

ПРАКТИКА ОЦЕНКИ РИСКА В ГИГИЕНИЧЕСКИХ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 614.31

АЛЮМИНИЙ: ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ С ПИЩЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ

О.В. Багрянцева¹, Г.Н. Шатров¹, С.А. Хотимченко¹, В.В. Бессонов¹, О.В. Арнаутов²

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт питания», Россия, 109240, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14

²Департамент санитарных, фитосанитарных и ветеринарных мер Евразийской экономической комиссии, Россия, 119121, г. Москва, Смоленский бульвар, 3/5, стр. 1

Алюминий – самый распространенный металл в литосфере, составляющий 8 % земной коры. Алюминий попадает в пищу из различных объектов окружающей среды – воды, контактирующих с пищей материалов (упаковочные материалы, посуда для приготовления пищи), алюминийсодержащих пищевых добавок. В необработанных пищевых продуктах содержание алюминия составляет менее 5–7 мг/кг продукта.

В норме алюминий практически не содержится в организме человека. Однако в последнее десятилетие выявлены различные токсичные эффекты воздействия алюминия на организм человека, которые обуславливают риск развития различных заболеваний.

Анализ имеющихся данных показал, что избыточное поступление алюминия в организм человека с пищевыми продуктами связано, прежде всего, с содержанием в них алюминийсодержащих пищевых добавок, а также с использованием материалов и изделий, изготовленных из алюминия и его сплавов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. Отмечен высокий уровень потребления алюминия детьми всех возрастных категорий. При этом на сегодняшний день для детей условно-переносимый уровень потребления алюминия за неделю (provisional tolerable weekly intake – PTWI) не установлен.

Для снижения негативного воздействия алюминия на организм человека является целесообразным:

– исключить из перечня приложения 2 Технического регламента Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012) пищевые добавки – алюмосиликат калия (E555), бентонит (E558), алюмосиликат натрия (E554), алюмосиликата калия (E555), алюмосиликата кальция (E556), алюмосиликат (каолин) (E559);

– разработать требования относительно содержания алюминия в пищевых продуктах, предназначенных для питания детей;

– получить данные о содержании алюминия в реализуемых на отечественном рынке пищевых продуктах и провести оценку рисков для здоровья потребителей.

Ключевые слова: алюминий, токсичность, оценка рисков, пищевые добавки, пищевые продукты, материалы и изделия, предназначенные для контакта с пищевыми продуктами.

Алюминий – самый распространенный металл в литосфере, составляющий 8 % земной коры. Алюминий попадает в пищу из различных объектов окружающей среды – воды, контактирующих с пищей материалов (упаковка, посуда

и детали оборудования для приготовления пищи), алюминийсодержащих пищевых добавок. В необработанных пищевых продуктах содержание алюминия составляет менее 5–7 мг/кг продукта [6, 33].

© Багрянцева О.В., Шатров Г.Н., Хотимченко С.А., Бессонов В.В., Арнаутов О.В., 2016

Багрянцева Ольга Викторовна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий (e-mail: bagryantseva@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-54-05).

Шатров Геннадий Николаевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий (e-mail: shatrov@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-54-05).

Хотимченко Сергей Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, временный заместитель директора, заведующий лабораторией пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий (e-mail: hotimchenko@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-52-35).

Бессонов Владимир Владимирович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией химии пищевых продуктов (e-mail: bessonov@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-57-36).

Арнаутов Олег Вячеславович – директор Департамента санитарных, фитосанитарных и ветеринарных мер Евразийской экономической комиссии (e-mail: arnautov@eeccommission.org; тел.: 8 (495) 669-25-24).

Следует также отметить факт того, что в норме алюминий практически не содержится в организме человека. Однако в последнее десятилетие выявлены различные токсичные эффекты воздействия алюминия на организм человека, которые обуславливают риск развития различных заболеваний.

Целью данной работы является оценка рисков для здоровья человека алюминия, а также обоснование мер по снижению уровня его потребления в составе пищевых продуктов.

Биодоступность и токсичность алюминия. Соединения алюминия, попадая в кислую среду желудка, могут растворяться. При этом высвобождается свободный ион Al_3^+ . При прохождении через двенадцатиперстную кишку, где pH выше, ионы Al_3^+ осаждаются в виде нерастворимого гидроксида алюминия, большее количество которого выводится с фекалиями [31]. Проведенные на крысах исследования показали, что абсорбция различных соединений алюминия в кишечнике составляла от 0,01 до 0,3 % от потребляемого количества. Отмечена тенденция к большей абсорбции алюминия самками крыс, чем самцами, которая увеличивалась при повторном введении соединений алюминия [11]. В исследовании на добровольцах уровень абсорбции алюминия был подобен таковому у крыс. Степень абсорбции была равна 0,5 % для алюминия цитрата, 0,01 % для гидроксида алюминия и 0,1 % в случае их совместного использования [34]. Отмечается большая способность к аккумуляции алюминия у пожилых людей [5, 11].

Исследования показали, что биодоступность различных соединений алюминия, содержащихся в воде, составляет 0,3 %, в пищевых продуктах – 0,1 %. При уровне потребления алюминия 15 мг/сут с мочой выводится 0,025 мг. При этом только 5 % алюминия аккумулируется тканями организма, около половины этого количества оседает в костной ткани. Алюминий также содержится в коже, в тканях нижнего отдела желудочно-кишечного тракта, лимфоузлах, надпочечниках, парашитовидной железе и большинстве внутренних органов человека. Проведенные на крысах эксперименты показали, что аккумуляция алюминия, поступающего с пищей, намного более выражена в поджелудочной железе, печени, костях и почках, в меньшей степени – в мозге, мышечной ткани, сердце и легких. Имеются сообщения о том, что алюминий может преодолевать плацентарный барьер [5].

