

Радіоактивність бутильованої води з торгівельної мережі м. Києва

- **Бузинний Михайло Георгійович**, д-р біол. наук
Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-573X>
- **Михайлова Любов Леонідівна**
Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4913-4344>

Протягом 2018 – 2019 рр. у рамках виконання планових робіт лабораторії досліджено радіоактивність 40 зразків бутильованої води популярних марок українського та закордонного фасування одного з супермаркетів м. Києва. Алгоритм дослідження передбачав на першому етапі визначення сумарної альфа- та сумарної бета-активності, а у разі перевищення їх нормативів – визначення вмісту радію-226 та природної суміші ізотопів урану. Встановлено, що сумарна альфа- та сумарна бета-активності для вод низької мінералізації не перевищує нормативні значення. Для більшості марок мінеральної води високої мінералізації значення сумарної альфа-активності перевищувало норматив 0,1 Бк/л в окремих випадках – вдесятеро, а максимальне значення сумарної бета-активності перевищувало норматив 1,0 Бк/л майже втричі.

Результати вимірювання сумарної альфа- та бета-активності залежно від часу, який пройшов від моменту приготування проби до початку вимірювань, показали, що для окремих проб води характерне збільшення показника альфа-активності з часом, що вказує на процеси накопичення радіоактивності від продуктів розпаду радію-226. Однак, результати вимірювання активності радію-226 та природної суміші ізотопів урану не показали жодного випадку перевищення нормативних рівнів, що дозволяє вважати воду усіх марок за вмістом радіонуклідів придатною для вживання.

Оцінка доз опромінення від споживання бутильованих вод, які містять виміряні величини радію-226 та природної суміші ізотопів урану, не виявила перевищення нормативу 0,1 мЗв/р, за винятком води однієї марки, для якої розрахована доза опромінення становила близько 0,2 мЗв/р для категорії дітей віком від 12 до 17 років, причому 98 % її величини зумовлено радієм-226. Таку величину дози опромінення отримано в припущенні річного споживання у кількості 1,5 л за добу.

Ключові слова: бутильована вода, доза опромінення, природна суміш ізотопів урану, радій-226, сумарна альфа-активність, сумарна бета-активність.

© Бузинний М. Г., Михайлова Л. Л., 2020

Мінеральна вода є одним із потенційних джерел надходження природних радіонуклідів до організму людини, адже вона походить із підземних джерел і відрізняється від води поверхневих джерел підвищеними рівнями радіоактивності. Радіоактивність підземних вод змінюється в широких межах і формується залежно від складу геологічних порід. Найбільш поширеними значимими радіонуклідами, які зустрічаються в підземній воді, є природні ізотопи радію, торію, урану, свинець-210 та полоній-210. Вимоги щодо радіоактивності питної води світової та української нормативних баз не поширюються на мінеральну воду. Водночас, зважаючи на загальну тенденцію зростання рівня споживання фасованої води, зокре-

ма мінеральної, у світі, дослідження її радіоактивності актуальне. Особливо важливими є радіаційні показники бутильованої мінеральної води за умов надзвичайних ситуацій із забрудненням звичних джерел води, коли фасована вода стає чи не єдиною альтернативою водозабезпечення населення.

В Україні, як і в усьому світі, багато людей часто не довіряють якості води з водопровідної мережі і купують бутильовану воду для щоденного споживання, сподіваючись на її безпечність для здоров'я. Нами була поставлена мета вивчити радіаційну якість бутильованої води різних марок і виробників із торгівельної мережі м. Києва за алгоритмом, викладеним у ДСанПіН 2.2.4 – 171-10 [1], а саме: на першому етапі – визначення показників сумар-

ної альфа-, бета-активності для всіх зразків води на їх відповідність максимальним рівням (0,1 Бк/л для сумарної альфа- та 1,0 Бк/л для сумарної бета-активності). У разі перевищення одного чи обох цих показників – визначення вмісту радію та урану та оцінку дози опромінення від цих радіонуклідів під час постійного вживання води як питної.

Аналіз літературних даних

Споживання бутильованої води постійно зростає в усіх країнах світу, а особливо в південних регіонах із посушливим кліматом. Основу для розробки національних норм та стандартів, а також стратегій управління ризиками для забезпечення якості питної води склали настанови Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). У настанові 2018 року [2] містяться рекомендації щодо якості питної води, включно з радіаційними аспектами – оцінка ризиків та управління ризиками для здоров'я від радіонуклідів у питній воді. За основу оцінки ризиків для здоров'я людини від тривалого впливу радіонуклідів у питній воді використовується критерій індивідуальної річної дози (КІД), величина якого не повинна перевищувати 0,1 мЗв/р. На основі цього значення КІД розроблено інші критерії оцінки радіоактивності води, які можна безпосередньо вимірювати – скринінгові та рекомендовані рівні. Скринінгові рівні – це власне значення сумарної альфа- та бета-активності. Настанова ВООЗ [2] пропонує дотримання цих показників на рівні не вище 0,5 Бк/л для сумарної альфа- та 1,0 Бк/л для сумарної бета-активності. Натомість у Директиві Ради 2013/51/EURATOM 2013 року [3] викладено рекомендацію дотримуватися величини скринінгових показників на рівні 0,1 Бк/л для сумарної альфа- та 1,0 Бк/л для сумарної бета-активності. Якщо будь-який із скринінгових рівнів перевищено, потрібно визначити активності окремих радіонуклідів та порівняти їх із рекомендованими рівнями. Рекомендовані рівні розраховуються для окремих радіонуклідів і дорівнюють такій активності присутнього у воді радіонукліда, яка в у разі річного споживання в кількості 2 л на добу (для дорослих) призведе до отримання індивідуальної дози 0,1 мЗв. У Директиві Ради 2013/51/EURATOM 2013 року [3] наведено значення рекомендованих рівнів, які складають для урану-228 – 3,0 Бк/л, урану-224 – 2,8 Бк/л, радію-226 – 0,5 Бк/л, радію-228 – 0,2 Бк/л, свинцю-210 – 0,2 Бк/л та полонію-210 – 0,1 Бк/л. У цьому переліку рекомендовані значення вмісту урану розраховані з погляду радіологічних властивостей урану, хоча зазвичай вони контролюються за його хімічною токсичністю (рекомендований рівень ВООЗ щодо загального вмісту урану в питній воді становить 30 мкг/л, що екві-

лентно 0,37 Бк/л) [2]. За наявності у воді декількох радіонуклідів розраховані значення рекомендованих рівнів менші.

