

УДК 616-01/-099+616.441-008.63+614.876

Д. Є. Афанасьєв✉, О. В. Камінський, Т. К. Логановська, О. В. Копилова, І. Г. Чикалова,  
І. М. Муравйова, Н. С. Домбровська*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна*

## ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ, УСКЛАДНЕННЯ, ХИБНІ УЯВЛЕННЯ ТА ДИСКУСІЙНІ ПИТАННЯ ЙОДНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ ПРИ РАДІАЦІЙНИХ ПОДІЯХ (ОГЛЯД)

**Передумова.** З моменту появи ядерної енергетики, промисловості та зброї існує ймовірність радіаційних подій – інцидентів та аварій. За умови наявності радіоактивного йоду у складі екологічних забруднень реагування органів влади і медичних служб полягає, зокрема, у проведенні серед фахівців та населення в цілому аварійної йодної профілактики. І поряд з тим, що аварійна йодна профілактика є загально визнаним заходом при радіаційних подіях, що супроводжуються викидом радіоактивного йоду, деякі методи її проведення були й залишаються у певних джерелах і настановах/рекомендаціях суперечливими і навіть хибними. Подібна неузгодженість збільшує потенційні ризики медичних ефектів радіоактивного йоду і підвищує почуття страху і невизначеності серед залученого до інциденту населення.

**Мета:** розглянути сутність аварійної йодної профілактики при радіаційних подіях, фізіологічні аспекти обміну йоду в організмі, властивості окремих засобів йодної профілактики, які рекомендуються, та обґрунтувати раціональність застосування одних з них і безглуздість/неприпустимість інших; обґрунтувати створення єдиної превентивної інформаційної стратегії щодо заходу з метою зменшення тривожності та інших негативних психологічних наслідків серед постраждалого населення.

**Матеріали та методи.** Огляд виконано шляхом пошуку у реферативних й наукометричних базах та друкованих виданнях.

**Результати.** При серйозних радіаційних подіях на підприємствах ядерної енергетики та промисловості у навколишнє середовище з високою ймовірністю надходить радіоактивний йод. При загрозі інкорпорації радіоактивного йоду або при його інкорпорації, яка вже почалася, неодмінно необхідне проведення аварійної йодної профілактики. Таку профілактику слід проводити препаратами стабільного йоду у вигляді калію йодиду або калію йодату у спеціальних фармацевтичних формах випуску. Дозування препаратів у вікових і популяційних групах здійснюється відповідно до міжнародно-визнаних настанов спеціалістами з радіаційної медицини та радіаційної безпеки. Застосування йодовмісних харчових добавок, розчину йоду для зовнішнього застосування і розчину Люголя категорично неприпустиме через повну неефективність, нереальність виконання, а інколи – з огляду на загрозу тяжкої шкоди здоров'ю.

**Висновки.** Чіткі плани готовності щодо можливих радіаційних аварій та інцидентів, а також вдало проведені відповідні превентивні заходи, включаючи аварійну йодну профілактику вирішально важливі для ефективного й успішного реагування при таких подіях. Аварійна йодна профілактика при радіаційних подіях має здійснюватися виключно під керівництвом фахівців з радіаційної медицини та радіаційної безпеки з використанням спеціальних фармацевтичних форм калію йодиду або калію йодату у визнаних міжнародною науковою спільнотою дозах. Інші засоби аварійної йодної профілактики, включаючи «кустарного»/побутового приготування, абсолютно неприпустимі. Здійснення цього захисного заходу має супроводжуватись узгодженою інформаційною кампанією задля мінімізації як суто радіаційних ризиків, так і для збереження психологічного благополуччя населення.

**Ключові слова:** радіаційні події, радіаційна аварія, радіаційний інцидент, ядерна промисловість, ядерна енергетика, радіоактивний йод, опромінення, аварійна йодна профілактика, стабільний йод, калію йодид, калію йодат, психологічне благополуччя населення.

*Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2022. Вип. 27. С. 25–59. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-25-59*

✉ Афанасьєв Дмитро Євгенович, e-mail: otradny@gmail.com

D. E. Afanasiev✉, O. V. Kaminskyi, T. K. Loganovska, O. V. Kopylova, I. G. Chikalova,  
I. M. Muraviova, N. S. Dombrovska

*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurii Illienka St., Kyiv, 04050, Ukraine*

## PROBLEMATIC ASPECTS, COMPLICATIONS, MISCONCEPTIONS AND DEBATABLE ISSUES OF IODINE PROPHYLAXIS IN RADIATION EVENTS (REVIEW)

**Prerequisite.** Since the advent of nuclear energy, industry and weapons, a possibility of radiation events i.e. incidents and accidents had emerged. Given the presence of radioactive iodine as part of environmental contamination, the response of authorities and medical services consists, in particular, in carrying out the emergency iodine prophylaxis among specialists and general population. And along with the fact that emergency iodine prophylaxis is a generally accepted measure in radiation events accompanied by the release of radioactive iodine, some methods of its implementation were and remain in certain sources and instructions/recommendations contradictory and even false. Such inconsistency increases the potential risks of health effects of radioactive iodine and exacerbates the sense of fear and uncertainty among the population involved in the incident.

**Objective:** to consider and review the essence of emergency iodine prophylaxis during radiation events, physiological aspects of iodine metabolism in the body, properties of individual iodine prophylaxis agents that are recommended, and to justify the rationality of using some of them along with absurdity/inadmissibility of others; substantiate the creation of a unified preventive information strategy regarding the event in order to reduce anxiety and other negative psychological consequences among the affected population.

**Materials and methods.** The review was performed by searching the abstract and scientometric databases and printed publications.

**Results.** In the event of serious radiation events at nuclear power plants and industry facilities, radioactive iodine is highly likely to enter the environment. With the threat of radioactive iodine incorporation or with its incorporation that has already begun, it is absolutely necessary to carry out the emergency iodine prophylaxis. Such prevention should be carried out with stable iodine preparations such as potassium iodide or potassium iodate in special pharmaceutical formulas. Dosing of drugs in age and population groups should be carried out by specialists in radiation medicine and radiation safety in accordance with internationally recognized guidelines. The use of iodine-containing food additives, iodine solution for external use and Lugol's solution is categorically unacceptable due to complete ineffectiveness, impracticality of implementation, and sometimes due to the threat of serious harm to health.

**Conclusions.** Clear preparedness plans for possible radiation accidents and incidents, as well as successfully implemented appropriate preventive measures, including emergency iodine prophylaxis, are crucial for the effective and successful response to such events. Emergency iodine prophylaxis during radiation events should be carried out exclusively under the guidance of specialists in radiation medicine and radiation safety using special pharmaceutical formulas of potassium iodide or potassium iodate in doses recognized by the international scientific community. Other means of emergency iodine prophylaxis, including «handicraft»/home preparations, are absolutely unacceptable. Implementation of this protective measure should be accompanied by a coordinated information campaign in order to minimize purely radiation risks and to preserve the psychological well-being of the population.

**Key words:** radiation events, radiation accident, radiation incident, nuclear industry, nuclear power, radioactive iodine, exposure, emergency iodine prophylaxis, stable iodine, potassium iodide, potassium iodate, psychological well-being of population.

*Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2022;27:25-59. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-25-59*

✉ Dmytro E. Afanasiev, e-mail: otradny@gmail.com

### Обґрунтування неминучої актуальності

Надзвичайні ситуації, при яких існує ризик радіаційного впливу на населення, повинні негайно супроводжуватися активним і адекватним реагуванням шляхом забезпечення лаконічного та коректного інформування, визначення плану евакуації і його здійснення, профілактичного застосування препаратів йоду (у випадку, якщо радіоактивний йод є дозоформуючим агентом), а також надання медичної допомоги потерпілим [1, 2]. Оптимальний варіант реагування зазвичай має поєднувати застосування всіх цих контрзаходів [3–5]. Медикаментозна (йодна) профілактика і надання лікувально-діагностичної допомоги при цьому є сферою відповідальності системи охорони здоров'я [6–8]. Крім того, у початковий період після інциденту – в умовах можливої адміністративної плутанини і нереальності негайної евакуації – співробітники системи охорони здоров'я можуть надавати населенню рекомендації з тимчасових заходів захисту за місцем проживання. Серед останніх – максимально можлива герметизація жител, використання бутильованої питної води і консервованих продуктів харчування [9, 10]. Значення таких дій не можна недооцінювати, оскільки, наприклад, коефіцієнт екранування (відношення дози опромінення, одержуваної всередині приміщення, до такої на відкритому просторі) для  $\gamma$ -випромінювання радіоактивної хмари складає 0,9 для дерев'яних будівель, 0,6 – для їхніх підвальних приміщень, 0,4 – для підвалів кам'яних будівель і 0,2 – для великих промислових або адміністративних будинків [11].

Допомога і підтримка, що надаються людям, які зазнали радіаційного впливу, повинні залежати від виду та величини такого впливу, а також наявності супутніх уражень/травм та/або порушень стану здоров'я (в тому числі не пов'язаних з поточними подіями). Однак, за будь-яких обставин, необхідне проведення всіх або ж максимально можливого обсягу необхідних заходів вже на початковому етапі, а саме – припинення подальшого надходження радіоактивних речовин до організму, йодна профілактика (при доцільності такої), догоспітальна допомога і супровід на етапах евакуації [12].

Досвід, засвоєний з минулих радіологічних та ядерних аварій, показує, що психологічні та психосоціальні наслідки можуть перевищувати прямий вплив радіації на фізичне здоров'я людини. Психічне здоров'я і психологічне самопочуття індивіда та благополуччя громади можуть зазнавати значного впливу під час радіаційних аварійних ситуацій та після їх завершення через низку факторів. Зокрема, часто

### Justification of inevitable relevance

Emergency situations in which there is a risk of radiation exposure to population must be immediately accompanied by an active and adequate response through providing concise and correct information, defining an evacuation plan and its implementation, prophylactic use of iodine preparations (in case that radioactive iodine is a dose-forming agent), and as well as providing medical assistance to survivors [1, 2]. The optimal response option should usually combine the use of all these countermeasures [3–5]. Medicinal (iodine) prevention and the provision of medical and diagnostic care are under the responsibility of health care system [6–8]. In addition, in the initial period after the incident (under possible administrative confusion and impracticality of immediate evacuation) employees of health care system can provide the population with recommendations on temporary measures of protection at the place of residence. Among the latter there are the maximum possible sealing of dwellings, use of bottled drinking water and canned food [9, 10]. The value of such actions cannot be underestimated, since, for example, the shielding coefficient (i.e. ratio of the radiation dose received indoors to that in open space) for  $\gamma$ -radiation from a radioactive cloud is 0.9 for wooden buildings, 0.6 – for their basements, 0.4 – for basements of stone buildings and 0.2 – for large industrial or administrative buildings [11].

Aid and support provided to the people who have been exposed to radiation should depend on the type and extent of such exposure, as well as the presence of accompanying lesions/injuries and/or comorbid health conditions (including those not related to the current events). However, under any circumstances, it is necessary to carry out all or the maximum possible amount of required measures already at the initial stage, namely, stopping the further intake of radioactive substances to the body, iodine prophylaxis (if appropriate), pre-hospital care and support during the evacuation [12].

Lessons learned from past radiological and nuclear accidents show that the psychological and psychosocial consequences can exceed the direct effects of radiation on human physical health. The mental health and psychological well-being of the individual and the welfare of the community can be significantly affected during and after radiation emergencies due to a number of factors. In partic-

спостерігаються почуття страху та невизначеності щодо радіаційних ризиків.

Крім того, заходи у надзвичайних ситуаціях, розроблені для захисту людських життів, наприклад аварійна йодна профілактика, радіаційний моніторинг та дезактивація, укриття на місці та евакуація), можуть мати наслідки для фізичного або психічного здоров'я постраждалих людей [13].

Слід зазначити, що дитяче населення характеризується особливостями сприйнятливості до зовнішніх впливів і обумовленими цим періодом життя недоліками захисних механізмів організму. Так, у зв'язку з відносно високими величинами хвилинного об'єму дихання, діти більшою мірою зазнають впливу радіоактивних газів і аерозолів, як, наприклад, при аварійних викидах на підприємствах атомної промисловості. Особливості типового поведіння дітей – активні ігри поза житловими приміщеннями, у тому числі з іграшками безпосередньо на поверхні землі – обумовлюють інтенсивний контакт з приземним шаром атмосфери, де у випадку радіаційних інцидентів утвориться висока концентрація радіоактивних речовин. Значна частина молочних продуктів у раціоні харчування дітей, поряд із власне грудним вигодовуванням, обумовлюють ризик інтенсивного надходження в дитячий організм певних радіонуклідів (насамперед, ізотопів радіоактивного йоду), які після надходження до навколишнього середовища типово у високих концентраціях з'являються у грудному молоці і відповідних свіжих продуктах харчування [14, 15].

### Варіанти радіаційних подій

Аварійне опромінення завжди пов'язане з діяльністю людини і класифікується на навмисне і ненавмисне. Ненавмисне опромінення може бути наслідком аварій на атомних електростанціях (АЕС) (як це було на АЕС Три-Майл-Айленд, Чорнобильській АЕС та АЕС Фукусіма Дай-Ічі) або на інших підприємствах ядерного циклу. Кількість діючих ядерних реакторів у світі на кінець 2021 року по країнах наведена у рис. 1 [16]. Крім того, це може бути результатом випадкової детонації ядерних боєприпасів, неврахованих витоків радіоактивних відходів зі сховищ або при транспортуванні таких речовин, а також халатного поведіння з джерелами іонізуючих випромінювань. Загрозу навмисного опромінення несуть військові конфлікти і терористична діяльність – застосування ядерних боєприпасів, їхні підриви терористами на місцях штатного збереження, навмисні пошкодження устаткування підприємств ядерної промисловості та сховищ ядерних

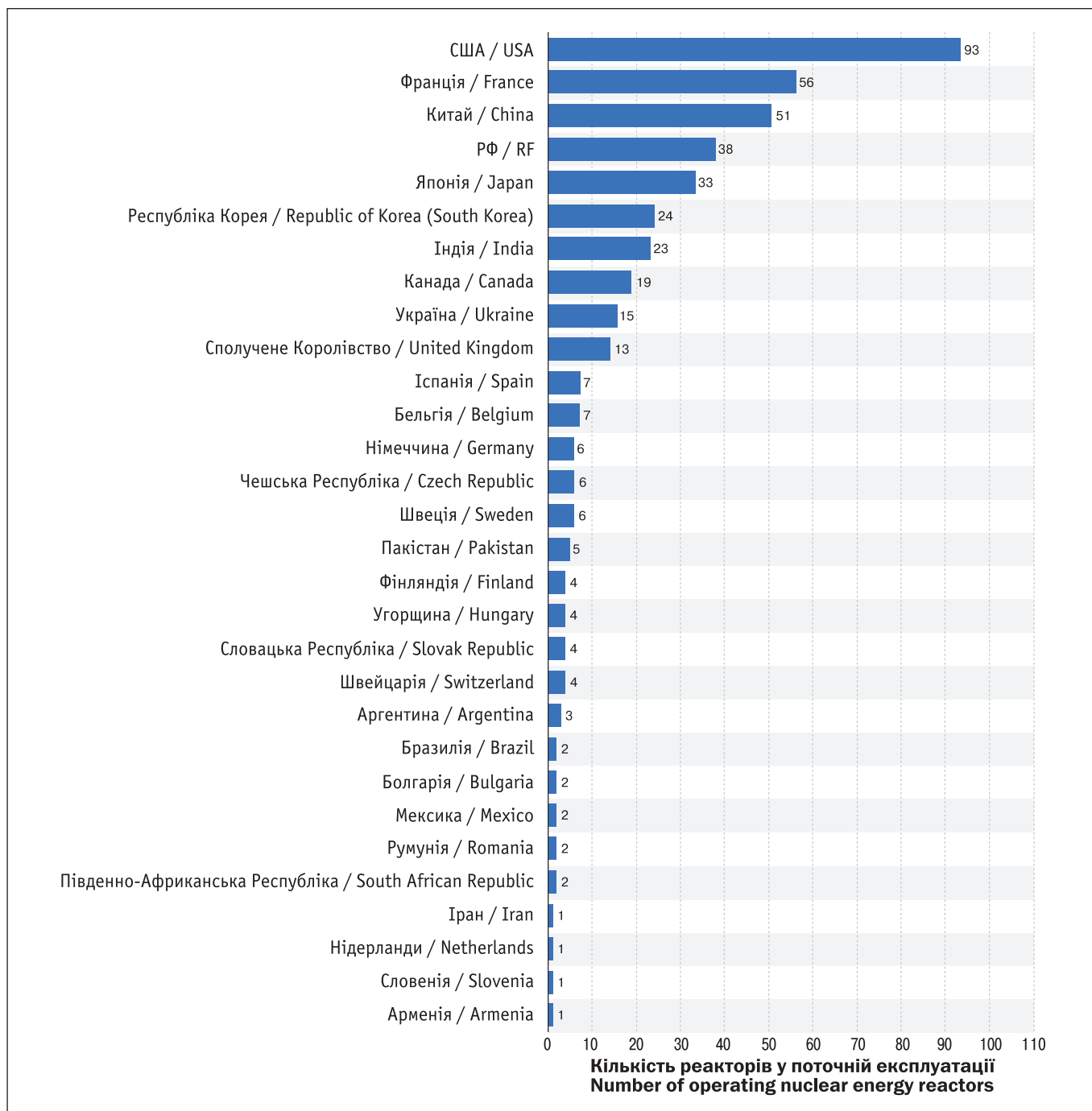
ular, feelings of fear and uncertainty regarding radiation risks are often observed.

In addition, emergency measures designed to protect human life (such as emergency iodine prophylaxis, radiation monitoring and decontamination, shelter-in-place and evacuation) may have a range of consequences for the physical or mental health of affected people [13].

It should be noted that pediatric population is characterized by specific features of susceptibility to external influences and insufficiencies/immaturity in the body's protective mechanisms in this period of life. Namely, in connection with relatively high values of the minute volume of breathing, children are more exposed to radioactive gases and aerosols, as, for example, during emergency emissions at nuclear industry enterprises. Features of children's typical behavior e.g. active games outside residential premises, including with toys directly on the surface of the earth lead to intensive contact with the surface atmospheric layer where a high concentration of radioactive substances will be formed in the event of radiation incidents. A significant part of dairy products in the diet of children, along with breastfeeding itself, cause the risk of intensive entry into the child's body of certain radionuclides (primarily, isotopes of radioactive iodine), which after release to environment typically appear in high concentrations in breast milk and corresponding fresh food products [14, 15].

### Variants of radiation events

Accidental exposure is always related to human activity and is classified into intentional and unintentional. Unintentional exposure can result from accidents at nuclear power plants (NPP) (such as Three Mile Island, Chernobyl, and Fukushima Dai-Ichi) or other industrial facilities of the nuclear cycle. The number of operating nuclear reactors in the world at the end of 2021 by country is shown in Fig. 1 [16]. In addition, it may be the result of accidental detonation of nuclear munitions, unaccounted leaks of radioactive waste from storage facilities or during transportation of such substances, as well as negligent handling of sources of ionizing radiation. The threat of intentional exposure is posed by military conflicts and terrorist activity through the use of nuclear munitions, their detonation by terrorists at the sites of regular storage, intentional damage to the equipment of nuclear industry enterprises and nuclear waste



**Рисунок 1.** Діючі ядерні реактори у світі на жовтень 2021 року

**Figure 1.** Operating nuclear reactors in the world as of October 2021

відходів, а також розсіювання або розпилення радіоактивних матеріалів (шляхом підриву їх звичайними боєприпасами – «брудна бомба»), забруднення ними водопровідної води, контамінації місцевості при русі транспортного засобу з радіовідходами тощо [8, 17–21].

Розпилення радіоактивних матеріалів або забруднення джерел питного водопостачання терористами за допомогою спеціальних пристосувань розглядається у якості найбільш ймовірної і значної загрози [22]. Причому доступ зловмисників до радіоактивних

storage facilities, as well as the scattering or spraying of radioactive materials (by detonating them with conventional munitions – a «dirty bomb»), their contamination of tap water, contamination of the area during the movement of a vehicle with radioactive waste, etc. [8, 17–21].