В плазме крови 90 % алюминия (Al_3^+) связывается с трансферрином и около 10 % с цитратами. Отмечено, что уровень содержания железа в организме снижается при увеличении концентрации алюминия в тканях. Дефицит кальция и магния способствует накоплению алюминия в тканях мозга и костей [5, 33].

В экспериментах, проведенных на различных животных, средняя летальная доза (LD_{50}) соединений алюминия составила от нескольких сот до 1000 мг/кг массы тела (в пересчете на алюминий). В соответствии с данными различных исследований, наименьшая доза алюминия, вызывающая наблюдаемые негативные явления в организме крыс (LOEL), составляла 75–80 мг/кг массы тела в сутки [5].

Алюминий оказывает негативное влияние на почки (вызывает их гидронефротическую трансформацию, расширение мочевых протоков, затруднение в мочеиспускании и/или образование камней). В соответствии с проведенными недавно *in vitro* экспериментами, он в больших концентрациях оказывает генотоксическое действие на хромосомы бактериальных клеток и клетки теплокровных животных. Установлено, что при введении в высоких дозах ряд соединений алюминия может потенциально оказывать негативное действие на репродуктивную систему собак и обладать нейротоксичностью у мышей и крыс [5, 11, 31].

В экспериментах *in vitro*, проведенных с использованием *Salmonella typhimurium*, возможность оказания мутагенного эффекта при воздействии алюминия не выявлена [9]. Высокие дозы соединений алюминия, вводимые через зонд внутриматочечно, показали возможность развития эмбриотоксического эффекта у мышей и крыс, выражающегося в уменьшении массы плода и веса детенышей при рождении, задержке оксификации костной ткани новорожденных [5, 31]. Исследования, проводимые на самках крыс, получавших хлорид алюминия через зонд, выявили его фетотоксичность [4, 5, 11].

Растворимые соединения алюминия продемонстрировали репродуктивную токсичность. Они могут вызывать гистопатологические изменения в семенниках и отрицательным образом влиять на продолжительность беременности, способствуют повышению смертности плодов детенышей, снижению динамики их роста, задержке развития и нарушению развития нервной системы. Тем не менее было сообщено, что токсичность алюминия при введении перорально в большей степени зависит от вида соединения

алюминия и наличия органических соединений в пище, которые влияют на его биодоступность [4].

Результаты ряда исследований показали, что потребление алюминия с питьевой водой может способствовать развитию слабоумия и синдрома Альцгеймера [10–12, 28]. Данное воздействие может объясняться тем, что соли алюминия способствуют активации воспалительных цитокинов в головном мозге [15].

Алюминий может вызвать аллергический дерматит [19]. Однако не было ни одного сообщения об аллергенности алюминия при его поступлении в организм с пищей.

В числе эффектов, возможно, связанных с воздействием наночастиц оксида алюминия, вводимых внутрижелудочно через зонд растущим крысам-самцам линии Вистар ежедневно на протяжении 28 дней в дозе 1 или 100 мг/кг, отмечено снижение относительной массы печени и легких, уровня небелковых тиолов печени, изменение активности изоформы CYP1A1 цитохрома P450 печени и глутатионредуктазы эритроцитов, повышение уровня диеновых конъюгатов полиненасыщенных жирных кислот в плазме крови. Указанные сдвиги биохимических показателей были небольшими по абсолютной величине, укладывались в естественные вариации биологической нормы или не демонстрировали определенной зависимости от дозы вводимых наночастиц. Вместе с тем, по мнению авторов, с учетом большой значимости данного наноматериала как потенциального загрязнителя окружающей среды и пищевых продуктов, исследования его возможной токсичности должны быть продолжены в условиях введения низких доз (1 мг/кг и менее) на протяжении длительного времени [1].

Объединенным экспертным комитетом ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA) неоднократно проводились оценки безопасности алюминия при его поступлении в организм из всех возможных источников. В соответствии с данными оценками JECFA в 1988 г. установлен условно-переносимый уровень потребления алюминия (provisional tolerable weekly intake – PTWI), который составил 0–7 мг/кг массы тела в неделю. С учетом токсикологических данных, полученных в 2007 г., определен новый показатель PTWI – 0–1 мг/кг массы тела взрослого человека за неделю [4]. Пересмотр оценки алюминия при поступлении его в организм человека из всех источников, проведенный в 2011 г., позволил установить JECFA новый уровень безопасного недельного потребления – PTWI равен

0–2,0 мг/кг массы тела в пересчете на алюминий [11]. Таким образом, установленный допустимый уровень поступления алюминия для человека со средней массой тела 60 кг составляет 120 мг за неделю. Данный уровень PTWI не может быть использован по отношению к детям в возрасте до 1 года, так как их метаболические функции и возможности экскреции чужеродных веществ почками развиты не полностью [10]. В 2011 г. Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) установило переносимый уровень поступления алюминия в организм (TWI), который составил 1 мг/кг массы тела [31].

Оценка уровня потребления алюминия с пищевыми продуктами. В соответствии с проведенными в 2008 г. Европейским союзом исследованиями потребление алюминия с пищей составляет от 1,6 до 13,0 мг алюминия/сут. Эти значения соответствуют 0,2–1,5 мг/кг в неделю при массе тела взрослого человека 60 кг. Разница поступления алюминия с пищей зависит от места проживания, состава почвы, индивидуальных пищевых привычек, уровня содержания в пищевых продуктах алюминий-содержащих пищевых добавок. Значительную роль в данном случае играет масса тела человека. Потребление алюминия с питьевой водой составляет менее 0,4 мг/сут.

