

ТРИНАДЕСЕТИЯТ ЕЛЕМЕНТ – СПАСИТЕЛ ИЛИ ТИХ РАЗРУШИТЕЛ?

Категория „Изследователски проект“

**Виктория Дечкова, 9. клас¹,
Никола Велчев, 9. клас¹**

Ръководител: Нели Иванова

127. средно училище „Иван Николаевич Денкоглу“ – София

Резюме. Настоящият изследователски проект изследва въздействието на алуминия върху човешкото здраве, като се фокусира върху потенциалните рискове, свързани с използването на алуминиеви съдове и опаковки за храни. Алуминият е широко разпространен метал, използван в хранителната и медицинската промишленост. Въпреки дългогодишното схващане, че алуминият е безопасен, съвременни проучвания показват, че той може да се натрупва в организма и да има невротоксично въздействие. Целта на проекта е да се установи наличието на алуминиеви йони (Al^{3+}) в храната след термична обработка в алуминиеви съдове и да се оцени потенциалният риск за здравето. Чрез експериментални анализи, лабораторни изследвания и социологическо проучване се установи, че алуминиевите съдове могат да отделят вредни йони, особено при взаимодействие с киселинни храни или продължително готвене.

Ключови думи: алуминиеви съдове; здравни рискове; невротоксично въздействие; алуминиеви йони; термична обработка; киселинни храни

Увод

Алуминият е третият най-разпространен елемент в земната кора и металът се използва широко в индустрията, медицината и бита. Въпреки естественото му присъствие в природата антропогенните дейности, като производството на алуминиеви съдове и употребата му във водопречистването, увеличават човешката експозиция към този метал.

Последни изследвания показват, че алуминият може да има неблагоприятни ефекти върху нервната система, костите и бъбреците (Exley, 2013; Krewski et al., 2007; Willhite et al., 2014). Основният източник на алуминий в организма е питейната вода, но той може да навлезе и чрез храна, козметика и фармацевтични продукти (ATSDR, 2008; FAO, 2011).

С оглед на потенциалните рискове, свързани с натрупването на алуминий в организма, настоящото изследване си поставя за цел да установи дали термичната обработка на храна в алуминиеви съдове допринася за увеличаване съдържанието на алуминиеви йони в храната и по този начин – за повишен риск за човешкото здраве.

В тази връзка се формулира хипотезата, че ако чрез химичен анализ се установи наличие на Al^{3+} -йони в храната след приготвянето ѝ в алуминиеви съдове, то това потвърждава възможността алуминият да навлиза в организма чрез храната и да представлява потенциален здравен риск.

За пълноценното реализиране на изследването и аргументираното потвърждаване или отхвърляне на хипотезата се предвижда изпълнението на следните задачи:

1. Теоретичен анализ: проучване на химичните свойства на алуминия и неговите съединения.
2. Анализ на употребата: проучване на честотата и разпространението на алуминиевите съдове в съвременното домакинство.
3. Изследване на рН на храните: определяне на киселинността на различни храни и анализ на взаимодействието им с алуминия.
4. Експериментално изследване: провеждане на качествен химичен анализ за наличие на Al^{3+} -йони в хранителни проби.
5. Формулиране на изводи: оценка на безопасността на алуминиевите съдове и изготвяне на препоръки.

В съответствие с формулираните задачи се използват следните методи, които осигуряват обективност и обоснованост на получените резултати:

- литературен анализ: преглед на научна литература относно въздействието на алуминия върху здравето;
- социологическо проучване: анкетиране на 100 домакинства за употребата на алуминиеви съдове;
- лабораторни изследвания:
 - определяне на рН на храни;
 - качествен химичен анализ за наличие на Al^{3+} -йони.
- експериментални тестове:
 - взаимодействие на алуминия с киселини и основи;
 - влияние на вида храна, времето на готвене и съхранение върху отделянето на Al^{3+} -йони.

Химични свойства и реактивност на алуминия

Алуминият е светъл, лек и устойчив на корозия метал, което го прави идеален за различни приложения – от самолетостроенето до бита. Въпреки широкото му използване въпросът за безопасността на алуминия при контакт с храни и напитки остава актуален и изисква задълбочено разглеждане. Този

метал може да реагира както с киселини, така и с основи. При реакция с киселини се образуват соли, например алуминиев хлорид, който във воден разтвор се дисоциира до комплексни йони. При контакт с основи алуминият образува комплексни аниони като тетрахидроксиалуминиевия йон $[Al(OH)_4]$. Тези реакции показват, че алуминият не е инертен материал и може да взаимодейства с различни вещества, което го прави потенциален източник на риск при употреба в кухненски съдове.

