированном подсолнечном масле. Следует отметить, что в условиях проведённого эксперимента не происходило визуальных изменений (разрушение, коррозия) образцов фольги.

Обсуждение

Сравнительная оценка результатов эксперимента тестирования фольги с модельными средами и пищевыми продуктами показала, что для тестирования алюминиевой фольги

оптимальной модельной средой является дистиллированная вода, поскольку концентрация алюминия в дистиллированной воде является наиболее близкой по значению к уровню содержания алюминия в подавляющем большинстве исследованных пищевых продуктов. По результатам экспериментальных исследований алюминиевой фольги предложен рекомендуемый перечень модельных сред и пищевых продуктов для тестирования алюминиевой фольги в качестве потребительской упаковки (табл. 3).

Установлено, что воздействие повышенных температур при запекании в фольге пищевого продукта с повышенной кислотностью способствует увеличению в нём уровня содержания алюминия. В этой связи при наличии маркировки производителя, не допускающей использование алюминиевой фольги для целей запекания кислых продуктов, применение кислых модельных сред для тестирования фольги не требуется. Вместе с тем установлено, что для тестирования фольги применяется совокупность методик, в которых

Рекомендуемый перечень модельных сред и пищевых продуктов при тестировании алюминиевой фольги для упаковки пищевых продуктов

Тип пищевой продукции, для контакта с которой предназначена алюминиевая фольга	Рекомендуемая модельная среда	Рекомендуемые условия тестирования	
		время	температура, °С
Мясо и курица свежие	Вода дистиллированная	3 сут	2–8
Мясо, курица копчёные; рыба соленая, копчёная	Вода дистиллированная	3 сут	2–8
Молочные продукты (сыр, масло сливочное)	Вода дистиллированная	3 сут	2–8
Колбаса вареная, сардельки	Масло подсолнечное нерафинированное, вода дистиллированная	3 сут	2–8
При запекании: Мясо и курица свежие	Вода дистиллированная	1 сут	80
Овощи:			
помидоры	2% раствор лимонной кислоты	1 сут	80
баклажаны	Масло подсолнечное нерафинированное, вода дистиллированная	2 ч 1 сут	175 80

не приведены указания, что эксперимент по выявлению миграции алюминия в модельные среды должен проводиться в условиях «чистой комнаты»; унифицированные требования к пробоподготовке и степени очистки дистиллированной воды, используемой для проведения эксперимента; указание на необходимость проведения «холодого опыта» и использования в эксперименте контрольного образца с аттестованным содержанием алюминия; стандартизированные требования к площади аналитического образца и количеству модельной среды.

Заключение

Совокупность методик, применяемых для санитарно-химических исследований, контактирующих с пищевыми продуктами, оправданно используется и для тестирования алюминиевой фольги бытового назначения в качестве упаковки пищевых продуктов. Вместе с тем анализ

методических подходов к выбору модельных сред для тестирования алюминиевой фольги и собственные экспериментальные исследования показали, что особенности применения алюминиевой фольги в качестве пищевой упаковки, например, режимы её использования в условиях повышенных температур, учитываются не в полной мере. Это позволило сформулировать вывод о целесообразности усовершенствования действующей нормативно-методической базы. Целью научно-методической разработки должна стать специальная консолидированная методика, учитывающая особенности миграции алюминия из фольги при её тестировании в качестве пищевой упаковки с описанием температурно-временных режимов и условий имитации процесса запекания. В дальнейших научных исследованиях необходимо определить максимально допустимые уровни содержания алюминия в пищевых продуктах при тестировании алюминиевой фольги в качестве пищевой упаковки.

Литература

(п.п. 1–4, 10, 11, 13, 14, 18–20 см. References)

<p>5. Вологжанина С.А., Иголкин А.Ф. <i>Упаковочные материалы в пищевых отраслях: Учебно-методическое пособие</i>. СПб.; 2015.</p> <p>6. Кузнецов И.А., Секачев М.В. Продовольственная безопасность и алюминиевая упаковка. <i>Молодежь и наука</i>. 2013; (1): 23–8.</p> <p>7. Шайбакова Ю.А. Кашированная фольга как современный упаковочный материал. <i>Молодой ученый</i>. 2015; (5): 201–4.</p> <p>8. Багрянцева О.В., Шатров Г.Н., Хотимченко С.А., Бессонов В.В., Арнаут-ов О.В. Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктам. <i>Анализ риска здоровью</i>. 2016; (1): 59–68.</p> <p>9. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы. <i>Экологическая химия</i>. 2012; 21(3): 168–72.</p> <p>12. Тиссен О. Упаковка для пищевой продукции должна быть безвредной. <i>Стандарты и качество</i>. 2011; (10): 84–5.</p>	<p>15. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.04.2012 г. № 559-р. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года. Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70067828/</p> <p>16. Зайцева Н.В., Шур П.З., Орлов М.С., Редько С.В., Фокин В.А., Уланова Т.С. и соавт. Анализ нормативной базы и методологических проблем тестирования фольги бытового назначения в отношении величины миграции алюминия в пищевые продукты. <i>Здоровье населения и среда обитания</i>. 2019; (6): 49–54. https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-315-6-49-54</p> <p>17. Лаврухина О.И., Амелин В.Г., Прохвятилова Л.Б., Ручнова О.И. Риски загрязнения пищевых продуктов на различных стадиях их производства. <i>Ветеринария сегодня</i>. 2017; (3): 33–9.</p>
--	---