Отже, переважна кількість досліджень вмісту радіонуклідів у бутильованій воді містить матеріали з результатами вимірювання показників сумарної альфа- та сумарної бета-активності, активності природних радіонуклідів радію-226, радію-228, природної суміші ізотопів урану та оцінку дози опромінення, зумовленої цими радіонуклідами.

Метою роботи італійських науковців [4] було поповнення даних щодо радіоактивності бутильованих вод. Для вод 30 торгових марок визначено такі радіаційні показники, як сумарна альфа- та бета-активність, вміст урану, радію та полонію. Зразки вивчали за допомогою методу рідинно-сцинтиляційного лічення (LSC). Результати показали, що значення сумарної альфа-активності склали від 0,6 до 329,4 мБк/л, сумарної бета-активності – від 1,9 до 1584,9 мБк/л, активності урану – від 0,6 до 116,6 мБк/л, тоді як активність радію та полонію-210 мала менш значні коливання – від 1,7 до 36,4 та від 1,0 до 21,0 мБк/л відповідно.

Також в Італії кількома роками раніше було проведено моніторинг радіоактивності марок мінеральної води, яка найкраще продається і вироблена в Ломбардії (Північна Італія) [5]. Вимірювали сумарну альфа- та сумарну бета-активність, вміст урану-238 та радію-226 у всіх зразках; у 15 відібраних зразках виміряли уран-238 та уран-234. Контрольні рівні були перевищені в 4 випадках для сумарної альфа-активності і в одному випадку для сумарної бета-активності. Найвищі значення сумарної альфа- і бета-активності спостерігалися для найбільш мінералізованої води. Встановлена кореляція між сумарною альфа-активністю і сухим залишком ($R^2 = 0,76$). Активність урану-238 не перевищувала встановлених норм. Активність радію-226, здебільшого, була нижчою активності урану-238, за винятком трьох вод найбільшої мінералізації. Для більшості випадків співвідношення концентрацій урану-234 і урану-238 перевищувало одиницю, що зумовлено особливостями вимивання урану з геологічних порід. Результати показали, що розрахунок загальної кількості урану з огляду на концентрацію урану-238 у припущенні рівноваги може призвести до суттєвої переоцінки його вагового вмісту. Для різних вікових груп: немовлят (< 1 року), дітей (від 2 до 7 років), підлітків (від 8 до 17 років) і дорослих (> 17 років) була розрахована загальна еквівалентна доза, спричинена радієм-226 та ізотопами урану. Для дітей і дорослих значення розрахункових доз досить схожі і складають діапазон від 1 до 50 мкЗв/р. Для дітей віком менше 1 року дози були вищі і досягали 0,26 мЗв/р.; контрольний рівень 0,1 мЗв/р. перевищено у двох випадках. Найбільші значення розрахункових доз були отримані для води середньої мінералізації.

В Іспанії вивчали параметри радіоактивності бутильованої мінеральної води з числа найбільш поширених, вироблених і споживаних у країні марок [6]. Визначення сумарної альфа- та сумарної бета-активності в зразках 30 марок мінеральних вод показало, що лише для 16 % з них виявлено перевищення нормативу сумарної альфа-активності (0,1 Бк/л). Для зразків з високими значеннями сумарної альфа-активності визначали вміст радію-226 і радію-228. Отримані значення склали для радію -226 від 0,01 до 1,52 Бк/л та для радію-228 – від 0,01 до 0,38 Бк/л, тому було зроблено висновки про природне походження альфа-активності.

Результати дослідження радіоактивності природних мінеральних бутильованих вод з центральної частини Балкан вказали на присутність природних радіонуклідів урану-238 і торію-232 [7]. Зразки води для аналізу були відібрані після попереднього виявлення в них підвищеної сумарної альфа-активності. Проаналізовані співвідношення активності уран-234/уран-238, радій-226/торій-230, торій-228/торій-232, радій-228/торій-228 засвідчили відсутність радіоактивної рівноваги. Значення сумарної активності ізотопів урану-238 та урану-234 в бутильованих водах склали до 71,5 мБк/л. Вміст ізотопів радію-226 і радію-228 був досить низьким і часто нижчим межі детектування.

У статті Rožmarič та ін. [8] наведено результати визначення активності радіонуклідів урану-234, урану-238, радію-226, радію-228, полонію-210 та свинцю-210 у зразках натуральних джерельних та мінеральних вод, присутніх на ринку Хорватії і відібраних у різних геологічних регіонах країни. На основі отриманих значень активності радіонуклідів оцінено середні загальні річні ефективні дози опромінення від вживання води для немовлят, дітей та дорослих, а також внесок кожного конкретного радіонукліда у загальну дозу. Найвищі значення доз відповідали віковій категорії дітей віком від 7 до 12 років. Значення доз опромінення для обох типів води та для кожної категорії населення були значно нижчими 0,1 мЗв/р. Внесок у загальну дозу кожного з радіонуклідів дещо відрізнявся для різних типів води та між різними віковими категоріями. Найменший внесок у дозу пов'язаний з ізотопами урану, а найбільший з радієм-228.