Исследования, проведенные в ФРГ, Франции, Великобритании, Ирландии и Испании, показали, что большая часть необработанных пищевых продуктов содержит алюминий в количестве 5–7 мг/кг [10, 11, 18, 22, 33]. Более высокие концентрации алюминия (от 5 до 10 мг/кг) отмечаются в хлебе, кондитерских хлебобулочных изделиях, некоторых овощах (шпинате, редисе, салате латук, маш-салате), грибах, глазированных фруктах, молочных составных продуктах, вареных колбасах, субпродуктах, морепродуктах. Наибольшее содержание алюминия обнаружено в листовом и пакетированном чае, травах, какао и какао-продуктах, специях [31].

Известно, что алюминий в пищевые продукты поступает из различных объектов окружающей среды, а также в результате внесения в пищу алюминийсодержащих пищевых ингредиентов, например пищевых добавок, или в процессе ее изготовления, упаковывания, хранения в результате контактирования с различными алюминийсодержащими материалами и оборудованием [7, 11, 18, 22, 33].

Наибольшее поступление алюминия для 97,5 % потребителей составило 0,4 мг/кг массы

тела в неделю во Франции и 0,94 мг/кг массы тела в неделю в Великобритании. Для людей старшего возраста наибольшее потребление алюминия с пищей отмечено в Великобритании, которое составило 1,14 мг/кг массы тела в неделю [4, 31].

По оценкам Всемирной организации здравоохранения в среднем поступление алюминия в организм человека из всех возможных источников (вода, пищевые продукты, упаковка, воздух) составляет от 11 до 136 мг на человека в неделю. Для европейских стран этот показатель составляет 11 – 91 мг на человека в неделю.

В соответствии с оценкой EFSA, в зависимости от взятого в расчет сценария, потребление пяти алюминийсодержащих пищевых добавок (сульфат алюминия-аммония (E523); алюмофосфат натрия кислый (E 541); алюмосиликат натрия (E 554); алюмосиликат кальция (E 556); алюмосиликат (каолин) (E 559)) населением различных возрастных групп (дети младшего и школьного возраста, подростки, взрослое население, пожилые люди) составляет от 2,3 до 76,9 мг/кг массы тела за неделю в среднем и от 7,4 до 145,9 мг/кг массы тела за неделю для 95 % населения. В соответствии со вторым сценарием, предусматривающим большее потребление пищевых продуктов, в состав которых входят алюминийсодержащие пищевые добавки, эти значения составили: среднее потребление 18,6–156,2 мг/кг массы тела за неделю; потребление для 95 % выборки населения 5,3–286,8 мг/кг массы тела. Таким образом, было показано, что поступление алюминия в составе пищевых продуктов, содержащих пищевые добавки на основе алюминия, в различных возрастных группах намного превышает безопасный уровень его поступления из всех источников ($TWI = 1$ мг/кг массы тела), установленный EFSA, а также условно-переносимый уровень потребления алюминия за неделю ($PTWI = 0–2,0$ мг/кг массы тела), установленный JECFA [18].

Полученные другими авторами результаты подтверждают факт того, что дети, как правило, потребляют большее количество алюминия с пищей в расчете на массу тела, чем взрослые, хотя эти данные несколько отличаются от полученных EFSA оценок. В соответствии с этими данными возможное потребление алюминия в 97,5 % случаев для детей во Франции составило для возраста 3–15 лет – 0,7 мг/кг массы тела в неделю, для дошкольников (1,5–4,5 года) – 2,3 мг/кг массы тела в неделю. В Великобрита-

нии в 1988 г. потребление алюминия детьми 4–18 лет составило 1,7 мг/кг массы тела в неделю. В ФРГ 10 % детей в возрасте 5–8 лет получали алюминий с пищей в количестве большем, чем 0,38 мг/кг массы тела в неделю. Потенциальное потребление алюминия детьми в возрасте 0–3, 4–6, 7–9 и 10–12 месяцев в составе пищевых продуктов для детей составляет соответственно 0,1, 0,2, 0,43 и 0,78 мг/кг массы тела в неделю [4, 31]. Проведенные в Китае исследования показали, что средний уровень потребления алюминия для детей в Шэньчжэне составил 3,272 мг/кг массы тела в неделю, что выше установленного для взрослых людей значения $PTWI = 2$ мг/кг массы тела в неделю [7].

Исследования, проведенные в 2010 г., показали, что уровень получения алюминия с пищевыми продуктами, предназначенными для детей с 6 месяцев жизни, при условии их потребления в рекомендуемых количествах, является достаточно высоким. В соответствии с представленными данными потребление алюминия с различными продуктами, предназначенными для питания детей от 0 до 12 месяцев жизни, колебалось от 224 до 592 мкг/кг в сутки. Данные получены из расчета максимально рекомендованного количества потребления этих продуктов [32].

