

УДК 57+61::539.1.047]:599.89

Д. А. Бази́ка, А. Є. Присяжнюк, Н. А. Гудзенко✉, М. М. Фузі́к, Н. К. Троцюк, Н. Г. Бабкіна, О. М. Хухрянська, С. А. Даневич

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна

ВІДДАЛЕНІ ОНКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ, СПРИЧИНЕНОГО АВАРІЄЮ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

Дослідження віддалених онкологічних наслідків Чорнобильської катастрофи, що були виконані в Україні, свідчать про істотний вплив радіаційного опромінення на рівень захворюваності на злоякісні новоутворення постраждалих контингентів населення. Про це свідчить підвищений радіаційний ризик лейкемії у ліквідаторів, що перевищує національні популяційні показники, і його величина подібна до даних щодо хібакуся, які зазнали атомних бомбардувань. Вперше в когорті учасників аварійних робіт встановлено радіаційну зумовленість хронічної лімфоїдної лейкемії. Відзначено радіаційні ризики лейкемії у дітей, які підпали під радіаційну експозицію внаслідок Чорнобильської аварії. Констатовано зростання захворюваності на рак щитоподібної залози дітей та дорослих (ліквідаторів, евакуйованих з 30-км зони відчуження і мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій). Має місце ексцес раку молочної залози у жінок-ліквідаторів. Частота усіх форм злоякісних новоутворень порівняно з національними показниками із плином часу знижується, але все ще їх перевищує. Подальший моніторинг злоякісних новоутворень у групах постраждалих дозволить кількісно визначити радіаційні ризики форм онкологічних захворювань, радіаційно-асоційований прояв яких вже відомий із попередніх досліджень, або може очікуватись у майбутньому.

Ключові слова: аварія на ЧАЕС, захворюваність, злоякісні новоутворення, ліквідатори, евакуйовані, мешканці забруднених територій.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2022. Вип. 27. С. 138–149. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-138-149

D. A. Bazyka, A. Ye. Prisyazhnyuk, N. A. Gudzenko✉, M. M. Fuzik, N. K. Trotsyuk, N. G. Babkina, O. M. Khukhranska, S. A. Danevych

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

LATE ONCOLOGICAL AFTEREFFECTS OF RADIATION EXPOSURE CAUSED BY THE CHORNOBYL ACCIDENT

Studies of the long-term oncological consequences after the Chernobyl accident show a significant impact of radiation exposure on the cancer incidence rate in affected population in Ukraine. This is supported by the increased radiation risk of leukaemia in liquidators, which exceeds national population rates, and its value is comparable to the data on hibakushi, who were subjected to A-bombings. For the first time in the clean-up workers cohort the radiation dependence of chronic lymphoid leukaemia was established. There are radiation associated risks of leukemia in children who have been exposed to radiation from the Chernobyl accident. There has been registered an increase of thyroid cancer incidence in children and adults (liquidators, evacuees from the 30-km exclusion zone and residents of the most contaminated territories). There is an excess of breast cancer in female liquidators. The frequency of all forms of malignant neoplasms decreases over time but still exceeds national rates. Further monitoring of malignant neoplasms in the groups of affected population will allow evaluating the radiation risks of cancer forms whose radiation-associated manifestation is already known from previous studies or can be expected in the future.

Key words: Chernobyl accident, morbidity, malignant neoplasms, liquidators, evacuees, residents of contaminated territories.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2022;27:138-149. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-138-149

✉ Гудзенко Наталія Анатоліївна, e-mail: gudznat@gmail.com

✉ Nataliya A. Gudzenko, e-mail: gudznat@gmail.com

Аварія 1986 року на Чорнобильській АЕС стала наймасштабнішою за всю історію атомної енергетики. Відбувся неконтрольований викид радіоактивних речовин у навколишнє середовище, найбільший із коли-небудь реєстрованих цивільних аварій, внаслідок чого вивільнилось близько 14×10^{18} Бк радіоактивності [1]. Через інцидент двоє робітників ЧАЕС загинули миттєво, високі дози радіації отримали 134 особи персоналу станції та аварійної протипожежної служби, що зумовило у них захворювання на гостру променеви хворобу. 28 опромінених згодом померли. До 2006 р. з різних причин померло ще 19 осіб. Через високу летальність число хворих цього профілю неухильно скорочується. Якщо у 1986–1991 рр. під диспансерним наглядом перебувало 179 осіб, то в 2002–2014 рр. – 105. Із загально-го числа померлих (66) причиною смерті у 26 (39,4 %) були кардіоваскулярні захворювання, а у 23 (34,8 %) злякисні новоутворення [2]. У цій групі померлих серед причин смерті відмічена більш висока питома вага раку, порівняно з показником у загальній популяції України – 14,0 %. Наведені дані побічно свідчать про підвищений ризик виникнення злякисних пухлин в досліджуваній когорті хворих на гостру променеви хворобу. Але через статистично недостатню чисельність постраждалих даного профілю прямі оцінки величини ризику онкологічної патології після опромінення у високих дозах мають велику невизначеність.

Дослідження віддалених онкологічних наслідків Чорнобильської катастрофи свідчать про істотний вплив радіаційного опромінення на стан здоров'я постраждалих контингентів населення. Одним із напрямків досліджень є епідеміологічне вивчення захворюваності на злякисні новоутворення в цілому та тих їхніх форм, що відносяться до найбільш радіозумовлених – лейкемії, раку щитоподібної та молочної залоз. Таким дослідженням онкологічних наслідків аварії на Чорнобильській АЕС сприяли розробка та запровадження національних і міжнародних наукових програм. Масштабні дескриптивні та екологічні дослідження онкологічних ефектів у рамках національних програм проведено в основних групах населення, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії (у 2019 році: мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій України – 172,6 тис. – 7 567 604 людино-років спостереження, учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) 1986–1987 рр. – 79,8 тис. – 2 511 200 людино-років спостереження, евакуйованих із зони відчуження – 66,5 тис. – 1 603 056 людино-років спостереження). Ці дослідження дали змогу виявити особливості частоти та трендових моделей захворювань на злякисні новоутворення в групах постраждалих.

The Chernobyl accident in 1986 became the largest one in the history of nuclear energy. The uncontrolled release of radioactive substances into the environment was the largest of the ever recorded civil accidents, as a result of which about 14×10^{18} Bq of radioactivity were released [1]. As a result of the incident, two Chernobyl workers died instantly, high doses of radiation were received by 134 persons of the station staff and the emergency fire service, which caused them to suffer from acute radiation sickness. 28 irradiated people died later. By 2006, another 19 people had died from various causes. Due to the high mortality rate, the number of patients in this group is steadily declining. In 1986–1991 179 people were under dispensary follow-up, in 2002–2014 – only 105 ones. Cardiovascular diseases caused 26 (39.4 %) deaths and malignant neoplasms – 23 (34.8 %) deaths of the total 66 [2]. Among the causes of death the share of cancer in this group was higher than in the general population of Ukraine – 14.0 %. These data indirectly indicate an increased risk of malignant tumours in the study cohort of patients with acute radiation sickness. But due to the statistically insufficient number of victims of this profile the cancer risk estimates have great uncertainty.