Американські дослідники [9] наголошують, що більшість споживачів у США віддають перевагу бутильованій воді саме за її суб'єктивними смаковими якостями, часто без врахування аспектів безпеки. На електронному ресурсі Управління з продовольства і медикаментів США (Food and Drug Administration (FDA)) [10] в одній із статей, присвячених якості бутильованої води, підкреслюється масовість її вживання і зазначається, що FDA регулює якість питної води у пляшках для гарантування безпечності. Зокрема, FDA захищає споживачів

бутильованої води за допомогою федеральних законів про харчові продукти, ліки та косметику, які покладають на виробників відповідальність за безпечність і користь та правдиве маркування харчових продуктів, зокрема води. Існують спеціальні правила щодо води в пляшках, які встановлюють дозволений для бутильованої води максимальний рівень забруднювачів, включно з хімічними, фізичними, мікробіологічними та радіаційними забрудненнями. Щоразу, коли Управління з охорони довкілля США (United States Environmental Protection Agency (EPA)) встановлює стандарт для забруднювача, FDA або приймає його для бутильованої води, або робить висновок, що для води в пляшках стандарт не потрібен. У деяких випадках стандарти на бутильовану та водопровідну воду відрізняються.

У Японії Шіраїші та ін. [11] використовували методи мас-спектрометрії та атомної емісійної спектроскопії для порівняння вмісту урану-238 та торію-232 у пробах місцевої та імпортованої бутильованої питної води, а також водопровідної води з метою оцінки їх вкладу як джерела надходження до дієти. Було встановлено, що надходження урану-238 з імпортованою водою в кілька разів вище його надходження від місцевої води.

В Україні радіоактивність питних бутильованих вод вивчена недостатньо. Винятком є декілька відомих марок мінеральної води, на котрі обмеження щодо вмісту урану та радію встановлюють ДСТУ. Асортимент бутильованих вод на українському ринку постійно розширюється, зокрема через розширення географічного походження води за зростаючого попиту.

Про тенденцію динамічного зростання на ринку мінеральних вод в Україні наведено в роботі Горької А. В. та Рябик Г. Є. [12]. Зазначається, що в країні асортимент мінеральної води досить широкий, зокрема освоєно 500 місцевих джерел, найбільше в Карпатах. Загалом на українському ринку мінеральних вод представлено понад 300 виробників. Фасовані води виробляються практично в усіх областях України. Найбільшу пропозицію мінеральної та питної води в Україні в останні роки забезпечують відомі виробники – «IDS Group», корпорація «Оболонь», «Росинка», «Ерлан», «Біола» [13]. Вагомою проблемою для нових гравців на ринку води автори [13] називають законодавчо-правову базу, яка висуває конкретні вимоги до якості води, зокрема в Законі України «Про питну воду та питне водопостачання». І хоча на сайті асоціації виробників бутильованої води [14] стверджується, що вода проходить усі необхідні перевірки, інформацію щодо вмісту радіонуклідів неможливо знайти ні на пляшках, ні на електронних ресурсах навіть широкого відомих виробників.

Попередні дослідження води, відібраної в різних періоди зі свердловин у регіонах України [15] – [17], свідчать про те, що значна частина зразків

(серед них – вода, призначена для фасування та продажу в пляшках) відрізняється підвищеними рівнями сумарної альфа-активності радону-222 та урану.

Завданням роботи стало дослідження радіаційних характеристик бутильованої води, присутньої на полицях одного із супермаркетів м. Києва.

Експериментальна частина

Відбір зразків. Для досліджень радіаційних характеристик бутильованої води було виконано дві закупки – 19 проб у 2018 році та 21 проба у

2019 році – води популярних в Україні вітчизняних та закордонних марок. Об'єм вихідних зразків складав від півтора до двох літрів. Цієї кількості достатньо для проведення усіх необхідних видів досліджень. Характеристики проб води відповідно до інформації, взятої з етикеток або відкритих джерел (торгівельна марка, місце походження, номер джерела, мінералізація) наведено в Таблиці 1. Свердловини відрізняються глибиною, а вода – рівнем загальної мінералізації, який складає від 0,1 до 14 г/л. У Таблиці 1 перелік відібраних проб води відсортовано за величиною мінералізації. Серед відібраних зразків – декілька зразків води, призначеної для дітей.

Таблиця 1 – Характеристика відібраних зразків води (з відкритих джерел)

№	Марка води, місце походження	№ свердловини	Глибина, м	Мінералізація загальна, г/л
Відбір 2018 року				
1	SantAnna (мінеральна природна столова) сильногазована, комуна Вінадіо, Італія			0,022
2	Моршинська негазована, м. Моршин, Львівська обл.	1, 4, 3 – 9		0,1 – 0,4
3	Знаменівська (мінеральна природна лікувально- столова) негазована, с. Знаменівка, Дніпропетровська обл.	2,4	40	0,2 – 0,6
4	SanBenedetto (природна питна столова) слабогазована, Скорце, Італія			0,4
5	Тонус кислород негазована, м. Одеса	19, 20, 21	75	0,1 – 1,0
6	Akvile (мінеральна природна столова) негазована, с. Вечунай, р-н Друскінкай, Литва	8669	110	0,23
7	Трускавецька (мінеральна природна лікувально-столова) негазована, м. Трускавець, Львівська обл.		40 – 70	0,25 – 0,90
8	Карпатська Джерельна негазована, с. Струтин, Львівська обл.	926	90	0,3 – 0,8
9	Куяльник (столова лікувальна Cl, Na) сильногазована, м. Одеса	19, 20, 21	75	1,9 – 2,3
10	Миргородська (мінеральна природна лікувально-столова), м. Миргород, Полтавська обл.	3510-Д, 3511, 3512	700	2,5 – 3,5
11	Вода питна Джерельна негазована, с. Лучинці, Івано-Франківської обл.	2-Л	35	2,0 – 4,0
12	Нарзан (природна мінеральна вода) слабогазована, м. Кисловодськ, РФ			2,0 – 3,5
13	Лужанська 4 (мінеральна природна лікувально- столова) сильногазована, с. Солочин, Закарпатська обл.	4e	100	2,7 – 4,8
14	Шаянська (мінеральна природна лікувально-столова) слабогазована, с. Шаян, Закарпатська обл.	242	249	2,5 – 5,0
15	Солуки, мінеральна природна лікувально столова) слабогазована, с. Солуки, Львівська обл.	11 – 41p	90	3 – 5