Източници на експозиция на алуминий

Алуминият може да проникне в човешкия организъм по няколко начина. Сред основните източници са храната и напитките, които влизат в контакт с алуминиеви съдове или опаковки. Особено рискови са киселинните храни, като домати, цитрусови плодове и маринати, които могат да разрушат защитния оксиден слой на алуминия и да доведат до отделяне на алуминиеви съединения. Биологичната наличност на алуминия от храната е ниска (под 1%), но редовната експозиция може да допринесе за натрупване в организма (ATSDR, 2008; FAO, 2011).

Друг важен източник е питейната вода. В процеса на водопречистване често се използват алуминиеви коагуланти, които могат да оставят следи от елемента във водата. При неблагоприятни условия, като наводнения или цъфтеж на водорасли, концентрацията на алуминий може да се увеличи (ATSDR, 2008).

Освен това алуминиеви съединения се съдържат и в козметични продукти (например антиперспиранти и слънцезащитни кремове) и в лекарствата (като антиацити). Въпреки че тези продукти са строго регулирани, тяхната употреба може да допринесе за общото натрупване на алуминий в организма (ATSDR, 2008).

Въздействие върху човешкото здраве

Алуминият не изпълнява биологична функция в човешкия организъм, но може да се натрупва в тъкани и да предизвика здравословни проблеми. Той може да премине кръвно-мозъчната бариера и да се натрупа в мозъчната тъкан, което го прави потенциален невротоксин. Някои изследвания предполагат връзка между високи нива на алуминий и невродегенеративни заболявания като болестта на Алцхаймер и Паркинсон, но тази връзка остава спорна и не е окончателно доказана (Krewski et al., 2007; Willhite et al., 2014).

Алуминият може да се натрупва и в костите, като замества калция и магнезия. Това може да доведе до остеопороза и остеомаляция, особено при пациенти с хронични бъбречни заболявания (ATSDR, 2008; Krewski et al., 2007). Бъбреците са основният орган за изхвърляне на алуминий от организма и при нарушена бъбречна функция рискът от натрупване се увеличава (ATSDR, 2008; FAO, 2011).

Регулации и допустими нива

Световната здравна организация (WHO) и Европейският орган за безопасност на храните (EFSA) определят допустим седмичен прием на алуминий до 1 mg/kg телесна маса (EFSA Panel, 2018; WHO, 2011). В България съдържанието на алуминий в питейната вода се регулира от Наредба № 9², която препоръчва стойност до 0,2 mg/L като индикатор за качество на водата. Въпреки тези регулации рискът от превишаване на безопасните нива остава, особено при неправилна употреба на алуминиеви съдове (EFSA Panel, 2018; FAO, 2011; WHO, 2011).

Методи за откриване и намаляване на алуминия в организма

Наличието на алуминий в организма може да се установи чрез анализ на кръв, урина, коса или нокти (ATSDR, 2008). Най-често използвани са кръвните тестове за определяне на плазмените нива на алуминий и тестовите от урина за оценка на бъбречната екскреция (ATSDR, 2008; FAO, 2011). За намаляване на натрупания алуминий се препоръчват мерки като прием на антиоксиданти (витамини С и Е, селен), консумация на силициева минерална вода, която подпомага елиминирането на метала, и поддържане на добра бъбречна функция чрез хидратация и здравословно хранене. Медицинската хелатна терапия, използваща вещества като дезфероксамин (DFO), се прилага само при тежка токсичност и под строг медицински контрол и не е подходяща за профилактична употреба (ATSDR, 2008). Избягването на алуминиеви съдове и продукти, съдържащи алуминий (например някои антиацити и антиперспиранти) също е важна профилактична мярка (ATSDR, 2008, FAO, 2011).

Рискове при употребата на алуминиеви съдове

Алуминиевите съдове са популярни заради ниската си цена, добрата топлопроводимост и лекотата. Въпреки това те могат да отделят алуминиеви йони в храната, особено при готвене на киселинни или солени ястия (Kegley et al., 1995). Продължителното готвене или съхранение на храни в алуминиеви съдове увеличава риска от отделяне на вредни вещества (EFSA Panel, 2018). Повредата на защитния оксиден слой на алуминия, например при използване на абразивни почистващи средства, ускорява корозията и увеличава количеството на алуминиеви йони в храната (Kegley et al., 1995).