Studies of the long-term cancer consequences of the Chernobyl disaster show a significant impact of radiation exposure on the health of affected populations. One of the areas of research is the epidemiological study of the incidence of malignant neoplasms in general and those of their forms that belong to the most radiation associated ones – leukaemia, thyroid and breast cancer. Such research of the oncological consequences of the Chernobyl accident was facilitated by the development and implementation of national and international scientific programs. In a frame of national programs large-scale descriptive and environmental studies of oncological effects were performed in the main groups of affected by the Chernobyl accident population (in 2019: residents of the most contaminated areas of Ukraine – 172.6 thousand (7,567,604 person-years of observation), participants in the liquidation of the accident consequences in 1986–1987 – 79.8 thousand (2,511,200 person-years of observation), evacuated from the exclusion zone – 66.5 thousand (1,603,056 person-years of observation)). These studies made it possible to identify features of the frequency and trend models of malignant neoplasms in the groups of victims.

Міжнародні програми передбачали проведення аналітичних досліджень, що надало можливість оцінити ризики розвитку злоякісних новоутворень з урахуванням отриманих доз опромінення. Виконання міжнародних програм у рамках програми Комісії Європейських спільнот ІПНЕСА (ЕСР-7), досліджень у рамках Франко-Німецької Чорнобильської ініціативи, INCO-COPERNICUS та інших спирались на довгостроковий моніторинг злоякісних новоутворень в групах постраждалих із залученням баз даних Державного реєстру України та Національного канцер-реєстру.

Доцільно привести послідовно результати спочатку дескриптивних, а потім аналітичних досліджень.

Узагальнення отриманих результатів щодо частоти усіх форм злоякісних новоутворень в основних групах постраждалих відображено у табл. 1 [3].

Дані свідчать про те, що показники захворюваності на цю патологію у мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій та евакуйованих із зони відчуження не перевищують національний рівень. Стандартизоване співвідношення захворюваності (SIR) склало відповідно 81,2 % (95 % ДІ: 80,1–82,3) і 88,7 (95 % ДІ: 86,1–91,3). Слід вказати на те, що і в доаварійний період частота цієї патології була меншою порівняно з такою в Україні в цілому. На противагу цим двом групам постраждалих, в УЛНА 1986–1987 рр. участі за період 1994–2019 рр. показник був вищим за національний і становив 106,7 % (95 %; ДІ: 104,9–108,5). Слід зазначити, що цей показник, порівняно з національним рівнем, із плином часу знижується, але все ще його перевищує [3].

Рівень захворюваності на злоякісні новоутворення лімфоїдної, кровотворної та споріднених тканин наведено у табл. 2.

International programmes provided for analytical research, which made it possible to assess the dose-dependent risks of malignant neoplasms developing. Implementation of international studies within the program of the Commission of the European Communities IPHECA (ECP-7), research under the French-German Chernobyl Initiative, INCO-COPERNICUS and others was based on the long-term monitoring of malignant neoplasms in groups of victims using databases of the State Registry of Ukraine for persons suffered following Chernobyl catastrophe and National Cancer Registry.

It is expedient to present consistently the results of first descriptive and then analytical researches.

The generalization of the obtained results on the frequency of all forms of malignant neoplasms in the main groups of victims is shown in the table 1 [3].

The data show that the incidence of this pathology in the inhabitants of the most contaminated areas and evacuated from the exclusion zone does not exceed the national level. The standardized incidence ratio (SIR) is 81.2 % (95 % CI: 80.1–82.3) and 88.7 (95 % CI: 86.1–91.3) respectively. It should be noted that in the pre-accident period the frequency of this pathology in residents of these territories was lower than in Ukraine as a whole. In contrast to these two groups of victims, in clean-up workers of 1986–1987 participation the figure was higher than the national one in 1994–2019 and SIR amounted to 106.7 % (95 % CI: 104.9–108.5). It should be noted that this indicator decreases over time, but still demonstrates an excess above the national level [3].

The rates of the incidence on malignant neoplasms of lymphoid, hematopoietic and related tissue is shown in the table 2.

Таблиця 1

Захворюваність на всі форми злоякісних новоутворень (МКХ-10 C00–C96) груп населення України, що постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС (стандартизовані співвідношення захворюваності – SIR, %)

Table 1

All cancers incidence (ICD10 C00–C96) in the groups of population of Ukraine affected by the Chernobyl accident (standardised incidence rates – SIR, %)

Категорія постраждалих та період спостереження Groups of affected population, follow-up years	Фактична кількість випадків Actual No of cases	Очікувана кількість випадків Expected No of cases	SIR, %	95 % довірчий інтервал 95 % confidence interval
Мешканці забруднених радіонуклідами територій (1990–2019 рр.) Residents of contaminated areas (1990–2019)	20 168	24 846,4	81,2	80,1–82,3
УЛНА 1986–1987 рр. (1994–2019 рр.) Clean-up workers 1986–1987 (1994–2019)	13 713	12 855,1	106,7	104,9–108,5
Евакуйовані із зони відчуження (1990–2019 рр.) Evacuees (1990–2019)	4 423	4 985,9	88,7	86,1–91,3

Таблиця 2

Захворюваність на злоякісні новоутворення лімфоїдної, кровотворної та споріднених тканин (МКХ-10 C81–C96) груп населення України, що постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС (стандартизовані співвідношення захворюваності – SIR, %)

Table 2

Incidence on malignant neoplasms of lymphoid, hematopoietic and related tissue (ICD10 C81–C96) in the groups of population of Ukraine affected by the Chernobyl accident (standardised incidence rates – SIR, %)

Категорія постраждалих та період спостереження Groups of affected population, follow-up years	Фактична кількість випадків Actual No of cases	Очікувана кількість випадків Expected No of cases	SIR, %	95 % довірчий інтервал 95 % confidence interval
Мешканці забруднених радіонуклідами територій (1990–2019 рр.) Residents of contaminated areas (1990–2019)	1 048	1 179,4	88,9	83,5–94,2
УЛНА 1986–1987 рр. (1994–2019 рр.) Clean-up workers 1986–1987 (1994–2019)	796	550,1	144,7	134,6–154,8
Евакуйовані із зони відчуження (1990–2019 рр.) Evacuees (1990–2019)	330	231,6	142,5	127,1–157,9

У мешканців радіаційно забруднених територій показники не перевищували національний рівень (SIR = 88,9; 95 % ДІ: 83,5–94,2) [3]. У протилежність цьому, показники в УЛНА 1986–1987 рр. участі (SIR = 144,7; 95 % ДІ: 134,6–154,8) і в евакуйованих із зони відчуження (SIR = 142,5; 95 % ДІ: 127,1–157,9) були вищими за національні показники.