Spraying of radioactive materials or contamination of sources of drinking water supply by terrorists using special devices is considered as the most likely and significant threat [22]. Moreover, the access of criminals to radioactive materials is quite

матеріалів цілком реальний – у лабораторіях вищих навчальних закладів і радіологічних (радіотерапевтичних) відділеннях профільних або багатопрофільних медичних центрів [23, 24]. При цьому, розпилення 1 Ки активності в межах декількох житлових кварталів є достатнім для того, щоб виникла необхідність примусової евакуації населення і закриття зараженої зони на невизначений термін [12, 25]. Крім того, починаючи з 1990-х років, вважається реальним виготовлення терористичними групами ядерних боеприпасів обмеженої потужності (менше 10 кілотонн тротилового еквіваленту), для чого потрібні невеликі кількості плутонію або високозбагаченого урану [26]. Існує також теоретична можливість розкрадання зі злочинним наміром артилерійських ядерних боеприпасів (через їхню компактність), які перебували на озброєнні, принаймні, у часи «холодної війни». Абсолютний мінімум масово-вагових характеристик атомного вибухового пристрою визначається мінімальною критичною масою, достатньою для помітного енергетичного виходу. Критична маса для плутонію в альфа-фазі складає 10,5 кг, ще 20–25 % маси потрібно для забезпечення значного за потужністю вибуху, разом – 13,5 кг. Відбивач з берилію може зменшити необхідну кількість плутонію, але для цього необхідне створення ефективної імпульсійної системи, що також збільшує загальну масу. Так що дійсний абсолютний мінімум для маси ядерного вибухового пристрою становить ~10–15 кг [23].

Спектр продуктів ядерних аварій і речовин, які можуть фігурувати при інших радіаційних подіях, досить великий. Характеристика найбільш значущих для здоров'я населення радіонуклідів представлена у табл. 1 [27, 28].

Втім, в умовах переважної більшості радіаційних подій серед джерел іонізуючого випромінювання буде присутній радіоактивний йод. Підставами для такого передбачення є світовий досвід за попередні майже 80 років.

### Починаючи з 1945-го...

Наслідки атомних бомбардувань японських міст Хіросіма та Нагасакі в 1945 році загалом широко відомі. Проте якісний та кількісний ізотопний склад продуктів тих ядерних вибухів оцінений дещо приблизно, оскільки радіохімічних досліджень в той час, звісно, не проводили. Для питання, що розглядається, необхідні відомості про ізотопи йоду. Дещо «проливають світло» на проблему відомості з Бібліотеки ядерних даних про продукти розпаду (Fission Product Nuclear Data Library) Японського комітету ядерних

real – in the laboratories of higher educational institutions and radiological (radiotherapeutic) departments of specialized or multidisciplinary medical centers and large hospitals [23, 24]. At the same time, the spraying of 1 Ci activity within several residential blocks is sufficient to necessitate the forced evacuation of the population and closure of contaminated area for an indefinite period [12, 25]. In addition, since the 1990s, the production of nuclear ammunition of limited capacity (less than 10 kilotons of TNT equivalent) by terrorist groups, which requires small amounts of plutonium or highly enriched uranium, is considered real [26]. There is also the theoretical possibility of criminal theft offence of nuclear artillery shells (due to their compactness), which were in service at least during the Cold War. The absolute minimum mass-weight characteristics of an atomic explosive device is determined by the minimum critical mass sufficient for a noticeable energy output. The critical mass for plutonium in the alpha phase is 10.5 kg, another 20–25% of the mass is required to ensure a significant explosion, totaling 13.5 kg. A beryllium reflector can reduce the amount of plutonium required, but this requires the creation of an efficient implosion system, which also increases the total mass. So the actual absolute minimum for the mass of a nuclear explosive device is ~10–15 kg [23].

The spectrum of products of nuclear accidents and substances that can appear in other radiation events is quite wide. The characteristics of radionuclides that are most significant for the population health are presented in Table 1 [27, 28].

However, under conditions of the vast majority of radiation events, radioactive iodine will be present among the sources of ionizing radiation. World experience over the previous almost 80 years is the grounds for such a prediction.

### Since 1945...

The consequences of the atomic bombings of the Japanese cities of Hiroshima and Nagasaki in 1945 are generally widely known. However, the qualitative and quantitative isotopic composition of the products of those nuclear explosions was estimated somewhat roughly, since certainly no radiochemical studies had been conducted at that time. For the question under consideration the information about iodine isotopes is required. Information from the Fission Product Nuclear Data Library of

**Таблиця 1**

**Провідні радіоактивні продукти, що утворюються при ядерних аваріях та інцидентах і стають джерелами внутрішнього опромінення, та їхні характеристики**

Хімічні елементи та їхні сполуки	Хімічні символи і найбільш значущі ізотопи	Джерела випромінювання	Вид випромінювання	Респіраторна абсорбція та ретенція	ЖКТ-абсорбція та ретенція	Абсорбція крізь неушкоджену шкіру та ретенція	Характер найбільш виразної токсичності (органи-мішені)
Америцій	<sup>241</sup> Am	ЯЗ	α	Абсорбція 75 %, ретенція 10 %	Мінімальна	Швидко у перші кілька днів	Скелет, печінка, кістковий мозок
Цезій	<sup>134,137</sup> Cs	МН, АЕС	β, γ	Абсорбція 100 %	Абсорбція 100 %	Абсорбція 100 %	Опромінення всього тіла, екскреція нирками
Кобальт	<sup>60</sup> Co	МН, ХП	β, γ	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Абсорбція < 5 %	Невідомо	Опромінення всього тіла
Йод	<sup>131</sup> I*	ЯЗ, АЕС	β, γ	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Повільна абсорбція, обмежена ретенція	Ураження/руйнування, рак щитоподібної залози; залозиста тканина взагалі
Фосфор	<sup>32</sup> P	МН	β	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Скелет, клітини з високою мітотичною активністю
Плутоній (металічний та солі)	<sup>238-241</sup> Pu	РВ, ЯЗ	α, γ	Висока абсорбція, обмежена ретенція	Мінімальна абсорбція	Обмежена абсорбція, можливе утворення вузликуватих висипів	Легені, кістки, печінка, шкіра
Плутоній (високовалентні оксиди)	<sup>238-241</sup> Pu	РВ, ЯЗ	α, γ	Обмежена абсорбція, висока ретенція	Мінімальна абсорбція	Обмежена абсорбція, можливе утворення вузликуватих висипів	Легені, шкіра
Стронцій	<sup>89, 90</sup> Sr	ЯЗ, АЕС	β, γ	Обмежена абсорбція	Помірна абсорбція	Невідомо	Скелет
Полоній	<sup>210</sup> Po	МН, К, ТТ	α	Помірні рівні абсорбції та ретенції	Мінімальна абсорбція	Помірний рівень абсорбції	Опромінення всього тіла, шкіра (при зовнішньому контакті), селезінка, нирки
Радій	<sup>226</sup> Ra	МН	α	Невідомо	Абсорбція 30 % при, водночас, екскреції зі стулом 95 %	Невідомо	Скелет, кістковий мозок
Тритій (водень-3) – газ (водень/тритій – ВТ) або у складі тритієвої води (НТО)	<sup>3</sup> H (Т)	МН	β	ВТ – мінімальна, НТО – повна абсорбція	ВТ – мінімальна, НТО – повна абсорбція	НТО – повна абсорбція	Кістковий мозок (викликає панцитопенію)
Уран (фториди, сульфати, карбонати)	<sup>238-235</sup> U	ЯЗ, АЕС	α, β	Висока абсорбція та ретенція	Високий рівень абсорбції	Високий рівень абсорбції, подразник шкіри	Нирки, шкіра
Уран (нижчі оксиди, нітрати)	<sup>238-235</sup> U	ЯЗ, АЕС	α, β	Помірна абсорбція, висока ретенція	Помірна абсорбція	Невідомо	Нирки
Уран (вищі оксиди, гідриди, карбід)	<sup>238-235</sup> U	ЯЗ, АЕС	α, β	Мінімальна абсорбція, ретенція залежить від розміру часток	Мінімальна абсорбція, високий рівень екскреції	Невідомо	Нирки
Уран (збіднений металічний)	<sup>238</sup> U	БЗ	α	Ступінь ретенції залежить від розміру часток	Мінімальна абсорбція, високий рівень екскреції	Помірна абсорбція, формування псевдоцист	Нирки, скелет, головний мозок, шкіра

Примітки. ЯЗ – застосування ядерної зброї; МН – устаткування медичного і наукового призначення, ТТ – точна механіка та технології, К – космічна техніка, РВ – радіоактивні відходи, АЕС – атомні електростанції, ХП – харчова промисловість (устаткування стерилізації харчових продуктів), БЗ – застосування неядерної бронебійної зброї.

\* Типово наявними бувають декілька радіонуклідів йоду, у тому числі <sup>132</sup>I і <sup>133</sup>I, однак <sup>131</sup>I при цьому присутній у найбільших кількостях і є найбільш клінічно значущим ізотопом.

**Table 1**  
**Key radioactive products formed during nuclear accidents and incidents and becoming sources of internal radiation and their characteristics**

Chemical elements and their compounds	Chemical symbols and the most significant isotopes	Sources	Radiation type	Respiratory absorption and retention	Gastrointestinal absorption and retention	Undamaged skin absorption and retention	The most pronounced toxicity (target organs)
Americium	<sup>241</sup> Am	NW	α	Absorption 75 %, retention 10 %	Minimal	Rapid in the first few days	Skeleton, liver, bone marrow
Cesium	<sup>134,137</sup> Cs	MS, NPP	β, γ	Absorption 100 %	Absorption 100 %	Absorption 100 %	Irradiation of the whole body, excretion by kidneys
Cobalt	<sup>60</sup> Co	MS, FI	β, γ	High absorption, limited retention	Absorption < 5 %	Unknown	Whole-body irradiation
Iodine	<sup>131</sup> I*	NW, NPP	β, γ	High absorption, limited retention	High absorption, limited retention	High absorption, limited retention	Damage/destruction of thyroid, thyroid cancer; glandular tissue in general
Phosphorus	<sup>32</sup> P	MS	β	High absorption, limited retention	High absorption, limited retention	High absorption, limited retention	Skeleton, cells with high mitotic activity
Plutonium (metal and salts)	<sup>238-241</sup> Pu	RW, NW	α, γ	High absorption, limited retention	Minimal absorption	Limited absorption, possible formation of nodular rashes	Lungs, bones, liver, skin
Plutonium (highly burnt oxides)	<sup>238-241</sup> Pu	RW, NW	α, γ	Limited absorption, high retention	Minimal absorption	Limited absorption, possible formation of nodular rashes	Lungs, skin
Strontium	<sup>89,90</sup> Sr	NW, NPP	β, γ	Limited absorption	Moderate absorption	Unknown	Skeleton
Polonium	<sup>210</sup> Po	MS, ST, PMT	α	Moderate absorption and retention	Minimal absorption	Moderate absorption	Whole body-irradiation, skin (on external contact), spleen, kidneys
Radium	<sup>226</sup> Ra	MS	α	Unknown	Absorption 30% alongside excretion with stool 95%	Unknown	Skeleton, bone marrow
Tritium (hydrogen-3) – gas (hydrogen/tritium – HT) or as part of tritium water (HTO)	<sup>3</sup> H (T)	MS	β	HT – minimal, HTO – complete absorption	HT – minimal, HTO – complete absorption	HTO - complete absorption	Bone marrow (pancytopenia)
Uranium (fluorides, sulfates, carbonates)	<sup>238-235</sup> U	NW, NPP	α, β	High absorption and retention	High absorption	High absorption, skin irritant	Kidneys, skin
Uranium (lower oxides, nitrates)	<sup>238-235</sup> U	NW, NPP	α, β	Moderate absorption, high retention	Moderate absorption	Unknown	Kidneys
Uranium (higher oxides, hydrides, carbides)	<sup>238-235</sup> U	NW, NPP	α, β	Minimal absorption, retention depends on the particle size	Minimal absorption, high excretion	Unknown	Kidneys
Uranium (as a depleted metal)	<sup>238</sup> U	APW	α	Retention depends on the particle size	Minimal absorption, high excretion	Moderate absorption, formation of pseudocysts	Kidneys, skeleton, brain, skin

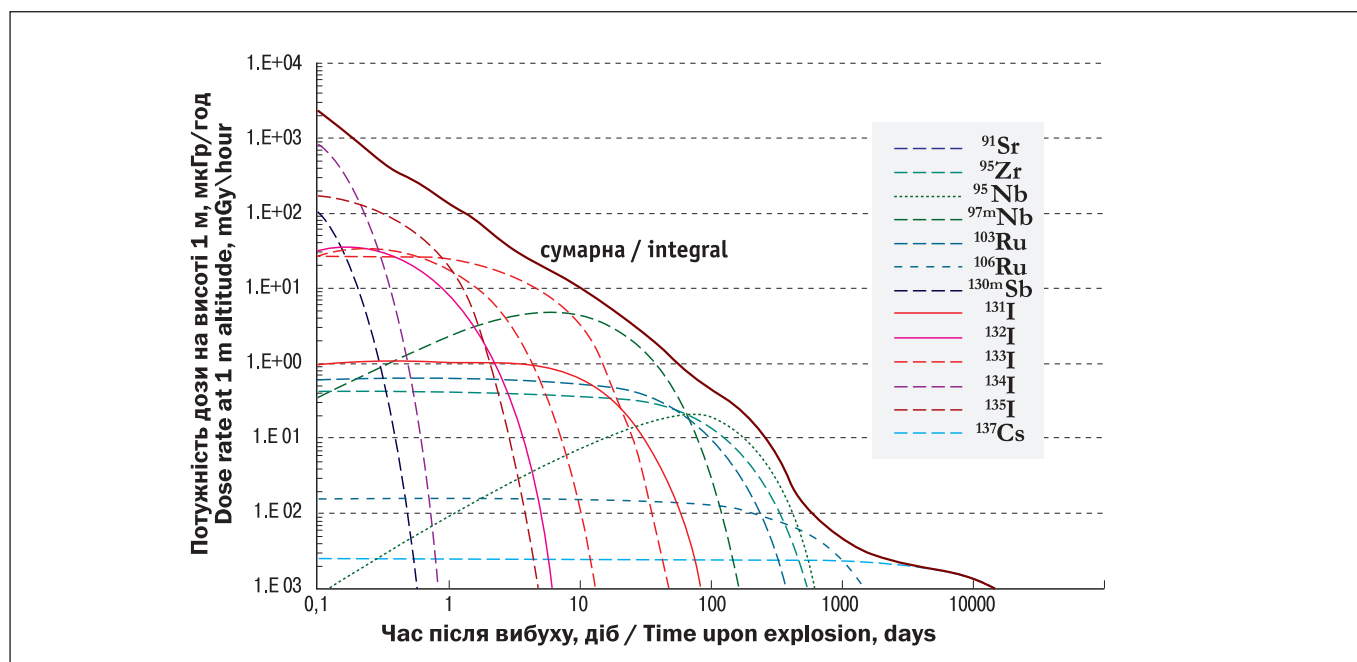
Notes. NW – use of nuclear weapons, MS – medical and scientific equipment, PMT – precision mechanics and technology, ST – space technology, RW – radioactive waste, NPP – nuclear power plants, FI – food industry (food sterilization equipment)  
APW – use of non-nuclear armor-piercing weapons.

\* Several iodine radionuclides are typically present, including <sup>132</sup>I and <sup>133</sup>I, but <sup>131</sup>I is present in the largest amounts being the most clinically relevant isotope.



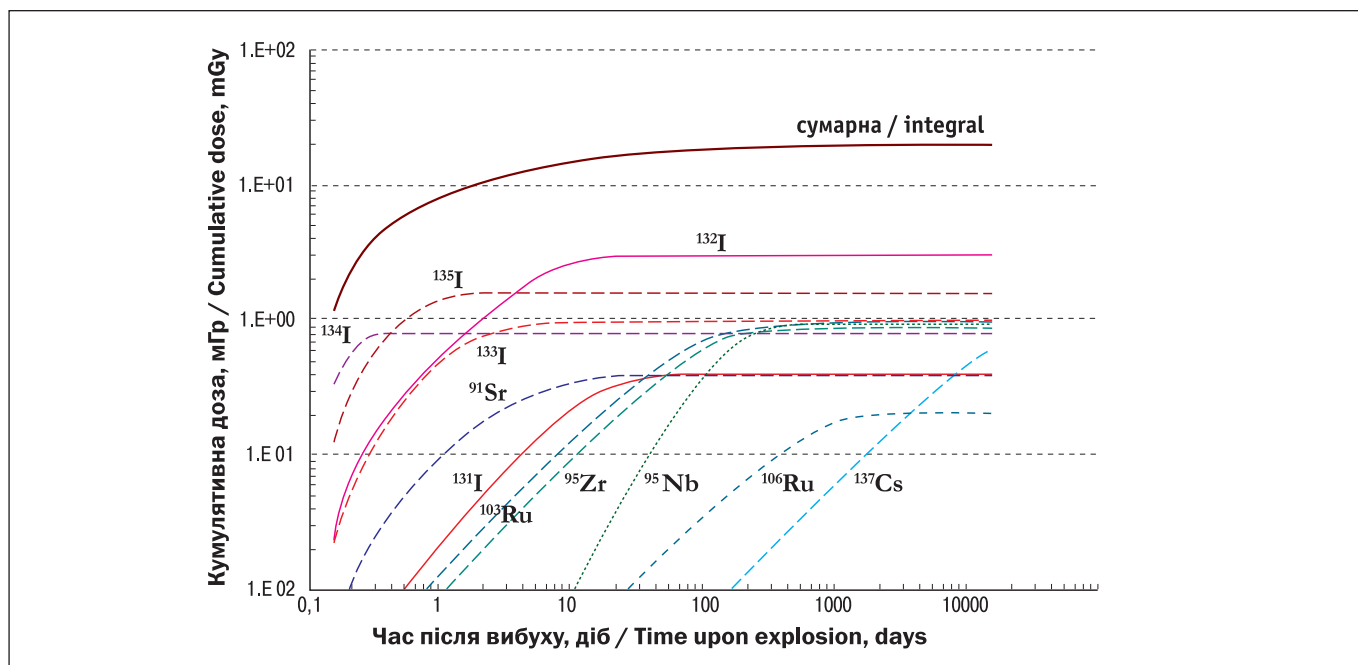
даних (Japanese Nuclear Data Committee – JNDC) у співробітництві з Науковим інститутом атомної енергії Японії (Japan Atomic Energy Research Institute – JAERI) [29] – зокрема, наявна інформація (енергетичний вихід, тип розпаду, коефіцієнт гілкування) про 1227 нуклідів з атомними номерами від 66 до 172. На основі цих даних група під керівництвом Т. Imanaka [30] розрахувала зміни у часі складу продуктів розпаду після ядерного вибуху. Результати були отримані для 29 основних дозоутворюючих нуклідів, втім виключалися благородні радіоактивні гази, продукти з надто коротким періодом напіврозпаду та нукліди, які захоплюють нейтрони –  $^{56}\text{Mn}$  та  $^{60}\text{Co}$ . Внесок останніх поза епіцентром вибуху відносно невеликий порівняно з іншими продуктами розпаду, про що свідчать результати, отримані на ядерному полігоні у штаті Невада, США [31]. Зміни у часі потужності дози  $\gamma$ -випромінювання у повітрі від радіонуклідів, які випали на ґрунт, показані на рис. 2 (дані нормалізовані щодо щільності/інтенсивності забруднення  $^{137}\text{Cs}$   $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ ) [30]. У свою чергу, кумулятивна доза після випадіння радіоактивних продуктів при вихідному рівні забруднення  $^{137}\text{Cs}$   $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$  показана на рис. 3 [30]. У моделі для розрахунків закладався проміжок часу 3 години до прибуття і проходження радіоактивної хмари після вибуху. Очевидно, що радіоактивний йод у спектрі кількох ізо-

the Japanese Nuclear Data Committee (JNDC) in cooperation with the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) sheds some light on the problem [29]. In particular, information (energy yield, type of decay, branching coefficient) about 1227 nuclides with atomic numbers from 66 to 172 is available. Based on these data, a group led by T. Imanaka [30] has calculated the changes in composition of decay products over time after nuclear explosion. The results were obtained for the 29 key dose-forming nuclides, but excluding the noble radioactive gases, products with too short half-life and nuclides that capture neutrons ( $^{56}\text{Mn}$  and  $^{60}\text{Co}$ ). Contribution of the latter outside the hypocenter of explosion is relatively low compared to other decay products, as evidenced by the results obtained at the nuclear test site in the state of Nevada, USA [31]. Changes over time in the dose rate of  $\gamma$ -radiation in the air from radionuclides that fell on the soil are shown in Fig. 2 (data normalized with respect to the  $^{137}\text{Cs}$ -contamination density/intensity of  $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ ) [30]. In turn, the cumulative dose values after the fallout of radioactive products at the initial level of  $^{137}\text{Cs}$  contamination of  $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$  are shown in Fig. 3 [30]. In the model for calculations a time interval of 3 hours was laid before the arrival and passage of radioactive cloud upon explosion. It is obvious that radioactive iodine in the spectrum of several isotopes was signif-



**Рисунок 2.** Зміни у часі потужності дози  $\gamma$ -опромінювання у повітрі від радіонуклідів, які випали і випадають далі на ґрунт (дані нормалізовані щодо щільності/інтенсивності забруднення  $^{137}\text{Cs}$   $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ )

**Figure 2.** Changes over time in the dose rate of  $\gamma$ -irradiation in the air from radionuclides that fell and fell further to the soil (data normalized with respect to the  $^{137}\text{Cs}$ -contamination density/intensity of  $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ )



**Рисунок 3.** Зміни у часі кумулятивної дози опромінення після випадіння продуктів ядерного вибуху через 3 години від моменту події при вихідному рівні забруднення  $^{137}\text{Cs}$   $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$

**Figure 3.** Changes over time in cumulative radiation dose upon fallout of nuclear explosion products 3 hours after the event at the initial level of  $^{137}\text{Cs}$  contamination of  $1 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$

топів був істотно присутній у продуктах ядерного вибуху і значною мірою формував дозу опромінення.