Проведенные в Испании исследования показали, что содержание алюминия в восстановленных детских продуктах на основе молока составило 0,24–0,69 мг/л, а на основе сои – 0,93 мг/л [25]. Полученные данные явились основанием для проведения дополнительной оценки потребления алюминия с этими пищевыми продуктами, которая составила для 3-месячных детей с весом 6,1 кг 0,2–0,6 мг/кг массы тела в неделю при использовании продуктов на молочной основе и 0,75 мг/кг массы тела в неделю – при использовании продуктов на основе сои. В случае высокого уровня потребления данные значения составили 0,3–0,9 и 1,1 мг/кг массы тела в неделю соответственно [31]. Данные о повышенном содержании алюминия в пищевых продуктах для детей (молочных продуктах, печенье, сухих зерновых завтраках, десертах, рыбе, фруктово-овощном пюре, мясе, макаронных изделиях, сухарях, овощах) подтверждены целым рядом исследований [10, 13, 31].

Следует отметить, что алюминийсодержащие пищевые добавки не входят в перечень разрешенных для использования в пищевых продуктах для детей в соответствии с ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических

вспомогательных средств» [3], стандартом Codex Alimentarius «Общий стандарт на пищевые добавки» Codex Stan № 192–1995 [20], Постановлением ЕС № 1333/2008 относительно использования пищевых добавок. Кроме того, Постановлением ЕС № 1333/2008 [27] запрещено использование алюминийсодержащих пищевых добавок при изготовлении ингредиентов для питания детей. Следовательно, алюминий попадает в продукты для детей из молока или другого сырья животного и растительного происхождения, в которое он может попасть с пищевыми добавками и при вскармливании животных с использованием алюминийсодержащих кормовых добавок, а также мигрировать из материалов, контактирующих с пищей. Это обстоятельство требует разработки специальных требований по содержанию алюминия в пищевых продуктах для детей.

Уровень миграции алюминия из контактирующих с пищевыми продуктами материалов. В норме поступление алюминия в пищу из контактирующих с пищей материалов является незначительным, так как алюминий и его сплавы устойчивы к коррозии. На воздухе металл, в результате его реакции с кислородом, очень быстро покрывается тонкой пленкой оксида алюминия (Al_2O_3). Образующаяся пленка не имеет запаха и не смывается [14]. В нейтральной среде пленка оксида алюминия практически не растворима. Однако при pH пищи ниже 4,5 и выше 8,5 ее растворимость в значительной степени повышается [21], особенно при наличии поверхностных повреждений слоя оксида алюминия. Использование алюминиевой посуды в процессе приготовления и хранения пищи способствует повышению содержания алюминия в определенных видах пищевой продукции. Таким образом, алюминий может попасть в пищевые продукты из контактирующих с ним материалов. Поступлению ионов алюминия в пищу также способствует высокое содержание в ней поваренной соли (выше 3,5 % NaCl) [29].

При кипячении в алюминиевой кастрюле в течение 10–15 минут содержание алюминия в воде составляет примерно 1,5 мг/л. Это значение может варьироваться в зависимости от показателя кислотности воды и состава алюминиевого сплава [5, 21, 29]. Например, по данным [29] уровень миграции алюминия составил 5 мг/л воды.

Температура и время хранения также в значительной степени влияют на степень миграции

алюминия из контактирующих с пищей материалов. Так, при использовании 3%-ной уксусной кислоты в качестве модельной среды уровень миграции алюминия в течение 24 ч был примерно в 10 раз выше при температуре 40 °C, чем при температуре 5 °C. При использовании алюминиевой фольги уровень миграции алюминия был менее 0,05 мг/дм² при 5 °C, а при 40 °C – 96 мг/дм² [8]. При приготовлении мяса в алюминиевой фольге содержание алюминия в конечном продукте возрастало в 5 раз (до 17,2 мг алюминия/кг продукта) [35].

Отмечен сочетанный эффект при воздействии температуры и pH при приготовлении пищевых продуктов. Так, при приготовлении рыбы без использования соли и виноградного уксуса содержание алюминия в пищевом продукте возрастало в 4 раза и достигало около 0,4 мг алюминия/кг продукта. В случае добавления к рыбе соли и уксуса содержание алюминия в пищевом продукте повышалось в 68 раз и достигало примерно 5 мг алюминия/кг готовой рыбы [26]. Проведенные позднее эксперименты подтвердили возможность миграции алюминия из алюминиевой фольги в процессе приготовления мяса. Поэтому было предложено проводить мониторинг содержания алюминия в запеченном мясе [23].

Таким образом, скорость миграции алюминия из контактирующих с пищей материалов зависит от нескольких факторов, таких, как продолжительность времени контактирования, температуры нагревания, химического состава продукции (ее pH, наличия в продукции органических кислот, соли и других ионов). Поэтому для хранения пищевых продуктов, содержащих большое количество соли, кислоты (например, солений, маринованных овощей, яблочного пюре, ревеня, томатного пюре, уксуса), использование упаковки, изготовленной на основе алюминия, не рекомендуется. Отмечено, что величина миграции алюминия в значительной степени зависит от геометрии материала или объекта и может достигать величин 60 мг/кг или 10 мг/дм² [21, 29].

Предлагаемые меры по снижению уровня потребления алюминия с пищевыми продуктами. Полученные данные о токсичности алюминийсодержащих пищевых добавок и уровнях потребления алюминия с пищевыми продуктами явились основанием для исключения из перечня пищевых добавок, приведенного в «Общем стандарте по пищевым добавкам» (Codex Stan 192-1995), алюмосиликата калия

E555 и бентонита E558. Однако возможность превышения максимально допустимого уровня потребления алюминия при использовании пищевых добавок остается открытой. Поэтому на 46-й сессии Комитета Codex Alimentarius по пищевым добавкам – CCFA46 (Гонконг, Китай, 17–21 марта 2014 г.) Российской Федерацией был поднят вопрос о необходимости пересмотра использования алюминийсодержащих пищевых добавок, входящих в перечень разрешенных, для использования в пищевой промышленности. CCFA46 поддержал это предложение [30].