Продовження Таблиці 1

№	Марка води, місце походження	№ свердловини	Глибина, м	Мінералізація загальна, г/л
16	Свалява (мінеральна природна лікувально-столова) сильногазована, м. Свалява, Закарпатська обл.	26	100	4 – 8
17	Поляна Купель сильногазована, с. Поляна, Закарпатська обл.	3-Р	135	7 – 10
18	Єсентуки 4 (мінеральна природна лікувально-столова) сильногазована, м. Єсентуки, РФ	49-Е	865	7 – 10
19	Єсентуки 17 (мінеральна природна лікувально-столова) сильногазована, м. Єсентуки, РФ	46	685	10 – 14
Відбір 2019 року				
1	Aqua Panna, Italy, Scarperia, Florence, Італія			0,14
2	Akvile, с. Вечунай, р-н Друскінкай, Литва	8669	110	0,234
3	Evian, Французькі Альпи			0,30 – 0,75
4	Buvette, с. Майбородівка, Полтавська обл.	5		0,5 – 1,0
5	Vittel, Франція, Vogessen, Nestle			0,4
6	Von Voisson, мінеральне джерело Новотроїцьке, курортна зона Солоний Лиман, Дніпропетровська обл.			0,9
7	Поляна Квасова, с. Поляна, Свалявський р-н, Закарпатська обл.	10-К	150	1,5 – 3,0
8	Нарзан, м. Кисловодськ, РФ	7РЭ, 107Д, 2Б-бис		2,0 – 3,5
9	Лужанська 4, с. Солочин, Свалявський р-н, Закарпатська обл.	4е	100	2,7 – 4,8
10	Jermuk, м. Джермук, Ваоцзорська обл., Вірменія			3,0 – 4,4
11	Nabeglavi, смт. Чохатаурі, Грузія			3,5 – 5,9
12	Лужанська 7, с. Солочин, Свалявський р-н, Закарпатська обл.	7Р, 7ГП	150	3,6 – 5,5
13	Свалява, с. Солочин, Свалявський р-н, Закарпатська обл.	26	200	4 – 8
14	Поляна Купель, с. Поляна, Свалявський р-н, Закарпатська обл.	5-К	200	4,5 – 7,5
15	Боржомі, м. Боржомі, Грузія	25	1500	5,0 – 7,5
16	Vytautas, м. Бірштонас, Литва	2453	60	7,5
17	Аллея источников № 4, м. Єсентуки, РФ	13 Н		7,0 – 9,5
18	Аллея источников № 17, м. Єсентуки, РФ	13 Н		10 – 14
Дитяча вода				
19	Малятко, м. Золотоноша, Черкаська обл.			0,17 – 0,25
20	Моршинська дитяча, м. Моршин, Львівська обл.			0,105 – 0,200
21	Аква Няня, м. Миргород, Полтавська обл.			0,10 – 0,50

Експериментальні методи

Вимірювання сумарної альфа- та сумарної бета-активності радіонуклідів у воді проводили на основі методу рідинно-сцинтиляційного лічення з використанням низькофонового рідинно-сцинтиляційного спектрометра Quantulus 1220™. Воду об'ємом 50 мл випарювали досуха в скляному стакані. Сухий залишок розчиняли в 2 мл 1М HNO₃, який переливали в пластикову пляшечку об'ємом 20 мл, потім стакан ополіскували 2 мл дистильованої води, яку також зливали в пляшечку. До вмісту пляшечки додавали 16 мл сумісного з водою сцинтилятора OptiPhase HiSafe 3, ретельно перемішували і витримували декілька годин [17]. Час вимірювань проби складав близько 3-х годин.

Для визначення питомої активності радію-226 використовували 200 мл води. Пробу концентрували випарюванням у скляному стакані із наступним розчиненням сухого залишку в 5 мл 1М розчину HNO₃, розчин зливали в тефлонову пляшечку. Після ополіскування стакану 5 мл дистильованої води цю воду також зливали в тефлонову пляшечку, куди потім додавали 10 мл незмішаного з водою сцинтилятора на основі толуолу в складі (4 г/л PPO та 0,1 г/л PPOP). Вимірювання радію-226 проводили через 7 – 10 днів [16].

Дослідження сумарної активності ізотопів урану проводили з об'єму проби 1,0 л. Воду концентрували сумісним висадженням урану з гідроокисом заліза і його наступною екстракцією розчином трибутилфосфату в толуолі із осаду, розчиненого в 6М HNO₃, після чого надлишок кислоти двічі промивали 6М NH₄NO₃, далі додавали сцинтилятор на основі толуолу (склад наведено вище). Для вимірювань використовували пластикові пляшечки об'ємом 20 мл. Розчинені домішки газів видаляли барботуванням аргонном [16].

Приготування деяких проб води високої мінералізації проводили з використанням меншого об'єму проби. З метою встановлення прийнятності застосування вказаних методів досліджень для марок води високої мінералізації проводили тестування на контрольних пробах, що містять відомі активності радіонуклідів.