Що стосується, небойових подій з опроміненням великої чисельності населення радіоактивним йодом впродовж майже 70 років, то їхній перелік включає в себе:

- виконання програми ядерних і термоядерних випробувань США на полігоні Маршаллових островів у Тихому океані у період з 1946 по 1958 рік;
- виконання програми ядерних і термоядерних випробувань США на полігоні у штаті Невада в період з 1952 по 1970 рік;
- тривалі витіки на ядерному підприємстві з виробництва плутонію у Хенфорді (штат Вашингтон, США) протягом 1944–1972 років;
- аварію на Чорнобильській АЕС у 1986 році;
- аварію на АЕС Фукусіма Дай-ічі у Японії у 2011 році.

Характеристика цих подій та кількох менш масштабних інцидентів з інтенсивним променевим впливом радіоактивного йоду на населення наведена у табл. 2 [32–37].

Щодо теперішніх потенційних ризиків, принципово важливо те, що ізотопи йоду є типовими й поширеними побічними продуктами функціонування атомних електростанцій і підприємств зі збагачення/виробництва радіоактивних речовин, а тому висока імовірність присутності таких радіонуклідів в аварійних атмосферних викидах або скиданнях у межах басейнів місцевих річок при відповідних аваріях або терористичних актах.

ічно присутній у продуктах ядерного вибуху і значною мірою формував дозу опромінення.

As for non-combat events with the irradiation of large population groups from radioactive iodine for almost 70 years, their list includes:

- the US nuclear and thermonuclear test program at the Marshall Islands test site in the Pacific Ocean in the period from 1946 to 1958;
- the US program of nuclear and thermonuclear tests at the Nevada state test site in the period from 1952 to 1970;
- long-term atmospheric releases at the plutonium production facility in Hanford (Washington, USA) during 1944–1972;
- the Chornobyl NPP accident in 1986;
- the Fukushima Dai-ichi NPP accident in 2011.

The characteristics of these events and several smaller-scale incidents with intense radiation effects of radioactive iodine on population are given in the Table 2 [32–37].

Regarding the current potential risks, it is of fundamental importance that iodine isotopes are typical and common by-products of the operation of NPPs and facilities for the enrichment/production of radioactive substances, and therefore the presence of such radionuclides in accidental atmospheric emissions or discharges within local river basins is highly likely in respective accidents or terrorist acts.

**Таблиця 2**

**Характеристика невоєнних історичних подій з інтенсивним променевим впливом радіоактивного йоду на населення**

**Table 2**

**Characterization of non-military historical events with intense radiation effects of radioactive iodine on population**

<b>Місце події</b> <b>Location</b>	<b>Загальна кількість <sup>131</sup>I, яка надійшла, Ки</b> <b>Total amount of released <sup>131</sup>I, activity, Ci</b>	<b>Роки</b> <b>Years</b>
Маршаллові острови, Тихий океан Marshall islands, the Pacific	6 300 000 000	1946–1958
Полігон у штаті Невада, США Nevada test site, USA	150 000 000	1952–1970
Чорнобильська АЕС, колишній СРСР Chornobyl NPP, former USSR	50 000 000	1986
АЕС Фукусіма Дайчі, Японія NPP Fukushima Dai-ichi, Japan	13 800 000	2011
Ядерне підприємство у Хенфорді, штат Вашингтон, США Nuclear facility in Hanford, Washington, USA	740 000	1944–1972
Ядерний виробничий комплекс Саванна-Рівер-Сайт, штат Південна Кароліна, США Savannah River Site nuclear industrial complex, South Carolina, USA	60 000	1955–1990
Національна лабораторія у Ок-Ридж, штат Теннессі, США Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA	8 000 – 42 000	1944–1956
Ядерний комплекс у Віндскейлі, Сполучене Королівство Windscale Nuclear Plant, UK	20 000	1957
АЕС Три-Майл-Айленд, штат Пенсильванія, США NPP Three Mile Island, Pennsylvania, USA	15 – 21	1979

**Можливості медицини**

Можливості проведення специфічної (в тому числі - профілактичної) фармакотерапії при тяжких радіаційних ураженнях досить обмежені [38, 39]. І принципово важливо, що рішення про застосування таких засобів можуть приймати лише фахівці з невідкладної клінічної радіології. Зокрема, існують рекомендації щодо застосування кількох медикаментозних засобів, однак ефективність частини з них дотепер лишається клінічно недоведеною, стосовно ж інших існують відомості про наявність ризику серйозних побічних явищ, особливо у дітей (табл. 3) [12, 40, 41].

**Йодна профілактика**

Найбільш ефективним методом захисту щитоподібної залози (ЩЗ) від радіоактивних ізотопів йоду є прийом лікарських препаратів цього мікроелементу (аварійна йодна профілактика), а саме йодиду калію – основної форми йоду, що всмоктується в кишковому тракті, або йодату калію. Переважна більшість інших йодовмісних речовин, як і власне молекулярний йод (I<sub>2</sub>), **не засвоюються** організмом людини [42–45]. Більш того, власне йодати також не всмоктуються у кишківнику, а натомість зазнають відновлення до йодидів і лише тоді поглинаються ентероцитами [46]. Цей процес відбувається шляхом активного транс-

**Healthcare options**

The possibilities of specific (including prophylactic) pharmacotherapy for severe radiation damage are quite limited [38, 39]. And it is fundamentally important that only specialists in emergency clinical radiology can make decisions about the use of such agents. In particular, there are recommendations for the use of several medicinal products, but the effectiveness of some of them remains clinically unproven, while for others there is information about the risk of serious side effects, especially in children (Table 3) [12, 40, 41].

**Iodine prophylaxis**

The most effective method of protecting the thyroid gland from radioactive isotopes of iodine is to take medicinal preparations of this trace element (emergency iodine prophylaxis), namely potassium iodide, the main form of iodine absorbed in the intestinal tract, or potassium iodate. The vast majority of other iodine-containing substances, as well as molecular iodine (I<sub>2</sub>) itself, are **not absorbed** by the human body [42–45]. Moreover, iodates themselves are not absorbed in the intestine either, but instead undergo reduction to iodides and only then are absorbed by enterocytes [46]. This process occurs

## Таблиця 3

Характеристика невоєнних історичних подій з інтенсивним променевим впливом радіоактивного йоду на населення

Table 3

Characterization of non-military historical events with intense radiation effects of radioactive iodine on population

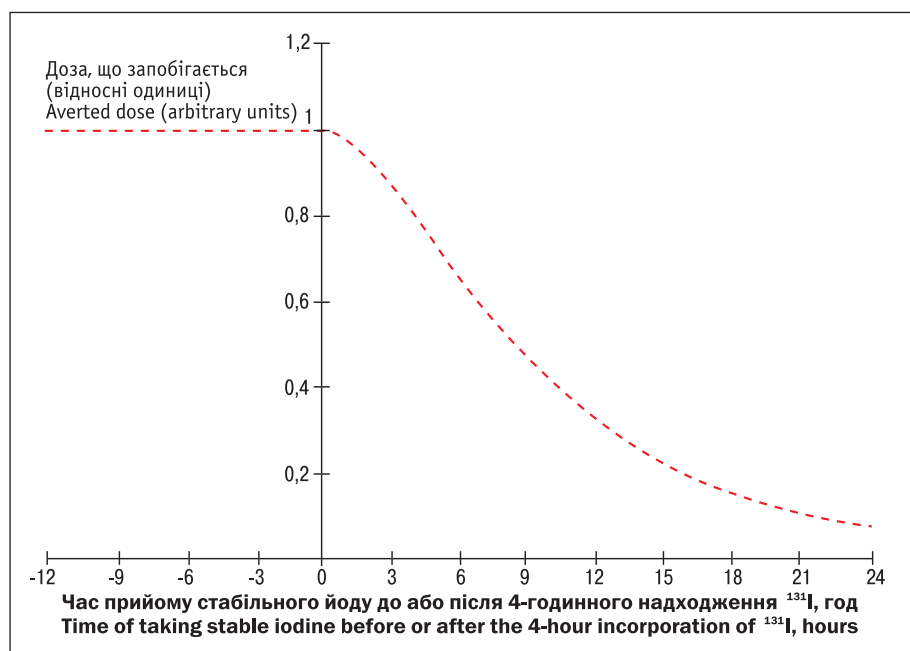
Радіонуклід Radionuclide	Метод або засіб терапії Therapy methods or agents
Тритій Tritium	Розведення (форсований діурез) Dilution (forced diuresis)
Йод Iodine	Препарати йоду у дозах, що блокують щитоподібну залозу (у формі таблеток або наднасиченого розчину), у пізні терміни – мобілізація (антитиреоїдні препарати) Iodine preparations in doses that block the thyroid (tablets or a supersaturated solution formulas), mobilization (antithyroid drugs) in the late period
Цезій Cesium	Обмеження шлунково-кишкового всмоктування (берлінська лазур) Limitation of gastrointestinal absorption (Berlin Azure)
Фосфор Phosphorus	Обмеження всмоктування (антацидні засоби на основі гідроксиду алюмінію) Absorption limitation (aluminum hydroxide antacids)
Стронцій Strontium	Обмеження всмоктування (антацидні засоби на основі гелю фосфату алюмінію) Блокування (стронцію лактат) Заміщення (препарати солей фосфорної кислоти) Мобілізація (хлорид амонію або екстракт паращитоподібних залоз) Absorption limitation (aluminum phosphate gel antacids) Blocking (strontium lactate) Substitution (preparations of phosphoric acid salts) Mobilization (ammonium chloride or parathyroid extract)
Плутоній, америцій та інші трансуранові елементи Plutonium, americium and other transuranium elements	Утворення хелатних сполук з диетилентриамінпентаацетатом (ДТПА) або етилендіамінтетраацетатом (ЕДТА) кальцію або цинку (експериментальні агенти) Formation of chelate compounds with calcium or zinc diethylenetriaminepentaacetate (DTPA) or ethylenediaminetetraacetate (EDTA) (experimental agents)
Кобальт Cobalt	Підтримуюча терапія Supporting therapy
Хімічна природа невідома Unknown chemical nature	Обмеження всмоктування при пероральному надходженні (блювотні і проносні засоби, промивання шлунка, активоване вугілля та інші сорбенти) Limitation of absorption upon oral intake (emetics and laxatives, gastric lavage, activated carbon and other sorbents)

порту за участю транспортного білка слизової оболонки стінки кишечника – натрій-йодид симпортера (Na-iodide symporter – NIS). NIS експресований на апікальних поверхнях ентероцитів, поряд з багатьма іншими клітинами організму, включаючи тиреоцити [46]. Зростання вмісту іонів  $I^-$  в ентероцитах (при дієтичному надлишку йодидів) викликає зменшення їхнього всмоктування за механізмом пригнічення експресії NIS на плазматичній мембрані (інтенсифікується деградація NIS і знижуються рівні мРНК NIS) [47, 48]. З іншого боку, мутації гена NIS проявляються порушенням (зменшенням) всмоктування йодидів і – відповідно – тяжким вродженим гіпотиреозом [43, 49]. Таким чином, NIS є важливим і, більш того, центральним компонентом системи всмоктування  $I^-$  в тонкому кишечнику [48], тоді як інші шляхи ентеральної інкорпорації йоду та його сполук зневажливо малозначущі.

Максимальний захисний ефект аварійної йодної профілактики може бути досягнутий у разі попе-

through the active transport with participation of the transport protein of the mucous membrane of intestinal wall – the sodium-iodide symporter (Na-iodide symporter – NIS). NIS is expressed on the apical surfaces of enterocytes and on many other cells of the body, including thyrocytes [46]. An increase in the content of  $I^-$  ions in enterocytes (with a dietary excess of iodides) causes a decrease in their absorption by the mechanism of inhibition of NIS expression on plasma membrane (NIS degradation intensifies and NIS mRNA levels decrease) [47, 48]. On the other hand, mutations of the NIS gene are manifested by a reduction of iodide absorption and, accordingly, by severe congenital hypothyroidism [43, 49]. Thus, NIS is an important and, moreover, a central component of the  $I^-$  absorption system in the small intestine [48], while other ways of enteral incorporation of iodine and its compounds are negligible.

The maximum protective effect of emergency iodine prophylaxis can be achieved in the case of



**Рисунок 4.** Доза опромінення ЩЗ, яка запобігається, як функція часу прийому стабільного йоду по відношенню до надходження в організм  $^{131}\text{I}$  протягом 4 годин [3]

**Figure 4.** Averted dose as a function of time stable iodine is administered relative to a 4-h intake of  $^{131}\text{I}$  [3]

Повний ефект стабільного йоду в блокуванні ЩЗ досягається при призначенні його препаратів незадовго до радіоактивного впливу (експозиції/інкорпорації радіоактивного йоду) або ж, наскільки це можливо, незабаром після цього. Однак навіть затримка в проведенні йодної профілактики на кілька годин все-ж блокує ЩЗ на ~50 %. Представлено ефективність блокування органу залежно від часу до і після впливу радіоактивного йоду

The full effect of stable iodine in thyroid blocking is achieved when its preparations are administered shortly before radiation impact (radioactive iodine exposure/incorporation) or, as far as possible, soon after. However, even a delay in iodine prophylaxis for a few hours still blocks the thyroid by ~50 %. The effectiveness of thyroid blocking is presented depending on the time before and after exposure to radioactive iodine.

реднього або одночасного з надходженням радіоактивного йоду прийому препаратів йоду стабільного. Ефективність препаратів стабільного йоду складає 100 % за умови прийому безпосередньо перед впливом радіонуклідів даного елемента. Через 2, 8 і 24 години після радіаційного інциденту вона знижується до 80 %, 40 % і 7 %, відповідно [50]. Тобто, захисний ефект препаратів значно знижується з часом після попадання до організму радіоактивного йоду. Проте навіть через 6 годин після разового надходження  $^{131}\text{I}$  прийом препаратів стабільного йоду може обмежити потенційну дозу опромінення ЩЗ приблизно в 2 рази (рис. 4) [3]. Зрештою, враховуючи все вищевикладене, аварійна йодна профілактика в умовах радіаційного інциденту (за наявності скільки-небудь достовірної інформації по екологічне надходження радіоактивного йоду) має бути виконана і виконана якнайшвидше.

В основі захисної дії аварійної йодної профілактики лежить явище блокади/припинення стабільним йодом у високій дозі подальшого надходження даного мікроелементу (чи то стабільного, чи то радіоактивного) до ЩЗ. Тобто настає неможливість подальшого захоплення/поглинання ЩЗ йоду будь-якого ізотопного складу. Процедура абсолютно ефективна при виконанні, як було зазначено вище, до початку

taking the preparations stable iodine before or at a time of exposure to radioactive iodine. The effectiveness of stable iodine preparations is 100%, provided they are taken immediately before exposure to the radionuclides of this element. In 2, 8, and 24 hours after a radiation incident, it decreases to 80 %, 40 %, and 7 %, respectively [50]. That is, the protective effect of the drugs significantly decreases over time after exposure to radioactive iodine. However, taking stable iodine preparations even 6 hours after a one-time incorporation of  $^{131}\text{I}$  can limit the potential thyroid radiation dose by approximately 2 times (Fig. 4) [3]. Ultimately, taking into account all of the above the emergency iodine prophylaxis in event of a radiation incident (if there is any reliable information on the environmental release of radioactive iodine) should be performed, and moreover performed as soon as possible.

The phenomenon of blockade/termination by stable iodine in a high dose of the further entry of this trace element (either stable or radioactive) to the thyroid is at the core of protective effect of emergency iodine prophylaxis. That is, the impossibility of further capture/absorption of iodine of any isotopic composition by the thyroid emerges. The procedure is absolutely effective when performed,

надходження до організму радіоактивних ізотопів цього мікроелементу. Втім, таке «вимкнення» ЩЗ в результаті одноразового прийому препаратів йоду у блокуючих дозах (понад 100 мг мікроелементу) має тимчасовий характер. Так, одноразовий прийом 130 мг йодиду калію або 170 мг йодату калію (відповідає 100 мг стабільного йоду) забезпечує високий захисний ефект протягом 24 годин [3].

За будь-яких умов та обставин, препарати стабільного йоду з метою профілактики опромінення при радіаційних подіях приймаються за вказівкою/командою, що надходить від представників органів влади або медичних працівників [51–55].

### *Відстані охоплення населення, місця та терміни зберігання*

В США існують рекомендації профілактичного застосування препаратів стабільного йоду за рішенням медичного керівництва при радіаційних аваріях/інцидентах в усього населення в межах території радіусом 10 миль (~18 км) від підприємств атомної енергетики/промисловості, поряд з проведенням заходів щодо герметизації жителів і/або евакуації [51]. Причому запаси препаратів мають зберігатися у шпиталях та школах. Рекомендації було підтверджено у проекті наступної версії настанов за участю міністерства охорони здоров'я та соціального забезпечення США [52]. Водночас, Американська тиреоїдна асоціація рекомендує не обмежуватися відстанню 10 чи то, наприклад, 20 миль, а замість того – збільшити цю величину і встановити різний тип забезпечення населення препаратами йоду по зонах (при відповідно різних умовах його зберігання) [53]. Так, на відстані до 50 миль (~90 км) рекомендовано забезпечити все населення препаратами на місцях власного проживання (будинках, квартирах тощо), а на відстані 50–200 миль (~90–360 км) сформувати запаси лікарських форм препаратів калію у місцевих громадських закладах – медичних установах, школах, поліцейських дільницях та пожежних станціях. Поза радіусом 200 миль від підприємств атомної енергетики/промисловості вважається за доцільне мати запаси препаратів калію на національного підпорядкування складах міністерства охорони здоров'я та соціального забезпечення [53]. Вважаємо доречним, адекватним і виправданим такий підхід до організації аварійної йодної профілактики у населення. Більш того, у густонаселених регіонах, де швидка евакуація великої чисельності населення є важкоздійсненною, особливо доцільна можливість

as mentioned above, before the radioactive isotopes of iodine enter the body. However, such a «shutdown» of the thyroid as a result of a single intake of iodine preparations in blocking doses (over 100 mg of iodine) is temporary. Thus, a single intake of 130 mg of potassium iodide or 170 mg of potassium iodate (equivalent to 100 mg of stable iodine) provides a high protective effect within 24 hours [3].

Under any conditions and circumstances the stable iodine preparations for the purpose of prevention of radiation exposure in radiation events are taken at the direction/command coming from representatives of authorities or medical professionals [51–55].

### *Population coverage distances, storage locations and terms*

There are recommendations in the USA for the preventive use of stable iodine preparations by the decision of healthcare authorities in case of radiation accidents/incidents in the entire population within a radius of 10 miles (~18 km) from nuclear power plants/industry, along with measures to seal houses and/or evacuation [51]. Moreover, stocks of drugs should be kept in hospitals and schools. The recommendations were confirmed in the draft of next version of the guidelines with participation of the US Department of Health and Human Services [52]. At the same time, the American Thyroid Association recommends not to be limited to a distance of 10 or, for example, 20 miles, but instead to increase this value and to establish a different type of supply of iodine preparations to the population by zone (with correspondingly different storage conditions) [53]. So, at a distance of up to 50 miles (~90 km) it is recommended to provide the entire population with drugs at their own places of residence (houses, apartments, etc.), and at a distance of 50–200 miles (~90–360 km) to form stocks of medicinal formulas of potassium preparations at local public institutions i.e. medical schools, schools, police stations and fire stations. Outside a radius of 200 miles from nuclear power plants/industry it is considered advisable to have stocks of potassium preparations in the national supervision warehouses of the US Department of Health and Human Services [53]. We believe that such an approach to the organization of emergency iodine prophylaxis among population is appropriate, adequate and justified. Moreover, in densely populated regions where no rapid evacuation of a large number population possible the availability of iodine prophylaxis at a distance of several hundred kilome-

йодної профілактики на відстані кількох сотень кілометрів. Проте при цьому лишається нагальним питання адекватного зберігання препаратів саме у населення (хоча термін придатності пігулок калію йодиду досить великий — 5 років — і за необхідності може бути подовжений), а також — ризиків неправильного, несвоєчасного або неадекватного за дозою самовільного прийому, оскільки, в будь-якому випадку, проведення йодної профілактики необхідно здійснювати за рішенням експертів з медичної радіології і відповідно до призначених доз з урахуванням наявних фармацевтичних форм [3, 51–55].

