

УДК 577.34:683.958:628.1

**RESEARCH OF IONIZING EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC
RADIATION OF MICROWAVE OVEN ON THE DRINKING WATER**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІОНІЗУЮЧОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ПЕЧІ НА ПИТНУ ВОДУ**

Pastushenko Ya.O./Пастушенко Я.О.

stud./студ.

Kundelchuk O.P./ Кундельчук О.П.

c.b.s., doc. / к.б.н., доц.

Semenyuk S.K./Семенюк С.К.

c.b.s., doc. / к.б.н., доц.

Kherson State University, Kherson, University str., 27, 73000

Херсонський державний університет, Херсон, вул. Університетська, 27, 73000

Анотація. Дозиметричні дослідження з використанням побутового дозиметра SMG-2 виявили тимчасове (до 2-х годин) достовірне зростання рівня іонізуючого випромінювання від водопровідної питної води, яка пройшла кип'ятіння в побутовому електрочайнику, але – не в мікрохвильовій печі. Згідно нормативів, рівень виявленого короткочасного іонізуючого ефекту є шкідливим для здоров'я людини. В статті обговорюються можливі механізми виявленого феномену.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, дозиметрія, мікрохвильова піч, електричний чайник, водопровідна питна вода.

Вступ. Останні роки значне занепокоєння серед населення викликають дані, які з'являються в засобах масової інформації, щодо небезпеки для здоров'я людини споживання продуктів харчування і води, розігрітих в побутових мікрохвильових печах. Зокрема, акцент робиться на іонізуючій дії мікрохвильового випромінювання. У зв'язку з вище викладеним, актуальними є дослідження, спрямовані на виявлення можливої іонізуючої дії мікрохвильового випромінювання від мікрохвильової печі на воду і продукти харчування.

Матеріали і методи дослідження. Для оцінки можливої іонізуючої дії побутових мікрохвильових печей на питну воду під час її кип'ятіння, нами був використаний дозиметр SMG-2, в основу якого покладено сучасний

газорозрядний лічильник типу "СБМ 20-1", розроблений на базі технології Гейгера-Мюллера. Дозиметр SMG-2 проводить оцінку радіаційного фону і вимірює накопичену дозу за величиною потужності іонізуючого випромінювання (поток бета-частинок і гамма-випромінювання з урахуванням рентгенівського). Діапазон вимірювання рівня радіоактивного фону – 0,01...999 мкЗв/год.

Для кип'ятіння питної водопровідної води нами були використані: а) мікрохвильова піч TechnoStar, внутрішнє покриття якої зроблене з емалі, потужність – 700 Вт, країна виробник – Німеччина; б) електричний чайник «A-PLUS», корпус і внутрішнє покриття якого зроблені з нержавійочної сталі високої якості; обсяг – 2,0 л., потужність – 1800 Вт, дисковий нагрівач, країна виробник – Китай; в) побутовий чайник і газова плита, як джерело нагрівання води.

В ході проведення дослідження питну водопровідну воду доводили до кипіння в мікрохвильовій печі, в електрочайнику і на звичайній газовій плиті. Надалі за допомогою дозиметра SMG-2 вимірювали показники іонізуючого випромінювання від щойно закипілої води, через 1 годину і через 2 години після кип'ятіння. Проводили не менше 15 дозиметричних замірів для кожного варіанта дослідження. Отримані дані статистично обробляли.

Для переведення одиниць вимірювання з мкЗв/год у мкР/год (для можливості порівняння даних з нормативами), показник, отриманий за допомогою дозиметра (у мкЗв/год), було домножено на 100.

Результати дослідження. Результати дозиметричних досліджень водопровідної питної води до і після проведення кип'ятіння з використанням різних нагрівальних приладів представлені в таблиці 1. Дозиметрія холодної водопровідної води показала значення $0,30 \pm 0,019$ мкЗв/год. Подальше кип'ятіння води з використанням побутового чайника на газовій плиті або з використанням мікрохвильової печі – не вплинуло статистично достовірно на величину дозиметричних показників, які становили $0,33 \pm 0,043$ мкЗв/год і $0,31 \pm 0,023$ мкЗв/год, відповідно. Однак, після кип'ятіння в електрочайнику, прилад зареєстрував статистично достовірне зростання рівня іонізуючого

випромінювання від закипілої води до величини $0,40 \pm 0,019$ мкЗв/год. При цьому високі значення дозиметричних показників трималися не менше години після закипання води і тільки через дві години повернулися до початкових значень і становили $0,28 \pm 0,014$ мкЗв/год.