Для питної бутильованої води, за винятком мінеральної, ДСанПіН 2.2.4-171-10 [1] встановлює вимоги як для питної води загалом: сумарна альфа-активність не повинна перевищувати 0,1 Бк/л, сумарна бета-активність – 1,0 Бк/л. У разі перевищення одного або обох цих показників необхідне дослідження вмісту урану та радію.

Порядок дослідження радіоактивності проб води в відповідав алгоритму, рекомендованому ДСанПіН 2.2.4-171-10 [1].

Результати дослідження, обговорення

Результати вимірювання сумарної альфа- та сумарної бета-активності у фасованій питній воді низької мінералізації, зокрема позиціонованої як дитяча, наведено в Таблиці 2. Усі результати відповідають чинним нормативним показникам сумарної альфа-, бета-активності [1], без жодних перевищень.

У Таблиці 3 наведено результати вимірювання сумарної альфа-, бета-активності радіонуклідів у зразках бутильованої води залежно від інтервалу часу між приготуванням проби та початком вимірювань.

Таблиця 2 – Результати вимірювання сумарної альфа-активності ($\Sigma\alpha$) та сумарної бета-активності ($\Sigma\beta$) у фасованій питній воді низької мінералізації (відбір 2019 року)

№ п/п	Назва зразка	Сумарна альфа-, бета-активність, Бк/л	
		$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$
Фасована вода			
Загальна мінералізація < 1 г/л			
1	Aqua Panna	0,06	0,45
2	Akvile	0,08	0,03
3	Evian	0,07	0,55
4	Buvette	0,07	0,59
5	Vittel	0,05	0,42
6	Bon Boisson	0,01	0,25
Загальна мінералізація від 3,5 до 7,5 г/л			
7	Nabeglavi	0,06	0,43
Фасована вода дитяча			
Загальна мінералізація від 0,1 до 0,25 г/л			
8	Малятко	0,05	0,13
9	Малятко	0,04	0,13
10	Моршинська дитяча	0,05	0,17
11	Аква няня	0,04	0,17

Таблиця 3 – Сумарна альфа-активність ($\Sigma\alpha$) та сумарна бета-активність ($\Sigma\beta$) в бутильованій воді залежно від інтервалу часу між приготуванням проби та вимірюваннями

№ п/п	Назва зразка	Сумарна альфа-, бета-активність, Бк/л					
		$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$	$\Sigma\alpha$	$\Sigma\beta$
		Відбір 2018 р.					
		0,5 – 1 діб*		10 діб*		18 діб*	
1	SantAnna	0,10	0,07	0,18	0,06	0,18	0,10
2	Джерельна (Лучинці)	0,01	0,10			0,24	0,08
3	Знаменівська	0,07	0,03			0,22	0,03
4	Моршинська	0,13	0,16			0,14	0,07
5	SanBenedetto	0,09	0,18	0,20	0,34	0,24	0,10
6	Тонус кислород	0,03	0,26			0,175	0,09
7	Akvile	0,10	0,01	0,10	0,07	0,19	0,02
8	Трускавецька	0,23	0,03			0,23	0,18
9	Карпатська Джерельна	0,33	0,20			0,40	0,19
10	Куяльник	0,20	0,80			0,24	0,57
11	Миргородська	0,23	0,52	0,57	0,49	0,86	0,50
12	Нарзан	1,37	0,95	2,11	1,33	3,47	1,78
13	Лужанська	0,51	2,13	0,82	1,94	1,10	1,77
14	Шаянська	0,35	2,13	0,56	1,86	0,67	2,00
15	Солуки	0,10	1,41			0,30	0,85
16	Свалява	1,01	2,73	1,34	2,58	1,50	2,98
17	Поляна Купель	1,03	2,92	1,89	3,10	2,23	2,65
18	Єсентуки 4	0,40	1,03	0,57	0,78	0,77	0,97
19	Єсентуки 17	0,05	1,59	0,48	1,53	0,89	1,48
		Відбір 2019 р.					
		0,5 - 1 діб*		9 діб*		13 діб*	
1	Поляна Квасова	0,21	1,58	0,44	1,54	0,53	1,47
2	Нарзан	0,51	1,16	1,08	1,40	1,03	1,10
3	Лужанська 4	0,13	1,08	0,25	1,07	0,27	1,02
4	Jermuk	0,09	2,26	0,08	2,12	0,12	2,02
5	Лужанська 7	0,18	1,50	0,29	1,44	0,43	1,30
6	Свалява	0,16	1,76	0,50	1,69	0,56	1,69
7	Поляна Купель	0,08	1,33	0,13	1,36	0,21	1,10
8	Боржомі	0,325	2,23	0,80	2,08	0,77	2,03
9	Аллея источников № 4	0,117	2,20	0,48	2,07	0,64	2,01
10	Аллея источников № 17	0,600	2,78	1,07	2,83	1,03	3,03

Примітка. * Час від приготування до вимірювання проби

У перших двох колонках містяться результати вимірювань сумарної альфа- та сумарної бета-активності в пробах, перед вимірюваннями витриманих протягом 12–24 год. після їх приготування, як передбачено аналітичною методикою.