### *Історичні аспекти*

Планами заходів із забезпечення готовності до надзвичайних радіаційних ситуацій, зокрема, в США та Японії впевнено передбачається застосування препаратів стабільного йоду (KI або KIO<sub>3</sub>) з профілактичною метою [55–57] відповідно до міжнародних рекомендацій [3, 58]. Такі настанови обґрунтовані багато в чому досвідом успіху такої йодної профілактики в минулому.

Так, уряд Польщі через три дні після аварії на Чорнобильській АЕС наказав фармацевтичній службі держави організувати та провести аварійну йодну профілактику [59]. Впродовж доби після того близько 75 % дитячого населення Польщі отримало препарати KI [57]. За наявними даними, загалом йодид калію прийняли ~95 % дітей та ~23 % дорослих осіб [59]. Згідно ж із кінцевими оцінками, прийняте урядом Польщі рішення та його виконання забезпечили зниження колективної дози опромінення ЩЗ у населення країни на ~40 % [59, 60]. Слід чітко зауважити, що такий успіх стався, незважаючи на запізнення в три доби після аварії, завдяки чималій відстані території країни від зруйнованого реактора. У гіпотетичному ж випадку події поблизу кордонів ефект спізнілої йодної профілактики був би близьким або рівним до нуля. Так що, з одного боку, вказане вище є визначним взірцем успіху відвернення опромінення населення, а з іншого — аргументом на користь необхідності готовності до надзвичайних радіаційних ситуацій, перш за все — попереднього розподілу препаратів йоду на території навколо ядерних підприємств. Саме це зробить реальним успіх аварійної йодної профілактики у разі необхідності.

У свою чергу, після аварії на АЕС Фукусіма Дай-ічі, компанія-власник ТЕРСО видала для 2000 працівників на майданчику АЕС 17 500 таблеток KI,

ters is especially appropriate. However, at the same time, the issue of adequate storage of iodine preparations in the population remains challenging (although the shelf life of potassium iodide pills is quite long — 5 years, and can be extended if necessary), as well as the risks of improper, untimely or in inadequate dose self-administration, since, in any case, iodine prophylaxis must be carried out according to the decision of experts in medical radiology and in accordance with the prescribed doses, taking into account the available pharmaceutical forms [3, 51–55].

### *Historical aspects*

Plans of measures to ensure preparedness for emergency radiation situations, in particular, in the USA and Japan confidently envisage the use of stable iodine preparations (KI or KIO<sub>3</sub>) for preventive purposes [55–57] in accordance with international recommendations [3, 58]. Such recommendations are based in many respects on the experience of the success of such iodine prophylaxis in the past.

Particularly, three days after the accident at the Chornobyl nuclear power plant the Polish government ordered the state pharmaceutical service to organize and conduct emergency iodine prophylaxis [59]. Within a day after that, about 75 % of children in Poland had received the KI medications [57]. According to available data, in general, ~95 % of children and ~23 % of adults had taken the potassium iodide [59]. According to the final estimates the decision taken by the Polish government and its implementation ensured a reduction of the collective dose of thyroid radiation in the country's population by ~40 % [59, 60]. It should be clearly noted that such a success occurred despite the delay of three days upon accident due to the considerable distance of the country's territory from the destroyed reactor. In hypothetical case of an event near the borders the effect of delayed iodine prophylaxis would be close to or equal to zero. So, on the one hand, the above is a notable example of the success of averting exposure of the population, and on the other hand, it is an argument in favor of need to prepare for emergency radiation situations, first of all, the preliminary distribution of iodine preparations in the area around nuclear enterprises. This is what will make emergency iodine prophylaxis a real success if necessary.

In turn, after the accident at the Fukushima Dai-ichi NPP its owner TERSO had distributes 17,500 KI tablets to 2,000 workers at the NPP site. It means that each

тобто, кожен учасник ремонтних робіт і ліквідації наслідків аварії прийняв приблизно по 20 таблеток, а один спеціаліст – 85 (!) таблеток препарату [61]. За розпорядженням уряду Японії, препарати йоду були розподілені для дітей у забруднених районах, але не серед населення в цілому [62, 63]. У Японії прийом препаратів стабільного йоду дітьми рекомендується при досягненні дози опромінення ЩЗ 100 мЗв. Протягом кількох тижнів після руйнування та пожеж на енергоблоках АЕС Фукусіма Дай-ічі, при вимірюванні доз опромінення органу серед 1080 дітей з найбільш забруднених територій не було виявлено випадків перевищення цього дозового порогоу і, таким чином, не була обґрунтована необхідність йодної профілактики [62].

### *Практичні аспекти*

Отже, за умови прийому препаратів стабільного йоду в адекватній дозі незабаром після аварійного або обумовленого терористичним актом надходження радіоактивного йоду в навколишнє середовище, забезпечується ефективне запобігання радіаційно-індукованим тиреоїдним, а також, значною мірою, загальним променевим ефектам [64, 65]. Управління з контролю за продуктами і ліками США (US Food and Drug Administration – FDA) рекомендує застосування препаратів стабільного йоду тільки по досягненні визначеного рівня впливу йоду радіоактивного. Такий підхід обумовлений результатами оцінки співвідношення ризик/сприятливий ефект за наслідками йодної профілактики в Польщі і Білорусії під час аварії на Чорнобильській АЕС [56]. Утім, на думку фахівців, завжди варто розуміти, що позитивний ефект застосування препаратів стабільного йоду (зокрема, стосовно профілактики раку ЩЗ) у будь-якому випадку незрівнянно перевершує пов'язані з цим застосуванням ризики [65, 66].

Поряд з тим, що стабільний йод можна призначати як у вигляді калію йодиду, так і калію йодату (100 мг йоду міститься у 130 мг KI та, відповідно, у 170 мг KIO<sub>3</sub>), дещо кращим вибором при цьому є KI, оскільки KIO<sub>3</sub> характеризується більш виразним подразненням кишечника [67]. Значущої різниці у припустимих термінах зберігання KI і KIO<sub>3</sub> немає і при адекватних умовах термін придатності таблетованих препаратів складає не менше 5 років. Після його закінчення необхідна перевірка вмісту йоду в лікарських формах і при задовільних її результатах можливе продовження терміну зберігання [68].

Найбільш авторитетні рекомендації щодо застосування препаратів стабільного йоду відповідно до гра-

participant in the repair work and accident consequences clean-up had taken approximately 20 tablets, and one specialist had taken 85 (!) tablets of the medication [61]. By order of the Japanese government the iodine preparations were distributed to children in contaminated areas, but not to the general population [62, 63]. Administration of stable iodine preparations to the children in Japan is recommended if the thyroid radiation dose reaches 100 mSv. However, within a few weeks after the destruction and fires at the Fukushima Dai-ichi NPP no cases of exceeding this dose threshold were found when measuring organ radiation doses in children ( $n = 1,080$ ) from the most contaminated areas, and thus no need for iodine prophylaxis was substantiated [62].

### *Practical aspects*

Therefore, if the stable iodine preparations were taken in an adequate dose soon after the release of radioactive iodine into environment due to an emergency or a terrorist act the effective prevention of radiation-induced thyroid effects and to a large extent of general radiation effects is ensured [64, 65]. The US Food and Drug Administration (FDA) recommends the use of stable iodine preparations only after reaching a certain level of exposure to radioactive iodine. This approach is based on the results of the risk/benefit ratio assessment of the consequences of iodine prophylaxis in Poland and Belarus during the Chernobyl nuclear power plant accident [56]. However, according to experts, it is always worth understanding that the positive effect of using stable iodine preparations (in particular, regarding the prevention of thyroid cancer) in any case incomparably outweighs the risks associated with this measure [65, 66].

In addition to the fact that stable iodine can be prescribed both in the form of potassium iodide and potassium iodate (100 mg of iodine is contained in 130 mg of KI and, accordingly, in 170 mg of KIO<sub>3</sub>), a somewhat better choice is KI, since KIO<sub>3</sub> is characterized by more pronounced intestinal irritation [67]. There is no significant difference in the acceptable shelf life of KI and KIO<sub>3</sub>, and under adequate conditions the shelf life of respective tablets is at least 5 years. After its end it is necessary to check the content of iodine in medicinal forms, and if its results are satisfactory the shelf life may be extended [68].

Table 4 illustrates the most authoritative recommendations for the use of stable iodine prepara-



**Таблиця 4**

**Рекомендації по застосуванню препаратів йоду (йодиду калію – KI та йодату калію – KIO<sub>3</sub>) відповідно до граничних доз потенційного опромінення ЩЗ<sup>1</sup>**

**Table 4**

**Recommendations for the use of iodine preparations (potassium iodide – KI and potassium iodate – KIO<sub>3</sub>) in accordance with the dose limits of potential thyroid exposure<sup>1</sup>**

Групи постраждалих Groups of irradiated persons	ПДО Гр (рад) <sup>4</sup> PRD Gy (rad) <sup>4</sup>	МВНК (мГр) <sup>5</sup> FLUC (mGy) <sup>5</sup>	KI, мг / mg <sup>10</sup>			KIO <sub>3</sub> , мг / mg <sup>10</sup>	
			FDA <sup>6</sup>	ATA <sup>7</sup>	ВООЗ <sup>8</sup>	RISK-AUDIT <sup>9</sup>	ВООЗ <sup>8</sup>
Дорослі після 40 років Adults over 40 years old	> 5 (500)	200	130	130	130	170	170
Дорослі 18–40 років Adults 18–40 years old	≥ 0,1 (10)	200	130	130	130	170	170
Підлітки 12–17 років <sup>2</sup> Teens 12–17 years old <sup>2</sup>	≥ 0,05 (5)	50	65	130	130	170	170
Діти 4–11 років Children 4–11 years old	≥ 0,05 (5)	50	65	65	65 (3–12 років)	85	85 (3–12 років)
Діти від 1 місяця до 3 років <sup>3</sup> Children from 1 month to 3 years old <sup>3</sup>	≥ 0,05 (5)	50	32	30-35	32	42	42
Діти від народження до 1 місяця <sup>3</sup> Children from birth to 1 month <sup>3</sup>	≥ 0,05 (5)	50	16	15	16	21	21
Вагітні або жінки, які годують груддю Pregnant or breastfeeding women	≥ 0,05 (5)		130		130	170	170

**Примітки.** <sup>1</sup>Препарати KI та KIO<sub>3</sub> ефективні винятково при впливі радіоактивного йоду (а не інших радіоактивних речовин); вагітним жінкам і немовлятам призначаються одноразово, за надзвичайним винятком випадків неможливості застосування інших заходів захисту (евакуації, герметизації жител, виконання гігієнічних вимог до продуктів харчування), коли рішення про повторне застосування приймають фахівці в галузі медичної радіології і радіаційного захисту. <sup>2</sup>Підліткам з масою тіла понад 70 кг варто призначати дозу дорослого. <sup>3</sup>KI у вигляді пігулок або наднасиченого розчину розчиняють або розводять з молочними продуктами, фруктовими соками або сиропами. <sup>4</sup>Потенційна доза опромінення, за умов якої необхідне втручання [55]. <sup>5</sup>Межі виправданості для невідкладних контрзаходів (НРБУ-97); вказані очікувані дози при внутрішньому опроміненні радіоізотопами йоду, що надходять до організму протягом перших двох тижнів після початку аварії/інциденту/події [67]. <sup>6</sup>[56]. <sup>7</sup>[52]. <sup>8</sup>[3]. <sup>9</sup>[68]. <sup>10</sup>Дози.

**Notes.** <sup>1</sup>KI and KIO<sub>3</sub> drugs are effective only under the exposure to radioactive iodine (but not other radioactive substances); pregnant women and infants are prescribed once, with the exception of cases of impossibility to implement other protective measures (evacuation, sealing of dwellings, compliance with hygienic requirements for food products), when the decision on repeated administration is made by experts in the field of medical radiology and radiation protection. <sup>2</sup>Teenagers with a body weight of more than 70 kg should be prescribed an adult dose. <sup>3</sup>KI in the form of pills or supersaturated solution is dissolved or diluted with dairy products, fruit juices or syrups. <sup>4</sup>Potential radiation dose at which intervention is required [55]. <sup>5</sup>Feasibility (justification) limits for urgent countermeasures (NRBU-97); the expected internal radiation doses with radioisotopes of iodine incorporated during the first two weeks after the start of the accident/incident/event are stated [67]. <sup>6</sup>[56]. <sup>7</sup>[52]. <sup>8</sup>[3]. <sup>9</sup>[68]. <sup>10</sup>Doses.

ничних доз потенційного опромінення ЩЗ ілюструє таблиця 4 [67 із доповненнями].

Калію йодид випускається, як правило, в таблетках по 130 і 65 мг (вміст йоду 100 і 50 мг, відповідно). Таблетки легко розчиняються у воді, що дає можливість застосування будь-якого необхідного об'єму розчину залежно від необхідної дози. Існує також форма наднасиченого розчину калію йодиду (super saturated potassium iodide – SSKI), однак його концентрація (1000 мг/мл) обумовлює труднощі при одержанні потрібних доз, особливо – в педіатричній практиці. FDA видані також рекомендації з приготування доз KI для дітей грудного і молодшого віку у позалабораторних/позааптечних (домашніх) умовах на основі стандартних таблеток препарату (табл. 5, 6) [64, 65].

У публікації FDA вказується на обов'язкову, у випадку проведення профілактики дітям, умову розчинення KI у смачному напої через виражено солоногіркий смак препарату. Найкращим вибором, як по-

tions in accordance with the dose limits of potential thyroid exposure [67 with additions].

KI is available, as a rule, in tablets of 130 and 65 mg (iodine content of 100 and 50 mg, respectively). The tablets dissolve easily in water, which makes it possible to use any required volume of solution depending on the required dose. There is also a form of supersaturated KI solution (super saturated potassium iodide – SSPI), but its concentration (1000 mg/ml) causes difficulties in obtaining the required doses, especially in pediatric practice. The FDA also issued recommendations for the preparation of KI doses for infants and younger children in non-laboratory/non-pharmacy (home) settings using standard tablets of the medicine (Tables 5, 6) [64, 65].

The mandatory requirement of dissolving KI tablets in a tasty drink in case of prophylaxis in children is stated in the FDA publication due to the pronounced salty-bitter taste of the drug. The

**Таблиця 5****Рекомендації з приготування розчину йодиду калію в домашніх умовах на основі таблеток KI 130 мг [63]****Table 5****Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets 130 mg [63]**

- Помістити одну таблетку KI 130 мг у невелику посудину і потовкти у дрібний порошок тильною стороною столової ложки; у порошок не повинно бути великих грудок.
- Додати 4 чайні ложки (20 мл) води до порошку KI і розмішати до повного розчинення.
- Додати 4 чайні ложки (20 мл) молока, фруктового соку або сиропу до розчину KI у воді; в отриманій суміші міститься 16,25 мг KI у 5 мл (1 чайна ложка)
- Рекомендації дозування залежно від віку:
  - > від народження до 1 місяця – 1 чайна ложка;
  - > від 1 місяця до 3 років – 2 чайні ложки;
  - > від 4 до 17 років – 4 чайні ложки (при масі тіла дитини/підлітка понад 70 кг – 1 таблетка 130 мг).

Зберігати свіжоприготовану суміш можна до 7 днів в холодильнику. Невикористану частину продукту варто видалити.

- Put one 130 mg potassium iodide tablet into a small bowl and grind it into a fine powder using the back of the metal teaspoon against the inside of the bowl; the powder should not have any large pieces.
- Add four teaspoonfuls (20 ml) of water to the potassium iodide powder in the small bowl. Use a spoon to mix them together until the potassium iodide powder is dissolved in the water.
- Add four teaspoonfuls (20 ml) of drink (milk, juice or syrup) to the potassium iodide powder and water mixture described in Step 2; the amount of potassium iodide in the drink is 16.25 mg per teaspoon.
- Dosage recommendations depending on age:
  - > an infant from birth through 1 month – 1 teaspoonful;
  - > over 1 month through 3 years – 2 teaspoonfuls;
  - > between 4 and 18 years old – 4 teaspoonfuls (children/adolescents with bodyweight equal to or greater 70 kg should receive 130 mg tablet)

The freshly prepared mixture can be kept for up to 7 days in refrigerator; unused portions should be discarded.

**Таблиця 6****Рекомендації з приготування розчину йодиду калію в домашніх умовах на основі таблеток KI 65 мг [63]****Table 6****Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets 65 mg [63]**

- Помістити одну таблетку KI 65 мг у невелику посудину і потовкти у дрібний порошок тильною стороною столової ложки; у порошок не повинно бути великих грудок.
- Додати 4 чайні ложки (20 мл) води до порошку KI і розмішати до повного розчинення.
- Додати 4 чайні ложки (20 мл) молока, фруктового соку або сиропу до розчину KI у воді; в отриманій суміші міститься 8,125 мг KI у 5 мл (1 чайна ложка)
- Рекомендації дозування залежно від віку:
  - > від народження до 1 місяця – 1 чайна ложка;
  - > від 1 місяця до 3 років – 2 чайні ложки;
  - > від 4 до 17 років – 4 чайні ложки (при масі тіла дитини/підлітка понад 70 кг – 1 таблетка 130 мг).

Зберігати свіжоприготовану суміш можна до 7 днів в холодильнику. Невикористану частину продукту варто видалити.

- Put one 65 mg potassium iodide tablet into a small bowl and grind it into a fine powder using the back of the metal teaspoon against the inside of the bowl; the powder should not have any large pieces.
- Add four teaspoonfuls (20 ml) of water to the potassium iodide powder in the small bowl. Use a spoon to mix them together until the potassium iodide powder is dissolved in the water.
- Add four teaspoonfuls (20 ml) of drink (milk, juice or syrup) to the potassium iodide powder and water mixture described in Step 2; the amount of potassium iodide in the drink is 8.125 mg per teaspoon.
- Dosage recommendations depending on age:
  - > an infant from birth through 1 month – 2 teaspoonfuls;
  - > over 1 month through 3 years – 4 teaspoonfuls;
  - > between 4 and 18 years old – 8 teaspoonfuls (children/adolescents with bodyweight equal to or greater 70 kg should receive two 65 mg tablets)

The freshly prepared mixture can be kept for up to 7 days in refrigerator; unused portions should be discarded.

казує практика, для усунення смаку йодиду є використання малинового сиропу. Прийнятні результати досягаються при розчиненні таблеток у шоколадних молочних напоях з невисоким вмістом жиру або в апельсиновому соку. Звичайне молоко не забезпечує маскування смаку KI.

best choice, as practice shows, to eliminate the taste of iodide is to use raspberry syrup. Acceptable results are achieved when the tablets are dissolved in chocolate milk drinks with a low fat content or in orange juice. White milk does not mask the taste of KI.

Захисний ефект прийому калію йодиду/йодату, як вже згадувалося вище, триває близько 24 годин. При неможливості евакуації може розглядатися рішення про повторне (іноді багаторазове) застосування вказаних препаратів, оскільки за таких умов неможливо виключити подальшу інкорпорацію радіоактивного йоду, так само, як і ймовірність повторного/додаткового довкільного надходження радіоактивних речовин при інциденті. Більш того, навіть при одноразовому екологічному забрудненні радіоактивним йодом (а період напіврозпаду  $^{131}\text{I}$  становить 8,04 доби) для підтримки достатнього рівня захисту в умовах його тривалого надходження до організму доцільний повторний прийом препаратів йоду стабільного  $^{127}\text{I}$  1 раз на добу протягом усього терміну, поки існує ризик експозиції радіоактивного елемента. Такі рішення приймаються винятково фахівцями-радіологами суто індивідуально щодо кожної популяційної групи. Проте жінкам, які годують груддю, повторна йодна профілактика загалом протипоказана [3], так само, як і вагітним [57].

Необхідно враховувати, що радіоактивний йод (поза залежністю від ізотопного складу) характеризується нетривалим періодом напіврозпаду, у зв'язку з чим не може бути присутнім у продуктах розпилення радіоактивних речовин терористами шляхом, наприклад, підриву резервуара з їхнім вмістом звичайною вибухівкою («брудна бомба»). Тому при встановленні такого роду джерела радіаційної небезпеки проведення йодної профілактики недоцільне.