За да се намали рискът от експозиция на алуминий, се препоръчва използването на алтернативни материали като неръждаема стомана, керамика, чугун и титан, които са устойчиви на корозия и безопасни за готвене и съхранение на храни. Важно е потребителите да бъдат информирани за потенциалните рискове и да избягват готвене на киселинни и солени храни в алуминиеви съдове.

Социологическо проучване

Във връзка с изложеното беше проведено социологическо проучване – анкета сред 100 участници от различни региони в България. От тях 52% са жени и 48% – мъже, като възрастовите групи са 25 – 40 г. (45%) и 41 – 60 г. (55%).

Резултати от проучването показват, че:

- 15% от анкетираните използват алуминиеви съдове за готвене;
- 42% не са запознати с потенциалните рискове, свързани с употребата на алуминиеви съдове;
- 71% не знаят кои храни могат да се приготвят в алуминиеви съдове без риск за здравето;
- 34% смятат, че млечни храни могат да се готвят в алуминиеви съдове, а 44% вярват, че те са подходящи за приготвяне на сокове, домати и желета;
- 70% не знаят, че употребата на алуминиеви съдове е „забранена в детски градини и училища“ (чл. 12 от EU Directive 2020/2184 за качеството на водата за пиене, приложимо и за съдове в институции) (EU, 2020).

Тези резултати подчертават необходимостта от повишаване на информираността относно рисковете от алуминиевите съдове с цел намаляване на потенциалния негативен ефект върху здравето, особено предвид доказаните невротоксични ефекти при продължителна експозиция (Willhite et al., 2014).

Изследване на взаимодействието между алуминиеви съдове и хранителни среди чрез експериментални методи

Експерименталната част на изследването е разделена на няколко етапа, всеки от които има за цел да изследва различни аспекти на взаимодействието между алуминиевите съдове и храните.

Опит №1: взаимодействие на алуминия с киселини и основи

Цел: да се изследва как алуминият реагира с киселинни и основни разтвори.

Материали и апаратура:

- алуминиево фолио;
- разтвор на солна киселина (HCl, 1M);
- разтвор на натриев хидроксид (NaOH, 1M);
- епруветки;
- стъклена пръчка;
- пипета;
- ръкавици и защитни очила.

Процедура

1. В две отделни епруветки се наливат по 10 ml разтвор на солна киселина и натриев хидроксид.

2. Във всяка епруветка се поставя малко парче алуминиево фолио.

3. Наблюдава се отделянето на газови мехурчета в продължение на няколко минути.

4. Доближава се горяща клечка до отвора на епруветката, за да се установи наличието на водород чрез характерен „пукащ“ звук.

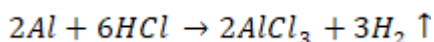
Наблюдения

– В киселинния разтвор се отделя интензивно безцветен газ (водород).

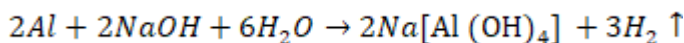
– В основния разтвор също се отделя водород, но по-бавно.

– Алюминиевото фолио постепенно се разтваря и в двата разтвора.

– Реакция с киселина:



– Реакция с основа:



Извод: алуминият реагира както с киселини, така и с основи, отделяйки водороден газ.

Опит №2: определяне на рН на често срещани храни

Цел: да се определи киселинността или алкалността на различни храни и да се анализира тяхното взаимодействие с алуминиеви съдове.

Материали и апаратура:

- индикаторни лентички (универсален рН индикатор);
- стъклени чаши;
- дестилирана вода;
- лъжица за разбъркване;
- проби от различни храни (грис каша, оризова каша, доматиена супа, компот от ябълки и др.)

Процедура

1. Взема се проба от всяка храна.

2. Добавя се малко дестилирана вода и се разбърква до хомогенен разтвор.

3. Потопява се индикаторна лента за 30 секунди.

4. Цветът се сравнява със стандартната рН скала и резултатите се записват.

Резултати (табл. 1)

Таблица 1. Резултати от опит №2

Ястие	pH среда
Грис каша	Основна
Оризова каша	Основна
Картофено пюре	Основна
Супа с фиде и пилешки бульон	Основна
Какао	Основна
Доматена супа	Киселинна
Зелева супа	Киселинна
Разсол (туршия)	Киселинна
Супа от телешко месо с домати	Киселинна
Печен дроб (телешки)	Киселинна
Компот	Киселинна
Ошав от сушени плодове	Киселинна

Извод: храните имат различна рН среда, като киселинните храни (домати, компоти) имат ниско рН, което може да влияе на корозията на алуминия.