Вивчення величини радіаційного ризику лейкемії, як складової частини онкогематологічних захворювань, в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС дає підстави для висновку, що він подібний до аналогічних даних щодо хібакуся – мешканців японських міст Хіросіми та Нагасакі, які зазнали атомних бомбардувань. Підставою для цього висновку стали результати вивчення радіаційних ризиків лейкемії в аналітичному дослідженні, виконаному за міжнародною угодою між Україною та США в галузі вивчення ефектів Чорнобильської аварії (1999 р.). Це дослідження стало найбільшим у світі у цій галузі за розмірами когорти УЛНА (110 645), колективної дози опромінення та кількістю випадків захворювань на досліджувану патологію. Вперше діагнози ідентифікованих випадків було верифіковано міжнародною групою експертів, а для реконструкції доз зовнішнього опромінення застосовано новий метод RADRUE, створений спільно вченими міжнародної дозиметричної групи. Розраховане значення надлишкового відносного ризику (ERR/Gy) за 15 років після опромінення склало 3,44/Gy (95 % ДІ: 0,47–9,78, $p < 0,01$) [4], а за 20 років 2,38/Gy (95 % ДІ: 0,49–5,87, $p = 0,004$) [5]. Залежність «доза–ефект» була подібною як для хронічної лімфоцитарної лейкемії (ХЛЛ) (ERR/Gy = 2,58; 95 % ДІ: 0,02–8,43, $p = 0,047$), так і для не-ХЛЛ групи лейкемії (ERR/Gy =

Incidence rates in residents of radiation contaminated areas did not exceed the national level (SIR = 88.9; 95 % CI: 83.5–94.2) [3]. In contrast, the rates in clean-up workers 1986–1987 participation (SIR = 144.7; 95 % CI: 134.6–154.8) and in evacuees from the exclusion zone (SIR = 142.5; 95 % CI: 127.1–157.9) were higher than national rates.

A study of the radiation risk of leukaemia as part of oncohematological diseases in clean-up workers suggests that it is similar to corresponding data on hibakushi, residents of the Japanese cities of Hiroshima and Nagasaki, which were subjected to atomic bombings. The reason for this conclusion was the results of the study of radiation risks of leukaemia in clean-up workers. It was conducted in a frame of an analytical study under an international agreement between Ukraine and the United States in the field of studying the effects of the Chernobyl accident (1999). The study was the largest in the world in this area in terms of the size of the clean-up workers cohort (110,645), the collective radiation dose and the number of cases of the studied pathology. For the first time, the diagnoses of identified cases were verified by an international group of experts. New RADRUE method, developed jointly by scientists from the international dosimetry group, was used to reconstruct external red bone marrow radiation doses. The calculated value of excess relative risk (ERR/Gy) for 15 years after exposure was 3.44/Gy (95 % CI: 0.47–9.78, $p < 0.01$) [4], and for 20 years – 2.38/Gy 95 % CI: 0.49–5.87, $p = 0.004$) [5]. The dose-response relationship was similar for both chronic lymphocytic leukaemia (CLL)

2,21; 95 % ДІ: 0,05–7,61, $p = 0,039$). Визначення радіаційних ризиків хронічної лімфоцитарної лейкемії стало світовим пріоритетом. Встановлено, що приблизно 16 % всіх випадків лейкемії у ліквідаторів, зареєстрованих впродовж 20 років після катастрофи, були зумовлені опроміненням внаслідок Чорнобильської аварії. Не було встановлено значущого впливу на радіаційні ризики виникнення лейкемії в УЛНА таких модифікуючих факторів нерадіаційної природи як експозиція до пестицидів, органічних розчинників, роботи на небезпечному виробництві в цілому [6]. Винятком став професійний контакт із бензином або його похідними, для яких було визначено суттєвий вплив на ризик виникнення лейкемії, переважно мієлоїдного типу.

В українських дослідженнях отримано нові свідчення зв'язку між опроміненням і виникненням множинної мієломи. У когорті з 152 520 учасників ліквідації аварії на ЧАЕС протягом 1986–2013 рр. було ідентифіковано 75 випадків цього захворювання. Через 20 років після опромінення встановлено статистично значущий ексцес у порівнянні з загальнонаціональним рівнем (SIR 1,86; 95 % ДІ: 1,27–2,44) [7].

Велику увагу привертають результати досліджень частоти лейкемії у дітей після аварії на ЧАЕС. Дослідження на окремих, територіально розрізаних контингентах через їхню недостатню потужність не вказували на ексцес лейкемії в цій віковій групі постраждалих. Об'єднання досліджуваних груп дозволило ідентифікувати 1 085 випадків окремих форм лейкемії серед дитячого населення (1–19 років) Житомирської, Київської, Чернігівської, Сумської областей, що забезпечило достатню потужність дослідження. Дослідження охоплює доаварійний (1980–1986 рр.) та післяаварійний (1987–2000 рр.) періоди. У післяаварійний період на більш забруднених радіонуклідами територіях, порівняно з менш забрудненими, виявлено статистично значущий підвищений відносний ризик розвитку всіх нозологічних форм лейкемії в цілому, а також лейкемії без визначеної зрілості клітин, мієлоїдної та гострої лейкемії. Отримані результати свідчать про те, що радіаційне опромінення після Чорнобильської катастрофи може бути причиною збільшення частоти дитячої лейкемії (в цілому та окремих її видів) [8].

Визнаним стохастичним ефектом опромінення внаслідок аварії на ЧАЕС став підвищений ризик розвитку раку щитоподібної залози. Значне підвищення частоти цієї патології було констатовано у опромінених в дитячому віці через 4–5 років після аварії і пов'язано з експозицією до радіоактивного

(ERR/Gy = 2.58; 95 % CI: 0.02–8.43, $p = 0.047$) and non-CLL leukaemia (ERR/Gy = 2.21; 95 % CI: 0.05–7.61, $p = 0.039$). Determining the radiation risks of chronic lymphocytic leukaemia has become a global priority. It is estimated that approximately 16 % of all cases of leukaemia in liquidators registered within 20 years after the disaster were due to exposure from the Chernobyl accident. No significant impact was identified on the radiation risks of leukaemia in clean-up workers of such modifying factors of non-radiation nature as exposure to pesticides, organic solvents, work in hazardous industries in general [6]. The exception was occupational contact with gasoline or its derivative products, for which a significant impact on the risk of leukaemia, mainly of myeloid type, was determined.

Ukrainian studies have shown new evidence of an association between radiation exposure and multiple myeloma. In a cohort of 152,520 clean-up workers during 1986–2013, 75 cases of this disease were identified. 20 years after irradiation, a statistically significant excess was found in comparison with the national level (SIR 1.86; 95 % CI: 1.27–2.44) [7].