#### **Аспекти безпеки**

Загалом, захисний ефект аварійної йодної профілактики набагато перевищує ризики для здоров'я в усіх вікових групах [58]. Як вказано у даному технічному документі Всесвітньої організації охорони здоров'я, небажаними ефектами прийому КІ можуть бути незначні алергічні реакції – такі, як шкіряні висипи та абдомінальний дискомфорт. Справді, короткострокові побічні ефекти, пов'язані із застосуванням препаратів КІ у Польщі в квітні 1986 року, в переважній більшості випадків були незначними за тяжкістю і полягали саме в явищах подразнення шлунково-кишкового тракту або шкіряної висипки як у дітей, так і у дорослих [70, 71]. Точні дані такі: 2,4 % дітей та 0,85 % дорослих осіб потерпали від блювання, шкіряні прояви відзначали, відповідно, у 1,1 та 1,2 % осіб, а дискомфорт з боку органів черевної порожнини – у 0,36 та 0,63 % людей, яким проводилася йодна профілактика [59].

Особи віком понад 40 років вирізняються суттєво меншим ризиком розвитку раку ЩЗ після впливу

The protective effect of taking potassium iodide/iodate, as mentioned above, lasts for about 24 hours. If evacuation is impossible, a decision on repeated (sometimes multiple) use of the indicated drugs may be considered, since under such conditions it is impossible to exclude the further incorporation of radioactive iodine, as well as possibility of repeated/additional environmental releases of radioactive substances during the incident. Moreover, even with a one-time environmental contamination with radioactive iodine (while the half-life of  $^{131}\text{I}$  is 8.04 days) just to maintain a sufficient level of protection under its long-term entry into the body it is advisable to take stable iodine preparations once a day for the entire period when there is a risk of exposure to radioactive element. Such decisions are to be made exclusively by radiologists on an individual basis for each population group. However, repeated iodine prophylaxis is generally contraindicated in lactating women [3], as well as in pregnant women [57].

It should be taken into account that radioactive iodine (regardless of isotopic composition) is characterized by a short half-life, therefore it cannot be present in the products of the spraying of radioactive substances by terrorists by, for example, detonating with conventional explosives a tank containing them («dirty bomb»). Therefore, when this kind of source of radiation danger is established no iodine prophylaxis is rational.

#### **Safety aspects**

In general, the protective effect of emergency iodine prophylaxis far outweighs the health risks in all age groups [58]. Minor allergic reactions – such as skin rashes and abdominal discomfort may be the undesirable effects of taking KI as indicated in the technical document of the World Health Organization. Indeed, the short-term side effects associated with the use of KI medications in Poland in April 1986 were, in the vast majority of cases, minor in severity and consisted of gastrointestinal irritation or skin rash in both children and adults [70, 71]. The exact data were as follows: 2.4% of children and 0.85% of adults suffered from vomiting, skin manifestations were noted, respectively, in 1.1 and 1.2% of people, and abdominal discomfort – in 0.36 and 0.63% of persons who had received iodine prophylaxis [59].

Persons over 40 years of age feature a significantly lower risk of developing thyroid cancer after expo-

радіоактивного йоду і більшою ймовірністю прояву побічних ефектів аварійної йодної профілактики [68]. А тому така профілактика рекомендована їм, як було вказано вище, при прогнозованій дозі опромінення ЩЗ 500 сГр і більше [56].

Відомі дані про те, що застосування препаратів йодиду калію у немовлят супроводжувалося транзиторним зниженням вмісту в крові тироксину поряд зі збільшенням концентрації тиреотропного гормону гіпофіза. У зв'язку з цим, рекомендується в таких випадках досліджувати названі показники тиреоїдної функції дітей через 2–4 тижні після одноразового застосування КІ. У випадку застосування понад 1 дози КІ (що загалом не рекомендується) потрібно більш тривале спостереження з періодичним проведенням гормональних досліджень. Більш того, на думку P. Verger і співавт. [72], ризик йод-індукованого гіпотиреозу притаманний немовлятам при надходженні в їхній організм йоду у кількості, що в 2–6 раз перевищує фізіологічну добову потребу. Несприятлива дія надлишку йоду («йодного навантаження») у немовлят зумовлена малою величиною пулу («депо») мікроелемента у ЩЗ, адже ефект Вольфа-Чайкова [73] настає при критичному співвідношенні кількості інтратиреоїдного та позатиреоїдного йоду [72, 74, 75] (рис. 5).

Повторний прийом препаратів КІ вагітними жінками супроводжується в подальшому ризиком розвитку гіпотиреозу в немовляти. Реальне співвідношення ризиків і потенційних захисних ефектів у ході кількаразової йодної профілактики у вагітних багато в чому визначається прогнозованою тривалістю контакту з радіоактивним йодом. Оскільки інкорпорований організмом матері радіоактивний йод активно виділяється з грудним молоком при лактації, чітко рекомендується, нехай тимчасове, припинення грудного вигодовування при контакті з радіонуклідами йоду в разі радіаційних інцидентів [56]. Слід зазначити, що це суперечить думці експертів FDA про можливість продовження грудного вигодовування за умови прийому матерями препаратів стабільного йоду [57, 64, 65]. Загалом же, кількаразового застосування препаратів стабільного йоду у вагітних жінок і немовлят слід уникати за винятком випадків, коли всі інші захисні заходи (евакуація, герметизація жител, радіологічний контроль харчових продуктів тощо) нереальні [64, 65].

Проблема тривалої аварійної йодної профілактики у немовлят не вивчена зовсім [76].

Особам, у яких видалено ЩЗ, а бо ж які страждають на гіпотиреоз іншого генезу і приймають препа-

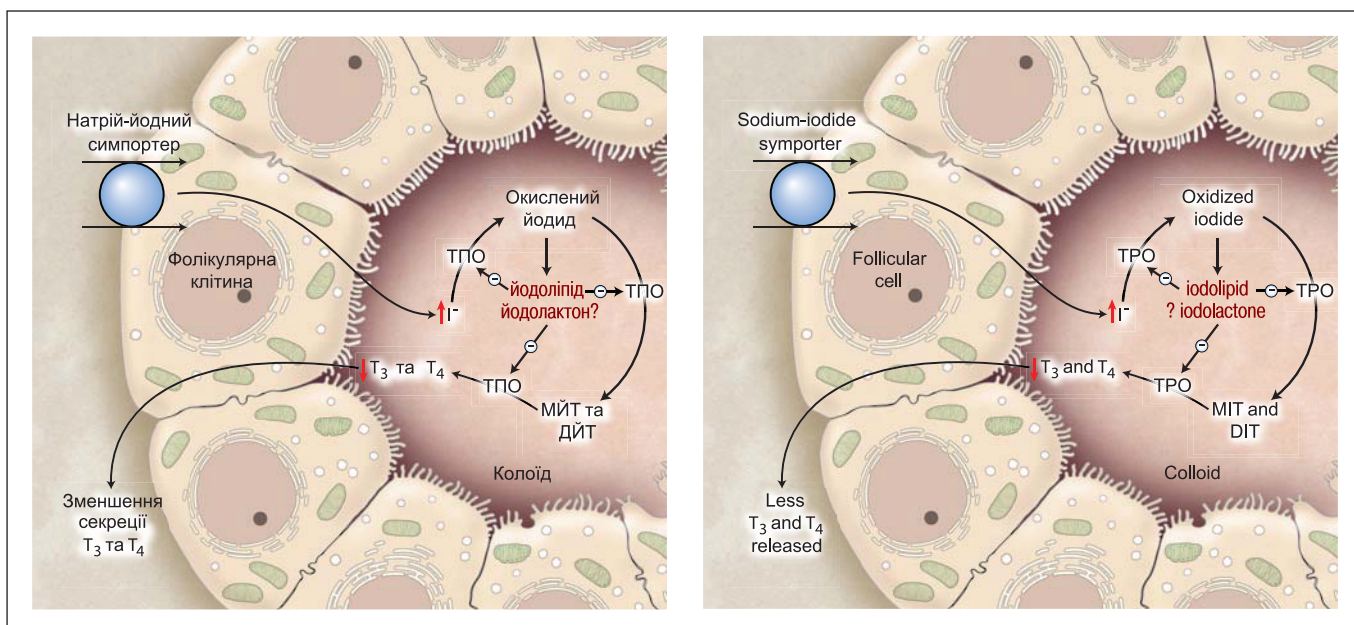
sure to radioactive iodine and a higher probability of side effects of emergency iodine prophylaxis [68]. And that is why such prevention is recommended for them, as it was indicated above, with a predicted thyroid radiation dose of 500 cGy or more [56].

There are known data that the use of potassium iodide preparations in infants was accompanied by a transient decrease in the serum content of thyroxine along with an increase in the concentration of pituitary thyroid-stimulating hormone. In this regard, it is recommended in such cases to examine the named parameters of thyroid function in children 2–4 weeks after a single use of KI. In the case of using more than 1 dose of KI (which is generally not recommended), a longer observation with periodic hormonal assay is required. Moreover, according to P. Verger et al. [72], the risk of iodine-induced hypothyroidism is inherent in infants when the amount of iodine in their body exceeds the physiological daily requirement by 2–6 times. The adverse effect of iodine excess («iodine load») in infants is due to the small pool (i.e. «depot») of the trace element in thyroid, because the Wolff-Chaikov effect [73] occurs at a critical ratio of the intrathyroidal and extrathyroidal iodine amount [72, 74, 75] (Fig. 5).

Repeated use of KI drugs by pregnant women is accompanied by the subsequent risk of developing hypothyroidism in the baby. The real ratio of risks and potential protective effects during repeated iodine prophylaxis in pregnant women is largely determined by the predicted duration of contact with radioactive iodine. Since radioactive iodine incorporated by the mother's body is actively excreted with breast milk during lactation, it is strongly recommended to stop breast-feeding in case of exposure to iodine radionuclides, albeit temporarily [56]. It should be noted that this contradicts the opinion of FDA experts about the possibility of continuing breastfeeding provided that mothers take stable iodine preparations [57, 64, 65]. In general, multiple use of stable iodine preparations in pregnant women and infants should be avoided, except in cases when all other protective measures (evacuation, sealing of buildings, radiological control of food products, etc.) are unrealistic [64, 65].

The problem of long-term emergency iodine prophylaxis in infants has not been studied at all [76].

Thyroidectomized patients, or persons having hypothyroidism of other genesis and taking thyroid



**Рисунок 5. Ефект Вольфа-Чайкова – гальмуючий вплив периферичного (циркулюючого) неорганічного йоду (ПНІ) при концентрації рівній або більшій, ніж 0,2 мг/л, на органіфікацію йодиду в ЩЗ**

**Figure 5. The Wolff-Chaikov effect – the inhibitory effect of peripheral (circulating) inorganic iodine (PII) at a concentration equal to or greater than 0.2 mg/l on the organification of iodide in the thyroid**

При введенні йодидів у значних дозах продукція тиреоїдних гормонів наростає, однак при досягненні певної критичної величини кількості йодиду рівень загального органічного йоду всередині залози починає знижуватися, а з подальшим збільшенням дози йодидів падає нижче нормальної величини. У цей же час спостерігається порушення розподілу органічного йоду: підвищення співвідношення моноіодотирозин/дйодотирозин і зниження утворення тироксину та трийодтироніну. Натрій-йодний симпортер переносить надлишок йоду до ЩЗ, що призводить до пригнічення активності тиреоїдної пероксидази (ТПО) з результатом обмеження йодинації тирозинів (моно- та дйодотирозин – МІТ та ДІТ) і зменшення синтезу тироксину і трийодтироніну (Т<sub>4</sub> і Т<sub>3</sub>).

With the administration of iodides in significant doses the production of thyroid hormones increases, but when a certain critical value of the amount of iodide is reached the level of total organic iodine inside the gland begins to decrease, and with a further increase in the dose of iodides it falls below the normal value. At the same time, the abnormal distribution of organic iodine occurs, namely increased monoiodotyrosine/diiodotyrosine ratio and a decreased formation of thyroxine and triiodothyronine. The sodium-iodine symporter transfers excess iodine to the thyroid, which leads to inhibition of thyroid peroxidase (TPO) activity with the resulting limitation of tyrosyl iodination (mono- and diiodotyrosine – MIT and DIT) and a decrease in the synthesis of thyroxine and triiodothyronine (T<sub>4</sub> and T<sub>3</sub>).

рати тиреоїдних гормонів, аварійну йодну профілактику не проводять, оскільки у них орган не здатний накопичити скільки-небудь значні кількості радіоактивного йоду. Винятком є некомпенсований гіпотиреоз на фоні ендемічного зобу у місцевостях з дефіцитом мікроелементу у питній воді та продуктах харчування – у таких випадках аварійна йодна профілактика абсолютно необхідна.

Обережності при застосуванні препаратів йоду варто дотримуватися у хворих із захворюваннями ЩЗ (багатовузловий зоб, тиреотоксикоз, аутоімунний тиреоїдит) особливо, якщо прийом відповідних агентів передбачається протягом декількох діб. У будь-якому випадку, при цьому необхідне ретельне дослідження тиреоїдної функції надалі [3]. Так, у хворих на тиреоїдит Хашимото, які не приймають препарати тиреоїдних гормонів, може виникнути транзиторне (зазвичай безсимптомне) підвищення

hormone medications, should not undergo emergency iodine prophylaxis, as their body is not capable to accumulate any significant amounts of radioactive iodine. An exception should be in cases of uncompensated hypothyroidism against the background of endemic goiter in areas with iodine deficiency in drinking water and food products, so in such cases the emergency iodine prophylaxis is absolutely necessary.

Caution should be exercised when using iodine preparations in persons with thyroid disease (multinodular goiter, thyrotoxicosis, autoimmune thyroiditis), especially if the corresponding agents are to be taken for several days. In any case, a careful assay of thyroid function is necessary in the future [3]. Specifically, patients with Hashimoto's thyroiditis, who do not take thyroid hormone drugs, may experience a transient (usually asymptomatic) increase in the serum content of thyroid-

**Таблиця 7**  
**Групи ризику йод-індукованих порушень функції ЩЗ**

<b>Ризик гіпотиреозу</b>		
<b>за відсутності тиреоїдного захворювання</b>	<b>при наявному тиреоїдному захворюванні</b>	<b>за інших обставин</b>
<p><b>Плід та новонароджені, здебільшого недоношені:</b> після трансплацентарного надходження йоду або ж локального нанесення чи парентерального введення багатих на йод речовин</p> <p><b>Немовля:</b> наявні епізодичні повідомлення про немовлят, яким дають пити багату на йод воду (наприклад, у деяких провінціях Китаю)</p> <p><b>Дорослі:</b> у мешканців Японії с високим рівнем аліментарного споживання йоду, в яких виключена наявність тиреоїдиту Хашимото</p> <p><b>Літні люди:</b> існують повідомлення про літніх осіб з або без можливих дефектів організації йоду та аутоімунного тиреоїдиту</p> <p><b>Особи з хронічними нетиреоїдними захворюваннями:</b> муковісцидозом, хронічними хворобами легенів, хворобами нирок у стадії необхідності гемодіалізу, еритробластичною анемією, нервовою анорексією</p>	<p><b>Усі вікові групи:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; тиреоїдит Хашимото</li> <li>&gt; пацієнти в еутиреоїдному стані, які раніше лікувалися з приводу тиреотоксикозу радіоактивним йодом або антитиреоїдними засобами, чи перенесли тиреоїдектомію</li> <li>&gt; субклінічний гіпотиреоз</li> <li>&gt; після транзиторного післяпологового тиреоїдиту</li> <li>&gt; після підгострого болючого тиреоїдиту</li> <li>&gt; після гемітиреоїдектомії з приводу доброякісних вузлів ЩЗ</li> </ul> <p><b>Літні люди:</b> субклінічний гіпотиреоз</p>	<p><b>Усі вікові групи:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; еутиреоїдні хворі з епізодом амідарон-індукованого деструктивного тиреотоксикозу в минулому</li> <li>&gt; еутиреоїдні пацієнти з епізодом індукованого інтерфероном-альфа тиреоїдного захворювання</li> <li>&gt; хворі, які отримують терапію препаратами літію</li> </ul>
<b>Ризик гіпертиреозу (усі вікові періоди)</b>		
<b>при наявному тиреоїдному захворюванні</b>	<b>за відсутності тиреоїдного захворювання</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Збагачення сполуками йоду раціону харчування у населення для профілактики ендемічного зобу внаслідок йодного дефіциту</li> <li>&gt; Призначення препаратів йоду хворим на тиреотоксикоз у стадії еутиреозу (тобто – компенсації у тих, в кого досягнута ремісія в результаті застосування антитиреоїдних препаратів)</li> <li>&gt; Нетоксичний вузловий зоб</li> <li>&gt; Автономні вузли ЩЗ</li> <li>&gt; Нетоксичний дифузний зоб</li> </ul>	<p>Призначення препаратів йоду пацієнтам без діагностованого фонового захворювання щитоподібної залози, особливо – у населення місцевостей з помірним до середньої виразності дефіцитом йоду</p>	

вмісту тиреотропного гормону в крові після аварійно-профілактичного прийому препаратів йоду, а у пацієнтів з вузловим зобом або ж субклінічним тиреотоксикозом може проявитися транзиторний гіпертиреоз з клінічними симптомами [76, 77] (табл. 7).

Препарати стабільного йоду протипоказані особам з гіперчутливістю до йоду, а також хворим на герпетиформний дерматит (dermatitis herpetiformis), гіпокомплементаційний васкуліт (hypocomplementemic vasculitis) або ж уроджену міотонію (myotonia congenital) – зазначені досить рідкісні захворювання супроводжуються високим ризиком гіперчутливості до йоду [58].

### Критичні зауваження

Особливого розгляду, на думку авторів, заслуговують різного роду довільні домисли і безвідповідальні «рекомендації» щодо використання для профілактики променевого впливу радіоактивного йоду різноманітних харчових добавок на основі морепродуктів, препаратів йоду для профілактичного прийому в

stimulating hormone after emergency prophylactic administration of iodine drugs, and patients with nodular goiter or subclinical thyrotoxicosis may develop transient hyperthyroidism with clinical symptoms [76, 77] (Table 7).

Stable iodine preparations are contraindicated for people with hypersensitivity to iodine, as well as for patients with dermatitis herpetiformis, hypocomplementemic vasculitis, or myotonia congenital – these rather rare diseases are accompanied by a high risk of hypersensitivity to iodine [58].

### Critical remarks

In the opinion of the authors, various arbitrary conjectures and irresponsible «recommendations» regarding the use of various food additives based on seafood, iodine preparations for prophylactic administration in locations of goiter endemicity (intended for the population of territories with

**Table 7**  
**Risk groups of iodine-induced thyroid dysfunction**

Risk for hypothyroidism		
no underlying thyroid disease	underlying thyroid disease	other
<p><b>Fetus and neonate, mostly preterm::</b> Secondary to transplacental passage of iodine or exposure of neonate to topical or parenteral iodine-rich substances</p> <p><b>Infant:</b> occasionally reported in infants drinking iodine-rich water (China)</p> <p><b>Adult:</b> in Japanese subjects with high iodine intake where Hashimoto's thyroiditis has been excluded</p> <p><b>Elderly:</b> reported in elderly subjects with and without possible defective organification and autoimmune thyroiditis</p> <p><b>Chronic nonthyroidal illness:</b> cystic fibrosis, chronic lung disease, chronic dialysis treatment, thalassemia major, anorexia nervosa</p>	<p><b>All ages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Hashimoto's thyroiditis</li> <li>&gt; euthyroid patients previously treated for Graves disease with 131I or antithyroid drugs, or thyroidectomized patients</li> <li>&gt; subclinical hypothyroidism</li> <li>&gt; after transient postpartum thyroiditis</li> <li>&gt; after subacute painful thyroiditis</li> <li>&gt; after hemithyroidectomy for benign nodules</li> </ul> <p><b>Elderly:</b> subclinical hypothyroidism</p>	<p><b>All ages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; euthyroid patients with a previous episode of amiodarone-induced destructive thyrotoxicosis</li> <li>&gt; euthyroid patients with a previous episode of interferon-alpha-induced thyroid disorders</li> <li>&gt; patients receiving lithium therapy</li> </ul>
Risk for hyperthyroidism (all ages)		
underlying thyroid disease	no underlying thyroid disease	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Iodine supplementation for endemic iodine-deficiency goiter</li> <li>&gt; Iodine administration to patients with euthyroid Graves disease, especially those in remission after antithyroid drug therapy</li> <li>&gt; Nontoxic nodular goiter</li> <li>&gt; Autonomous nodules</li> <li>&gt; Автономні вузли ЩЗ</li> <li>&gt; Nontoxic diffuse goiter</li> </ul>	<p>Iodine administration to patients with no recognized underlying thyroid disease, especially in areas of mild to moderate iodine deficiency</p>	

умовах зобної ендемії (призначених для населення територій з дефіцитом йоду в питній воді і продуктах харчування), і вкрай неприпустимо – аптечного спиртового розчину йоду для зовнішнього застосування або ж розчину Люголя.