В соответствии с законодательством ЕС было принято решение об исключении из перечня разрешенных для использования в пищевой промышленности пищевых добавок: алюмосиликата натрия (Sodium Aluminosilicate) E554, алюмосиликат калия (Potassium Aluminium Silicate) E555, алюмосиликата кальция (Calcium Aluminium Silicate) E556, бентонита (Bentonite) E558, алюмосиликата (каолин) – Aluminium Silicate (Kaolin) E559 [17, 27].

Таким образом, согласно требованиям «Общего стандарта по пищевым добавкам» (Codex Stan 192-1995) (с изменениями 2014 г.) [17], а также требованиям Постановления ЕС № 1333/2008 (с изменениями на 2015 г.) [27], предлагается исключить из перечня разрешенных для использования в пищевой промышленности, приведенного в Техническом регламенте Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012), следующие алюминийсодержащие пищевые добавки: алюмосиликат натрия (E554), алюмосиликат калия (E555), алюмосиликат кальция (E556), бентонит (E558), алюмосиликат (каолин) (E559).

Несмотря на полученные данные о токсичности алюминия, Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA) было предложено установить максимально допустимый уровень миграции алюминия из контактирующих с пищей материалов на уровне 5 мг/л, так как, в соответствии с опубликованными данными, в настоящее время промышленность не может обеспечить уровень миграции алюминия и его сплавов меньше, чем 5 мг/кг (л) среды. Возможность решения вопроса об увеличении уровня миграции из контактирующих

с пищей материалов будет рассматриваться Европейским союзом в течение 3 лет [24].

Следует также отметить что, согласно требованиям ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», допустимый уровень миграции алюминия в модельные среды не должен превышать 0,5 мг/л [2]. Однако в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза «О безопасности упаковки» (ТР ТС 005/2011) для определения уровня миграции веществ из контактирующих материалов используются модельные среды, содержащие кислоты (молочную, уксусную кислоту), поваренную соль, этиловый спирт [2]. Таким образом, при использовании указанных видов модельных сред в соответствии с Техническим регламентом невозможно получить достоверные данные о миграции алюминия из материалов, контактирующих с пищей, так как все используемые виды сред достаточно агрессивны по отношению к алюминию и его сплавам. Поэтому с целью получения адекватных результатов анализов уровня миграции алюминия из контактирующих с пищей материалов необходимо использовать другие модельные среды. Так, в соответствии с Постановлением ЕС № 10/2011 [16] выбор модельной среды зависит от вида пищевого продукта, который, как предполагается, будет контактировать с алюминийсодержащими материалами или изделиями.

Выводы. Таким образом, с целью снижения уровня потребления алюминия с пищевыми продуктами является целесообразным:

- исключить из перечня приложения 2 Технического регламента Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012) пищевые добавки – алюмосиликат калия (E555), бентонит (E558), алюмосиликат натрия (E554), алюмосиликата калия (E555), алюмосиликат кальция (E556), алюмосиликат (каолин) (E559);

- разработать требования относительно содержания алюминия в пищевых продуктах, предназначенных для питания детей;

- получить данные о содержании алюминия в реализуемых на отечественном рынке пищевых продуктах и провести оценку рисков для здоровья потребителей.