The results of studies of the incidence of leukaemia in children after the Chernobyl accident are of great attention. Studies on separate, territorially disparate contingents due to their insufficient capacity did not indicate the significant excess of leukaemia risk in this age group of victims. The association of the studied groups allowed to identify 1,085 cases of certain forms of leukaemia among children (1–19 years) of Zhytomyr, Kyiv, Chernihiv, Sumy regions, which provided sufficient research capacity. The study covers the pre-accident (1980–1986) and post-accident (1987–2000) periods. In the post-accident period, in areas that were more contaminated with radionuclides, compared to less contaminated, there was a statistically significant increased relative risk of all specific forms of leukaemia in general, as well as leukaemia without cell maturity, myeloid and acute leukaemia in general. The results suggest that radiation exposure after the Chernobyl disaster may cause an increase in the incidence of childhood leukaemia (in general and some specific forms) [8].

An increased risk of thyroid cancer is the recognized stochastic effect of radiation as a result of the Chernobyl accident. A significant increase in the incidence of this pathology was observed in exposed children 4–5 years after the accident and was associated with exposure to radioactive iodine.

йоду. Про перші після аварії на ЧАЕС випадки цієї патології у дітей, які проживали на найбільш радіоактивно забруднених територіях України, вказується у статті співробітників ННЦРМ [9], опублікованій у широко відомому науковому медичному журналі *Lancet*. Згодом випадки раку щитоподібної залози у дитячого населення після Чорнобильської аварії були також зареєстровані в Білорусі.

Спільні дослідження Інституту ендокринології та обміну речовин НАМН України та Національного інституту раку США були спрямовані на оцінку ймовірного причинного зв'язку між поглиненою дозою опромінення щитоподібної залози і збільшенням захворюваності на рак цього органу у опромінених в дитячому та підлітковому віці. Започатковано довгостроковий скринінговий моніторинг когорти з 13 243 осіб, вік яких на момент аварії не перевищував 19 років. Після першого етапу дослідження впродовж 1998–2000 рр. розрахований показник ERR/Gy, який базується на матеріалах поширеності цієї патології (prevalence), становив 5,25 (95 % ДІ: 1,70–27,5), [10]. Показники наступних етапів (2–5) розраховано на матеріалах власно захворюваності (incidence). Тому вони суттєво відрізняються від результатів першого дослідження. Так після другого етапу дослідження впродовж 2001–2008 рр. цей показник (ERR/Gy) становив 1,91 (95 % ДІ: 0,43–6,34) [11]. Останній п'ятий етап скринінгу (2012–2015 рр.) дозволив визначити показник співвідношення надлишкового шансу – EOR/Gy = 1,36 (95 % ДІ: 0,39–4,15) [12]. Наведені результати дали підставу для висновку про існування ексцесу раку щитоподібної залози впродовж трьох десятиліть після Чорнобильської експозиції до радіоїоду. Встановлено лінійну залежність між дозою експозиції до ^{131}I та ризиком цієї патології.

Радіаційні ризики раку щитоподібної залози у дорослих є предметом поглибленого дослідження. Частота цієї патології в групах постраждалих (мешканців радіаційно забруднених територій, ліквідаторів, евакуйованих із зони відчуження) вища за середні показники в Україні (табл. 3).

Відмічено зростання захворюваності на цю патологію, яка в учасників ліквідації аварії на ЧАЕС була у 4,5 раза, в евакуйованих – у 3,8 раза, мешканців радіоактивно забруднених територій – в 1,3 раза вище за очікуваний рівень.

Взаємозв'язок рівня опромінення щитоподібної залози та показників захворюваності на цю патологію ілюструє рисунок 1 [3]. На ньому проілюстровано рівень та динаміку показників захворюваності на рак щитоподібної залози (РЩЗ) населення 6 північних

The first cases of this pathology in children living in the most radioactively contaminated territories of Ukraine after the Chernobyl accident are indicated in an article by NRCRM staff [9] published in the well-known scientific medical journal *Lancet*. Subsequent cases of thyroid cancer in children after the Chernobyl accident were also reported in Belarus.

A joint studies by the Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine and the US National Cancer Institute focused on the likely causal relationship between the absorbed dose of thyroid exposure and thyroid cancer incidence in children and adolescents. Long-term screening monitoring of a cohort of 13,243 people under the age of 19 at the time of the accident has been launched. After the first stage of the study during 1998–2000, the calculated ERR/Gy index, which is based on the prevalence of this pathology, was 5.25 (95 % CI: 1.70–27.5), [10]. Indicators of the following stages (2–5) are calculated on the basis of the actual incidence. Therefore, they differ significantly from the results of the first stage. Thus, after the second phase of the study (2001–2008) the indicator ERR/Gy was 1.91; 95 % CI: 0.43–6.34 [11]. The last fifth stage of screening (2012–2015) allowed to determine the excess odds ratio – EOR/Gy = 1.36 (95 % CI: 0.39–4.15) [12]. These results allow to conclude that there is an excess of thyroid cancer within three decades after the Chernobyl exposure to radioiodine. A linear relationship between the dose of exposure to ^{131}I and the risk of this pathology has been established.

Radiation risks of thyroid cancer in adults are the subject of profound research. The frequency of this pathology in the groups of victims (residents of radiation-contaminated areas, clean-up workers and evacuees from the exclusion zone) is higher than the average in Ukraine (Table 3).

There was observed an increase in the incidence of this pathology, which was 4.5 times higher for clean-up workers, 3.8 times higher for evacuees, and 1.3 times higher for residents of radioactively contaminated areas comparing with the National indices.

The relationship between the level of thyroid exposure and the thyroid cancer incidence is shown in Fig.1 [3]. It illustrates the level and dynamics of the thyroid cancer incidence in the population of 6 northern regions whose ave-

Таблиця 3

Захворюваність на рак щитоподібної залози груп населення України, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС (стандартизовані співвідношення захворюваності – SIR, %)

Table 3

Thyroid cancer incidence (ICD10 C73) in the groups of population of Ukraine affected by the Chernobyl accident (standardised incidence rates – SIR, %)

Категорія постраждалих та період спостереження Groups of affected population, follow-up years	Фактична кількість випадків Actual No of cases	Очікувана кількість випадків Expected No of cases	SIR, %	95 % довірчий інтервал 95 % confidence interval
Мешканці забруднених радіонуклідами територій (1990–2019 рр.) Residents of contaminated areas (1990–2019)	517	393,1	131,5	120,2–142,9
УЛНА 1986–1987 рр. (1994–2019 рр.) Clean-up workers 1986–1987 (1994–2019)	438	98,3	445,6	403,8–487,3
Евакуйовані із зони відчуження (1990–2019 рр.) Evacuees (1990–2019)	366	97,1	376,9	338,3–415,5

областей з середньообласними, за рахунок опадів радіоактивного йоду, дозами опромінення, вищими за 35 мГр (Житомирська, Київська, Рівненська, Черкаська, Чернігівська області та м. Київ) та решти населення областей України з дозами на щитоподібну залозу, нижчими за 35 мГр. У 1989–2019 рр. в регіоні з більш значними випадіннями радіоактивного йоду показники захворюваності на РЩЗ зростали більш високими темпами впродовж усього періоду спостереження.

rage regional thyroid dose of exposure is above 35 mGy (Zhytomyr, Kyiv, Rivne, Cherkasy, Chernihiv regions and Kyiv) and the rest of the population of Ukraine with doses to the thyroid gland below 35 mGy. In 1989–2019, in a region with more significant fallouts of radioactive iodine, thyroid cancer incidence increased at a higher rate throughout the observation period.