Тут принципово одне: насичує/блокує ЩЗ і не допускає надходження до неї радіоактивного йоду одноразовий прийом дорослою людиною 100 мг (0,1 г) йоду стабільного за умов швидкого надходження такого йоду у кровообіг – тобто адекватним є, окрім, теоретично, парентерального, лише пероральний прийом.

В усіх харчових добавках і препаратах йоду для застосування у населення територій з дефіцитом йоду міститься доза стабільного йоду, близька або рівна добовій потребі, а саме: найчастіше 100–200 мкг (0,0001–0,0002 г). Винятком є препарат Антиструмін, що містить 1 мг (0,001 г) калію йодиду.

Іншими словами, доза КІ для профілактики радіаційного ураження і дози КІ для профілактичного застосування при екологічній недостатності мікроелемента відрізняються у 500–1000 разів (для Антиструміну – у 130 разів, тому що в 1 мг КІ міститься 0,77 мг йоду). Отже, для блокування ЩЗ

iodine deficiency in drinking water and food products), and it is extremely unacceptable – pharmacy alcohol solution of iodine for external use or Lugol's solution.

There is one thing in principle here: a single intake by an adult of 100 mg (0.1 g) of stable iodine under condition of rapid entry of such iodine into the bloodstream – that is, only oral administration (except, theoretically, parenteral) is adequate, as saturates/blocks the thyroid and prevents radioactive iodine from entering it.

All dietary supplements and iodine preparations for use by the population in areas with iodine deficiency contain a dose of stable iodine close to or equal to the daily requirement, namely: most often 100–200 µg (0.0001–0.0002 g). An exception is the drug Antistrumin, which contains 1 mg (0.001 g) of KI.

In other words, the dose of KI for the prevention of radiation damage and the dose of KI for preventive use in case of environmental deficiency of the trace element differ by 500–1000 times (for Antistrumin – by 130 times, because 1 mg of KI contains 0.77 mg of iodine). Therefore, in order to

при радіаційному інциденті дорослій людині необхідно було б прийняти від 500 до 1000 таблеток препарату (або харчової добавки) для профілактики дефіциту йоду (або 130 таблеток Антиструміну). Неможливість цього очевидна.

Що стосується розчину йоду для зовнішнього застосування, то ця фармацевтична форма (відповідно до відомостей з фармацевтичних довідників) містить у своєму складі йоду 5 г, калію йодиду 2 г, води і спирту 95 % нарівно до 100 мл. Так що в 1 мл розчину міститься 0,05 г (50 мг) йоду і 0,02 г (20 мг) КІ. Молекулярний йод не всмоктується у кишечнику (див. вище). Всмоктовуються лише йодиди. Отже, необхідна доза 130 мг (0,13 г) йодиду калію міститься у 6,5 мл розчину йоду спиртового. Прийом всередину такої кількості розчину йоду для зовнішнього застосування в недостатньо розведеному вигляді спричиняє хімічний опік слизової оболонки порожнини рота і стравоходу аж до некрозу. При глибокому розведенні розчину йоду спиртового, наприклад, у молоці, що забезпечить безпечну концентрацію, результуючий об'єм складе не менше літра чи навіть більше. Спроба прийняти всередину у зазначеній кількості такий саморобний «засіб/продукт» із гідким смаком неминуче викличе напад блювання. Аналогічними є розрахунки щодо розчину Люголя. В 100 г цього препарату міститься йоду 1 г, калію йодиду 2 г [78] (так само, як і в розчині йоду для зовнішнього застосування), а отже, дозі 130 мг КІ відповідає кількість розчину Люголя<sup>1</sup> 6,5 мл. Неприйнятність внутрішнього вживання такої кількості цього препарату також безсумнівна.

У свою чергу, рекомендації нанесення розчину йоду на шкіру тіла також не витримують критики. Така маніпуляція супроводжується всмоктуванням лише кількох відсотків мікроелементу і протягом тривалого періоду, а не швидко, тоді як деяка частина реагує з клітинами епідермісу і залишається зв'язаною в ньому, а більша частка зазнає сублімації (возгонки – переходу з твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий). Ці дані відомі вже 90 років з часу наукової публікації W. Nyiri та M. Jannitti [79]. А саме: після нанесення на неушкоджену шкіру спиртового або колоїдного розчину йоду ~88 % мікроелементу сублімується з її поверхні протягом трьох днів. Швидкість возгонки найвища протягом перших кількох хвилин після нанесення. Надалі, протягом перших двох годин, ~50 % йоду переходить у повітря, через 24 години видалення сягає загалом ~75–80 %, а впродовж другої і третьої доби речовина сублімується невеликою мірою – загалом протягом 3 діб – близько 88 %

block the thyroid gland during a radiation incident, an adult would need to take from 500 to 1000 tablets of the medication (or food supplement) for the prevention of iodine deficiency (or 130 tablets of Antistrumin). The impossibility of this is obvious.

As for iodine solution for external use, this pharmaceutical form (according to the drug formularies) contains iodine 5 g, KI 2 g, water and alcohol 95% in equal ratio up to 100 ml. So, 1 ml of solution contains 0.05 g (50 mg) of iodine and 0.02 g (20 mg) of KI. Molecular iodine is not absorbed in the intestine (see above). Only iodides are absorbed. Therefore, the necessary dose of 130 mg (0.13 g) of potassium iodide is contained in 6.5 ml of alcohol iodine solution. Ingestion of such an amount of iodine solution for external use in an insufficiently diluted form will cause a chemical burn of the mucous membrane of the oral cavity and esophagus up to necrosis. When the alcohol iodine solution is deeply diluted, for example, in milk, which will ensure a safe concentration, the resulting volume will be at least one liter or even more. An attempt to ingest such a homemade «tool/product» with a disgusting taste in the specified amount will inevitably cause an attack of vomiting. The calculations for Lugol's solution are similar. 100 g of this drug contains 1 g of iodine, 2 g of potassium iodide [78] (the same as in iodine solution for external use), and therefore, a dose of 130 mg of KI corresponds to 6.5 ml of Lugol's solution. The inadmissibility of internal use of such a quantity of this drug is also unquestionable.

In turn, recommendations for applying iodine solution to the skin of the body also do not stand up to criticism. Such manipulation is accompanied by the absorption of only a few percent of the trace element and for a long period, but not quickly, while some part reacts with epidermal cells and remains bound in it, and a larger part undergoes sublimation (transition from a solid state to a gaseous state, bypassing the liquid one). These data have been known for 90 years since the scientific publication of W. Nyiri and M. Jannitti [79]. Namely: after applying an alcohol or colloidal solution of iodine to intact skin, ~88 % of the trace element sublimates from its surface within three days. The rate of sublimation is highest during the first few minutes after application. Later, during the first two hours, ~50 % of the iodine passes into the air, after 24 hours, the removal reaches a total of ~75–80%, and during the second and third days

<sup>1</sup>Реєстраційне посвідчення: UA/8047/01/01. АТХ-код: R02AA20. Прим. авт.  
Marketing authorization: UA/8047/01/01. ATX-code: R02AA20. Author's note.



нанесеної кількості. Решта ~12 % залишається на шкірі і проходить крізь неї. Проте цей процес є вельми поступовим: лише ~1–4 % поглинаються протягом перших кількох годин, решта ж утворює депо в шкірі, з якого ~5–6 % надходять у циркуляцію впродовж 3 діб і ще 3–5 % – в подальшому. Отже, для надходження до внутрішнього середовища все тих же 100 мг йоду необхідно було б нанести на шкіру близько 1000 мг (1 г) йоду в розрахунку на чисту речовину, а така кількість міститься в 50 мл 5 % розчину. Для запобігання опікам шкіри, таку кількість розчину потрібно було б наносити рівномірно по поверхні тіла. І все одно, це не може бути ефективним щодо запобігання опроміненню ЩЗ, оскільки поглинання йоду буде поступовим, протягом діб, замість одноразового швидкого всмоктування. А тому – блокування ЩЗ не відбудеться. Виходячи з цього, неприйнятні як аргументи для практичних рекомендацій, зокрема, дані таких публікацій, як наприклад К.Л. Міллер і співавт. [80], де розчин йоду наносили на шкіру за декілька годин до введення  $^{131}\text{I}$  в експерименті, і при цьому повне блокування ЩЗ не відбувалося (хоча й зменшувалося накопичення ізотопу в органі).

### Дискусійні питання

Поряд з чіткими рекомендаціями, перш за все – FDA, щодо ефективної аварійної профілактики шляхом прийому 130 мг KI, існують думки про надмірність такої дози і, більш того, що менші дози препаратів калію можуть бути ефективними та адекватними [81]. Крім того, Е. Стернталь і співавт. [82] показали, що 30 мг йодиду калію (точніше – у дозовому розрахунку 2 мг/5 кг маси тіла), прийняті в момент радіаційного впливу і по 15 мг (1 мг/5 кг) в подальшому протягом тижня на 98–99 % ефективні у запобіганні формуванню дози опромінення ЩЗ у дорослих осіб (маса тіла 70 кг) з нормальною функцією органа. Подібним чином інші автори [72] вважають, що ефект блокування ЩЗ на період більш ніж 24 години за допомогою KI у дозі 130 мг теж може бути досягнутий шляхом неодноразового прийому KI у менших дозах. Проте, на нашу думку, в перші доби після радіаційного інциденту (в умовах, скажімо, неможливості масової евакуації і тривалої експозиції радіоактивного йоду) абсолютно неможливо організувати та виконувати щоденні відвідування всього населення медичними працівниками для контролю прийому дорослими та дітьми

the substance sublimates to a small extent – in total within 3 days about 88 % of the applied amount. The rest ~12 % remains on the skin and passes through it. However, this process is very gradual: only ~1–4 % is absorbed during the first few hours, the rest forms a depot in the skin, from which ~5–6 % enter the circulation within 3 days and another 3–5 % later. So, for the same 100 mg of iodine to enter the internal body environment it would be necessary to apply about 1000 mg (1 g) of iodine to the skin, calculated on the pure substance, and this amount is contained in 50 ml of a 5 % solution. To prevent skin burns, this amount of solution should be applied evenly over the body surface. However, it may not be effective in preventing thyroid exposure, as the absorption of iodine will be gradual, over days, instead of a single, rapid absorption. And therefore the thyroid blocking will not occur. Based on this, the data of such publications as, for example, K.L. Miller et al. [80] are unacceptable as arguments for practical recommendations, where an iodine solution was applied to the skin a few hours before the exposure to  $^{131}\text{I}$  in the experiment, and complete blocking of the thyroid did not occur (although the accumulation of the isotope in the had been organ decreased).

### Debatable issues

Along with clear recommendations, primarily by the FDA, for effective emergency prophylaxis by taking 130 mg of KI, there are opinions that such a dose is excessive and, moreover, that lower doses of potassium preparations may be effective and adequate [81]. In addition, E. Sternthal et al. [82] showed that 30 mg of potassium iodide (more precisely, in the dosage calculation of 2 mg / 5 kg of body weight) taken at the time of radiation exposure and 15 mg (1 mg/5 kg) later during the week were by 98–99% effective in preventing thyroid radiation dose formation in adults (body weight 70 kg) with normal thyroid function. Similarly, other authors [72] believe that the thyroid blocking effect for a period of more than 24 hours with KI at a dose of 130 mg can also be achieved by repeated administration of KI at lower doses. However, in our opinion, in the first days after a radiation incident (in the conditions, say, of long-term exposure to radioactive iodine under impossible mass evacuation) it is absolutely unreal to organize and carry out daily visits of the entire population by medical workers to control the intake of stable iodine preparations by adults and children. And independent calculation of doses for children by parents or elderly people can often be accompanied by gross errors. In

препаратів стабільного йоду. А самостійний розрахунок батьками або ж літніми людьми доз для дітей може часто-густо супроводжуватися грубими помилками. Окрім того, аргументація рекомендацій аварійної йодної профілактики препаратами у менших дозах ґрунтується на вкрай обмеженій кількості спостережень, а досвід популяційного застосування такого підходу відсутній. Отже, за умов тривалого ризику дії радіоактивного йоду (зокрема – при неможливості швидкої евакуації) після радіаційного інциденту доза профілактики опромінення ЩЗ KI 130 мг є виправданою. Крім того, у осіб з відносно невеликими розмірами (об'ємом) ЩЗ і, відповідно, індивідуально більшою питомою активністю органу має місце підвищений тиреоїдний кліренс, а тому такі люди більш вразливі до дії радіоактивного йоду [72] і в них, всупереч деяким міркуванням, необхідне проведення аварійної йодної профілактики препаратами йоду у незниженій стандартній дозі (130 мг). У свою чергу, дози KI понад 130 мг не є більш ефективними щодо запобігання формуванню дози опромінення ЩЗ [72].

Зустрічаються рекомендації не проводити аварійну профілактику препаратами стабільного йоду особам старше 40 років [83], що не вважаємо за прийнятне: замість цього для такої вікової групи встановлено більш високу потенційну дозу опромінення, за умов якої необхідне втручання (5 Гр) (табл. 4).

Що стосується суто лікарських форм препаратів для аварійної йодної профілактики, то існує пропозиція створювати територіально-адміністративні та відомчі запаси препаратів йоду не в таблетках, а у гранулах, оскільки їхній термін зберігання без істотної втрати активності сягає 20 років на відміну від 5–7 років у таблеток. Проте, висловлюється «зустрічна» думка про те, що термін придатності препаратів йоду в таблетках може бути значно більшим при дотриманні вимог до умов зберігання [76, 84, 85].

### **Психологічні аспекти йодної профілактики в умовах повномасштабної війни в Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації**

У зв'язку з військовою агресією Російської Федерації (РФ) проти України з 24 лютого 2022 р. у державі був введений воєнний стан (ВС) [86], що триває.

За даними ВООЗ, повномасштабна війна у будь-якій країні є найбільш тяжкою надзвичайною ситуацією (НС), яка призводить до порушення нормальних умов життя і діяльності людей на всіх залу-

addition, the reasoning behind the recommendations of emergency iodine prophylaxis with KI medications in smaller doses is based on an extremely limited number of observations, and there is no experience of such an approach in population. Therefore, under the conditions of long-term risk of exposure to radioactive iodine after a radiation incident (in particular, in the case of impossible rapid evacuation), a dose of 130 mg KI for the prevention of radiation exposure to the thyroid is justified. In addition, individuals with a relatively small size (volume) of the thyroid and, accordingly, an its individually higher specific activity have an increased thyroid clearance, and therefore such people are more vulnerable to the impact of radioactive iodine [72] and in them it is necessary to carry out the emergency iodine prophylaxis with iodine preparations in a non-understated standard dose (130 mg) contrary to some considerations. In turn, doses of KI over 130 mg are not more effective in preventing the thyroid radiation dose formation [72].

There are recommendations not to carry out the emergency prophylaxis with stable iodine preparations for persons over 40 years of age [83], which we do not consider acceptable. Instead, a higher potential radiation dose has been established for this age group (5 Gy), whereby the intervention is necessary (Tab. 4).

As for purely medicinal forms of preparations for emergency iodine prophylaxis, there is a proposal to create the territorial-administrative and departmental stocks of iodine preparations not in tablets, but in granules, since their shelf life without significant loss of activity reaches 20 years, in contrast to 5–7 years in tablets. However, a «contrary» opinion is expressed that the shelf life of iodine preparations in tablets can be significantly longer if the requirements for storage conditions are met [76, 84, 85].

### **Psychological aspects of iodine prophylaxis in the conditions of a full-scale war in Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation**

In connection with the military aggression of the Russian Federation against Ukraine, from February 24, 2022, martial law was introduced in the country [86], being now ongoing.

According to the WHO, a full-scale war in any country is the most severe emergency situation that leads to disruption of normal living conditions and activities of people in all involved territories, result-

чених територіях, що призводять або можуть призвести до великих людських і матеріальних втрат у довгостроковій перспективі. Надзвичайні ситуації (збройні конфлікти, стихійні лиха та інші гуманітарні кризи), значно посилюють ризик розладів психічного здоров'я.

Внаслідок неконвенційних дій з боку країни-агресора, різко зросла загроза використання зброї масового знищення, зокрема – ядерної, існують потенційні загрози навмисного та ненавмисного пошкодження та руйнування працюючих об'єктів ядерного паливно-енергетичного комплексу, у тому числі і з викидом радіоактивного йоду. Крім ризиків виникнення прямої радіаційної загрози внаслідок застосування ядерної зброї локального або масованого застосування, терористичних актів або техногенної аварії на наукових об'єктах або об'єктах атомної промисловості, усвідомлення цієї багатокомпонентної загрози створює додатковий емоційний стрес як для населення України, так і для персоналу об'єктів.

ВООЗ була розроблена система надання допомоги у сфері психічного здоров'я та психосоціальної підтримки (ПЗПСП) в ядерних або радіологічних надзвичайних ситуаціях [13], де наголошується, що оскільки йодна профілактика повинна застосовуватися доволі швидко у разі необхідності (у випадку підтвердженого викиду радіоактивного йоду), то проведення цього заходу має бути ґрунтовно підготовленим і супроводжуватися інформаційною кампанією, під час якої у простій формі пояснюються причини та умови ефективного застосування йодної профілактики. На етапі планування слід заздалегідь оприлюднювати і поширювати інформаційні матеріали про йодну профілактику, щоб зменшити відчуття невизначеності алгоритму дій, загальне емоційне напруження і занепокоєння з приводу побічних ефектів йодиду калію та забезпечити обізнаність населення стосовно логістичних та інших практичних аспектів, зокрема недоцільності використання біодобавок, спиртового розчину йоду тощо, а також «профілактичного» прийому йодиду калію без відповідного розпорядження уповноважених фахівців.

## ВИСНОВКИ

1. При аваріях на підприємствах ядерної енергетики та промисловості, так само як і при будь-яких радіаційних інцидентах, можливе надходження до навколишнього середовища радіоактивного йоду з результируючим опроміненням як фахівців, так і населення взагалі внаслідок його інкорпорації.

ing in or capable of the large human and material losses in the long term. Emergency situations (armed conflicts, natural disasters and other humanitarian crises) significantly increase the risk of mental health disorders.

As a result of unconventional actions on the part of the aggressor country, the threat of using weapons of mass destruction, in particular nuclear weapons, has increased dramatically. There are potential threats of intentional and unintentional damage and destruction of working facilities of the nuclear fuel and energy complex, including those with the release of radioactive iodine. In addition to the risks of a direct radiation threat as a result of the use of nuclear weapons of local or mass use, terrorist acts or man-made accidents at scientific facilities or facilities of the nuclear industry, the awareness of this multi-component threat creates additional emotional stress both for the population of Ukraine and for the personnel of energy or industrial plants and facilities.

WHO has developed a system for providing assistance in the field of mental health and psychosocial support (PSPSP) in nuclear or radiological emergencies [13], which emphasizes that since iodine prophylaxis should be applied rather quickly if necessary (in the case of a confirmed release of radioactive iodine), the implementation of this event should be thoroughly prepared and accompanied by an information campaign, during which the reasons and conditions for effective use of iodine prophylaxis are explained in a simple form. At the planning stage, informational materials about iodine prophylaxis should be publicized and distributed in advance to reduce the feeling of uncertainty about the algorithm of actions, general emotional tension and anxiety about the side effects of potassium iodide, and to ensure public awareness of logistical and other practical aspects, in particular, the impracticality of using bio-additives, alcohol solution iodine, etc., as well as «prophylactic» intake of potassium iodide without the appropriate order of authorized specialists.

## CONCLUSIONS

1. In the event of accidents at nuclear power plants and industry enterprises as well as in any radiation incidents the radioactive iodine may enter the environment with the resulting exposure of both specialists and the general population due to its incorporation.