References

<p>1. Electronic Code of Federal Regulations. Title 21. Chapter I. Subchapter B. Part 182. Substances generally recognized as safe. Available at: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title21/21cfrv3_02.tpl</p> <p>2. Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. <i>OJEU</i>. 2011; 54(12/1): 131–2.</p> <p>3. Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. <i>OJEU</i>. 2011; 54(12/1): 132.</p>	<p>4. France Ceramic Food Contact Articles Recently Recalled for Aluminium, Cobalt and Arsenic Content. Available at: https://www.intertek.com/consumer/insight-bulletins/ceramic-food-contact-articles-recently-recalled/</p> <p>5. Vologzhanina S.A., Igolkin A.F. <i>Packaging Materials in the Food Industry: Educational and Methodical Manual [Upakovochnye materialy v pishchevykh otraslyakh: Uchebno-metodicheskoe posobie]</i>. St. Petersburg; 2015. (in Russian)</p> <p>6. Kuznetsov I.A., Sekachev M.V. The issue of food security and aluminum packaging. <i>Molodezh' i nauka</i>. 2013; (1): 23–8. (in Russian)</p>
---	--

7. Shaybakova Yu.A. Laminated foil as a modern packaging material. *Molodoy uchenyy*. 2015; (5): 201–4. (in Russian)
8. Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Bessonov V.V., Arnautov O.V. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (1): 59–68. (in Russian)
9. Shugaley I.V., Garabadzhiu A.V., Ilyushin M.A., Sudarikov A.M. Some aspects of effect of aluminium and its compounds on living organisms. *Ekologicheskaya khimiya*. 2012; 21(3): 168–72. (in Russian)
10. Risk Assessment. Studies Report No. 35. Chemical Hazard Evaluation. Aluminium in food. Available at: <https://docplayer.net/20770487-Risk-assessment-studies-report-no-35-chemical-hazard-evaluation-aluminium-in-food.html>
11. Stahl T., Falk S., Rohrbeck A., Georgii S., Herzog C., Wiegand A., et al. Migration of aluminum from food contact materials to food – a health risk for consumers? Part II of III: migration of aluminum from drinking bottles and moka pots made of aluminum to beverages. *Environ. Sci. Eur.* 2017; 29(1): 18. <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0118-9>
12. Tissen O. Food packaging must be harmless. *Standarty i kachestvo*. 2011; (10): 84–5. (in Russian)
13. Stahl T., Falk S., Rohrbeck A., Georgii S., Herzog C., Wiegand A., et al. Migration of aluminum from food contact materials to food – a health risk for consumers? Part III of III: migration of aluminum to food from camping dishes and utensils made of aluminum. *Environ. Sci. Eur.* 2017; 29(1): 17. <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0117-x>
14. Bassioni G., Mohammed S., Zubaidy E., Kobrsi I. Risk assessment of using aluminum foil in food preparation. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2012; 7(5): 4498–509.
15. Order of the Government of the Russian Federation of April 17, 2012 № 559-r. The development strategy of the food and processing industry of the Russian Federation for the period until 2020. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70067828/> (in Russian)
16. Zaytseva N.V., Shur P.Z., Orlov M.S., Red'ko S.V., Fokin V.A., Ulanova T.S., et al. Analysis of the regulatory framework and methodological problems of household foil testing with regard to the amount of aluminum migration into food products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; (6): 49–54. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-315-6-49-54> (in Russian)
17. Lavrukhina O.I., Amelin V.G., Prokhvatilova L.B., Ruchnova O.I. Food product contamination risks at different stages of production. *Veterinariya segodnya*. 2017; (3): 33–9. (in Russian)
18. Department of Health & Human Services FDA U.S. Elemental Analysis Manual for Food and Related Products. Available at: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/elemental-analysis-manual-eam-food-and-related-products>
19. Aguilar F., Autrup H., Barlow S., Castle L., Crebelli R., Dekant W., et al. Safety of aluminium from dietary intake. Scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials. *EFSA J.* 2008; 754: 1–34.
20. Stahl T., Falk S., Taschan H., Boschek B., Brunn H. Evaluation of human exposure to aluminum from food and food contact materials. *Eur. Food Res. Technol.* 2018; 244(12): 2077–84.