Опит №3: проверка за наличие на алуминиеви йони във вода, кипната в алуминиев съд

Цел: да се установи дали кипенето на вода в алуминиев съд води до отделяне на алуминиеви йони.

Материали и апаратура:

- алуминиева тенджера;
- чиста вода;
- нагревателна плоча;
- разтвор на натриев хидроксид (NaOH, 1M);
- епруветки;
- стъклена пръчка.

Процедура

В алуминиева тенджера се налива чиста вода и се кипва за 15 минути.

След охлаждане се взема проба и се изсипва в епруветка.

Добавя се NaOH и се наблюдава за промени.

Наблюдения

Не се наблюдава образуване на утайка или промяна на цвета.

Извод: кипенето на вода в алуминиев съд не води до значително отделяне на алуминиеви йони.

Опит №4: проверка за наличие на алуминиеви йони след кипене на солна киселина в алуминиев съд

Цел: да се установи дали киселинната среда благоприятства отделянето на алуминиеви йони.

Материали и апаратура:

- алуминиева тенджера;
- разтвор на солна киселина (HCl , 0.01M);
- нагревателна плоча;
- разтвор на натриев хидроксид (NaOH , 1M);
- епруветки;
- стъклена пръчка.

Процедура

1. В тенджерата се налива HCl (0.01M) и се кипва за 15 минути.
2. След охлаждане, пробата се изследва с добавен NaOH .

Наблюдения

След добавяне на NaOH се образува светла гелообразна утайка.

Извод: киселинната среда ускорява корозията и отделянето на алуминиеви йони.

Опит №5: проверка за наличие на алуминиеви йони след кипене на натриев хидроксид в алуминиев съд

Цел: да се установи дали алкалната среда благоприятства отделянето на алуминиеви йони.

Материали и апаратура:

- алуминиева тенджера;
- разтвор на NaOH (0.01M);
- нагревателна плоча;
- разтвор на HCl (0.001M);
- епруветки;
- стъклена пръчка.

Процедура

1. В тенджерата се налива NaOH (0.01M) и се кипва за 15 минути.
2. След охлаждане пробата се изследва с добавен HCl .

Наблюдения

След добавяне на HCl се образува светла гелообразна утайка.

Извод: дори слабо алкалната среда може да предизвика корозия и отделяне на алуминиеви йони.

Опит №6: проверка за наличие на алуминиеви йони във вода, съхранявана дълго време в алуминиев съд

Цел: да се установи дали продължителното съхранение на вода в алуминиев съд води до отделяне на алуминиеви йони.

Материали и апаратура:

- алуминиев съд;
- дестилирана вода;
- разтвор на NaOH (1M);
- епруветки;
- стъклена пръчка.

Процедура

1. В алуминиев съд се налива дестилирана вода и се съхранява при стайна температура 7 дни.

2. Проба се взема и се добавя NaOH.

Наблюдения

Не се наблюдава промяна.

Извод: продължителното съхранение на вода в алуминиев съд не води до значително отделяне на алуминиеви йони.

Експериментите потвърждават, че алуминиевите съдове отделят алуминиеви йони в храните при кисела и алкална среда, особено при кипене и продължително готвене. Киселинните храни и съхранение в кисела среда увеличават риска от корозия и навлизане на алуминиеви йони в храната, което може да бъде потенциален здравословен риск. Водата без добавени киселини и основи не предизвиква корозия при краткотрайно кипене или дълго съхранение. Това показва необходимостта от предпазни мерки при използването на алуминиеви съдове, особено за кисели и алкални храни.

Заклучение

Настоящото изследване категорично показва, че използването на алуминиеви съдове за готвене може да представлява сериозен риск за човешкото здраве, особено при приготвяне или съхранение на киселинни храни. Експерименталните резултати потвърждават, че при контакт с такива храни се отделят алуминиеви йони в концентрации, които в определени случаи могат да надвишават допустимите нива, определени от международни здравни организации.

Натрупването на алуминий в организма е свързано с редица неблагоприятни ефекти, включително повишен риск от невродегенеративни заболявания (като болестта на Алцхаймер), увреждане на бъбречната функция и нарушения в костната система. Въпреки широкото му приложение в домакинството и хранителната индустрия, нашите резултати подчертават необходимостта от повишена информираност и предпазливост при използването на алуминиеви съдове (Exley, 2013; Krewski et al., 2007; Willhite et al., 2014).