Далі в колонках наведено дані наступних серій вимірювань – через 10 та 18 діб від приготування проб. Це пов'язано з таким. Загальновідомо, що мінеральні води зазвичай містять природні радіонукліди рядів урану-238 та торію-232. Наприклад, радій-226, який є продуктом розпаду урану-238, генерує радон-222, а той – інші продукти розпаду, серед яких є альфа-випромінювачі з коротким періодом напіврозпаду. Продукти розпаду торію-232 також дають внесок у сумарну альфа- та сумарну бета-активність. Серед них, крім радію-228, варто виділити радій-224, який завдяки високій рухомості в геологічних породах може накопичуватися у підземних водах. Під час визначення показників сумарної альфа- та сумарної бета-активності важливо розуміти, що конкретна інформація щодо радіонуклідного складу води відсутня. Названі показники, які використовують для швидкої оцінки радіоактивності води, надають загальну картину, а під час їх визначення потрібно чітко дотримуватися методик вимірювань, критично оцінювати невизначеність результатів та враховувати низку особливостей поведінки радіонуклідів, серед яких – поведінка радону-222. За присутності у воді радію-226 у приготуваній пробі постійно накопичується радон-222, який разом із продуктами розпаду

може впливати на результат вимірювання сумарної альфа-активності, призводячи до її зростання зі збільшенням інтервалу часу між приготуванням проби та вимірюваннями [18]. Навпаки, якщо у воді присутній радій-224, період напіврозпаду якого складає 3,66 доби, сумарна альфа-активність протягом деякого часу буде зменшуватися. Отже, проведення додаткових серій вимірювань сумарної альфа-, бета-активності у воді через більші проміжки часу з моменту приготування проб може виявити тенденції зміни цих показників та зробити припущення щодо присутності окремих радіонуклідів.

З Таблиці 3 видно, що сумарна альфа-, бета-активність зразків води змінюється з часом по-різному: в одних випадках показники демонструють незначні коливання, в інших – більш суттєві зміни, пов'язані з накопиченням активності. У першому випадку активність зумовлена незначними кількостями радію-226 та радію-224, тоді як у другому випадку ріст сумарної альфа-активності ймовірний завдяки урівноваженню радію-226, що відповідає нашим попереднім оцінкам [15].

Дані Таблиці 3 свідчать, що значення сумарної альфа-активності для зразків бутильованої води перевищили чинний норматив 0,1 Бк/л у близько 60 %, а значення сумарної бета-активності перевищували норматив 1,0 Бк/л у близько 30 % випадків. Для проб, які показали перевищення за показником сумарної альфа-активності (це стосувалося переважно води високої мінералізації), визначали активність радію-226 та природної суміші ізотопів урану.

Таблиця 4 – Результати дослідження активності радію-226 та сумарної активності ізотопів урану у воді високої мінералізації, оцінка доз опромінення

№ п/п	Назва води	Активність радіонуклідів, Бк/л		Доза опромінення, мЗв/р	
		Природна суміш ізотопів урану	радій-226	дорослі > 18 р.	діти 12 – 17 р.
1	Миргородська (2018 р.)	0,02	0,028	0,006	0,023
2	Шаянська (2018 р.)	0,02	0,012	0,003	0,010
3	Поляна Квасова	0,012	0,032	0,007	0,026
4	Нарзан (2018 р.)	0,074	0,26	0,056	0,213
5	Нарзан (2019 р.)	0,103	0,253	0,055	0,209
6	Лужанська 4 (2018 р.)	0,007	0,025	0,005	0,021
7	Лужанська 4 (2019 р.)	0,006	0,011	0,002	0,009

№ п/п	Назва води	Активність радіонуклідів, Бк/л		Доза опромінення, мЗв/р	
		Природна суміш ізотопів урану	радію-226	дорослі > 18 р.	діти 12 – 17 р.
8	Jermluk	0,034	0,008	0,003	0,008
9	Лужанська 7	0,009	0,015	0,003	0,013
10	Свалява (2018 р.)	0,003	0,019	0,004	0,016
11	Свалява (2019 р.)	0,007	0,042	0,009	0,034
12	Поляна Купель (2018 р.)	0,017	0,036	0,008	0,030
13	Поляна Купель (2019 р.)	0,032	0,022	0,056	0,019
14	Боржомі	0,014	0,093	0,020	0,076
15	Есентуки 4 (2018 р.)	0,007	0,019	0,004	0,016
16	Аллея источников № 4	0,090	0,043	0,011	0,038
17	Есентуки 17	0,010	0,070	0,015	0,057
18	Аллея источников № 17	0,091	0,060	0,015	0,052

Результати дослідження вмісту окремих радіонуклідів, наведені в Таблиці 4, свідчать, що, незважаючи на перевищення нормативних показників сумарної альфа- та сумарної бета-активності, активність радію-226 та сумарної активності ізотопів урану в жодному з випадків не була більшою 1 Бк/л, тобто за цими показниками всі зразки води відповідають чинним нормативам.

Для води марок Нарзан та Лужанська 4 результати вимірювання радію-226 та природної суміші ізотопів урану дослідження 2018 та 2019 рр. добре узгоджуються між собою, на відміну від марок Свалява та Поляна Купель, для яких результати вимірювання вмісту радію-226 відрізняються вдвічі, що, очевидно, це пов'язано з варіаціями складу вихідної води.

У Таблиці 4 наведено результати оцінки доз опромінення від споживання мінеральної води із зазначеним вмістом урану та радію-226 для вікових категорій, які можуть бути найбільш імовірними її споживачами – дорослих та дітей віком від 12 до 17 років. Як правило, розраховані значення доз опромінення від радію-226 та урану в бутильованих водах не перевищують дозволених 0,1 мЗв/р. Винятком стала вода марки Нарзан, для якої ми отримали значення дози опромінення близько 0,2 мЗв/р для дітей віком від 12 до 17 років (у разі річного споживання в кількості 1,5 л за добу), причому 98 % її величини

зумовлено радієм-226. Очевидно, що можливі фактичні об'єми споживання мінеральної води є значно нижчими вказаного значення, однак оцінки свідчать, що безконтрольне вживання бутильованої води високої мінералізації небажане погляду щодо дози опромінення, зважаючи на можливу присутність інших радіонуклідів – радію-228, свинцю-210, полонію-210.

Висновки

1. Результати вимірювання сумарної альфа- та сумарної бета-активності в пробах бутильованої води з одного із супермаркетів м. Києва показали, що за названими показниками всі зразки води з низькою мінералізацією, зокрема води для дитячого харчування, відповідають чинним нормативам.

2. За величиною сумарної альфа-активності виявлено перевищення у близько 60 % дослідженої бутильованої води, а за величиною сумарної бета- активності – у 30 % випадків. Для деяких марок мінеральної води високої мінералізації значення сумарної альфа-активності перевищило 1,0 Бк/л, що вдесятеро більше нормативного рівня, а значення сумарної бета-активності перевищило норматив майже втричі.

3. Зміни величин сумарної альфа- та сумарної бета-активності залежно від часу, який пройшов від моменту приготування проби до початку вимірювань, показали, що для окремих проб води характерне збільшення показника альфа-активності з часом, що може непрямо вказувати на процеси накопичення радіоактивності від продуктів розпаду радію-226.

4. Вимірювання активності радію-226 та природної суміші ізотопів урану, вміст яких нормується законодавством, не виявило жодного випадку перевищення, що дозволяє вважати воду всіх досліджених марок придатною для вживання за вмістом радіонуклідів. Відмінності величини активності радію-226 та природної суміші ізотопів урану в пробах води, які були закуплені і досліджувалися повторно з інтервалом близько року, ймовірно пов'язані з різною мінералізацією вихідної води різних партій.

5. Оцінка доз опромінення від вживання бутильованої води, яка містить виміряні значення активності радію-226 та природної суміші ізотопів урану, для більшості проб не перевищує нормативу 0,1 мЗв/р, за винятком води марки Нарзан за умови її вживання дітьми від 12 до 17 років.

Список використаної літератури

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: Державні санітарні норми та правила ДСанПіН 2.2.4-171-10. Київ, 2012. 32 Сс.

2. Management of Radioactivity in Drinking-Water. Geneva: World Health Organization, 2018. 124 p. URL : https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/management-of-radioactivity.

3. Council Directive 2013/51/EURATOM. Laying down Requirements for the Protection of the Health of the General Public with Regard to Radioactive Substances in Water Intended for Human Consumption. Brussels : European Commission, 2013. URL: <http://eur-lex.europa.eu>

4. Esposito L., Catani V., Stamoulis K. C., Ioannides K. G. Natural radioactivity content in Italian bottled mineral waters. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/333561512_Natural_radioactivity_content_in_Italian_bottled_mineral_waters.

5. Rusconi R., Forte M., Abbate M., Gallini R., Sgorbat G. Natural radioactivity in bottled mineral waters: a survey in Northern Italy. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2004. Vol. 260 (2). P. 421 – 427.

6. Palomo M., Peñalver A., Borrull F., Aguilar C. Measurement of Radioactivity in Bottled Drinking Water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes.* 2007. Vol. 65. Is.10. P. 1165 – 1172.

7. Jokvić J. D., Radenković M. B., Miljanić S. S. Natural radioactivity of some spring and bottled mineral waters from several central Balkan sites, as a way of their characterization. *J. Serb. Chem. Soc.* 2007. Vol. 72 (6). P. 621 – 628.

8. Rožmarić M., Rogić M., Benedik L., Štok M. Natural Radionuclides in Bottled Drinking Waters Produced in Croatia and their Contribution to Radiation Dose. *Science of The Total Environment.* 2012. Vol. 437. P. 53 – 60.

9. Elliott K. Bottled Water: Can Consumers Count on Quality? USA Center for Environmental Health (CEH), 2019. URL: <https://www.downtownpublications.com/singlepost/2019/08/20/Bottled-water-can-consumers-count-on-quality>

10. U.S. Food and Drug Administration. URL: <https://www.fda.gov/home>

11. Shiraishi K., Kimura S., Sahoo S. K., Arae H. Dose effect for Japanese due to ²³²Th and ²³⁸U in imported drinking water. *Health Phys.* 2004 Apr; 86(4). P. 365 – 373. doi: 10.1097/00004032-200404000-00005 PMID: 15057057.

12. Горька А. В., Рябик Г. Є. Сучасний стан ринку мінеральної води України. URL: http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_gorka.htm.

13. Борейко П. С., Герасимьяк Н. В. Аналітичне дослідження особливостей формування та реалізації комплексу маркетингових засобів підприємства на ринку бутильованої питної води. *Молодий вчений.* 2017. № 3 (43). С. 590 – 595.

14. Асоціація виробників мінеральних та питних вод України. URL: <http://www.bottledwater.org.ua/>.

15. Buzinny M., Sakhno V., Romanchenko M. Natural Radionuclides in Underground Water in Ukraine. LSC-2010. *Advances in Liquid Scintillation Counting*, ed. by Philippe Cassette. 2010. P. 81 – 85.

16. Бужинний М. Г. Природна радіоактивність питної води свердловин на території України. Гігієнічна наука та практика на рубежі століть: матеріали XIV з'їзду гігієністів України (19-21 травня 2004 р., Дніпропетровськ). К., 2004. Т. II. С. 308 – 310.

17. Михайлова Л. Л., Бужинний М. Г., Сахно В. І., Романченко М. О. Статистичний аналіз радіаційних показників води, дослідженої у 2012 – 2014 рр. *Гігієна населених місць: зб. наук. пр.* К., 2015. Вип. 65. С. 179 – 185.

18. Jobbágy V., Merešová J., Wätjen U. Critical remarks on gross alpha/beta activity analysis in drinking waters: Conclusions from a European interlaboratory comparison. *Applied Radiation and Isotopes.* 2014. Vol. 87. P. 429 – 434. URL: https://docksci.com/beta-activity-analysis-in-drinking-waters-conclusions-from-a-european-interlabor_5bcf181ed64ab20ba1705a90.html.