2. Єдиним ефективним засобом профілактики променевого ураження радіоактивним йодом при ймовірності його інкорпорації або невдовзі після її початку є прийом препаратів стабільного йоду (аварійна йодна профілактика).
  3. Аварійна йодна профілактика результативна лише шляхом застосування препаратів калію йодиду або калію йодату у чітко зазначених дозах спеціальних фармацевтичних форм для відповідних популяційних груп.
  4. Неприпустимо/безглуздо намагатися проводити аварійну йодну профілактику препаратами або харчовими добавками, призначеними для корекції нестачі йоду у населення районів зобної ендемії.
  5. Неприпустимо й небезпечно пробувати проводити аварійну йодну профілактику шляхом прийому спиртового розчину йоду для зовнішнього застосування.
  6. Неприпустимо і небезпечно пробувати проводити аварійну йодну профілактику шляхом прийому розчину Люголя.
  7. Неприпустимо/безглуздо пробувати проводити аварійну йодну профілактику шляхом нанесення на шкіру тіла розчину йоду для зовнішнього застосування.
  8. Проведення аварійної йодної профілактики супроводжується ризиком побічних ефектів, котрими, проте, слід неодмінно нехтувати з огляду на наслідки опромінення, які відвертаються завдяки цій йодній профілактиці.
  9. Проведення аварійної йодної профілактики протипоказане особам з гіперчутливістю до йоду, а також хворим на герпетиформний дерматит (dermatitis herpetiformis), гіпокомplementемічний васкуліт (hypocomplementemic vasculitis) або ж уроджену міотонію (myotonia congenita).
  10. Рішення про повторний прийом препаратів стабільного йоду як засобів аварійної профілактики приймається виключно фахівцями, виходячи з обставин радіаційної ситуації та умов перебування людей.
  11. Чіткі плани готовності щодо можливих радіаційних інцидентів та вдало проведені відповідні превентивні заходи, включаючи аварійну йодну профілактику, вирішально важливі для ефективного і успішного реагування при таких подіях.
  12. Підготовка та здійснення аварійної йодної профілактики має супроводжуватись узгодженою на державному рівні інформаційною кампанією задля мінімізації як суто радіаційних ризиків, так і для збереження психологічного здоров'я населення.
2. The only effective means of preventing the radiation damage with radioactive iodine in event of its incorporation or shortly after its onset is the administration of stable iodine preparations (emergency iodine prophylaxis).
  3. Emergency iodine prophylaxis is effective only through the use of potassium iodide or potassium iodate preparations in clearly indicated doses of special pharmaceutical forms for the relevant population groups.
  4. It is inadmissible/senseless to try to carry out the emergency iodine prophylaxis with drugs or food supplements intended for the correction of iodine deficiency in the population of goitre-endemic areas.
  5. It is unacceptable and dangerous to try to carry out the emergency iodine prophylaxis by taking an alcohol solution of iodine for external use.
  6. It is unacceptable and dangerous to try to carry out the emergency iodine prophylaxis by taking the Lugol's solution.
  7. It is unacceptable/pointless to try to carry out the emergency iodine prophylaxis by applying an iodine solution for external use to the skin of the body.
  8. The implementation of emergency iodine prophylaxis is accompanied by the risk of side effects, which, however, must be neglected in view of the consequences of exposure, which are averted thanks to this iodine prophylaxis.
  9. Emergency iodine prophylaxis is contraindicated for persons with hypersensitivity to iodine, as well as for patients with dermatitis herpetiformis, hypocomplementemic vasculitis, or myotonia congenita.
  10. The decision on repeated administration of stable iodine preparations as means of emergency prophylaxis should be made exclusively by the experts, based on the circumstances of radiation situation and conditions of people's stay.
  11. Clear preparedness plans for possible radiation incidents and successfully implemented appropriate preventive measures, including emergency iodine prophylaxis, are crucial for an effective and successful response to such events.
  12. The preparation and implementation of emergency iodine prophylaxis should be accompanied by an information campaign coordinated at the state level in order to minimize purely radiation risks and to preserve the psychological health of the population.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Medical response to radiation incidents and radionuclear threats / I. Turai, K. Veress, B. Gunalp, G. Souchkevitch. *BMJ*. 2004. Vol. 328. P. 568–572. doi: 10.1136/bmj.328.7439.568.
2. Nuclear Regulation Authority. Nuclear emergency response guidelines. 2020. 88 p. URL: <https://www.nsr.go.jp/data/000300735.pdf>. (In Japanese).
3. World Health Organization. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents (Update 1999). Geneva, 1999. 39 p.
4. Ohba T., Tanigawa K., Liutsko L. Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning. *Environ. International*. 2021. Vol. 148. 9 p. doi: 10.1016/j.envint.2021.106379.
5. IAEA. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 3. Emergency preparedness and response. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2015. 210 p. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV3-Web.pdf>.
6. Weapons of mass destruction events with contaminated casualties: effective planning for health care facilities / A. G. Macintyre, G. W. Christopher, E. Jr. Eitzen et al. *JAMA*. 2000. Vol. 283. P. 242–249. doi: 10.1001/jama.283.2.242.
7. Hospital preparedness for weapons of mass destruction incidents: an initial assessment / K. N. Treat, J. M. Williams, P. M. Furbee et al. *Ann. Emerg. Med*. 2001. Vol. 38. P. 562–565. doi: 10.1067/mem.2001.118009.
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). Medical management of radiation injuries. Safety reports. Series No. 101. May 2020. 112 p. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891_web.pdf).
9. A systems approach to the management of radiation accidents / L. L. Richter, H. W. Berk, C. D. Teates et al. *Ann. Emerg. Med*. 1980. Vol. 9, no. 6. P. 303–309.
10. Cabinet Office, Nuclear emergency preparedness of Japan. Protective measures in a nuclear accident – sheltering to facilities where radiation protection measures have been taken. 2020. 32 p. URL: [https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/pdf/02\\_okunai\\_zantei\\_r.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_okunai_zantei_r.pdf). (in Japanese).
11. National Council on Radiation Protection and Measurements. Management of terrorist events involving radioactive material. NCRP report no. 138. Bethesda, Md., 2001.
12. Mettler F. A., Voelz G. L. Major radiation exposure – what to expect and how to respond. *New Engl. J. Med*. 2002. Vol. 346. P. 1554–1561.
13. World Health Organization. A framework for mental health and psychosocial support in radiological and nuclear emergencies. World Health Organization. 2020; 54 p. (ix, 41 p.). License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336955>
14. American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Health. Risk of ionizing radiation exposure to children: a subject review. *Pediatrics*. 1998. Vol. 101. P. 717–719.

## REFERENCES

1. Turai I, Veress K, Gunalp B, Souchkevitch G. Medical response to radiation incidents and radionuclear threats. *BMJ*. 2004;328:568-572. doi: 10.1136/bmj.328.7439.568.
2. Nuclear Regulation Authority. Nuclear emergency response guidelines [Internet]. 2020. [88 p.]. Available from: <https://www.nsr.go.jp/data/000300735.pdf>. Japanese.
3. World Health Organization. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents. [Update 1999]. Geneva; 1999. 39 p.
4. Ohba T, Tanigawa K, Liutsko L. Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning. *Environment International*. 2021;148:9. doi: 10.1016/j.envint.2021.106379.
5. IAEA. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 3. Emergency preparedness and response [Internet]. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2015. [210 p.]. Available from: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV3-Web.pdf>.
6. Macintyre AG, Christopher GW, Eitzen EJr, Gum R, Weir S, DeAtley C, et al. Weapons of mass destruction events with contaminated casualties: effective planning for health care facilities. *JAMA*. 2000;283:242-249. doi: 10.1001/jama.283.2.242.
7. Treat KN, Williams JM, Furbee PM, Manley WG, Russell FK, Stamper CD Jr. Hospital preparedness for weapons of mass destruction incidents: an initial assessment. *Ann Emerg Med*. 2001;38:562-565. doi: 10.1067/mem.2001.118009.
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). Medical Management of Radiation Injuries. Safety Reports Series No. 101 [Internet]. May 2020. [112 p.]. Available from: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1891_web.pdf).
9. Richter LL, Berk HW, Teates CD, Nancy E. Larkham, Elroy J. Friesen, Richard F. Edlich. A systems approach to the management of radiation accidents. *Ann Emerg Med*. 1980;9(6):303-309.
10. Cabinet Office, Nuclear Emergency preparedness of Japan. Protective measures in a nuclear accident – sheltering to facilities where radiation protection measures have been taken [Internet]. 2020. [32 p.]. Available from: [https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/pdf/02\\_okunai\\_zantei\\_r.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_okunai_zantei_r.pdf). Japanese.
11. National Council on Radiation Protection and Measurements. Management of terrorist events involving radioactive material. NCRP report no. 138. Bethesda, Md.; 2001.
12. Mettler FA, Voelz GL. Major radiation exposure - what to expect and how to respond. *New Engl J Med*. 2002;346:1554-1561. doi: 10.1056/NEJMra000365.
13. World Health Organization. A framework for mental health and psychosocial support in radiological and nuclear emergencies. World Health Organization. 2020; 54 p. (ix, 41 p.). License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336955>
14. American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Health. Risk of ionizing radiation exposure to children: a subject review. *Pediatrics*. 1998;101:717-719.

15. Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations / K. R. Kutanzi, A. Lumen, I. Koturbash, I. R. Miousse. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016. Vol. 13, no. 11. P. 1057. doi:10.3390/ijerph13111057.
16. Number of operable nuclear reactors worldwide as of October 2021, by country. Statista, 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/267158/number-of-nuclear-reactors-in-operation-by-country/>
17. BMA Board of Science and Education. The medical effects of nuclear war. Chichester : John Wiley, 1983. 124 p.
18. Pease R. S. An end to British nuclear weapons? In: *The British nuclear weapons programme 1952–2002*. Ed. by D. Holdstock, F. Barnaby. London : Frank Cass, 2003. P. 131–136.
19. The threat of low-yield earth-penetrating nuclear weapons to civilian populations: nuclear «bunker busters» and their medical consequences / V. W. Sidel, H. J. Geiger, H. L. Abrams et al. Cambridge, MA : IPPNW, 2003. 9 p.
20. Centers of Disease Control and Prevention. National Center for Environmental Health (NCEH), Emergency Management, Radiation, and Chemical Branch. Types of radiation emergencies. URL: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/typesofemergencies.htm> (last reviewed: Apr 4, 2018).
21. Pae J. S., Dill C. E. CBRNE – radiation emergencies. *Medscape/eMedicine*. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/834015-overview#showall> (updated: Mar 04, 2022).
22. Moulder J. E. Report on an interagency workshop on the radiobiology of nuclear terrorism. Molecular and cellular biology dose (1–10) radiation and potential mechanisms of radiation protection (Bethesda, Maryland, December 17–18, 2001). *Radiat. Res*. 2002. Vol. 158. P. 118–112.
23. Helfand I., Forrow L., Tiwari J. Nuclear terrorism. *BMJ*. 2002. Vol. 324. P. 356–359.
24. Hogan D. E., Kellison T. Nuclear terrorism. *Am. J. Med. Sci*. 2002. Vol. 323. P. 341–349.
25. Neal C. J., Moores L. E. Weapons of mass destruction: radiation. *Neurosurg. Focus*. 2002. Vol. 12, no. 3. P. E4.
26. O'Neill K. The nuclear terrorist threat. Washington, DC : Institute for Science and International Security, 1997. 10 p. URL: <https://isis-online.org/publications/terrorism/threat.pdf>.
27. Jarrett D. G. Medical management of radiological casualties : handbook. 1st ed. Bethesda, MD : Armed Forces Radiobiology Research Institute (U.S.), 1999. 152 p. URL: <http://ncemi.org/docs/references/Handbooks/Medical Management of Radiological Casualties.pdf>.
28. Goans R. E., ed. by Military Medical Operations staff. Medical management of radiological casualties. 4th ed. Bethesda, Maryland : Military Medical Operations, Armed Forces Radiobiology Research Institute, 2013. 52 p.
29. Tables and figures from JNDC Nuclear Data Library of fission products, Version 2 / ed. by H. Ihara. Japan Atomic Energy Institute, JAERI-M, 1989. P. 89-204.
15. Kutanzi KR, Lumen A, Koturbash I, Miousse IR. Pediatric exposures to ionizing radiation: carcinogenic considerations. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(11):1057. Published 2016 Oct 28. doi:10.3390/ijerph13111057
16. Number of operable nuclear reactors worldwide as of October 2021, by country [Internet]. Statista; 2021. Available from: <https://www.statista.com/statistics/267158/number-of-nuclear-reactors-in-operation-by-country/>
17. BMA Board of Science and Education. The medical effects of nuclear war. Chichester: John Wiley; 1983. 124.
18. Pease RS. An end to British nuclear weapons? In: *Holdstock D, Barnaby F, editors. The British nuclear weapons programme 1952–2002*. London: Frank Cass; 2003. p. 131-136.
19. Sidel VW, Geiger HJ, Abrams HL, et al. The threat of low-yield earth-penetrating nuclear weapons to civilian populations: nuclear «bunker busters» and their medical consequences. Cambridge, MA: IPPNW; 2003. 9 p.
209. Centers of Disease Control and Prevention. National Center for Environmental Health (NCEH), Emergency Management, Radiation, and Chemical Branch. Types of radiation emergencies [Internet]. [last reviewed: April 4, 2018]. Available from: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/typesofemergencies.htm>
21. Pae JS, Dill CE. CBRNE – Radiation Emergencies [Internet]. *Medscape/eMedicine*, [Updated: Mar 04, 2022]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/834015-overview#showall>
22. Moulder JE. Report on an interagency workshop on the radiobiology of nuclear terrorism. Molecular and cellular biology dose (1–10) radiation and potential mechanisms of radiation protection (Bethesda, Maryland, December 17–18, 2001). *Radiat Res*. 2002;158:118-112.
23. Helfand I, Forrow L, Tiwari J. Nuclear terrorism. *BMJ*. 2002;324:356-359. doi: 10.1136/bmj.324.7333.356
24. Hogan DE, Kellison T. Nuclear terrorism. *Am J Med Sci*. 2002;323:341-349. doi: 10.1097/00000441-200206000-00006.
25. Neal CJ, Moores LE. Weapons of mass destruction: radiation. *Neurosurg Focus*. 2002;12(3):E4. doi: 10.3171/foc.2002.12.3.5
26. O'Neill K. The nuclear terrorist threat. Washington, DC: Institute for Science and International Security; 1997. [10 p.]. Available from: <https://isis-online.org/publications/terrorism/threat.pdf>.
27. Jarrett DG. Medical management of radiological casualties [Internet]. 1st ed. Bethesda, MD: Armed Forces Radiobiology Research Institute (U.S.); 1999. [152 p.]. Available from: <http://ncemi.org/docs/references/Handbooks/Medical Management of Radiological Casualties.pdf>
28. Goans RE, edited by Military Medical Operations staff. Medical management of radiological casualties. 4th ed. Bethesda, Maryland: Military Medical Operations, Armed Forces Radiobiology Research Institute; 2013. 52 p.
29. Ihara H, editor. Tables and figures from JNDC Nuclear Data Library of fission products, Version 2. Japan Atomic Energy Institute, JAERI-M; 1989. p. 89-204.

30. External radiation in Dolon village due to local fallout from the first USSR atomic bomb test in 1949 / T. Imanaka, S. Fukutani, M. Yamamoto et al. *J. Radiat. Res.* 2006. Vol. 47, Suppl A. P. A121–127.
31. Hicks H. G. Calculation of the concentration of any radionuclide deposited on the ground by offsite fallout from a nuclear detonation. *Health Phys.* 1982. Vol. 42. P. 585–600.
32. Hanford Thyroid Disease Study final report / S. Davis, K. J. Kopecky, Th. E. Hamilton et al. Fred Hutchinson Cancer Research Center, 2002. 614 p.
33. Plasman J. H. Nuclear Claims Tribunal Republic of the Marshall Islands Chairman Statement before the Committee on Resources and the Committee on International Relations Subcommittee on Asia and the Pacific. Joint Committee Oversight Hearing on «The United States Nuclear Legacy in the Marshall Islands: Consideration of Issues Relating to the Changed Circumstances Petition». Washington, DC, May 25, 2005. 11 p. URL: <http://naturalresources.house.gov/uploadedfiles/plasmantestimony05.25.05.pdf> <http://www.yokwe.net/ydownloads/052505plasman.pdf>.
34. Radiation doses and cancer risks in the Marshall islands associated with exposure to radioactive fallout from Bikini and Enewetak nuclear weapons tests: summary / S. L. Simon, A. Bouville, Ch. E. Land et al. *Health Phys.* 2010. Vol. 99, no. 2. P. 105–123.
35. Ten Hoeve J. E., Jacobson M. Z. Worldwide health effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident. *Energy Environ. Sci.* 2012. Vol. 5. P. 8758–8759.
36. Radiation exposure from iodine 131 / ed. by P. Wald. U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Environmental Medicine, 2002. 60 p. URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/HEC/CSEM/iodine/docs/iodine131.pdf>
37. TEPCO. The estimated amount of radioactive materials released into the air and the ocean caused by Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident due to the Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki earthquake. Press Release, May 24, 2012. URL: [http://www.tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/2012/1204659\\_1870.html](http://www.tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/2012/1204659_1870.html) (accessed on 11 November 2013).
38. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Military medical operations. Medical management of radiological casualties : handbook. 2<sup>nd</sup> ed. Bethesda, MD: AFRRI, 2003. P. 35, 53.
39. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Military medical operations. Medical management of radiological casualties. Handbook. 4<sup>th</sup> ed. Bethesda, MD, 2013. 52 p.
40. Medical management of radiation accidents / ed. by I. A. Gusev, A. K. Guskova, F. A. Jr. Mettler. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press LLC, 2001. 640 p.
41. Nuclear Regulation Agency. For distribution and prophylaxis of stable iodine. 2019. 2 p. URL: <https://www.nsr.go.jp/data/000024657.pdf>. (In Japanese).
42. Some aspects of the absorption and concentration of iodide by the alimentary tract in man / W. D. Alexander, R. M. Harden, M. T. Harrison et al. *Proc. Nutr. Soc.* 1967. Vol. 26. P. 62–66.
30. Imanaka T, Fukutani S, Yamamoto M, Sakaguchi A, Hoshi M. External radiation in Dolon village due to local fallout from the first USSR atomic bomb test in 1949. *J Radiat Res.* 2006;47(Suppl A):A121-127. doi: 10.1269/jrr.47.a121.
31. Hicks HG. Calculation of the concentration of any radionuclide deposited on the ground by offsite fallout from a nuclear detonation. *Health Phys.* 1982;42:585-600. doi: 10.1097/00004032-198205000-00003.
32. Davis S, Kopecky KJ, Hamilton ThE, et al. Hanford Thyroid Disease Study final report. Fred Hutchinson Cancer Research Center; 2002. 614 p.
33. Plasman JH. Nuclear Claims Tribunal Republic of the Marshall Islands Chairman Statement before the Committee on Resources and the Committee on International Relations Subcommittee on Asia and the Pacific. Joint Committee Oversight Hearing on «The United States Nuclear Legacy in the Marshall Islands: Consideration of Issues Relating to the Changed Circumstances Petition» [Internet]. Washington, DC; May 25, 2005. [11 p.]. Available from: <http://naturalresources.house.gov/uploadedfiles/plasmantestimony05.25.05.pdf>; <http://www.yokwe.net/ydownloads/052505plasman.pdf>.
34. Simon SL, Bouville A, Land ChE, Beck HL. Radiation doses and cancer risks in the Marshall islands associated with exposure to radioactive fallout from Bikini and Enewetak nuclear weapons tests: summary. *Health Phys.* 2010;99(2):105-123. doi: 10.1097/HP.0b013e3181dc523c.
35. Ten Hoeve JE, Jacobson MZ. Worldwide health effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident. *Energy Environ Sci.* 2012;5: 8758-8759.
36. Wald P, editor. Radiation exposure from iodine 131 [Internet]. U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Environmental Medicine; 2002. [60 p.] Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/HEC/CSEM/iodine/docs/iodine131.pdf>.
37. TEPCO. The estimated amount of radioactive materials released into the air and the ocean caused by Fukushima Daiichi nuclear power station accident due to the Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki earthquake [Internet]. Press Release. May 24, 2012(accessed on 11 November 2013). Available from: [http://www.tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/2012/1204659\\_1870.html](http://www.tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/2012/1204659_1870.html).
38. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Military medical operations. Medical management of radiological casualties. 2<sup>nd</sup> ed. Bethesda, MD: AFRRI; 2003. p. 35, 53.
39. Armed Forces Radiobiology Research Institute. Military medical operations. Medical management of radiological casualties. 4<sup>th</sup> ed. Bethesda, MD; 2013. 52 p.
40. Gusev IA, Guskova AK, Mettler FA Jr, editors. Medical management of radiation accidents. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press LLC; 2001. 640 p.
41. Nuclear Regulation Agency. For distribution and prophylaxis of stable iodine [Internet]. 2019. (2 p.). Available from: <https://www.nsr.go.jp/data/000024657.pdf>. Japanese.