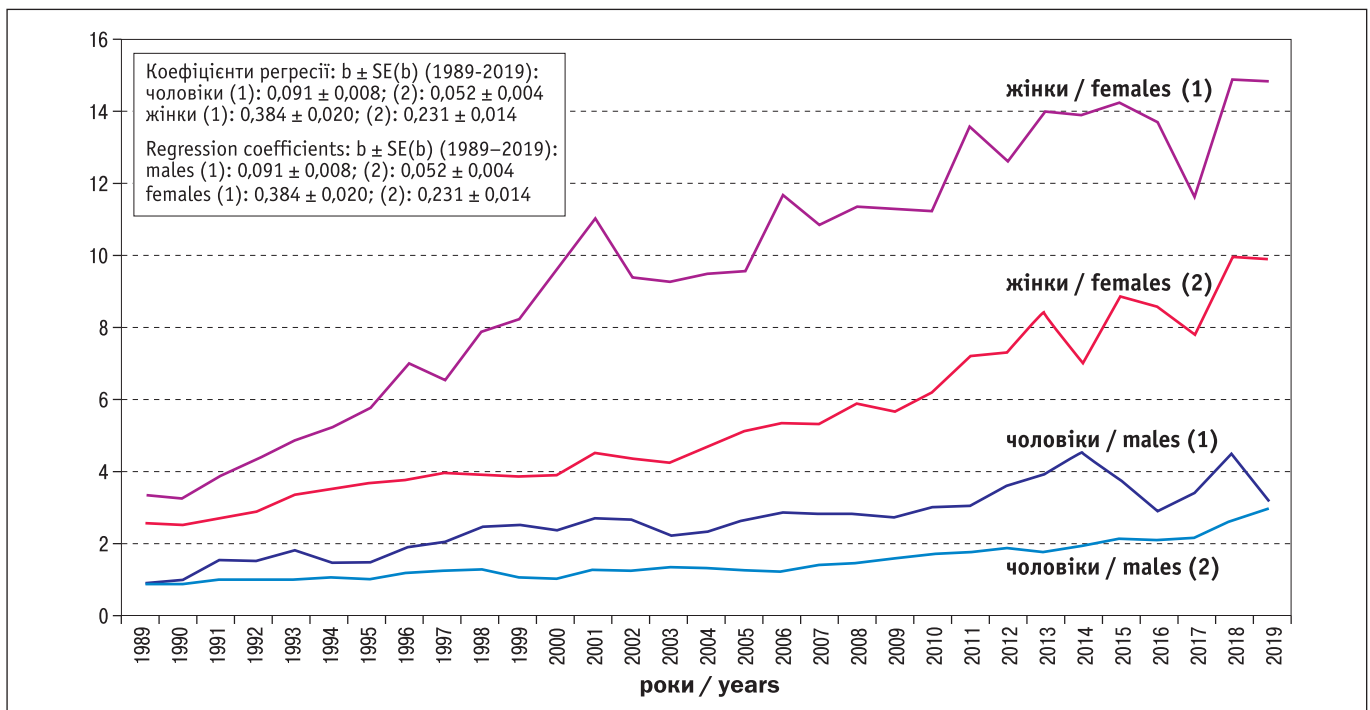


Рисунок 1. Захворюваність на рак щитоподібної залози чоловічого на жіночого населення України у 1989–2019 рр. на територіях із середньообласними поглиненими тиреоїдними дозами > 35 мГр (1) та < 35 мГр (2) (стандартизовані показники на 100 000 населення відповідної статі)

Figure 1. Thyroid cancer incidence in male and female population of Ukraine in 1989–2019 in areas with average regional absorbed thyroid doses > 35 mGy (1) and <35 mGy (2) (standardised rates per 100,000 population of the same sex)

Величина щорічного приросту показників в обох гендерних групах на територіях із середньообласними дозами > 35 мГр перевищувала аналогічні показники в областях із дозами < 35 мГр більш ніж у 1,5 раза.

ННЦРМ спільно з Національним інститутом раку США було проведено дослідження частоти раку щитоподібної залози в когорті 150 813 учасників ліквідації наслідків аварії, опромінених у віці, старшому за 18 років. Встановлено підвищений рівень захворюваності на цю патологію у ліквідаторів впродовж 1986–2010 рр. – SIR 3,50 (95 % ДІ: 3,04–4,03) [13]. Продовження спостереження за цією когортою до 2012 р. показало подібні показники захворюваності: SIR – 3,35 % (95 % ДІ: 2,51–3,80) [14]. Щоб уточнити оцінки ризику РЩЗ проведено гніздове аналітичне дослідження зразка випадок–контроль (149 випадків, 458 контролів) у згаданій вище когорті ліквідаторів з України. Індивідуальні дози на щитоподібну залозу були розраховані для всіх досліджуваних осіб (загальна доза в середньому складала 199 мГр; діапазон від 0,15 мГр до 9 Гр). Висновки дослідження вказують на збільшення (хоча й несуттєве) величини коефіцієнта ризику РЩЗ, який склав $ERR/Gy = 0,40$ (95 % ДІ: -0,05–1,48, $p = 0,12$). При цьому значення ризику залежить від морфологічного типу пухлини та часу її виникнення таким чином, що менший час після опромінення і фолікулярна форма РЩЗ пов'язані з вищим значенням ERR/Gy [15].

Серед інших форм злоякісних новоутворень особливу увагу привертає рак жіночої молочної залози, який серед радіаційно зумовлених форм онкологічної патології займає одне з чільних місць. Жіноча молочна залоза вважається одним із найбільш радіочутливих органів людського організму. Порівняльна оцінка показників захворюваності на рак молочної залози в основних групах постраждалих (табл. 4) вказує на достовірне перевищення національного рівня тільки у жінок-учасниць ЛНА 1986–1987 рр.

В 1994–2019 рр. величина SIR склала 156,3 % (95 % ДІ: 141,0–171,5 %), тобто має місце перевищення захворюваності на рак молочної залози національних показників у 1,5–1,6 раза.

У мешканок найбільш забруднених радіонуклідами територій (SIR 65,7 %; 95 % ДІ: 62,6–68,9) та евакуйованих із зони відчуження (SIR 84,4 %; 95 % ДІ: 76,7–92,3) показники були істотно нижчими порівняно з національними.

Слід зазначити, що в останні роки (2011–2019) у мешканок найбільш забруднених радіонуклідами територій захворюваність на рак молочної залози характеризувалась високими темпами зростання [3]. Це

The value of the annual increment of incidence rates in both gender groups in the territories with average regional doses > 35 mGy exceeded the similar indicators in the regions with doses < 35 mGy more than 1.5 times.