References

1. Health and safety requirements for drinking water for human consumption. State Health and Safety Standards and Rules DSanPiN 2.2.4-171-10, Kyiv, 2012, 32.

2. Management of radioactivity in drinking water. Geneva: World Health Organization, 2018. 124. Retrieved from: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/management-of-radioactivity.

3. Council Directive 2013/51/EURATOM. Laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption. Brussels: European Commission, 2013. Retrieved from: <http://eur-lex.europa.eu>.

4. Esposito, L., Catani, V., Stamoulis, K. C., Ioannides, K. G. (2012). Natural radioactivity content in Italian bottled mineral waters. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/333561512_Natural_radioactivity_content_in_Italian_bottled_mineral_waters.

5. Rusconi, R., Forte, M., Abbate, M., Gallini, R., Sgorbat, G. (2004). Natural radioactivity in bottled mineral waters: a survey in Northern Italy. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 260(2), 421-427.

6. Palomo, M., Peñalver, A., Borrull, F., Aguilar, C. (2007). Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes*, 65(10), 1165-1172.

7. Jokvić, J. D., Radenković, M. B., Miljanić, S. S. (2007). Natural radioactivity of some spring and bottled mineral waters from several central Balkan sites, as a way of their characterization. *J. Serb. Chem. Soc.*, 72(6), 621-628.

8. Rožmarić, M., Rogić, M., Benedik, L., Štok, M. (2012). Natural radionuclides in bottled drinking waters produced in Croatia and their contribution to radiation dose. *Science of the Total Environment*, 437, 53-60.

9. Elliott, K. (2019). Bottled water: Can consumers count on quality? USA Center for Environmental Health (CEH). Retrieved from: <https://www.downtownpublicati-ons.com/singlepost/2019/08/20/Bottled-water-can-consumers-count-on-quality>.

10. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from: <https://www.fda.gov/home>.

11. Shiraishi, K., Kimura, S., Sahoo, S. K., Arae, H. (2004). Dose effect for Japanese due to ²³²Th and ²³⁸U in imported drinking water. *Health Phys.*, 86(4), 365-373. DOI: 10.1097/00004032-200404000-00005, PMID: 15057057.

12. Gorka, A., Riabyk, G. (2017). The current state of the mineral water market in Ukraine. Retrieved from: http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_gorka.htm.

13. Boreyko, P., Gerasimiak, N. (2017). An analytical study of the features of formation and implementation of a set of marketing tools of the enterprise in the bottled drinking water market. *Young Scientist*, 3(43), 590-595.

14. Association of producers of mineral and drinking waters of Ukraine. Retrieved from: <http://www.bottledwater.org.ua/>.

15. Buzynnyi, M., Sakhno, V., Romanchenko, M. (2010). Natural radionuclides in underground water in Ukraine. LSC-2010. *Advances in Liquid Scintillation Counting*, ed. by Philippe Cassette, 81-85.

16. Buzynnyi, M. (2004). Natural radioactivity of drinking water wells in Ukraine. Hygienic science and practice at the turn of the century: proceedings of the XIV Congress of Ukrainian Hygienists. Kyiv, 308-310.

17. Mykhailova, L., Buzynnyi, M., Sakhno, V., Romanchenko, M. (2015). Statistical analysis of radiation parameters of water investigated in 2012-2014, *Hygiene of Settlements*, Kyiv, (65), 179-185.

18. Jobbágy, V., Merešová, J., Wätjen, U. (2014). Critical remarks on gross alpha/beta activity analysis in drinking waters: Conclusions from a European interlaboratory comparison. *Applied Radiation and Isotopes*, (87), 429-434. Retrieved from: https://docksci.com/beta-activity-analysis-in-drinking-waters-conclusions-from-a-european-interlabor_5bcf181ed64ab20ba1705a90.html.

Radioactivity of Bottled Water from Trade Network in Kyiv

Buzynnyi M., Mykhailova L.

State Institution «O. M. Marzeiev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine», Kyiv, Ukraine

In 2018-2019, we examined the radioactivity of 40 samples of bottled water of popular brands produced both in Ukraine and abroad, which were purchased in one Kyiv supermarket. The first stage of the study provided for the identification of total alpha and total beta activities. In the case of exceeding their regulated values, we proceeded to the determination of the content of radium-226 and natural mixture of uranium isotopes. The study results evidenced that total alpha and total beta activities of low mineralization water do not exceed the regulated values. Total alpha activity exceeded the regulated value of 0.1 Bq/l ten times in specific cases and total beta-activity exceeded the value of 1.0 Bq/l almost three times for the majority of high mineralization water brands.

The results of measuring total alpha and total beta activities depending on time elapsed from the moment the sample was prepared to the start of the measurements showed an increase in the alpha activity over time is typical for individual water samples, which indicates the accumulation of radioactivity from radium-226 decay products. However, the results of measuring the activity of radium-226 and a natural mixture of uranium isotopes did not reveal cases of exceeding regulated levels, which allows considering water of all brands suitable in terms of radionuclide content.

Assessment of radiation doses from consumption of bottled water containing the measured values of radium-226 and natural mixture of uranium isotopes did not reveal exceeding regulated value of 0.1 mSv/year. Only one bottled water brand was an exception, since the estimated radiation dose for it was 0.2 mSv/year for the category of children aged 12 to 17 years with 98 % of its value due to radium-226. Such a radiation dose value was received assuming an annual consumption of 1.5 liters per day.

Keywords: bottled water, total alpha activity, total beta activity, natural mixture of uranium isotopes, radium-226, radiation dose.

Отримано 15.07.2020.