Список литературы

1. Изучение воздействия наночастиц оксида алюминия, вводимых в желудочно-кишечный тракт крыс / А.А. Шумакова, О.Н. Тананова, Е.А. Арианова, Г.Ю. Мальцев, Э.Н. Трушина, О.К. Мустафина, Г.В. Гусева, Н.В. Трусов, С.Х. Сото, Н.Э. Шаранова, А.В. Селифинов, И.В. Гмошинский, С.А. Хотимченко // Вопросы питания. – 2012. – Т. 81, № 6. – С. 54–60.
2. TP TC 005/2011. О безопасности упаковки: технический регламент таможенного союза [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tsouz.ru/KTS/KTS30/Documents/P_769_1.pdf (дата обращения: 20.10.2015).
3. TP TC 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств: технический регламент таможенного союза [Электронный ресурс]. – URL: http://www.aleksandrovka56.ru/assets/files/SelHoz/Regl/Reglament_4.pdf (дата обращения: 20.10.2015).
4. Aluminium (from all sources, including food additives) // Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report. – 2007. – Series 940. – P. 33–45.
5. Aluminium from all sources, including food additives and contaminants (addendum). First draft / D.J. Benford, N. Thatcher, D. Mason [et al.] // Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food additives. – 2007. – Ser. 58. – P. 119–209.
6. Aluminium in Biological Environments: A Computational Approach / Jon I Mujika, Elixabete Rezabal, Jose M Mercero [et al.] // Computational and structural biotechnology journal. – 2014. – Vol. 9, issue 15. – P. 1–13.
7. Aluminium in food. Risk Assessment. Studies Report No. 35. Chemical Hazard Evaluation // Centre for Food Safety Food and Environmental Hygiene Department. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. – 2009. – 45 p.
8. Aluminium levels in Italian diets and in selected foods from aluminium utensils / L.G. Gramiccioni, M.R. Ingraio, P. Milana [et al.] // Food Add Contam. – 1996. – Vol. 13 (7). – P. 767–774.
9. Aluminium production // IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans. – 1987. – Suppl. 7. – P. 89–91.
10. Aluminium-containing food additives (addendum) // Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Prepared by the Seventy-fourth meeting of the Joint FAO / WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO food additives. – 2012. – Ser. 65. – P. 3–87.
11. Aluminium-containing food additives // Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series 966. – 2011. – P. 7–14.
12. Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort / Virginie Rondeau, Hélène Jacqmin-Gadda, Daniel Commenges [et al.] // Am. J. Epidemiol. – 2009. – Vol. 169 (4). – P. 489–496.
13. Aluminum Exposure in Neonatal Patients Using the Least Contaminated Parenteral Nutrition Solution Products / Robert L. Poole, Kevin P. Pieroni, Shabnam Gaskari [et al.] // Nutrients. – 2012. – Vol. 4. – P. 1566–1574.
14. Beliles R.P. The metals. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology // Fourth edition. – 1994. – Vol. 2, part C. – P. 22–46.
15. Bondy S.C. The neurotoxicity of environmental aluminum is still an issue // Neurotoxicology. – 2010. – Vol. 31 (5). – P. 575–81.
16. Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food // Official Journal of the European Union. – 2011. – L 12. – P. 1–89.
17. Commission regulation (EU) No 380/2012 of 3 May 2012 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council as regards the conditions of use and the use levels for aluminium-containing food additives // Official Journal of the European Union. – 2012. – L 119. – P. 14–38.
18. Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Technical report // Supporting Publications. – 2013. – EN-411. – 17 p.
19. Establishing aluminium contact allergy / I. Siemund, E. Zimerson, M. Hindsen, M. Bruze // Contact Dermat. – 2012. – Vol. 67 (3). – P. 162–70.
20. General standard food additives. CODEX STAN 192-1995 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/pdf/gsfa2013-01.pdf> (дата обращения: 16.06.2015).
21. Guidelines on metals and alloys used as food contact materials and alloys. Technical document [Электронный ресурс] // Council of Europe (13.02.2002). – URL: http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-sp/public_health/food_contact/TECH%20DOC%20GUIDELINES%20METALS%20AND%20ALLOYS.pdf (дата обращения: 18.09.2015).
22. Human health risk assessment for aluminum, aluminum oxide, and aluminum hydroxide / Daniel Krewski, Robert A Yokel, Evert Nieboer [et al.] // J. Toxicol. Environ. Health. B. Crit. Rev. – 2007. – Vol. 10 (suppl. 1). – P. 1–269.
23. Layla A. Al Juhaiman Estimating Aluminum Leaching into Meat Baked with Aluminum Foil Using Gravimetric and UV-Vis Spectrophotometric Method // Food and Nutrition Sciences. – 2015. – Vol. 6. – P. 538–545.
24. Metals and alloys used in food contact materials and articles: A practical guide for manufacturers and regulators // Quality of Medicines & Health Care of the Council of Europe (EDQM). – 2013. – 217 p.

25. Navarro-Blasco I., Alvarez-Galindo J.I. Aluminum content of Spanish infant formula // Food Addit. Contam. – 2003. – Vol. 20. – P. 470–481.
26. Ranau R., Oehlenschläger J., Steinhart H. Aluminum Levels of Fish Fillet Baked and Grilled in Aluminum Foil // Food Chemistry. – 2001. – Vol. 73. – P. 1–6.
27. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives (Text with EEA relevance) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Consol_Reg1333_2008.pdf (дата обращения: 16.06.2015).
28. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study / Virginie Rondeau, Daniel Commenges, Hélène Jacqmin-Gadda [et al.] // Am. J. Epidemiol. – 2000. – Vol. 152 (1). – P. 59–66.
29. Report of ESCO WG on non-plastic Food Contact Materials. External scientific report // Supporting Publications. – 2012: EN-139. – 63 p.
30. Report of the forty-sixth session of the codex committee on food additives, (Hong Kong, China 17–21 March 2014) [Электронный ресурс] // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: https://www.google.com/url?q=http://www.fao.org/input/download/report/903/REP14_FAe.pdf&sa=U&ved=0ahUK EwjQ2Nbd06bLAhWia5oKHW95AE4QFggFMAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNE31mhFACMH3xdw FjR5YV3UdM8mZA (дата обращения: 21.09.2015).
31. Safety of aluminium from dietary intake. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC) / F. Aguilar, H. Autrup, S. Barlow [et al.] // The EFSA Journal. – 2008. – Vol. 754. – P. 1–34.
32. Shelle-Ann M Burrell, Christopher Exley There is (still) too much aluminium in infant formulas // Burrell and Exley BMC Pediatrics. – 2010. – № 10. – P. 63–67.
33. Statement of EFSA. On the Evaluation of a new study related to the bioavailability of aluminium in food // EFSA Journal. – 2011. – Vol. 9, № 5. – P. 2157–2173.
34. The bioavailability of 26 Al-labelled aluminium citrate and aluminium hydroxide in volunteers / N.D. Priest, R.J. Talbot, J.G. Austin [et al.] // BioMetals. – 1996. – Vol. 9. – P. 221–228.
35. Turhan S. Aluminium Contents in Baked Meats Wrapped in Aluminum Foil // Meat Science. – 2006. – Vol. 74. – P. 644–647.

Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктами / О.В. Багрянцева, Г.Н. Шатров, С.А. Хотимченко, В.В. Бессонов, О.В. Арнаутков // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1 (13). – С. 59–68.