The NRCRM, in cooperation with the US National Cancer Institute, conducted a study of the thyroid cancer incidence in a cohort of 150,813 emergency clean-up workers over the age of 18. An increased incidence of this pathology in liquidators during 1986–2010 was established – SIR 3.50 (95 % CI: 3.04–4.03) [13]. Continuation of monitoring of this cohort until 2012 showed similar incidence rates: SIR – 3.35 % (95 % CI: 2.51–3.80) [14]. To clarify the risk assessments of the thyroid cancer, a nested analytical case-control study (149 cases, 458 controls) was conducted in the above-mentioned cohort of liquidators in Ukraine. Individual doses for the thyroid gland were calculated for all subjects (total dose averaged 199 mGy; range 0.15 mGy to 9 Gy). The findings of the study indicate an increase (albeit insignificant) of thyroid cancer risk coefficient, which was $ERR/Gy = 0.40$ (95 % CI: -0.05–1.48, $p = 0.12$). The risk value depends on the morphological type of the tumour and the time of its occurrence, so that the shorter time after irradiation and the follicular form of the thyroid gland are associated with a higher value of ERR/Gy [15].

Among other forms of malignant neoplasms, special attention is drawn to breast cancer, which is one of the leading radiation-induced forms of cancer. The female breast is considered to be one of the most radiosensitive organs of the human body. A comparative assessment of the breast cancer incidence in the main groups of victims (Table 4) indicates a significant excess above the national level only in women participants in the recovery operation works of 1986–1987.

In 1994–2019, the SIR value was 156.3 % (95 % CI: 141.0–171.5 %), i. e. breast cancer incidence exceeded the national level by 1.5–1.6 times.

The incidence in residents of the areas most contaminated with radionuclides (SIR 65.7 %, 95 % CI: 62.6–68.9) and evacuees (SIR 84.4 %, 95 % CI: 76.7–92.3) was significantly lower than national ones.

It should be noted that in recent years (2011–2019) breast cancer incidence rate in residents of the most contaminated areas has been characterized by intensive growth [3]. This led to the fact that the indicators of these areas became equal to the inci-

Таблиця 4

Захворюваність на рак молочної залози (МКХ-10 C50) груп жіночого населення України, що постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС (стандартизовані співвідношення захворюваності – SIR, %)

Table 4

Breast cancer incidence (ICD10 C50) in the groups of female population of Ukraine affected by the Chernobyl accident (standardised incidence rates – SIR, %)

Категорія постраждалих та період спостереження Groups of affected population, follow-up years	Фактична кількість випадків Actual No of cases	Очікувана кількість випадків Expected No of cases	SIR, %	95 % довірчий інтервал 95 % confidence interval
Мешканці забруднених радіонуклідами територій (1990–2019 рр.) Residents of contaminated areas (1990–2019)	1 650	2 510,1	65,7	62,6–68,9
УЛНА 1986–1987 рр. (1994–2019 рр.) Clean-up workers 1986–1987 (1994–2019)	403	257,9	156,3	141,0–171,5
Евакуйовані із зони відчуження (1990–2019 рр.) Evacuees (1990–2019)	462	547,4	84,4	76,7–92,3

призвело до того, що показники цих територій зрівнялись із показниками захворюваності на цю патологію у Житомирській області. У період 2011–2019 рр. середній для всіх радіаційно забруднених територій показник захворюваності на рак жіночої молочної залози $(40,2 \pm 1,7) \times 10^{-5}$ статистично не відрізнявся від національного показника $(43,3 \pm 0,1) \times 10^{-5}$. Слід прийняти до уваги, що до аварії на ЧАЕС рівень захворюваності на цю патологію на досліджуваних територіях був одним з найнижчих в Україні.

ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

Епідеміологічному вивченню онкологічних наслідків аварії на Чорнобильській АЕС сприяла розробка та запровадження в Україні національних і міжнародних наукових програм з цієї проблеми. У зв'язку з обмеженим фінансуванням дослідження у рамках національних програм носило переважно описовий, дескриптивний характер, тоді як деякі міжнародні програми були аналітичними дослідженнями і надали змогу оцінити ризики розвитку злоякісних новоутворень з урахуванням отриманих доз опромінення. Дослідження проводилися в основних групах населення, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії (мешканців забруднених радіонуклідами територій України, учасників ЛНА 1986–1987 рр., евакуйованих із зони відчуження), та надали змогу виявити рівень і особливості трендових моделей частоти злоякісних новоутворень. Вже через чотири роки після цієї трагічної події виявлено перші, зумовлені радіаційним опроміненням, випадки РЩЗ у дітей-мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій. Впродовж попередніх десяти років згадана патологія у дітей не спостерігалась.

Виконання міжнародних програм АЙФЕКА (ЕСР-7), досліджень у рамках Франко-Німецької Чорнобильсь-

денте of this pathology in the Zhytomyr region. In 2011–2019, the average incidence of female breast cancer $(40.2 \pm 1.7) \times 10^{-5}$ for all radiation-contaminated areas did not differ significantly from the national indicator $(43.3 \pm 0.1) \times 10^{-5}$. It should be taken into account that before the Chernobyl accident the breast cancer incidence was one of the lowest in Ukraine in the study areas.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The development and implementation of national and international scientific programs on health effects of exposure to radiation in Ukraine promoted the epidemiological studies of the oncological consequences of the Chernobyl accident. Due to the limited funding, research under national programs was mostly descriptive, while some international projects were of the analytical mode and provided an opportunity to assess the dose dependent risks of malignancies developing. The research was conducted in the main groups affected by the Chernobyl accident (residents of contaminated with radionuclides areas of Ukraine, clean-up workers 1986–1987, and evacuees from the exclusion zone) and provided an opportunity to identify the level and features of trend models of malignant tumours. Four years after this tragic event, the first cases of thyroid cancer caused by radiation were found in children living in the areas most contaminated with radionuclides. At the same time this pathology was not observed in children at all during previous ten years.

Implementation of international programs IPHECA (ECR-7), research within the French-

кої ініціативи, INCO-COPERNICUS та інших здійснювалось на основі довгострокового моніторингу злоякісних новоутворень в групах постраждалих, який забезпечили Державний реєстр України і Національний канцер-реєстр України. Встановлено, що показники захворюваності на всі форми раку перевищують національний рівень лише в групі учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр.

Рівень захворюваності на злоякісні новоутворення лімфоїдної, кровотворної та споріднених тканин у мешканців радіоактивно забруднених територій не перевищував національний рівень. У протилежність цьому, в УЛНА 1986–1987 рр. участі та евакуйованих із зони відчуження відмічено перевищення національного рівня.