Таблиця 1.

Вплив нагрівачів різного типу на дозиметричні показники питної води (мкЗв/год)

Умови дослідження:	Тип нагрівального приладу:		
	Газова плита:	Електричний чайник:	Мікрохвильова піч:
Холодна вода (контроль)	$0,30 \pm 0,019$	$0,30 \pm 0,019$	$0,30 \pm 0,019$
Вода, відразу після закипання	$0,33 \pm 0,043$	$0,40 \pm 0,019^*$	$0,31 \pm 0,023$
Вода через 1 годину після закипання	$0,33 \pm 0,013$	$0,37 \pm 0,019^*$	$0,29 \pm 0,008$
Вода через 2 години після закипання	$0,25 \pm 0,016^*$	$0,28 \pm 0,014$	$0,28 \pm 0,024$

* - значення достовірно відрізняються від контрольних показників.

Цікаво відмітити, що в усіх випадках нами була виявлена загальна тенденція до зменшення дозиметричних показників води через дві години після кип'ятіння порівняно з вихідною холодною водою. Але лише для води, кип'ятіння якої проводили на газовій плиті, це зниження було статистично достовірним: з $0,30 \pm 0,019$ до $0,25 \pm 0,016$, відповідно ($t = 5$).

Обговорення результатів. Тривалий час іонізуючим, тобто таким, яке призводить до появи агресивних іонів і вільних радикалів, вважалось тільки коротке електромагнітне випромінювання (гамма-промені, рентгенівські промені і короткий ультрафіолет). Однак, в останні роки публікується все більше робіт, в яких показано генерування вільних радикалів під впливом низько-енергетичного електромагнітного випромінювання – в діапазоні від видимого

світла до радіохвиль. Зокрема, дослідження, проведені біофізиками, показали, що при впливі на воду видимого світла, теплового випромінювання та імпульсного надчастотного мікрохвильового випромінювання – в воді з'являються гідроксид-радикали та інші типи вільних радикалів. При цьому накопичення вільних радикалів під дією електромагнітних хвиль меншої частоти, ніж ультрафіолетове випромінювання, посилюється багаторазово при наявності у воді кисню та іонів різних солей. Появу в даних умовах вільних радикалів реєструють за допомогою спеціальних високо чутливих методик [1-3].

Проте побутові дозиметри, зокрема, дозиметр SMG-2, реєструють тільки бета-, гамма- і рентгенівське випромінювання від об'єкта і не спроможні виявити присутність у воді гідроксильних вільних радикалів. Яке фізичне явище могло стати джерелом короткохвильового електромагнітного випромінювання, виявленого в наших дослідженнях від води, яка закипіла в електричному чайнику?

Відомо, що вільні радикали спроможні взаємодіяти один з одним, в результаті чого надлишок енергії, запасений в вільних радикалах, виділяється у вигляді електромагнітного випромінювання різної довжини хвилі (за наявними на сьогоднішній день даними: від радіохвильового до ультрафіолетового випромінювання – в залежності від кількості енергії, яка виділяється). Інформація про емісію більш короткохвильового випромінювання (рентгенівського, гамма-випромінювання) в ході вільно-радикальних реакцій – нам не відома. Сучасні побутові дозиметри крім гамма та рентгенівського випромінювання, здатні реєструвати ультрафіолетове випромінювання при наявності спеціального кварцового вікна, що пропускає ультрафіолетові промені. Однак, використаний в нашому дослідженні побутовий електронний дозиметр SMG-2 розрахований на реєстрацію тільки рентгенівського і гамма випромінювань (оскільки не оснащений кварцовим вікном). Таким чином, нами вперше було зареєстровано достовірне збільшення рівня іонізуючого випромінювання короткохвильового діапазону (рентгенівського і/або гамма-випромінювання) від води, яка закипіла в електрочайнику. Однією з вірогідних

причин росту рівня іонізуючого випромінювання від такої води – є протікання в нагрітій воді вільно-радикальних реакцій, надлишок енергії яких виділяється у вигляді короткохвильового електромагнітного випромінювання. Крім того, досить імовірним є те, що фізичні та фізико-хімічні умови, які створюються в електрочайнику в процесі закипання води, можуть переводити електрони в атомах на більш високий енергетичний рівень; при охолодженні такої води – система заспокоюється і електрони повертаються на вихідні енергетичні рівні, при цьому надлишок поглиненої енергії може виділятися також у вигляді короткохвильового електромагнітного випромінювання. Означені гіпотези опосередковано підтверджуються тим, що через дві години після кип'ятіння відбувається зниження рівня іонізуючого випромінювання від закипілої води.

Відомо, що переходи електронів в атомних оболонках з більш високого енергетичного рівня на більш низький енергетичний рівень можуть супроводжуватися випромінюванням електромагнітних хвиль будь-якої довжини - від радіохвиль до гамма-випромінювання. Цілком можливо, що енергетичний вплив від нагрівальної спіралі електрочайника є достатнім для переведення електронів на високі енергетичні орбіталі, повернення з яких в початкове положення може супроводжуватися короткохвильовим електромагнітним випромінюванням в діапазоні, що реєструється побутовими дозиметрами. При цьому зниження показників дозиметра через дві години після кип'ятіння води в електрочайнику до вихідних значень, може бути пов'язано: а) з взаємним гасінням високоенергетичних вільних радикалів, які з'явилися в воді в процесі закипання; б) а також з поверненням збуджених електронів з високоенергетичних орбіталей на вихідні енергетичні рівні.

В дослідженнях, проведених Zhang Z. з колегами (2014), було встановлено, що мікрохвильове випромінювання в присутності оксидів титану - забезпечує генерування вільних радикалів, що використовується в технологіях деградації органічних забруднюючих речовин [14]. Paudel N.R. з колегами (2016) було показано, що в присутності наночастинок золота - мікрохвильове випромінювання забезпечує генерування гідроксид радикалів, порівнянне з

генеруванням цих радикалів іонізуючим випромінюванням в дозі 1,5 Гр [11]. Таким чином, мікрохвильове випромінювання в присутності іонів металів спроможне генерувати значну кількість вільних радикалів. При цьому в ряді досліджень підкреслюється не термальний ефект мікрохвильового випромінювання під час генерування вільних радикалів [10]. Можливо припустити, що в умовах мікрохвильового випромінювання утворюються низькоенергетичні вільні радикали, оскільки в наших дослідженнях ми не виявили достовірного зростання рівня іонізуючого випромінювання від води, яка пройшла кип'ятіння в мікрохвильовій печі (т.т. під час взаємодії таких радикалів вивільняється незначна кількість енергії, що не дозволяє реєструвати ефект утворення вільних радикалів в умовах дії мікрохвильової обробки за допомогою побутового дозиметра).

Лу У. з колегами (2009) проводили H_2O_2 -засновану реакцію деградації водних розчинів малахітового зеленого при нагріванні водних розчинів в мікрохвильовій і в звичайній печі [8]. При цьому знебарвлення розчинів відбувалося швидше при нагріванні в умовах мікрохвильового випромінювання. Автори дослідження прийшли до висновку, що нагрівання в мікрохвильовій печі дозволяє продукувати більше гідроксидних радикалів з вихідного перекису водню (реактив Фентона = пероксид водню + залізо), в порівнянні з нагріванням у звичайній печі [8]. Таким чином, отримані дослідниками результати свідчать про те, що просто тепловий ефект не дає такої кількості вільних радикалів, як ефект високочастотного електромагнітного поля. У зв'язку з вищевикладеним цікавим стає той факт, що нагрівання в електрочайнику призвело до достовірного зростання показників дозиметра, що свідчить про потужний іонізаційний ефект обробки води в таких умовах. І якщо теплове випромінювання від звичайної печі не здатне генерувати достатньої кількості вільних радикалів - то можна припустити, що кип'ятіння води в електрочайнику супроводжується додатковим енергетичним ефектом не термальної природи.

Оцінка потенційної небезпеки використання питної води після дії змінного електромагнітного випромінювання від мікрохвильової печі та електричного

чайника. Якщо в порівнянні з фоном рівень випромінювання від харчової продукції або питної води перевищує 10-15 мкР на годину, то це говорить про істотну небезпеку даної продукції [4]. Згідно з отриманими в нашому дослідженні даними, рівень іонізуючого випромінювання від щойно закипілої в електрочайнику води в порівнянні з холодною водою – виріс на 10 мкР на годину. Таке зростання рівня випромінювання від води є небезпечним для здоров'я людини. Оскільки побутовий дозиметр, який було використано в нашому дослідженні, реєструє жорстке електромагнітне випромінювання рентгенівського та гамма діапазонів, це свідчить про появу означеного типу випромінювання від питної води, яку кип'ятили в електрочайнику. Який чинник міг стати джерелом жорсткого електромагнітного випромінювання в експерименті?

Нажаль обмеженою для споживачів є інформація, що багато електричних приладів, які не призначені для отримання рентгенівського випромінювання, генерують його як побічний продукт. До таких приладів відносяться, зокрема, кінескопи застарілих кольорових телевізорів і сьогодні виробництво сучасних кольорових кінескопів в багатьох країнах знаходиться під урядовим контролем [5]. Ми можемо припустити, що причиною появи іонізуючого випромінювання від питної води після її кип'ятіння в електрочайнику стало короткохвильове електромагнітне випромінювання від приладу, яке виникає як побічний продукт перетворення електричної енергії в теплову в нагрівальному елементі електрочайника.

Згідно з літературними даними, теплова і мікрохвильова обробка води призводить до появи вільних гідроксид-радикалів та інших вільно-радикальних форм. Високим рівнем накопичення вільних радикалів, мабуть, пояснюється високий стерилізаційний ефект кип'ятіння води в електрочайнику в порівнянні з кип'ятінням на звичайній газовій плиті: після кип'ятіння в електрочайнику зареєстровано достовірно менше виживання в воді термотолерантних колі-бактерій в порівнянні з кип'ятінням звичайним способом [7]. Таким чином, в електрочайнику створюються умови з більш потужним стерилізуючим ефектом,

ніж при простому кип'ятінні води. І, цілком можливо, що це не тільки більш висока температура, але – і додатковий ефект не температурної природи (оскільки в даних умовах стерилізації гине багато термотолерантних бактерій).

В ряді робіт було показано, що в процесі кип'ятіння води в електрочайнику - з металеві спіралі в воду виходять іони металів [6, 9, 12], що може стимулювати утворення у воді вільних радикалів і, з одного боку, привести до достовірного зростання показників, що реєструються побутовими дозиметрами, а з іншого боку - забезпечити додатковий стерилізуючий ефект (як за рахунок появи іонів важких металів, так і за рахунок накопичення вільних радикалів в закип'ялій воді).

Yamabhai M. з колегами (2014) очищену деіонізовану воду піддавали: а) кип'ятінню; б) експозиції на мікрохвильовому випромінюванні; в) дії низькочастотного електромагнітного поля за технологією молекулярного резонансу (MRET-технологія) [13]. Надалі цю воду використовували для приготування середовища для культивування клітин крові людини. Проведені дослідження показали, що клітини крові на поживних середовищах, виготовлених на воді, яка закипіла, і на воді, обробленій мікрохвильовим випромінюванням, – демонстрували більший оксидативний стрес, в порівнянні з клітинами, вирощеними на воді після впливу низькочастотного електромагнітного поля. Пророщування сої на воді, активованій впливом низькочастотного електромагнітного поля і мікрохвильовим випромінюванням - призвело до збільшення довжини коренів проростків, в порівнянні з водою, яку закип'ятили. Автори дослідження прийшли до висновку, що вода, оброблена електромагнітними полями, має різноманітні біологічні ефекти при впливі як на клітини тварин, так і на клітини рослин [13].

Цікаво відзначити, що Yamabhai M. з колегами (2014) було встановлено, що вода, оброблена мікрохвильовим випромінюванням, посилила ріст коренів сої [13]. Тоді як дослідження, проведені на кафедрі екології та географії Херсонського державного університету, показали, що проростки цибулі гірше росли на воді, яка була оброблена мікрохвильовим випромінюванням в

побутовій мікрохвильовій печі. Цілком можливо, що біологічний ефект дії мікрохвильового випромінювання на воду залежить від тривалості обробки та від частоти використаних при обробці води хвиль.

Висновки. Проведене нами дослідження питної води з використанням побутового дозиметра SMG-2, показало, що термічна обробка (кип'ятіння) з використанням звичайної газової плити або з використанням мікрохвильової печі не призводять до істотних змін показників дозиметра порівняно з холодною водою. Проте, кип'ятіння з використанням електрочайника моделі «A-PLUS», викликає статистично достовірне збільшення показників дозиметра порівняно з холодною водою: з $0,30 \pm 0,019$ мкЗв/год до $0,40 \pm 0,019$ мкЗв/год. Через 2 години після кип'ятіння – показники дозиметра повернулися до початкових значень і становили $0,28 \pm 0,014$ мкЗв/год. Згідно нормативів, рівень виявленого короткочасного іонізуючого ефекту є шкідливим для здоров'я людини. Ймовірною причиною небезпечного нетривалого зростання рівня іонізуючого випромінювання від питної води є нетермальний вплив електромагнітного випромінювання від нагрівального елемента електрочайника, оскільки кип'ятіння води на газовій плиті та в мікрохвильовій печі до статистично достовірного іонізуючого ефекту не призвело.

Література:

1. Брусков В.И., Масалимов Ж.К., Черников А.В. Образование активных форм кислорода в воде под действием тепла // Докл. Акад. наук. - 2002. - Т. 384. - С. 821-824.
2. Гудков С.В. Механизмы образования активных форм кислорода под влиянием физических факторов и их генотоксическое действие. 03.01.02. – биофизика. Автореф. диссерт. на соискание ученой степени д.б.н. Пущино, 2012.
3. Гудков С.В., Смирнова В.С., Брусков В.И. Образование перекиси водорода в воде при воздействии видимого света // Вода: химия и экология. - 2010. - № 8. - С. 40-45. <http://watchemec.ru/article/9635/>.
4. Поленов Б.В. Дозиметричні прилади для населення. – М.: Енергоатомвидам. – 1991. 64 с. <http://chornobyl.in.ua/uk/izmirenia-radiacii.html>.

5. Физико-технические характеристики переносного рентгеновского аппарата. 2013. <http://u4isna5.ru/diplom/703-fiziko-tekhnicheskie-kharakteristiki-perenosnogo-rentgenovskogo-apparata>.

6. Berg T., Petersen A., Pedersen G.A., Petersen J., Madsen C. The release of nickel and other trace elements from electric kettles and coffee machines // *Food Addit. Contam.* – 2000. – Vol. 17(3). – P. 189 - 196.

7. Cohen A., Tao Y., Luo Q., Zhong G., Romm J., Colford J.M.Jr., Ray I. Microbiological Evaluation of Household Drinking Water Treatment in Rural China Shows Benefits of Electric Kettles: A Cross-Sectional Study // *PLoS One.* – 2015. – Vol. 10(9):e0138451. doi: 10.1371/journal.pone.0138451.

8. Ju Y., Yang S., Ding Y., Sun C., Gu C., He Z., Qin C., He H., Xu B. Microwave-enhanced H₂O₂-based process for treating aqueous malachite green solutions: intermediates and degradation mechanism // *J. Hazard. Mater.* – 2009. – Vol. 171(1-3). – P. 123 - 132. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.120.

9. Müller F.D., Hackethal C., Schmidt R., Kappenstein O., Pfaff K., Luch A. Metal release from coffee machines and electric kettles // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* – 2015. – Vol. 32(11). – P. 1959 - 1964. doi: 10.1080/19440049.2015.1086929.

10. Nascimento U.M., Azevedo E.B. Microwaves and their coupling to advanced oxidation processes: enhanced performance in pollutants degradation // *J. Environ. Sci. Health A Tox Hazard Subst. Environ. Eng.* – 2013. – Vol. 48(9). – P. 1056 - 1072. doi: 10.1080/10934529.2013.773822.

11. Paudel N.R., Shvydka D., Parsai E.I. A novel property of gold nanoparticles: Free radical generation under microwave irradiation // *Med Phys.* – 2016. – Vol. 43(4):1598. doi: 10.1118/1.4942811.

12. Wigle D.T., Charlebois E.J. Electric kettles as a source of human lead exposure // *Arch. Environ. Health.* – 1978. – Vol. 33(2). – P. 72 - 78.

13. Yamabhai M., Chumseng S., Yoohat K., Srila W. Diverse biological effects of electromagnetic-treated water // *Homeopathy.* – 2014. – Vol. 103(3). – P. 186 -192. doi: 10.1016/j.homp.2013.11.004.

14. Zhang Z., Yu F., Huang L., Jiatieli J., Li Y., Song L., Yu N., Dionysiou D.D. Confirmation of hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$) generated in the presence of TiO_2 supported on AC under microwave irradiation // *J. Hazard. Mater.* – 2014. – Vol. 278. – P. 152 - 157. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.064.