С оглед на изложените данни препоръчваме ограничаване употребата на алуминиеви съдове, особено при киселинни среди, и преминаване към безопасни алтернативи като неръждаема стомана, керамика, стъкло или чу-

гун. Необходима е и институционална намеса за регулиране и информиране на потребителите.

Препоръки

1. За потребителите

– Избягвайте готвене на киселинни храни (домати, цитруси, маринати) в алуминиеви съдове.

– Използвайте алтернативни материали: неръждаема стомана, керамика, стъкло, чугун.

– Не съхранявайте храни продължително време в алуминиеви съдове или контейнери.

– Проверявайте етикетите и състава на кухненските съдове и опаковки, които влизат в контакт с храна.

2. За образователните институции

– Организирайте уроци, семинари и кампании за повишаване на осведомеността относно безопасното готвене и употреба на кухненски съдове.

– Провеждайте демонстрационни експерименти, показващи отделянето на алуминий при различни условия.

3. За производителите

– Разработвайте иновативни и ефективни защитни покрития, които ограничават миграцията на алуминиеви йони в храната.

– Насърчавайте производството и разпространението на безопасни и устойчиви кухненски материали.

– Осигурете прозрачност в етиктирането на продуктите, включително предупреждения за рисковете при контакт с киселинни храни.

БЕЛЕЖКИ

1. Трета награда в категория „Изследователски проекти“.

2. Наредба № 9 за качеството на водата, предназначена за битово-питейни цели. Обн. ДВ. бр.30 от 28 март 2001 г., ... изм. и доп. ДВ. бр.43 от 16 май 2023 г.

REFERENCES

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2008). *Toxicological Profile for Aluminum*. U.S. Department of Health and Human Services.

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2018). Re-evaluation of aluminium sulphates (E 520 – 523) and sodium

- aluminium phosphate (E 541) as food additives. *EFSA Journal*, 16(7), e05372. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5372>.
- European Union (EU). (2020). Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. *EUR-Lex*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>.
- Exley, C. (2013). Human Exposure to Aluminium. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1807 – 1816. <https://doi.org/10.1039/C3EM00374D>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). *Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Seventy-third Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. World Health Organization.
- Kegley, S. E., Thiemens, M. & Hansen, K. J. (1995). *Environmental Chemistry: A Global Perspective*. University Science Books.
- Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., Kacew, S., Lindsay, J., Mahfouz, A. M. & Rondeau, V. (2007). Human Health Risk Assessment for Aluminium, Aluminium Oxide, and Aluminium Hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health: Part B*, 10(1), 1 – 269. <https://doi.org/10.1080/10937400701597766>.
- Willhite, C. C., Karyakina, N. A., Yokel, R. A., Yenugadhati, N., Wisniewski, T. M., Arnold, I. M. F., Momoli, F. & Krewski, D. (2014). Systematic review of potential health risks posed by pharmaceutical, occupational and consumer exposures to metallic and nanoscale aluminum, aluminum oxides, aluminum hydroxide and its soluble salts. *Critical Reviews in Toxicology*, 44(Sup 4), 1 – 80.
- World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). World Health Organization.

THE THIRTEENTH ELEMENT – SAVER OR SILENT DESTROYER?

Abstract. This research project investigates the impact of aluminum on human health, focusing on the potential risks associated with the use of aluminum cookware and food packaging. Aluminum is a widely used metal in the food and medical industries. Despite the long-standing belief that aluminum is safe, recent studies show that it can accumulate in the body and have neurotoxic effects.

The aim of the project is to determine the presence of aluminum ions (Al^{3+}) in food after heat treating in aluminum cookware and to assess the potential health risk. Through experimental analyses, laboratory studies and a sociological survey, it was found that aluminum cookware can release harmful ions, especially when interacting with acidic foods or prolonged cooking.

Keywords: aluminum cookware; health risks; neurotoxic effects; Al^{3+} ions, heat treating; acidic foods

✉ **Victoria Milkova Dechkova, 9th grade**
127th “Ivan N. Denkoglu” Secondary School
Sofia, Bulgaria

✉ **Nikola Kirilov Velchev, 9th grade**
127th “Ivan N. Denkoglu” Secondary School
Sofia, Bulgaria

✉ **Supervisor: Neli Georgieva Ivanova**
Chemistry and Environmental Protection Teacher
127th “Ivan N. Denkoglu” Secondary School
Sofia, Bulgaria
E-mail: neli1986_n@abv.bg