Велику увагу привертають результати спільного аналітичного дослідження радіаційних ризиків лейкемії у ліквідаторів Чорнобильської аварії, яке проведено ННЦРМ та Національним інститутом раку США. Розраховане значення показників надлишкового відносного ризику (ERR) за 15 років після опромінення становило 3,44/Gy (95 % ДІ: 0,47–9,78; $p < 0,01$), за 20 років – ERR/Gy = 2,38 (95 % ДІ: 0,49–5,87, $p = 0,004$). Визначення радіозалежності хронічної лімфоцитарної лейкемії стало світовим пріоритетом. Встановлено, що приблизно 16 % всіх випадків лейкемії, зареєстрованих у ліквідаторів впродовж 20 років після катастрофи, були зумовлені опроміненням внаслідок Чорнобильської аварії. Результати досліджень лейкемії у дітей чотирьох областей України з порівнянням показників доаварійного та післяаварійного періодів свідчать про те, що радіаційне опромінення після Чорнобильської катастрофи може бути причиною збільшення частоти дитячої лейкемії в цілому (і окремих її типів).

Встановлено підвищений рівень захворюваності на рак щитоподібної залози мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій, учасників ЛНА 1986–1987 рр. та евакуйованих із зони відчуження. Показано, що підвищений ризик цього захворювання існує не лише у дітей та підлітків, але і в осіб, опромінених у дорослому віці.

Серед інших форм злоякісних новоутворень значну увагу було приділено вивченню захворюваності на рак молочної залози. У мешканок забруднених радіонуклідами територій та евакуйованих із зони відчуження спостерігалось зростання частоти цієї патології, хоча вона не перевищила національні показники. Разом з тим, у жінок, які брали участь у ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС у 1986–1987 рр., показники були істотно вищими за національний

German Chernobyl Initiative, INCO-COPERNICUS and others was carried out on the basis of long-term monitoring of malignant neoplasms in groups of victims provided by the State Registry of Ukraine of persons suffered following the Chernobyl catastrophe, and National Cancer Registry of Ukraine. It is established that the incidence rates of cancer in total exceed the national level only in clean-up workers participated in recovery operation works in 1986–1987.

Leukaemia and lymphoma incidence in residents of areas contaminated with radionuclides did not exceed the national level. In contrast, in clean-up workers of 1986–1987 participation and evacuees from the exclusion zone it exceeded the national level.

The results of a joint analytical study of the radiation risks of leukaemia in the liquidators of the Chernobyl accident, conducted by the NRCRM and the US National Cancer Institute, are of great attention. The calculated value of the excess relative risk (ERR) for 15 years after irradiation was 3.44/Gy (95 % CI: 0.47-9.78, $p < 0.01$), for 20 years – ERR/Gy = 2.38 (95 % CI: 0.49-5.87, $p = 0.004$). Determining the radio dependence of chronic lymphocytic leukaemia has become a global priority. It has been found that approximately 16 % of all leukaemia cases registered in clean-up workers within 20 years after the disaster were due to radiation from the Chernobyl accident. The results of leukaemia studies in children from four regions of Ukraine with a comparison of pre-accident and post-accident periods indicate that radiation exposure after the Chernobyl disaster may be the cause of increased incidence of childhood leukaemia in general and its specific types.

An increased thyroid cancer incidence rate was found in residents of the areas most contaminated with radionuclides, clean-up workers 1986–1987 and evacuees from the exclusion zone. It has been shown that an increased risk of this disease exists not only in children and adolescents, but also in people exposed in adulthood.

Among other forms of malignant neoplasms, considerable attention has been paid to the study of a breast cancer. Residents of the areas contaminated with radionuclides and evacuees from the exclusion zone showed an increase in the incidence of this pathology, although it did not exceed national indicators. At the same time, the number of cases in women who took part in the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident in

рівень. Отримані результати дають підстави вважати доцільним продовження досліджень з оцінкою ролі радіаційного чинника.

Оскільки латентний період різних радіаційно зумовлених пухлин значно відрізняється, в перспективі необхідно приділяти особливу увагу не тільки захворюванням на рак щитоподібної та молочної залози, лейкемії, але і злоякісним пухлинам легень, шлунку, кишківника, яєчників, сечового міхура, нирок, множинній мієломі.

1986–1987 was significantly higher than expected based on the national level. The obtained results give grounds to continue research with an assessment of the role of the radiation factor.

As the latent period of various radiation-related tumours differs significantly, in the future it is necessary to pay special attention not only to thyroid and breast cancers, leukaemia, but also to malignant tumours of the lungs, stomach, intestines, ovaries, bladder, kidneys, multiple myeloma.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базика Д. А., Присяжнюк А. Є. Онкологічні ефекти Чорнобильської катастрофи у віддаленому 35-річному після аварійному періоді. Журнал Національної академії медичних наук України. 2021. Т. 27, № 2. С. 133-139. doi: 10.37621/JNAMSU-2021-2-7
2. Тридцять п'ять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки, стратегії захисту та відродження : Національна доповідь України. Київ, 2021. 283 с.
3. Епідеміологічне дослідження формування ризиків злоякісних новоутворень у групах постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС (1990-2019 рр.) / А. Є. Присяжнюк, Н. А. Гудзенко, М. М. Фузік, Н. К. Троцюк, Н. Г. Бабкіна, О. М. Хухрянська. Звіт про науково-дослідну роботу. № держреєстрації 0119U100525, 2019-2021 рр. Рукопис. 148 с.
4. The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks / A. Y. Romanenko, S. C. Finch, M. Hatch et al. *Radiat. Res.* 2008. Vol. 170. P. 711–720. doi: 10.1667/RR1404.1.
5. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among Chernobyl cleanup workers / L. Zablotska, D. Bazyka, J. H. Lubin et al. *Environ. Health Persp.* 2013. Vol. 121, no 1. P. 59–65. doi: 10.1289/ehp.1204996.
6. Non-radiation risk factors for leukemia: A case-control study among Chernobyl cleanup workers in Ukraine / N. Gudzenko, M. Hatch, D. Bazyka et al. *Environ. Res.* 2015. Vol. 140. P. 72–76. doi: 10.1016/j.envres.2015.06.019.
7. Incidence of multiple myeloma among cleanup workers of the Chernobyl accident and their survival / D. Bazyka, N. Gudzenko, I. Dyagil et al. *Exp. Oncol.* 2016. 38, no 4. P. 267–271.
8. Childhood leukemia in Ukraine after the Chernobyl accident / TF Liubarets, Y Shibata, VA Saenko et al. *Radiat. Environ. Biophys.* 2019. Vol. 58, no. 4. P. 553–562. doi: 10.1007/s00411-019-00810-4.
9. Cancer in the Ukraine post Chernobyl / A. Prisyazhnyuk, O. Pyatak, V. Buzunov et al. *Lancet.* 1991. Vol. 338. P. 23. doi: 10.1016/0140-6736(91)92632-c.
10. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening / M. D. Tronko, G. R. Howe, T. I. Bogdanova et al. *J. Natl. Cancer. Inst.* 2006. Vol. 98, no. 13. P. 897–903. doi: 10.1093/jnci/djj244.