Abstract. *Our research on drinking water using the SMG-2 household dosimeter showed that the heat treatment (boiling) using a conventional gas cooker or using a microwave oven does not lead to significant changes in the dosimeter parameters compared with cold water. However, boiling using the A-PLUS model of an electric kettle causes a statistically significant increase in dosimeter performance compared to cold water: from $0,30 \pm 0,019 \mu\text{Sv/h}$ to $0,40 \pm 0,019 \mu\text{Sv/h}$. After 2 hours after boiling - the dosimeter returned to the initial values and amounted to $0,28 \pm 0,014 \mu\text{Sv/h}$. According to the standards, the level of short-term ionizing effect detected is harmful to human health. The probable cause of the dangerous short-term increase in the level of ionizing radiation from drinking water is the nonterminal effect of electromagnetic radiation from the heating element of the kettle, since boiling water on the gas stove and in the microwave oven has not led to a statistically significant ionizing effect.*

Key words: *ionizing radiation, dosimetry, microwave oven, electric kettle, plumbing drinking water.*

References:

1. Bruskov V.I., Masalimov Zh.K., Chernikov A.V. (2002) Formation of active forms of oxygen in water under the action of heat // *Dokl. Acad sciences.* – Vol. 384. - P. 821-824.
2. Gudkov S.V. (2012) Mechanisms of formation of active forms of oxygen under the influence of physical factors and their genotoxic action. 03.01.02. - biophysics. Author's abstract. dissertation for obtaining a scientific degree dbn.n. Pushchino.
3. Gudkov S.V., Smirnova V.S., Bruskov V.I. (2010) Formation of hydrogen peroxide in water under the influence of visible light // *Water: chemistry and ecology.* - No. 8. - P. 40-45. <http://watchemec.ru/article/9635/>.
4. Polenov B.V. (1991) Dosimetric devices for the population. M. Energoatomovidam. 64 p. <http://chornobyl.in.ua/uk/izmirenia-radiacii.html>.
5. Physical and technical characteristics of portable X-ray apparatus (2013). <http://u4isna5.ru/diplom/703-fiziko-tekhnicheskie-kharakteristiki-perenosnogo-rentgenovskogo-apparata>.
6. Berg T., Petersen A., Pedersen G.A., Petersen J., Madsen C. (2000) The release of nickel and other trace elements from electric kettles and coffee machines // *Food Addit. Contam.* – Vol. 17(3). – P. 189 - 196.
7. Cohen A., Tao Y., Luo Q., Zhong G., Romm J., Colford J.M.Jr., Ray I. (2015) Microbiological Evaluation of Household Drinking Water Treatment in Rural China Shows Benefits of Electric Kettles: A Cross-Sectional Study // *PLoS One.* – Vol. 10(9):e0138451. doi: 10.1371/journal.pone.0138451.
8. Ju Y., Yang S., Ding Y., Sun C., Gu C., He Z., Qin C., He H., Xu B. (2009) Microwave-enhanced H_2O_2 -based process for treating aqueous malachite green solutions: intermediates and degradation mechanism // *J. Hazard. Mater.* – Vol. 171(1-3). – P. 123 - 132. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.120.
9. Müller F.D., Hackethal C., Schmidt R., Kappenstein O., Pfaff K., Luch A. (2015) Metal release from coffee machines and electric kettles // *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* – Vol. 32(11). – P. 1959 - 1964. doi: 10.1080/19440049.2015.1086929.

10. Nascimento U.M., Azevedo E.B. (2013) Microwaves and their coupling to advanced oxidation processes: enhanced performance in pollutants degradation // *J. Environ. Sci. Health A Tox Hazard Subst. Environ. Eng.* – Vol. 48(9). – P. 1056 - 1072. doi: 10.1080/10934529.2013.773822.
11. Paudel N.R., Shvydka D., Parsai E.I. (2016) A novel property of gold nanoparticles: Free radical generation under microwave irradiation // *Med Phys.* – Vol. 43(4):1598. doi: 10.1118/1.4942811.
12. Wigle D.T., Charlebois E.J. (1978) Electric kettles as a source of human lead exposure // *Arch. Environ. Health.* – Vol. 33(2). – P. 72 - 78.
13. Yamabhai M., Chumseng S., Yoohat K., Srila W. (2014) Diverse biological effects of electromagnetic-treated water // *Homeopathy.* – Vol. 103(3). – P. 186 - 192. doi: 10.1016/j.homp.2013.11.004.
14. Zhang Z., Yu F., Huang L., Jiatieli J., Li Y., Song L., Yu N., Dionysiou D.D. (2014) Confirmation of hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$) generated in the presence of TiO_2 supported on AC under microwave irradiation // *J. Hazard. Mater.* – Vol. 278. – P. 152 - 157. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.064.