ALUMINIUM: FOOD-RELATED HEALTH RISK ASSESSMENT OF THE CONSUMERS

**O.V. Bagryantseva¹, G.N. Shatrov¹, S.A. Khotimchenko¹,
V.V. Bessonov¹, O.V. Arnautov²**

¹Federal State Budgetary Scientific Institution Scientific Research Institute of Nutrition Address, 2/14 Ustyinsky pr., Moscow, 109240, Russian Federation

²Sanitary, Phytosanitary and Veterinary Measures Department of the Eurasian Economic Commission, 3/5, build. 1, Smolensky blv, Moscow, 119121, Russian Federation

Aluminum is the most abundant metal in the lithosphere, constituting 8 % of the earth's crust. Aluminum enters the food from the various objects of environment such as water, food contact materials (packaging materials, cooking vessels), aluminum-containing food additives. In raw food products the content of aluminum is less than 5.7 mg/kg of the product.

Normally, aluminum is not practically found in a human body. However, within the last decade various toxic effects of aluminum on human body have been revealed, and they are able to cause the risk of various diseases.

The analysis of the available data has demonstrated that the excessive entry of aluminum in human body with food items is associated first of all with the content of aluminum-containing food additives, as well as with the use of materials and products made of aluminum and its alloys intended for contact with food.

High level of aluminum consumption has been also detected among children of all ages. At the same time, today, the provisional tolerable weekly intake (PTWI) of aluminum for children is not established.

To reduce negative effect of aluminum on human body it is necessary to:

– exclude from the list of Annex 2 of the Technical Regulations of the Customs Union "Requirements for Food Additives, Flavorings and Technological Aids" (TR TS 029/2012) the following food additives – potassium aluminum silicate (E555), bentonite (E558), sodium aluminum silicate (E554), potassium aluminum silicate (E555), calcium aluminum silicate (E556), aluminum silicate (kaolin) (E559);

– to develop requirements for the aluminum content in food products intended for children nutrition;

– to obtain data on aluminum content in food items sold on the domestic market and to assess health risks to consumers.

Key words: aluminum, toxicity, risk assessment, food additives, food items, food contact materials and products.

References

1. Shumakova A.A., Tananova O.N., Arianova E.A., Mal'cev G.Ju., Trushina Je.N., Mustafina O.K., Guseva G.V., Trusov N.V., Soto S.H., Sharanova N.Je., Selifinov A.V., Gmoshinskij I.V., Hotimchenko S.A. Izuchenie vozdeystviya nanochasticheskogo oksida aluminija, vvodimyh v zheludochno-kishechnyj trakt [Investigation of oxide aluminum nanoflake administered into rat's gastrointestinal tract]. *Voprosy Pitaniia*, vol. 81, no. 6, 2012, pp. 54–60. (in Russian).
2. O bezopasnosti upakovki: Tehnicheskij reglament tamozhennogo sojuza [Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of the package" TR CU 005/2011]. Available at: http://www.tsouz.ru/KTS/KTS30/Documents/P_769_1.pdf (20.10.2015). (in Russian).
3. Trebovanija bezopasnosti pishhevyh dobavok, aromatizatorov i tehnologicheskikh vspomogatel'nyh sredstv: Tehnicheskij reglament tamozhennogo sojuza TR CU 029/2012TP TC 029/2012 [Technical Regulations of the Customs Union "Safety of food additives, flavorings and processing aids" TR CU 029/2012TP TC 029/2012]. Available at: http://www.aleksandrova56.ru/assets/files/SelHoz/Regl/Reglament_4.pdf (20.10.2015). (in Russian).
4. Aluminium (from all sources, including food additives). Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO. *WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report*, 2007, Series 940, pp. 33–45.
5. Benford D.J., Thatcher N., Mason D. [et al.]. Aluminium from all sources, including food additives and contaminants (addendum). First draft. *Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food additives*, 2007, Series 58, pp. 119–209.
6. Jon I Mujika, Elixabete Rezabal, Jose M Mercero [et al.]. Aluminium in Biological Environments: A Computational Approach. *Computational and structural biotechnology journal*, 2014, vol. 9, Issue: 15, pp. 1–13.
7. Aluminium in food. Risk Assessment. Studies Report No. 35. Chemical Hazard Evaluation. Centre for Food Safety Food and Environmental Hygiene Department. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2009, 45 p.
8. Gramiccioni L.G., Ingrao M. R., Milana P. [et al.]. Aluminium levels in Italian diets and in selected foods from aluminium utensils. *Food Add Contam*, 1996, vol. 13 (7), pp. 767–774.
9. Aluminium production. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans. Supplement 7, 1987, pp. 89–91.
10. Aluminium-containing food additives (addendum). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Prepared by the Seventy-fourth meeting of the Joint FAO. *WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO food additives*, 2012, Series 65, pp. 3–87.
11. Aluminium-containing food additives. *Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series 966*, 2011, pp. 7–14.
12. Virginie Rondeau, Hélène Jacqmin-Gadda, Daniel Commenges [et al.]. Aluminum and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort. *Am J Epidemiol. Feb*, 2009, vol. 169 (4), pp. 489–496.

© Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Bessonov V.V., Arnautov O.V., 2016

Bagryantseva Olga Viktorovna – Doctor of Biological Science, leading researcher of Food Toxicology and Safety Assessment of Nanotechnologies Laboratory (e-mail: bagryantseva@ion.ru; tel.: + 7 (495) 698-54-05).

Shatrov Gennady Nikolaevich – Candidate of Biological Sciences, leading researcher of Food Toxicology and Safety Assessment of Nanotechnologies Laboratory (e-mail: shatrov@ion.ru; tel.: + 7 (495) 698-54-05).

Khotimchenko Sergey Anatol'evich – Doctor of Medical Science, professor, serving ad interim of the head of Food Toxicology and Safety Assessment of Nanotechnologies Laboratory (e-mail: hotimchenko@ion.ru; tel.: + 7 (495) 698-52-35).

Bessonov Vladimir Vladimirovich – Doctor of Biological Science, head of Food Chemistry Laboratory (e-mail: bessonov@ion.ru; tel.: + 7 (495) 698-57-36).

Arnaudov Oleg Vjacheslavovich – Director of the Sanitary, Phytosanitary and Veterinary Measures Department of the Eurasian Economic Commission (e-mail: arnautov@eeccommission.org; tel.: + 7 (495) 669-25-24).

13. Robert L. Poole, Kevin P. Pieroni, Shabnam Gaskari [et al.]. Aluminum Exposure in Neonatal Patients Using the Least Contaminated Parenteral Nutrition Solution Products. *Nutrients*, 2012, vol. 4, pp. 1566–1574.
14. Beliles R.P. The metals. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. Fourth edition, 1994, vol. 2, part C, pp. 22–46.
15. Bondy S.C. The neurotoxicity of environmental aluminum is still an issue. *Neurotoxicology*, 2010 Sep, vol. 31 (5), pp. 575–81.
16. Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*, 2011, L 12, pp. 1–89.
17. Commission regulation (EU) No 380/2012 of 3 May 2012 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council as regards the conditions of use and the use levels for aluminium-containing food additives. *Official Journal of the European Union*, 2012, L 119, pp. 14–38.
18. Dietary exposure to aluminium-containing food additives. Technical report. *Supporting Publications*, 2013, EN-411, 17 p.
19. Siemund I, Zimerson E, Hindsen M, Bruze M. Establishing aluminium contact allergy. *Contact Dermat*, 2012, vol. 67 (3), pp. 162–70.
20. General standard food additives. CODEX STAN 192-1995. Available at: <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/pdf/gsfa2013-01.pdf> (16.06.2015).
21. Guidelines on metals and alloys used as food contact materials and alloys. Technical document. *Council of Europe* (13.02.2002). Available at: [http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-sp/public_health/food_contact/TECH % 20DOC % 20GUIDELINES % 20METALS % 20AND % 20ALLOYS.pdf](http://www.coe.int/t/e/social_cohesion/soc-sp/public_health/food_contact/TECH%20DOC%20GUIDELINES%20METALS%20AND%20ALLOYS.pdf) (18.09.2015).
22. Daniel Krewski, Robert A Yokel, Evert Nieboer et al. Human health risk assessment for aluminum, aluminum oxide, and aluminum hydroxide. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, 2007, vol. 10 (suppl 1), pp. 1–269.
23. Layla A. Al Juhaiman Estimating Aluminum Leaching into Meat Baked with Aluminum Foil Using Gravimetric and UV-Vis Spectrophotometric Method. *Food and Nutrition Sciences*, 2015, vol. 6, pp. 538–545.
24. Metals and alloys used in food contact materials and articles: A practical guide for manufacturers and regulators. *Quality of Medicines & Health Care of the Council of Europe (EDQM)*, 2013, 217 p.
25. Navarro-Blasco I., Alvarez-Galindo J.I. Aluminum content of Spanish infant formula. *Food Addit. Contam*, 2003, vol. 20, pp. 470–481.
26. Ranau R., Oehlenschlaeger J., Steinhart H. Aluminum Levels of Fish Fillet Baked and Grilled in Aluminum Foil. *Food Chemistry*, 2001, vol. 73, pp. 1–6.
27. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives (Text with EEA relevance) Available at: https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Consol_Reg1333_2008.pdf (16.06.2015).
28. Virginie Rondeau, Daniel Commenges, Hélène Jacqmin-Gadda [et al.]. Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. *Am. J. Epidemiol.* Jul, 2000, vol. 152 (1), pp. 59–66.
29. Report of ESCO WG on non-plastic Food Contact Materials. External scientific report. *Supporting Publications*, 2012: EN-139, 63 p.
30. Report of the forty-sixth session of the codex committee on food additives, (Hong Kong, China 17–21 March 2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: https://www.google.com/url?q=http://www.fao.org/input/download/report/903/REP14_FAE.pdf&sa=U&ved=0ahUKEwjQ2Nbdo6bLAhWia5oKHW95AE4QFggFMAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNE31mhFACMH3xdwFjR5YV3UdM8mZA (21.09.2015).
31. Aguilar F., Autrup H., Barlow S. [et al.]. Safety of aluminium from dietary intake. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). *The EFSA Journal*, 2008, vol. 754, pp. 1–34.
32. Shelle-Ann M Burrell, Christopher Exley There is (still) too much aluminium in infant formulas. *Burrell and Exley BMC Pediatrics*, 2010, no. 10, pp. 63–67.
33. Statement of EFSA. On the Evaluation of a new study related to the bioavailability of aluminium in food. *EFSA Journal*, 2011, vol. 9, no. 5, pp. 2157–2173.
34. Priest N.D., Talbot R.J., Austin J.G. [et al.]. The bioavailability of 26 Al-labelled aluminium citrate and aluminium hydroxide in volunteers. *BioMetals*, 1996, vol. 9, pp. 221–228.
35. Turhan S. Aluminium Contents in Baked Meats Wrapped in Aluminum Foil. *Meat Science*, 2006, vol. 74, pp. 644–647.

Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Bessonov V.V., Arnautov O.V. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers // *Health Risk Analysis*. – 2016. – № 1 (13). – P. 59–68. (in Russian).