43. The sodium/iodide symporter (NIS): molecular physiology and preclinical and clinical applications / S. Ravera, A. Reyna-Neyra, G. Ferrandino et al. *Annu. Rev. Physiol.* 2017. Vol. 79. P. 261–289. doi:10.1146/annurev-physiol-022516-034125.
44. Pangaro L. N. Physiology of the thyroid gland. In: *Principles and practice of endocrinology and metabolism* / ed. by K. L. Becker. Philadelphia: J.B. Lippincott Company, 1990. p. 271.
45. Pesce L., Kopp P. Iodide transport: implications for health and disease. *Int. J. Pediatr. Endocrinol.* 2014. Vol. 2014, no. 1. P. 8. doi: 10.1186/1687-9856-2014-8.
46. Zicker S., Schoenherr B. Focus on nutrition: the role of iodine in nutrition and metabolism. *Nutrition Compendium.* 2012. Vol. 34, no. 10. <https://www.vetfolio.com/learn/article/focus-on-nutrition-the-role-of-iodine-in-nutrition-and-metabolism>
47. Dietary iodide controls its own absorption through post-transcriptional regulation of the intestinal Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter / J. P. Nicola, A. Reyna-Neyra, N. Carrasco, A. M. Masini-Repiso. *J. Physiol.* 2012. Vol. 590, Pt. 23. P. 6013–6026.
48. The Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter mediates active iodide uptake in the intestine / J. P. Nicola, C. Basquin, C. Portulano et al. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2009. Vol. 296. P. C654-C662.
49. Iodide transport defect: functional characterization of a novel mutation in the Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter 5'-untranslated region in a patient with congenital hypothyroidism / J. P. Nicola, M. Nazar, C. Serrano-Nascimento et al. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2011. Vol. 96, Iss. 7. P. E1100-E1107.
50. Zanzonico P. B., Becker D. V. Effects of time of administration and dietary iodine levels on potassium iodide (KI) blockade of thyroid irradiation by <sup>131</sup>I from radioactive fallout. *Health Phys.* 2000. Vol. 78. P. 660–667.
51. US Nuclear Regulatory Commission. Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act of 2002. Sec. 127. Potassium iodide. 2002. P. 22–25.
52. Department of Health and Human Services (HHS). Draft guidelines for State, local, and tribal governments, for the expanded distribution, stockpiling, and utilization of KI in the event of a radioactive iodine release from a commercial nuclear power plant incident. *Federal Register.* 2005. Vol. 70, no. 166. P. 51066–51067.
53. American Thyroid Association. Nuclear Radiation and the Thyroid. 2011. 2 p.
54. Rubery E., Smales E. Iodine prophylaxis following nuclear accidents: proceedings of a joint WHO/CEC Workshop. July 1988. Pergamon Press, UK, 1990. 193 p.
55. Guidelines for iodine prophylaxis as a protective measure: information for physicians / S. Yoshida, M. Ojino, T. Ozaki et al. *Japan Med. Assoc. J.* 2014. Vol. 57, no. 3. P. 113–123.
56. Balk S. J., Miller R. W. FDA issues KI recommendations. *AAP News.* 2002. Vol. 20. 99 p.
57. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER).
42. Alexander WD, Harden RM, Harrison MT, Shimmins J. Some aspects of the absorption and concentration of iodide by the alimentary tract in man. *Proc Nutr Soc.* 1967;26:62-66. doi: 10.1079/pns19670013.
43. Ravera S, Reyna-Neyra A, Ferrandino G, Amzel LM, Carrasco N. The sodium/iodide symporter (NIS): molecular physiology and preclinical and clinical applications. *Annu Rev Physiol.* 2017;79:261-289. doi:10.1146/annurev-physiol-022516-034125.
44. Pangaro LN. Physiology of the thyroid gland. In: Becker KL, editor. Principles and practice of endocrinology and metabolism. J.B. Lippincott Company, Philadelphia; 1990. p. 271.
45. Pesce L, Kopp P. Iodide transport: implications for health and disease. *Int J Pediatr Endocrinol.* 2014;2014(1):8. doi: 10.1186/1687-9856-2014-8.
46. Zicker S, Schoenherr B. Focus on nutrition: the role of iodine in nutrition and metabolism [Internet]. *Nutrition Compendium.* 2012; 34(10). Available from: <https://www.vetfolio.com/learn/article/focus-on-nutrition-the-role-of-iodine-in-nutrition-and-metabolism>
47. Nicola JP, Reyna-Neyra A, Carrasco N, Masini-Repiso AM. Dietary iodide controls its own absorption through post-transcriptional regulation of the intestinal Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter. *J Physiol.* 2012;590(Pt. 23):6013-6026. doi: 10.1113/jphysiol.2012.241307.
48. Nicola JP, Basquin C, Portulano C, Reyna-Neyra A, Paroder M, Carrasco N. The Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter mediates active iodide uptake in the intestine. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2009;296:C654-C662. doi: 10.1152/ajpcell.00509.2008.
49. Nicola JP, Nazar M, Serrano-Nascimento C, Goulart-Silva F, Sobrero G, Testa G, et al. Iodide transport defect: functional characterization of a novel mutation in the Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter 5'-untranslated region in a patient with congenital hypothyroidism. *J Clin Endocrinol Metab.* 2011;96(7):E1100-E1107.
50. Zanzonico PB, Becker DV. Effects of time of administration and dietary iodine levels on potassium iodide (KI) blockade of thyroid irradiation by <sup>131</sup>I from radioactive fallout. *Health Phys.* 2000;78:660-667. doi: 10.1097/00004032-200006000-00008.
51. US Nuclear Regulatory Commission. Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act of 2002. Sec. 127. Potassium iodide. 2002. P. 22-25.
52. Department of Health and Human Services (HHS). Draft guidelines for State, local, and tribal governments, for the expanded distribution, stockpiling, and utilization of KI in the event of a radioactive iodine release from a commercial nuclear power plant incident. *Federal Register.* 2005;70(166):51066-51067.
53. American Thyroid Association. Nuclear Radiation and the Thyroid. 2011. 2 p.
54. Rubery E, Smales E. Iodine prophylaxis following nuclear accidents: proceedings of a joint WHO/CEC Workshop. July 1988. Pergamon Press, UK; 1990. 193 p.
55. Yoshida S, Ojino M, Ozaki T, Hatanaka T, Nomura K, Ishii M, et al. Guidelines for iodine prophylaxis as a protective measure: information for physicians. *Japan Med Assoc J.* 2014;57(3):113–123.



- Potassium iodide as a thyroid blocking agent in radiation emergencies : guidance. 2001. 15 p. URL: <https://www.fda.gov/media/72510/download>.
58. World Health Organization. Use of Potassium Iodide for Thyroid Protection during Nuclear or Radiological Emergencies. Technical brief. Revised 31 March 2011. URL: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/tech\\_briefings/potassium\\_iodide/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/tech_briefings/potassium_iodide/en/)
  59. Becker D. V., Zanzonico P. Potassium iodide for thyroid blockade in a reactor accident: Administrative policies that govern its use. *Thyroid*. 1997. Vol. 7. P. 193–197.
  60. Nauman J., Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: Benefits and risks. *Am. J. Med.* 1993. Vol. 94. P. 524–532.
  61. Enformable Nuclear News. Workers at Fukushima Daiichi suffered side effects after taking potassium iodide. 2012. Source: lomiuri Online. URL: <http://enformable.com/2012/02/workers-at-fukushima-daiichi-suffered-side-effects-after-taking-potassium-iodide/>
  62. Tangen J. M., Jaworska A., Mattsson H. The Fukushima accident – health consequences. *Tidsskr. Nor. Legeforen.* 2011. Vol. 131. P. 2342–2343.
  63. Kageyama Y. Japan mayor offers Fukushima kids home in his town. Associated Press, The Big Story, 2013. URL: <http://bigstory.ap.org/article/japan-mayor-offers-fukushima-kids-home-his-town>
  64. US Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets to infants and children using 130 milligram (mg) tablets. Rockville, MD : Center for Drug Evaluation and Research, 2002. URL: <http://www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep130mg.htm>.
  65. US Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets to infants and children using 65 milligram (mg) tablets. Rockville, MD : Center for Drug Evaluation and Research, 2002. URL: <http://www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep65mg.htm>.
  66. Rubery E. D. Practical aspects of prophylactic stable iodine usage. In: Iodine prophylaxis following nuclear accidents : Proceedings of a joint WHO/CEC Workshop, July 1988 / ed. by E. D. Rubery, E. Smales. Oxford : Pergamon Press, 1990. P. 141–150.
  67. Камінський О. В., Афанасьєв Д. Є., Коваленко О. М. Стандарти надання медичної допомоги хворим з патологічними станами щитоподібної залози в умовах дії негативних чинників довкілля. Київ : День Печати, 2012. 164 с.
  68. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1997. 127 с. URL: <http://www.insc.gov.ua/docs/nrbu97.pdf>.
  69. RISKAUDIT Report No. 1337. Medical effectiveness of iodine prophylaxis in a nuclear reactor emergency situation and overview of european practices. RISKAUDIT IRSN/GRS International in col-
  56. Balk SJ, Miller RW. FDA issues KI recommendations. *AAP News*. 2002;20:99.
  57. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Potassium iodide as a thyroid blocking agent in radiation emergencies. Guidance [Internet]. 2001. [15 p.]. Available from: <https://www.fda.gov/media/72510/download>.
  58. World Health Organization. Use of Potassium Iodide for Thyroid Protection during Nuclear or Radiological Emergencies. Technical brief. Revised 31 March 2011 [Internet]. Available from: [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/tech\\_briefings/potassium\\_iodide/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/tech_briefings/potassium_iodide/en/)
  59. Becker DV, Zanzonico P. Potassium iodide for thyroid blockade in a reactor accident: Administrative policies that govern its use. *Thyroid*. 1997;7:193-197.
  60. Nauman J, Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: Benefits and risks. *Am J Med*. 1993;94:524-532.
  61. Enformable Nuclear News. Workers at Fukushima Daiichi suffered side effects after taking potassium iodide. 2012. Source: lomiuri Online. Available from: <http://enformable.com/2012/02/workers-at-fukushima-daiichi-suffered-side-effects-after-taking-potassium-iodide/>
  62. Tangen JM, Jaworska A, Mattsson H. The Fukushima accident - health consequences. *Tidsskr Nor Legeforen*. 2011;131:2342-2343.
  63. Kageyama Y. Japan mayor offers Fukushima kids home in his town. Associated Press, The Big Story, 2013. Available online: <http://bigstory.ap.org/article/japan-mayor-offers-fukushima-kids-home-his-town>.
  64. US Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. Home Preparation Procedure for Emergency Administration of Potassium Iodide Tablets to Infants and Children Using 130 Milligram (mg) Tablets [Internet]. Rockville, MD: Center for Drug Evaluation and Research; 2002. Available from: <http://www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep130mg.htm>.
  65. US Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. Home Preparation Procedure for Emergency Administration of Potassium Iodide Tablets to Infants and Children Using 65 Milligram (mg) Tablets [Internet]. Rockville, MD: Center for Drug Evaluation and Research; 2002. Available from: <http://www.fda.gov/cder/drugprepare/kiprep65mg.htm>.
  66. Rubery ED. Practical aspects of prophylactic stable iodine usage. In: Rubery E.D., Smales E., eds. Iodine prophylaxis following nuclear accidents: Proceedings of a joint WHO/CEC Workshop, July 1988. Oxford: Pergamon Press; 1990. p. 141-150.
  67. Kaminskyi OV, Afanasiev DE, Kovalenko OM. [Standards of providing medical care to patients with pathological conditions of the thyroid gland under the influence of negative environmental factors]. Kyiv: «Den Pechati», 2012. 164 p. Ukrainian.
  68. Lihtarev IA, Los IP, Volyshev VYu, et al. [Radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97)]. Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, 1997. 127 p. <http://www.insc.gov.ua/docs/nrbu97.pdf>. Ukrainian.

- laboration with Institut de Radioprotection et de Syrete Nucleare (IRSN) – France, January 2010. 68 p.
70. Caring for survivors of the Chernobyl disaster. What the clinician should know / A. D. Weinberg, S. Kripalani, P. L. McCarthy, W. J. Schull. *JAMA*. 1995. Vol. 274. P. 408–412.
71. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Radiation disasters and children. *Pediatrics*. 2003. Vol. 111. P. 1455–1466.
72. Iodine kinetics and effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioactive iodine: A review / P. Verger, A. Aurengo, B. Geoffroy, B. Le Guen. *Thyroid*. 2001. Vol. 11. P. 353–360. doi: 10.1089/10507250152039082.
73. Wolff J., Chaikoff I. L. Plasma inorganic iodide as a homeostatic regulator of thyroid function. *J. Biol. Chem.* 1948. Vol. 174. P. 555–564.
74. Leung A. M., Braverman L. E. Consequences of excess iodine. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2014. Vol. 10. P. 136–142.
75. Clinical problem-solving. A hidden solution. / P. Pramyothin, A. M. Leung, E. N. Pearce et al. *N. Engl. J. Med.* 2011. Vol. 365. P. 2123–2127. doi: 10.1056/NEJMcps1008908.
76. Managing terrorism or accidental nuclear errors, preparing for iodine-131 emergencies: a comprehensive review / E. R. Braverman, K. Blum, B. Loeffke et al. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2014. Vol. 11, no. 4. P. 4158–4200. doi: 10.3390/ijerph110404158.
77. World Health Organization. Iodine and inorganic iodides: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 72. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2009. 61 p.
78. [https://likicontrol.com.ua/інструкція/\[25452\]](https://likicontrol.com.ua/інструкція/[25452])
79. Nyiri W., Jannitti M. About the fate of free iodine upon application to the unbroken animal skin an experimental study. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 1932. Vol. 45. P. 85–107.
80. Effectiveness of skin absorption of tincture of I in blocking radioiodine from the human thyroid gland / K. L. Miller, P. E. Coen, W. J. White et al. *Health Phys.* 1989. Vol. 56. P. 911–914. doi: 10.1097/00004032-198906000-00009.
81. Cuddihy R. G. Thyroidal iodine-131 uptake, turnover and blocking in adults and adolescents. *Health Phys.* 1996. Vol. 12. P. 1021–1025. doi: 10.1097/00004032-196608000-00003.
82. Suppression of thyroid radioiodine uptake by various doses of stable iodide / E. Sternthal, L. Lipworth, B. Stanley et al. *N. Engl. J. Med.* 1980. Vol. 303. P. 1083-1088. doi: 10.1056/NEJM198011063031903.
83. United States, Agency for Toxic Substances and Disease Registry., Division of Toxicology and Environmental Medicine. Radiation exposure from iodine-131. Series: Case studies in environmental medicine. ATSDR Publication No.: ATSDR-HE-CS-2004-0001. 2002. P. 27. URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/11703>.
84. Potassium iodide as a thyroid blocking agent in radiation emergencies. December 2001. URL: [www.anbex.com/files/extend\\_shelf\\_life.pdf](http://www.anbex.com/files/extend_shelf_life.pdf) (accessed on 9 January 2014).
69. RISKAUDIT Report No. 1337. Medical Effectiveness of Iodine Prophylaxis in a Nuclear Reactor Emergency Situation and Overview of European Practices. RISKAUDIT IRSN/GRS International in collaboration with Institut de Radioprotection et de Syrete Nucleare (IRSN). France; January 2010. 68 p.
70. Weinberg AD, Kripalani S, McCarthy PL, Schull WJ. Caring for survivors of the Chernobyl disaster. What the clinician should know. *JAMA*. 1995;274:408-412.
71. American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Radiation disasters and children. *Pediatrics*. 2003;111:1455-1466.
72. Verger P, Aurengo A, Geoffroy B, Le Guen B. Iodine kinetics and effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioactive iodine: A review. *Thyroid*. 2001;11:353-360. doi: 10.1089/10507250152039082.
73. Wolff J, Chaikoff IL. Plasma inorganic iodide as a homeostatic regulator of thyroid function. *J Biol Chem*. 1948;174:555-564.
74. Leung AM, Braverman LE. Consequences of excess iodine. *Nat Rev Endocrinol*. 2014;10:136-142.
75. Pramyothin P, Leung AM, Pearce EN, Malabanan AO, Braverman LE. Clinical problem-solving. A hidden solution. *N Engl J Med*. 2011;365:2123-2127. doi: 10.1056/NEJMcps1008908.
76. Braverman ER, Blum K, Loeffke B, Baker R, Kreuk F, Yang SP, et al. Managing terrorism or accidental nuclear errors, preparing for iodine-131 emergencies: a comprehensive review. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(4):4158-4200. doi: 10.3390/ijerph110404158.
77. World Health Organization. Iodine and inorganic iodides: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 72. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2009. 61 p.
78. [https://likicontrol.com.ua/інструкція/\[25452\]](https://likicontrol.com.ua/інструкція/[25452]). Ukrainian.
79. Nyiri W, Jannitti M. About the fate of free iodine upon application to the unbroken animal skin an experimental study. *J Pharmacol Exp Ther*. 1932;45:85–107.
80. Miller KL, Coen PE, White WJ, Hurst WJ, Achey BE, Lang CM. Effectiveness of skin absorption of tincture of I in blocking radioiodine from the human thyroid gland. *Health Physics*. 1989;56:911-914. doi: 10.1097/00004032-198906000-00009.
81. Cuddihy RG. Thyroidal iodine-131 uptake, turnover and blocking in adults and adolescents. *Health Phys*. 1996;12:1021-1025. doi: 10.1097/00004032-196608000-00003.
82. Sternthal E, Lipworth L, Stanley B, Abreau C, Fang SL, Braverman LE. Suppression of thyroid radioiodine uptake by various doses of stable iodide. *N Engl J Med*. 1980;303:1083-1088. doi: 10.1056/NEJM198011063031903.
83. United States, Agency for Toxic Substances and Disease Registry., Division of Toxicology and Environmental Medicine. Radiation exposure from iodine-131. Series: Case studies in environmental medicine. ATSDR Publication No.: ATSDR-HE-CS-2004-0001. 2002. p. 27. Available from: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/11703>.
84. Potassium iodide as a thyroid blocking agent in radiation emergencies December 2001. Available from: [www.anbex.com/files/extend\\_shelf\\_life.pdf](http://www.anbex.com/files/extend_shelf_life.pdf) [accessed on 9 January 2014].

85. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Potassium iodide tablets shelf life extension. Guidance for federal agencies and state and local governments. 2004. 9 p.
86. Указ Президента України від 24 лютого 2022 року про введення воєнного стану [Інтернет-ресурс]. Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/documents/642022-41397>

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Афанасьєв Дмитро Євгенович** – кандидат медичних наук, провідний науковий співробітник, відділ радіаційної ендокринології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна

**Камінський Олексій Валентинович** – доктор медичних наук, лікар-ендокринолог вищої категорії, завідувач відділу радіаційної ендокринології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна

**Логановська Тетяна Костянтинівна** – кандидат медичних наук, старший дослідник, в. о. завідувача відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна, Україна

**Копилова Ольга Василівна** – кандидат медичних наук, провідний науковий співробітник, відділ радіаційної ендокринології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна

**Чикалова Ірина Григорівна** – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник, відділ радіаційної ендокринології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна

**Муравйова Ірина Миколаївна** – кандидат медичних наук, науковий співробітник, відділ радіаційної ендокринології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна

**Домбровська Наталія Сергіївна** – кандидат медичних наук, ННЦРМ, м. Київ, Україна

85. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Potassium iodide tablets shelf life extension. Guidance for federal agencies and state and local governments. 2004. 9 p.
86. Decree of the President of Ukraine dated February 24, 2022 on the introduction of martial law [Internet resource]. Access mode: <https://www.president.gov.ua/documents/642022-41397> Ukrainian.

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Dmytro E. Afanasyev** – Candidate of Medical Sciences, Leading Research Associate, Radiation Endocrinology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Oleksiy V. Kaminskyi** – Doctor of Medical Sciences, Superior Category Certified Endocrinologist, Head Radiation Endocrinology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Tetyana K. Loganovska** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Acting Head Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Olga V. Kopylova** – Candidate of Medical Sciences, Leading Research Associate, Radiation Endocrinology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Iryna G. Chikalova** – Candidate of Medical Sciences, Senior Research Associate, Radiation Endocrinology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Iryna M. Muraviova** – Candidate of Medical Sciences, Research Associate, Radiation Endocrinology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRM, Kyiv, Ukraine

**Nataliya S. Dombrovska** – Candidate of Medical Sciences, NRCRM, Kyiv, Ukraine

*Стаття надійшла до редакції 26.04.2022*

*Received: 26.04.2022*