REFERENCES

1. Bazyka DA, Prisyazhnyuk AY. [Oncological effects of the Chernobyl disaster in the late 35-years post-accident period]. *The Journal of National Academy of Medical Sciences of Ukraine.* 2021;27(2):133-139. <https://doi.org/10.37621/JNAMSU-2021-2-7>. Ukrainian.
2. [Thirty five years after the Chernobyl disaster: radiological and health consequences, strategies of protection and revival]: National Report of Ukraine. Kyiv; 2021. 283 p. ISBN 978-966-7656-10-2. Ukrainian.
3. Prisyazhnyuk AY, Gudzenko NA, Fuzik MM, Trotsyuk NK, Babkina NG, Khukhrianska OM. [Epidemiological study of forming risks of malignant neoplasms in affected groups due to the Chernobyl accident (1990-2019)]. Research report. State registration No 0119U100525, 2019-2021. [Manuscript]. 148 p. Ukrainian.
4. Romanenko AY, Finch SC, Hatch M, Lubin JH, Bebesko VG, Bazyka DA, et al. The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. *Radiat Res.* 2008;170:711-720. doi: 10.1667/RR1404.1.
5. Zablotska LB, Bazyka D, Lubin JH, Gudzenko N, Little MP, Hatch M, et al. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among Chernobyl cleanup workers. *Environ Health Perspect.* 2013;121(1):59-65. doi: 10.1289/ehp.1204996.
6. Gudzenko N, Hatch M, Bazyka D, Dyagil I, Reiss RF, Brenner A, et al. Non-radiation risk factors for leukemia: A case-control study among Chernobyl cleanup workers in Ukraine. *Environ Res.* 2015;142:72-76. doi: 10.1016/j.envres.2015.06.019.
7. Bazyka D, Gudzenko N, Dyagil I, Trotsiuk N, Gorokh E, Fedorenko Z, et al. Incidence of multiple myeloma among cleanup workers of the Chernobyl accident and their survival. *Exp Oncol.* 2016 Dec;38(4): 267-271.
8. Liubarets TF, Shibata Y, Saenko VA, Bebesko VG, Prisyazhnyuk AE, Bruslova KM, et al. Childhood leukemia in Ukraine after the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys.* 2019;58(4):553-562. doi: 10.1007/s00411-019-00810-4.
9. Prisyazhiuk A, Pjatak OA, Buzanov VA, Reeves GK, Beral V. Cancer in the Ukraine, post-Chernobyl. *Lancet.* 1991;338(8778):1334-1335. doi: 10.1016/0140-6736(91)92632-c.
10. Tronko MD, Howe GR, Bogdanova TI, Bouville AC, Epstein OV, Brill AB, Likhtarev IA, et al. A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during firsts creening. *J Natl Cancer Inst.* 2006;98(13): 897-903. doi: 10.1093/jnci/djj244.

11. I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chernobyl accident / A. V. Brenner, M. D. Tronko, M. Hatch et al. *Environ. Health. Perspect.* 2011. Vol. 119, no. 7. P. 933–939. doi: 10.1289/ehp.1002674I-131.
12. Thyroid neoplasia risk is increased nearly 30 years after the Chernobyl accident / M. Tronko, A. V. Brenner, T. Bogdanova et al. *Int. J. Cancer.* 2017; Vol. 141, no. 8. P. 1585–1588. doi: 10.1002/ijc.30857.
13. Thyroid cancer incidence in Chernobyl liquidators in Ukraine: SIR analysis, 1986-2010 / E. Ostroumova, N. Gudzenko, A. Brenner et al. *Eur. J. Epidemiol.* 2014. Vol. 29, no. 5. P. 337–342.
14. Радіаційні ризики раку щитоподібної залози в учасників ліквідації аварії на ЧАЕС з урахуванням альтернативних оцінок доз зовнішнього опромінення / А. Є. Присяжнюк, Н. К. Троцюк, Н. А. Гудзенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2018. Вип. 23. С. 200–215. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-200-215.
15. Risk of thyroid cancer in Ukrainian cleanup workers following the Chernobyl accident / N. Gudzenko, K. Mabuchi, A. V. Brenner et al. *Eur. J. Epidemiol.* 2022. Vol. 37, no. 1. P. 67–77. doi: 10.1007/s10654-021-00822-9.
11. Brenner AV, Tronko MD, Hatch M, Bogdanova TI, Oliynyk VA, Lubin JH, et al. I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chernobyl accident. *Environ Health Perspect.* 2011;119(7):933-939. doi: 10.1289/ehp.1002674I-131.
12. Tronko M, Brenner AV, Bogdanova T, Shpak V, Oliynyk V, Cahoon EK, Drozdovitch V, Little MP et al. Thyroid neoplasia risk is increased nearly 30 years after the Chernobyl accident. *Int J Cancer.* 2017;141(8):1585-8. DOI: 10.1002/ijc.30857.
13. Ostroumova E, Gudzenko N, Brenner A, Gorokh Y, Hatch M, Prysyzhnyuk A, et al. Thyroid cancer incidence in Chernobyl liquidators in Ukraine: SIR analysis, 1986-2010. *Eur J Epidemiol.* 2014;29:337-342. doi: 10.1007/s10654-014-9896-1.
14. Prysyzhnyuk AYe, Trotsyuk NK, Gudzenko NA, Chumak W, BakhanovaOV, FuzikMM, et al. Radiation risks of thyroid cancer in Chernobyl clean-up workers using the alternative estimates of doses of external exposure. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2018;23:200-215. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-200-215.
15. Gudzenko N, Mabuchi K, Brenner AV, Little MP, Hatch M, Drozdovitch V, et al. Risk of thyroid cancer in Ukrainian cleanup workers following the Chernobyl accident. *Eur J Epidemiol.* 2022;37(1):67-77. doi: 10.1007/s10654-021-00822-9.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Бази́ка Димитрій Анатолі́ович – доктор медичних наук, професор, академік НАМН України, генеральний директор ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0001-9982-5990

Присяжнюк Анатолій Євтихійович – доктор медичних наук, професор, провідний науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Гудзенко Наталія Анатоліївна – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0003-2987-2382

Фузик Микола Миколайович – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-6494-0021

Троцюк Наталія Казимирівна – науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Бабкіна Наталія Георгіївна – науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Хухрянська Олена Миколаївна – молодший науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ, м. Київ

Даневич Світлана Анатоліївна – молодший науковий співробітник лабораторії епідеміології раку, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ, м. Київ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dymytriy A. Bazyka – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of NAMSU, Director in General of NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-9982-5990

Anatoly Ye. Prysyzhnyuk – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Laboratory of cancer epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Natalia A. Gudzenko – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-2987-2382

Mykola M. Fuzik – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-6494-0021

Nataliya K. Trotsyuk – researcher of Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Natalia G Babkina – researcher of Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Olena M. Khukhranska – Junior Researcher of Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Svetlana A. Danevich – Junior Researcher of Laboratory of Cancer Epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine