

УДК 314.42:616-021:504.054:616-001.28

П. А. Федірко¹✉, Т. Ф. Бабенко¹, О. А. Капустинська¹, Ю. М. Беляєв¹, С. О. Терещенко²,
Р. Ю. Дорічевська¹

¹Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна

²Державна установа «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру Міністерства охорони здоров'я України», просп. Берестейський, 119/121, м. Київ, 03115, Україна

РІВНІ І ВІДНОСНІ РИЗИКИ СМЕРТНОСТІ УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС 1986–1987 рр. ВІД ОСНОВНИХ НЕПУХЛИННИХ ХВОРОБ (ПЕРІОД СПОСТЕРЕЖЕННЯ 1988–2021 рр.)

Аварійне руйнування 4-го реактора Чорнобильської атомної електростанції спричинило проведення масштабних аварійних робіт, до яких було залучено великі контингенти працівників. Аналіз їхньої смертності є важливим і актуальним підґрунтям для планування заходів медичного захисту в умовах потенційної загрози виникнення надзвичайних та інших ситуацій опромінення.

Мета даної роботи полягає у визначенні рівнів і відносних ризиків смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. від основних непухлинних хвороб залежно від отриманої дози радіаційного опромінення з урахуванням віку та часу після аварії (період епідеміологічних досліджень 1988–2021 рр.).

Матеріали і методи. Когорта учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. загальною чисельністю 64 490 осіб чоловічої статі з відомими дозами γ -опромінення всього тіла була розподілена за віком на дату аварії на Чорнобильській атомній електростанції та на підгрупи залежно від отриманої дози опромінення. Епідеміологічний аналіз смертності від непухлинних хвороб проведено за весь післяаварійний період 1988–2021 рр. і в динаміці за п'ятирічними періодами моніторингу.

Результати. Найвищі показники смертності УЛНА незалежно від віку на дату Чорнобильської катастрофи були від хвороб системи кровообігу, органів травлення і органів дихання. Для УЛНА віком 18–39 років на дату аварії відносні ризики смертності від непухлинних хвороб за весь період спостереження були достовірно вищими у всіх дозових підгрупах (від 0,05 Гр до 0,7 Гр) відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр. У період 1993–1997 рр. (через 6–10 років після аварії на ЧАЕС) виявлено достовірно вищі відносні ризики смертності від хвороб системи кровообігу (легеневе серце і порушення легеневого кровообігу, кардіоміопатія, інфаркт міокарду); через 26–30 років – від цереброваскулярних хвороб. Зазначені достовірно вищі відносні ризики характерні для всіх дозових підгруп відносно підгрупи порівняння.

Висновки. Загальна смертність УЛНА від непухлинних хвороб має тенденцію до зростання. Результати ризик-аналізу дозових залежностей смертності в когорті УЛНА засвідчили вищу чутливість до дії іонізуючого випромінювання осіб молодшої вікової групи (18–39 років на дату аварії). Встановлено найбільш небезпечний період відносного дозозалежного ризику смерті УЛНА через непухлинні хвороби: через 6–10 років після радіаційного впливу для всіх дозових підгруп (від 0,05 Гр до 0,7 Гр) відносно підгрупи з дозою опромінення < 0,05 Гр. Ключові слова: відносні ризики смертності; іонізуюче випромінювання; непухлинні хвороби; радіаційне опромінення; смертність; УЛНА на ЧАЕС; Чорнобильська АЕС.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2024. Вип. 29. С. 182–198. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-182-198

✉ Федірко Павло Андрійович, e-mail: eye-rad@ukr.net

P. A. Fedirko¹✉, T. F. Babenko¹, O. A. Kapustinska¹, Y. M. Belyaev¹, S. O. Tereshchenko²,
R. Y. Dorichevska¹

¹State Institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurii Illienka Str., Kyiv, 04050, Ukraine

²State Institution «Ukrainian Center of Information Technologies and National Register of the Ministry of Health of Ukraine», 119/121 Beresteyskyi Ave., Kyiv, 03115, Ukraine

LEVELS AND RELATIVE RISKS OF MORTALITY OF CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS IN 1986–1987 YEARS FROM MAIN NON-NEOPLASTIC DISEASES (OBSERVATION PERIOD 1988–2021)

The emergency destruction of the 4th reactor of the Chernobyl nuclear power plant necessitated large-scale emergency work, which involved large contingents of specialists. Analysis the mortality of Chernobyl clean-up workers is an important and relevant basis for planning medical protection measures in conditions of a potential threat of emergency and other radiation situations.

The **objective** of this work is to determine the levels and relative risks of mortality of Chernobyl clean-up workers in 1986–1987 years from major non-tumor diseases depending on the received dose of radiation exposure, taking into account age and time after the accident (period of epidemiological studies 1988–2021).

Materials and methods. The cohort of Chernobyl clean-up workers in 1986–1987 years with a known dose of external γ -irradiation of the whole body, totaling 64,490 male, was divided by age at the date of the accident at the Chernobyl nuclear power plant and dose of external γ -irradiation of the whole body. Epidemiological analysis of mortality from non-tumor diseases was conducted for the entire post-accident period and in dynamics over five-year monitoring periods.

Results. The highest mortality rate, regardless of age, on the date of the Chernobyl disaster, were from diseases of the circulatory system, of the digestive and respiratory systems. For Chernobyl clean-up workers 18–39 years on the date of the accident, relative risks of mortality from non-tumor diseases over the entire observation period were significantly higher in all dose subgroups (from 0.05 Gy to 0.7 Gy) compared to the dose subgroup < 0.05 Gy. In the period 1993–1997 (6–10 years after the Chernobyl accident), significantly higher relative risks of mortality from diseases of the circulatory system (pulmonary heart and pulmonary circulatory disorders, cardiomyopathy, myocardial infarction) were found; in 26–30 years – from cerebrovascular diseases, including cerebral infarction. The indicated reliable dose-dependent relative risks are characteristic of all dose subgroups relative to the subgroup with a dose < 0.05 Gy.

Conclusions. The overall mortality of Chernobyl clean-up workers from non-tumor diseases tends to increase. The results of the risk analysis of dose dependent mortality in the Chernobyl clean-up workers cohort showed a higher sensitivity to ionizing radiation of persons of the younger age group (18–39 years old at the date of the accident). The most dangerous period of relative dose-dependent risk of death of Chernobyl clean-up workers due to non-tumor diseases was established – 6–10 years after radiation exposure for all dose subgroups (from 0.05 Gy to 0.7 Gy) relative to the subgroup with a radiation dose < 0.05 Gy.

Key words: Chernobyl NPP; ionizing radiation; mortality; non-tumor diseases; radiation exposure; clean-up workers; relative risks.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2024;29:xxx-xxx. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-182-198

ВСТУП

До ліквідації наслідків катастрофи на ЧАЕС були залучені великі контингенти фахівців різного профілю, які зазнали суттєвого радіаційного впливу під час аварійних робіт [1, 2].

Дія іонізуючого випромінювання на організм людини має багатовекторне спрямування та викликає численні біологічні ефекти [3, 4]. Останнім

INTRODUCTION

Large contingents of various profiles specialists were involved in the liquidation of the consequences of the Chernobyl disaster (Chernobyl clean-up workers), were exposed to significant radiation dose during emergency operations [1, 2].

The effect of ionizing radiation on the human body has a multi-vector direction and causes numerous bio-

✉ Pavlo A. Fedirko, e-mail: eye-rad@ukr.net

часом з'являється все більше даних щодо підвищеного ризику виникнення непухлинних хвороб, особливо захворювань системи кровообігу, у відповідь на опромінення в низьких та помірних дозах радіації [4–6]. Наприклад, зміни діаметру і ходу кровоносних судин виявляли в умовах впливу навіть незначних доз іонізуючого випромінювання [7].

Спостерігається збільшення в молодих осіб частоти захворювань, що притаманні людям похилого віку. Це може бути проявом підтвердженого рядом досліджень ефекту пришвидшеного старіння опромінених осіб [8, 9]. Частина захворювань з наявним радіаційно обумовленим ризиком розвитку призводить до погіршення якості життя та працездатності постраждалих осіб [10, 11], а окремі захворювання, переважно системи кровообігу, в перспективі здатні значно скоротити тривалість життя людей, опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС [12–15].

Відомо, що в Україні в середньому 74–75 % смертей у віці 25–64 роки відбувається внаслідок хронічних непухлинних захворювань [16]. Аналіз причин, рівнів і ризиків смертності опромінених груп населення, в тому числі учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС, є важливим і актуальним підґрунтям для планування заходів медичного захисту в умовах потенційної ядерної загрози, для вдосконалення медичної допомоги та для забезпечення стабільної роботи ядерної енергетики [17, 18].

МЕТА

Мета даної роботи полягає у визначенні рівнів і відносних ризиків смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. від основних непухлинних хвороб залежно від отриманої дози радіаційного опромінення з урахуванням віку та часу після аварії (період епідеміологічних досліджень 1988–2021 рр.).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Джерелом вихідної інформації для епідеміологічного дослідження і аналізу були дані Державного реєстру України осіб, постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи, отримані від Державної установи «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру Міністерства охорони здоров'я України».

Критерії залучення до дослідження:

➤ учасник ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, період участі в аварійних роботах: 1986–1987 рр.;

logical effects [3, 4]. Recently, more and more data have appeared on the increased risk of non-tumor diseases, especially diseases of the circulatory system, in response to exposure to low and moderate doses of radiation [4–6]. For example, changes in the diameter and course of blood vessels have been detected under conditions of exposure to even small doses of ionizing radiation [7].

There is an increase in the frequency of diseases characteristic in young people, which may be a manifestation of the effect of accelerated aging of irradiated individuals, confirmed by a number of studies [8, 9]. Some diseases with a radiation-related risk of development lead to a deterioration in the quality of life and working capacity of the affected individuals [10, 11], and some diseases, mainly of the circulatory system, in the long term can significantly reduce the life expectancy of people irradiated as a result of the Chernobyl accident [12–15].

It is known that in Ukraine, on average, 74–75% of deaths at the age of 25–64 years occur as a result of chronic non-tumor diseases [16]. Analysis of the causes, levels and risks of mortality of irradiated population groups, including Chernobyl clean-up workers, is an important and relevant basis for planning medical protection measures in conditions of a potential nuclear threat; for improving medical care and for ensuring the stable operation of nuclear power [17, 18].

OBJECTIVE

The objective of this work is to determine the levels and relative risks of mortality of Chernobyl clean-up workers in 1986–1987 from major non-tumor diseases depending on the dose of radiation exposure, account age and time after the accident (period of epidemiological studies 1988–2021).

MATERIALS AND METHODS

The source of information for the epidemiological study and analysis was the data from the State Register of Ukraine of Persons Affected by the Chernobyl Disaster, obtained from the State Institution «Ukrainian Centre for Information Technology and the National Register of the Ministry of Health of Ukraine».

Eligibility criteria:

➤ participant in the Chernobyl clean-up works, the period of participation in emergency work: 1986–1987;

- > відома доза зовнішнього γ -опромінення всього тіла;
- > вік на момент аварії на ЧАЕС: від 18 до 60 років;
- > чоловіча стать.

Когорта УЛНА на ЧАЕС загальною чисельністю 64 490 осіб чоловічої статі була розподілена за віком на дату аварії на Чорнобильській атомній електростанції: 58 862 особи віком 18–39 років і 5 628 осіб віком 40–60 років. Діапазон доз зовнішнього γ -опромінення всього тіла, отриманого під час робіт з ліквідації наслідків аварії, складав від менше 0,05 Гр до 0,7 Гр.

Для вивчення залежності смертності від впливу радіації загальну і вікові когорти УЛНА розподілили на підгрупи залежно від отриманої дози зовнішнього γ -опромінення всього тіла – менше 0,05 Гр (< 0,05 Гр); від 0,05 Гр до 0,09 Гр (0,05–0,09 Гр); від 0,1 Гр до 0,199 Гр; (0,1–0,199 Гр); від 0,2 Гр до 0,249 Гр (0,2–0,249 Гр); від 0,25 Гр до 0,7 Гр; (0,25–0,7 Гр). Підгрупа з дозою опромінення < 0,05 Гр була визначена як підгрупа порівняння. Розподіл за дозовіковими групами наведено в табл. 1.

Епідеміологічний аналіз смертності постраждалих осіб від основних непухлинних захворювань проведено за весь післяаварійний період 1988–2021 рр. і в динаміці за п'ятирічними періодами моніторингу (1988–1992 рр., 1993–1997 рр., 1998–2002 рр., 2003–2007 рр., 2008–2012 рр., 2013–2017 рр., 2018–2021 рр.).

Медична база даних смертності УЛНА від основних непухлинних хвороб стратифікована на основі Міжнародної статистичної класифікації хвороб десятого перегляду (МКХ-10) за класом хвороб з урахуванням переліку трізначних рубрик і чотиризначних підрубрик.

Статистичний аналіз даних. Для епідеміологічного аналізу смертності здійснено розрахунок коефіцієнту смертності (mortality rate, MR на 10^3 люд.-років спостереження), його середню похибку (m); критерій Ст'юдента (t) у вікових субкогортах за часовими періодами спостереження з урахуванням

- > known dose of external radiation to the whole body;
- > age at the time of the Chernobyl accident: from 18 to 60 years;
- > gender: male.

The Chernobyl clean-up workers cohort of 64,490 men was divided by age at the date of the Chernobyl accident: 58,862 people aged 18–39 years and 5,628 people aged 40–60 years. The range of doses of external γ -radiation to the whole body received during the accident was from less than 0.05 Gy to 0.7 Gy.

To study the dependence of mortality on radiation exposure, the total and age cohorts of Chernobyl clean-up workers were divided into subgroups depending on the dose of external whole-body γ -radiation – less than 0.05 Gy (< 0.05 Gy); from 0.05 Gy to 0.09 Gy (0.05–0.09 Gy); from 0.1 Gy to 0.199 Gy (0.1–0.199 Gy); from 0.2 Gy to 0.249 Gy (0.2–0.249 Gy); from 0.25 Gy to 0.7 Gy (0.25–0.7 Gy). The subgroup with a dose < 0.05 Gy was defined as a comparison subgroup. The distribution by dose-age groups presented in Table 1.

Epidemiological analysis of the mortality of victims from major non-cancer diseases was conducted for the entire post-accident period 1988–2021 and in dynamics over five-year monitoring periods (1988–1992, 1993–1997, 1998–2002, 2003–2007, 2008–2012, 2013–2017, 2018–2021 years).

The medical database of mortality of Chernobyl clean-up workers from major non-cancer diseases is stratified based on the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Tenth Revision (ICD-10) by disease class, taking into account the list of three-digit headings and four-digit subheadings.

Statistical analysis. For the epidemiological analysis of mortality, the mortality rate (MR) per 10^3 person-years of observation, its standard error (m), and Student's test (t) were calculated in age subcohorts by time periods of observation, taking into account radiation doses [19]. The quantitative assessment of

Таблиця 1
Розподіл УЛНА за віком залежно від дози опромінення

Table 1
Distribution of Chernobyl clean-up workers by age depending on the radiation dose

Вік на дату аварії на ЧАЕС Age at the date of the Chernobyl accident	Число осіб із дозою опромінення, Гр / Number of people with radiation dose, Gy				
	< 0,05	0,05–0,09	0,1–0,199	0,2–0,249	0,25–0,7
18–39 років / years	6 136	17 342	14 561	14 525	6 298
40–60 років / years	903	1 645	1 370	1 075	635
18–60 років / years	7 039	18 987	15 931	15 600	6 933

доз радіаційного опромінення [19]. Кількісну оцінку ризиків смертності опромінених осіб проводили з використанням відносного ризику (RR) залежно від дози з визначенням довірчого інтервалу (CI) відносно підгрупи з дозою опромінення < 0,05 Гр.

Для побудови моделей смертності УЛНА на ЧАЕС використано регресійно-кореляційний аналіз для опису взаємозв'язку між ризиком несприятливого результату (змінною результату є смерть УЛНА) і пояснювальними змінними (час ризику, вік УЛНА, дозове навантаження). Регресійно-кореляційний аналіз здійснено в програмному середовищі EPICURE [20], яке було розроблено спеціально для вирішення епідеміологічних завдань. Аналіз смертності проведено за допомогою модуля AMFIT, який моделює функцію ризику для епідеміологічних даних за допомогою параметричної моделі надлишкового відносного ризику (ERR).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дескриптивний аналіз смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. від основних непухлинних хвороб

Аналіз смертності УЛНА на ЧАЕС від непухлинних хвороб показав, що в структурі смертності провідне місце займають хвороби системи кровообігу (74 %), хвороби органів травлення (13 %) та хвороби органів дихання (7 %). Мала частка в структурі смертності належить класам хвороб: хвороби нервової системи, ендокринні хвороби, розлади харчування та порушення обміну речовин, хвороби сечостатевої системи, хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини, хвороби крові та кровотворних органів, та окремі порушення із залученням імунного механізму.

В УЛНА віком 18–39 років на дату аварії середні показники смертності від хвороб системи кровообігу з кожним п'ятирічним періодом поступово плавно збільшувались у всіх дозових підгрупах (рис. 1). Максимальний середній показник смертності $16,08 \pm 0,19$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) встановлено в період 2018–2021 рр. в підгрупі з дозою опромінення 0,2–0,249 Гр.

Загалом, подібна тенденція з підвищенням показників смертності з часом простежується і в УЛНА віком 40–60 років на дату аварії з деякими коливаннями в останньому періоді спостереження (рис. 2).

Найвищий середній показник смертності $54,9 \pm 1,35$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) визначено в період

mortality risks of irradiated individuals was performed using the relative risk (RR) depending on the dose with the determination of the confidence interval (CI), in comparison with the subgroup from radiation dose < 0.05 Gy, which was chosen as the comparison group.

For construction the models of mortality of Chernobyl NPP emergency workers, regression-correlation analysis was used to describe the relationship between the risk of an adverse outcome (the outcome variable is the death of the emergency worker) and explanatory variables (risk time, age of the emergency worker, dose). Regression-correlation analysis was performed in the EPICURE software environment [20], which was developed specifically to solve epidemiological problems. Mortality analysis was performed using the AMFIT module, which models the risk function for epidemiological data using a parametric excess relative risk (ERR) model. A risk regression model was also used.

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive analysis of mortality Chernobyl clean-up workers in 1986–1987 from major non-tumor diseases

The analysis of mortality of Chernobyl clean-up workers from non-tumour diseases showed that the leading place in the mortality structure is occupied by diseases of the circulatory system (74 %), diseases of the digestive system (13 %) and diseases of the respiratory system (7 %). A small share in the mortality structure is accounted by diseases of the nervous system, endocrine, nutrition and metabolic diseases, diseases of the genitourinary system, diseases of the musculoskeletal system and connective tissue, diseases of the blood and blood-forming organs, etc.

In Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident, the average mortality rate from diseases of the circulatory system gradually increased over each five-year period in all dose subgroups (Fig. 1). The maximum average mortality rate of 16.08 ± 0.19 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was established in the period 2018–2021 in the subgroup with a dose of 0.2–0.249 Gy.

In general, a similar trend with an increase in mortality rates over time is observed in Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years at the date of the accident with some fluctuations in the last observation period (Fig. 2).

The highest average mortality rate of 54.9 ± 1.35 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was determined in the

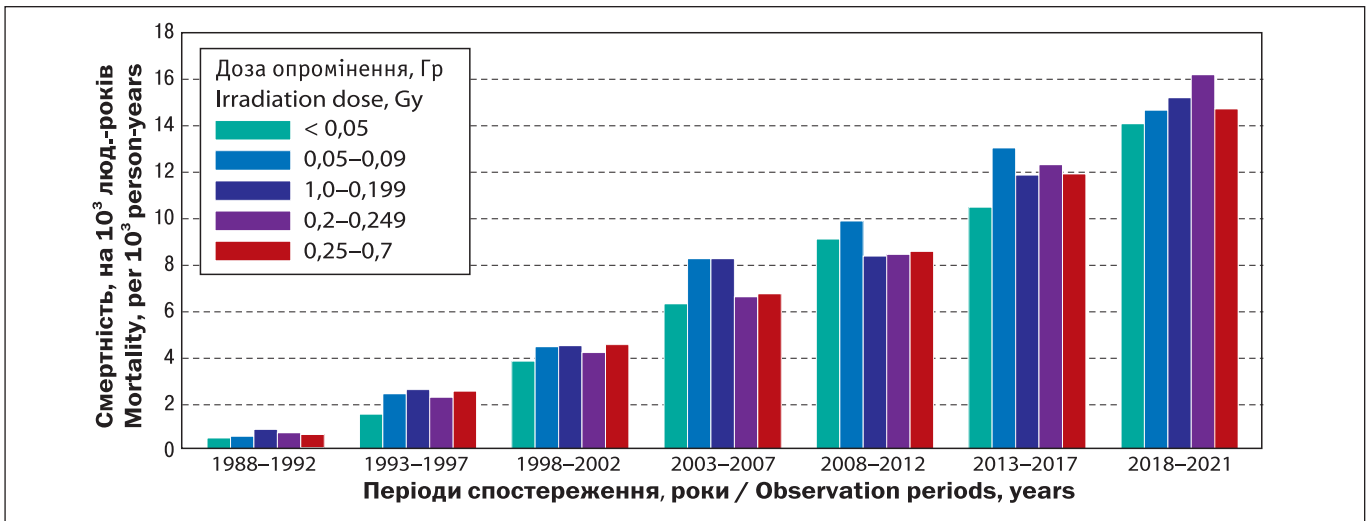


Рисунок 1. Динаміка смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб системи кровообігу залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 1. Mortality dynamics of Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years on the date of the Chernobyl accident from circulatory system diseases depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

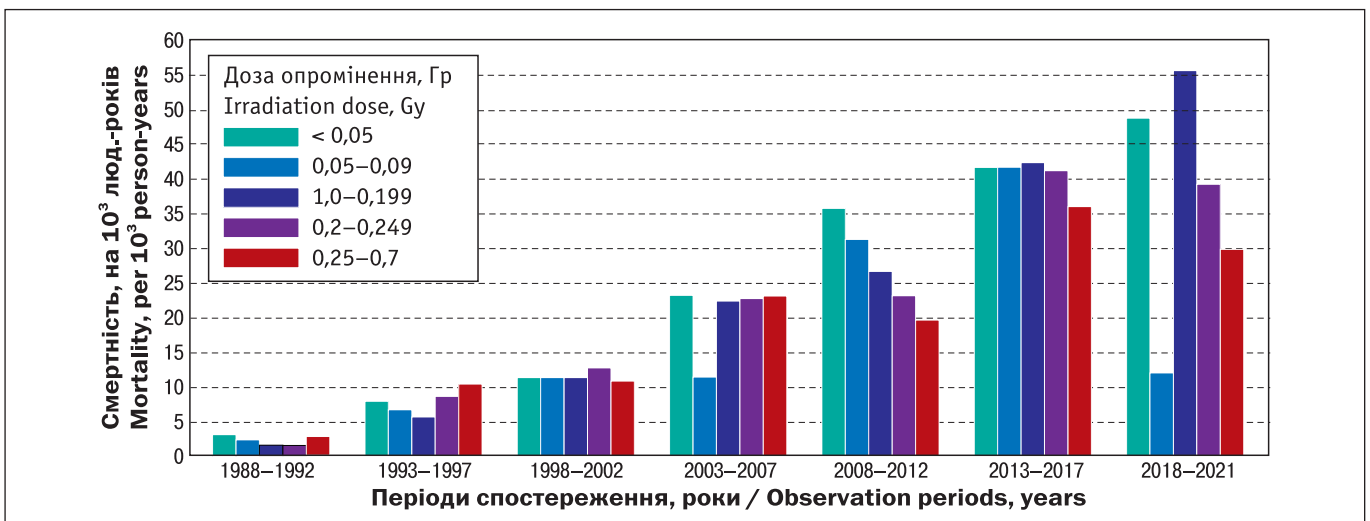


Рисунок 2. Динаміка смертності УЛНА віком 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб системи кровообігу залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 2. Mortality dynamics of Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years on the date of the Chernobyl accident from diseases of the circulatory system depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

2018–2021 рр. в підгрупі з дозою опромінення 0,1–0,199 Гр.

Показники смертності, як і очікувалось, у осіб віком 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС були вищі, ніж в УЛНА віком 18–39 років.

Статистично вірогідну тенденцію збільшення рівнів смертності УЛНА віком 18–39 років і 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб системи кровообігу ми продемонстрували на прикладі розроблених математичних моделей ексцесу відносного ризику смертності ERR (рис. 3, рис. 4).

period 2018–2021 in the subgroup with a dose of 0.1–0.199 Gy.

As expected, mortality rates in persons aged 40–60 years at the date of the Chernobyl accident were higher than in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years.

We have demonstrated a statistically significant trend of increasing mortality rates among Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years and 40–60 years as of the date of the Chernobyl accident from diseases of the circulatory system using the developed mathematical models of the excess of the relative risk of mortality ERR (Fig. 3, Fig. 4).

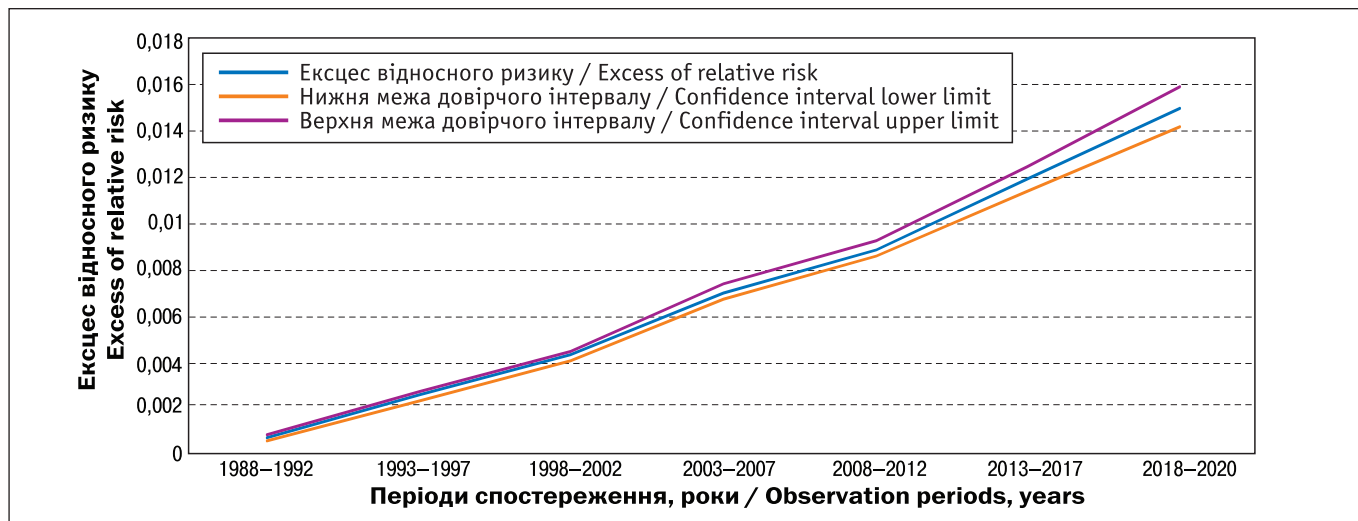


Рисунок 3. Математична модель динаміки ексцесу відносного ризику смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб системи кровообігу

Figure 3. Mathematical model of the dynamics of the excess of the relative risk of mortality of Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years on the date of the Chernobyl accident from diseases of the circulatory system

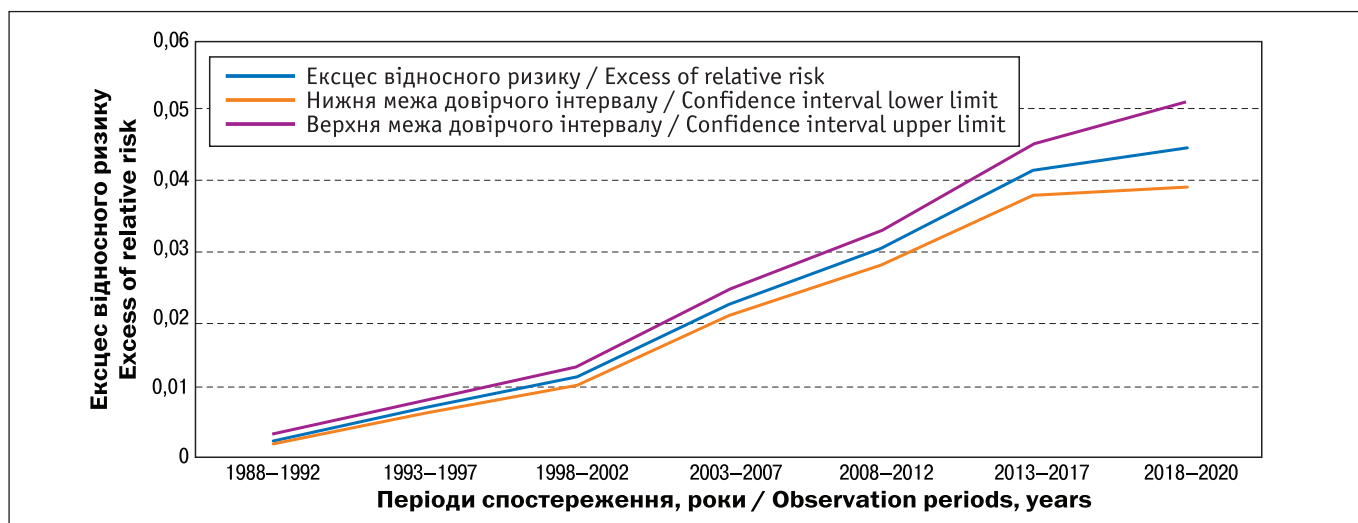


Рисунок 4. Математична модель динаміки ексцесу відносного ризику смертності УЛНА віком 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб системи кровообігу

Figure 4. Mathematical model of the dynamics of the excess of the relative risk of mortality of Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years on the date of the Chernobyl accident from diseases of the circulatory system

Основною причиною смертності УЛНА в післяаварійному періоді від хвороб системи кровообігу була хронічна ішемічна хвороба серця. У осіб віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС максимальний середній показник смертності $3,25 \pm 0,11$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) встановлено в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр; у осіб віком 40–60 років максимальний середній показник $11,09 \pm 0,96$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) дослідили в підгрупі з дозою опромінення $< 0,05$ Гр.

На другому місці серед причин смертей УЛНА від хвороб системи кровообігу знаходиться смертність

The main cause of mortality of Chernobyl clean-up workers in the post-accident period from diseases of the circulatory system was chronic ischaemic heart disease. In persons aged 18–39 years at the date of the Chernobyl accident, the maximum average mortality rate – 3.25 ± 0.11 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was established in the subgroup with a radiation dose of 0.05–0.09 Gy; in persons aged 40–60 years, the maximum average rate – 11.09 ± 0.96 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was investigated in the subgroup with a radiation dose of < 0.05 Gy.

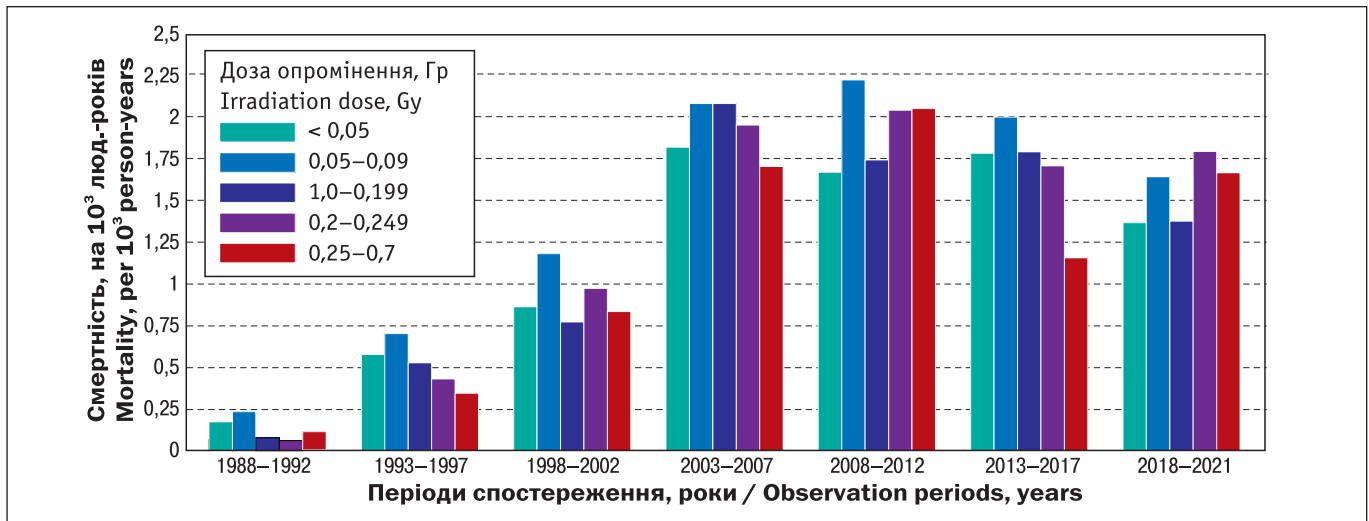


Рисунок 5. Динаміка смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб органів травлення залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 5. Dynamics of mortality of Chernobyl clean-up workers aged 18–39 on the date of the Chernobyl accident from digestive diseases depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

від цереброваскулярних захворювань. Аналізуючи смертність УЛНА від гострих церебральних судинних подій, слід відзначити, що найвищі рівні смертності виявлені від інфаркту головного мозку в обох вікових категоріях, надалі – від інсульту, неуточненого як крововилив чи інфаркт. Найвищі середні показники смертності від інфаркту головного мозку в УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС спостерігали в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр, а в осіб віком 40–60 років – у підгрупі з дозою опромінення 0,2–0,249 Гр.

Визначено коливання показників смертності УЛНА від хвороб органів травлення в окремих періодах спостереження. У більш молодій віковій групі середні показники смертності від хвороб органів травлення з плином часу поступово збільшувались з деяким зниженням у період 2013–2021 рр. (рис. 5). Найвищий середній показник $2,2 \pm 0,1$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) зафіксовано в період 2008–2012 рр. в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр.

У віковій групі 40–60 років на дату аварії визначено тенденцію поступового зростання смертності від хвороб органів травлення зі збільшенням часу після аварії на ЧАЕС (рис. 6). Спостерігаються значні коливання середнього показника смертності у всіх дозових підгрупах з максимумом $5,41 \pm 0,43$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) в останньому періоді спостереження (2018–2021 рр.) в дозовій підгрупі 0,2–0,249 Гр.

Найвищі показники смертності УЛНА загальної когорти від хвороб органів травлення у всіх

Mortality from cerebrovascular diseases is the second leading cause of death among Chernobyl clean-up workers from diseases of the circulatory system. Analysing Chernobyl clean-up workers mortality from acute cerebral vascular events, we should be noted that the highest mortality rates were found for cerebral infarction in both age categories, followed by stroke, not specified as hemorrhage or infarction. The highest mortality rates from cerebral infarction in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the Chernobyl accident were observed in the subgroup with a dose of 0.05–0.09 Gy, and in persons aged 40–60 years – in the subgroup with a dose of 0.2–0.249 Gy.

The fluctuations in the Chernobyl clean-up workers mortality rate from diseases of the digestive system in certain periods of observation were determined. In the younger age group, the average mortality rate from digestive diseases gradually increased over time with a slight decrease in the period 2013–2021 (Fig. 5). The highest average rate – 2.2 ± 0.1 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was recorded in the period 2008–2012 in the subgroup with a dose of 0.05–0.09 Gy.

In the age group of 40–60 years, we can observe a trend of gradual increase in mortality from diseases of the digestive system with increasing time after the Chernobyl accident (Fig. 6). There are significant fluctuations in the mean mortality rate in all dose subgroups with a maximum of 5.41 ± 0.43 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in the last observation period (2018–2021) for the dose subgroup 0.2–0.249 Gy.

The highest mortality rates of Chernobyl clean-up workers from digestive diseases, regardless of the dose

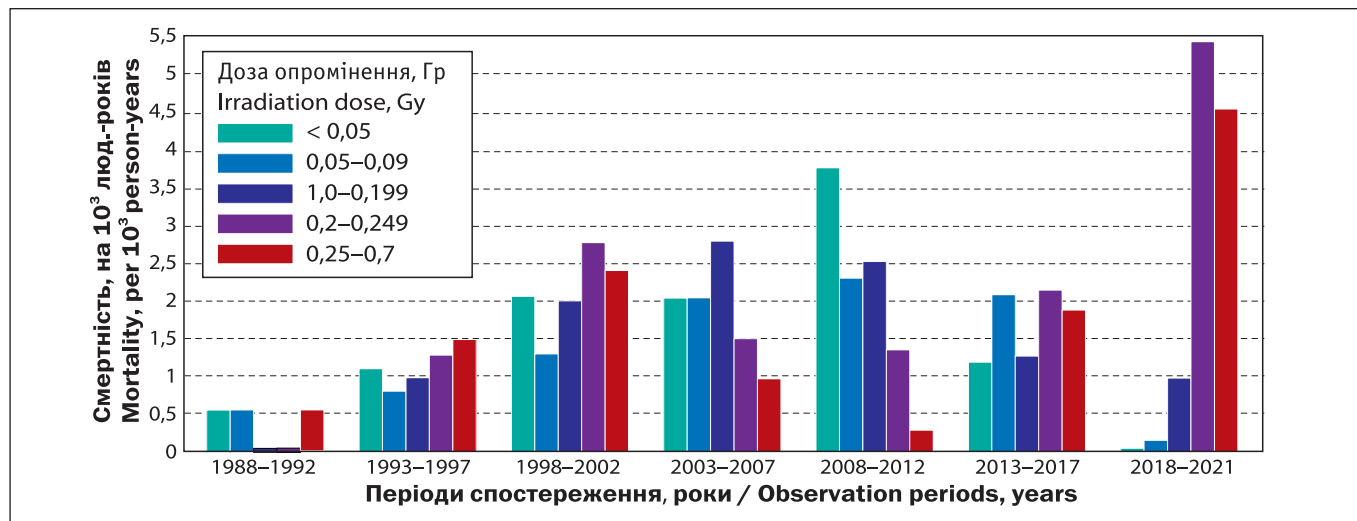


Рисунок 6. Динаміка смертності УЛНА віком 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб органів травлення залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 6. Mortality dynamics of Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years on the date of the Chernobyl accident from digestive diseases depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

дозових підгрупах виявлено від хвороб печінки. Найвищий середній показник смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії був $0,92 \pm 0,06$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) в дозовій підгрупі 0,05–0,09 Гр; у осіб віком 40–60 років $1,33 \pm 0,33$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) – в підгрупі з дозою опромінення < 0,05 Гр. Серед хвороб печінки превалювали фіброз та цироз. Найвищий показник смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії від фіброзу та цирозу печінки був $0,67 \pm 0,05$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) в підгрупах з дозами опромінення 0,05–0,09 Гр і 0,2–0,249 Гр; у осіб віком 40–60 років $0,67 \pm 0,24$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) – в дозовій підгрупі < 0,05 Гр.

Аналізуючи смертність від хвороб органів дихання слід відзначити, що в УЛНА віком 18–39 років на дату аварії середні показники смертності з кожним п'ятирічним періодом поступово зростали зі зниженням у період 2013–2017 рр. і наступним підвищенням у період 2018–2021 рр. в деяких дозових підгрупах (рис. 7). Найвищий середній показник $1,35 \pm 0,1$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) зафіксовано у період 2018–2021 рр. в дозовій підгрупі 0,25–0,7 Гр.

В УЛНА віком 40–60 років спостерігається тенденція поступового збільшення середнього показника смертності зі зниженням у період 2013–2021 рр. (рис. 8); максимальний середній показник смертності $2,9 \pm 0,33$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) встановлено в період спостереження 2008–2012 рр. для дозової підгрупи 0,2–0,249 Гр.

and age at the date of the accident, were found to be due to liver diseases. The highest mortality rate for Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident was 0.92 ± 0.06 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in the dose subgroup of 0.05–0.09 Gy; for persons aged 40–60 years, 1.33 ± 0.33 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in the subgroup with an exposure dose of < 0.05 Gy. Among liver diseases, fibrosis and cirrhosis prevailed. The highest mortality rate due to liver fibrosis and cirrhosis in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident was 0.67 ± 0.05 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in the subgroups with radiation doses of 0.05–0.09 Gy and 0.2–0.249 Gy; 0.67 ± 0.24 MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in persons aged 40–60 years – in the dose subgroup < 0.05 Gy.

Analysing the mortality of Chernobyl clean-up workers from respiratory diseases, it should be noted that in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident, the average mortality rates gradually increased with each five-year period with some decrease in the period 2013–2017 and a subsequent increase in the period 2018–2021 in some dose subgroups (Fig. 7). The highest value – 1.35 ± 0.10 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was recorded in the period 2018–2021 in the dose subgroup of 0.25–0.7 Gy.

In Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years, a gradual increase in the mean mortality rate with a decrease in the period 2013–2021 is observed (Fig. 8); the maximum mortality rate 2.90 ± 0.33 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was established in the observation period 2008–2012 for the dose subgroup 0.2–0.249 Gy.

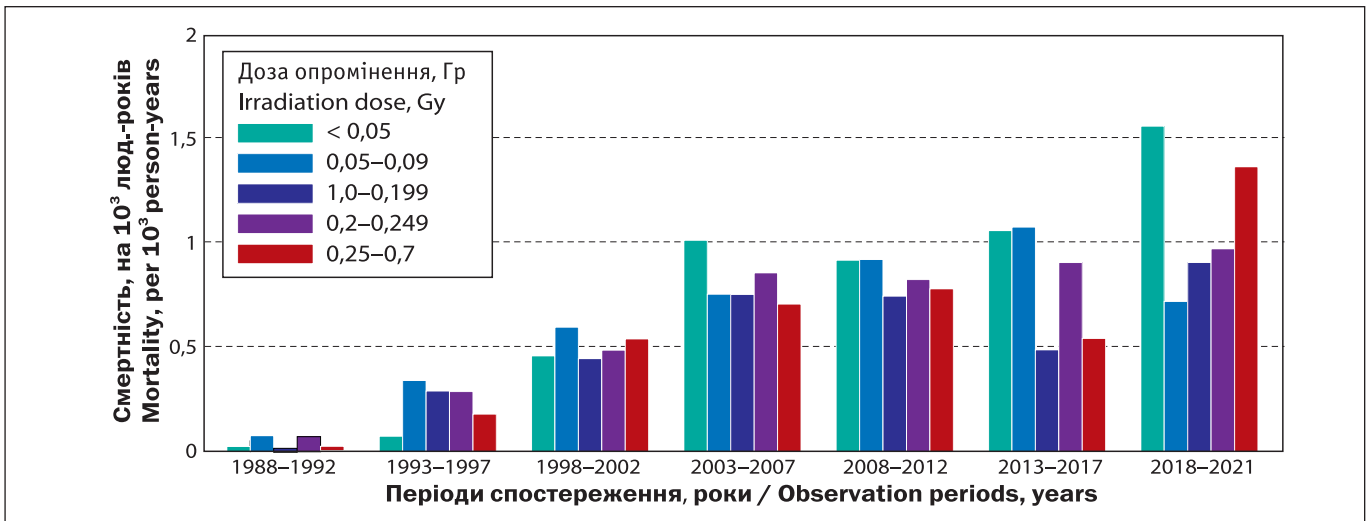


Рисунок 7. Динаміка смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб органів дихання залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 7. Dynamics of mortality of Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years on the date of the Chernobyl accident from respiratory diseases depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

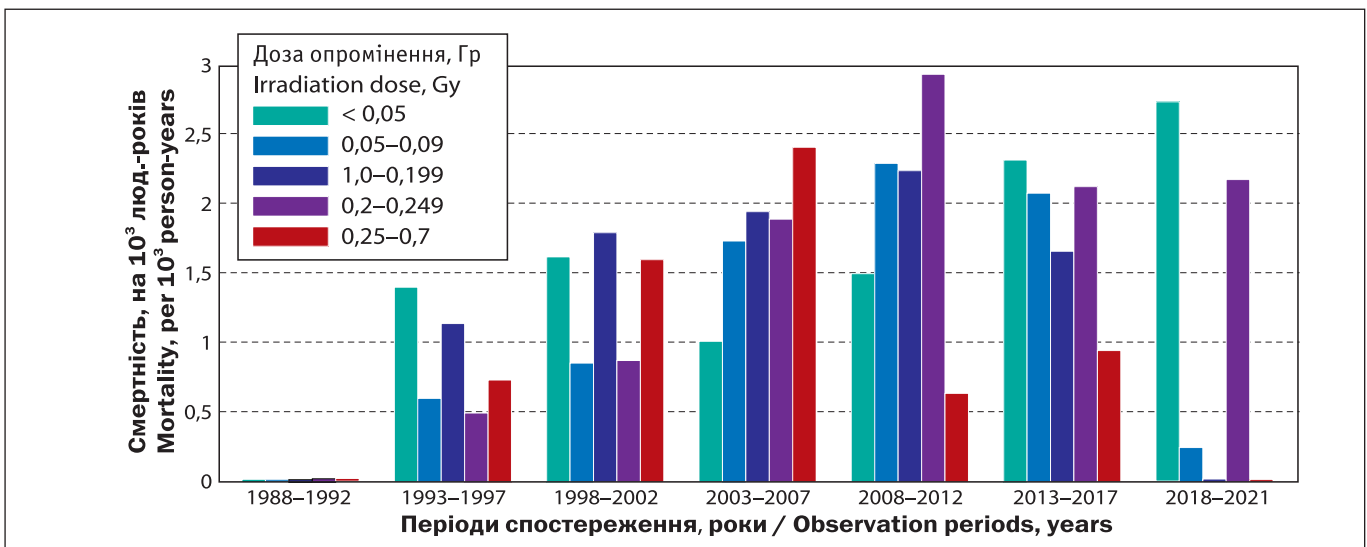


Рисунок 8. Динаміка смертності УЛНА віком 40–60 років на дату аварії на ЧАЕС від хвороб органів дихання залежно від періоду спостереження і дози опромінення, на 10^3 люд.-років

Figure 8. Mortality dynamics of Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years on the date of the Chernobyl accident from respiratory diseases depending on the observation period and radiation dose, per 10^3 person-years

Найвищі середні показники смертності в когорті УЛНА від хвороб органів дихання в усіх дозових підгрупах виявлено від хронічних хвороб нижніх дихальних шляхів. Максимальний середній показник смертності УЛНА молодшої вікової групи $0,18 \pm 0,02$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) встановлено в підгрупі з дозою опромінення 0,2–0,249 Гр; в осіб віком 40–60 років на дату аварії показник смертності $0,83 \pm 0,26$ (MR / 10^3 люд.-років, $\pm m$) виявлено в дозовій підгрупі < 0,05 Гр.

The highest average mortality rates among Chernobyl clean-up workers from respiratory diseases, regardless of the radiation dose and age at the time of the accident, were found to be due to chronic lower respiratory tract diseases. The maximum mortality rate of younger age group was 0.18 ± 0.02 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) in the subgroup with an exposure dose of 0.2–0.249 Gy; in persons aged 40–60 years at the date of the accident, a mortality rate of 0.83 ± 0.26 (MR / 10^3 person-years, $\pm m$) was found in the dose subgroup of < 0.05 Gy.

Відносні ризики смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. від основних непухлинних хвороб

Збільшення відносних ризиків смертності УЛНА на ЧАЕС від непухлинних хвороб упродовж всього періоду спостереження (1988–2021 рр.) виявлено в УЛНА віком 18–39 років на дату аварії (табл. 2). Відносні ризики були достовірно вищими у всіх дозових підгрупах порівняно з дозовою підгрупою < 0,05 Гр.

В УЛНА віком 18–39 років на дату аварії визначено достовірно вищі відносні ризики смертності від непухлинних хвороб в період спостереження 1993–1997 рр. у всіх дозових підгрупах і у періоди 2003–2007 рр. та 2013–2017 рр. в дозовій підгрупі 0,05–0,09 Гр відносно підгрупи порівняння (табл. 3). Водночас в УЛНА віком 40–60 років достовірних ризиків смертності визначено не було.

Аналіз показників відносних ризиків смертності УЛНА за класами хвороб засвідчив, що за період 1988–2021 рр. виявлено статистично достовірно вищі відносні ризики смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії від хвороб системи кровообігу в усіх дозових підгрупах та від хвороб органів травлення в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр (табл. 4).

Визначено тенденції до підвищення відносних ризиків смертності від хвороб сечостатевої системи, від ендокринних хвороб, розладів харчування та порушення обміну речовин, від хвороб нервової системи в усіх дозових підгрупах.

В УЛНА віком 40–60 років не виявили відносних ризиків смертності, спостерігали не підтверджену статистично тенденцію до збільшення ризиків смертності від хвороб сечостатевої систе-

Relative risks of mortality of the Chernobyl clean-up workers from the main non-cancerous diseases

An increase in the relative risks of mortality Chernobyl clean-up workers from non-cancer diseases during the entire observation period (1988–2021) was detected only in the age group 18–39 years at the date of the accident (Table 2). Relative risks were significantly higher in all dose subgroups compared to the subgroup with an exposure dose < 0.05 Gy.

In Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident in the observation periods from 1993 to 1997 in all dose subgroups and in the periods 2003–2007 and 2013–2017 in the dose subgroup of 0.05–0.09 Gy, a statistically significant increase in relative mortality risks was determined compared to the comparison subgroup (Table 3). At the same time, no significant risks of mortality were identified in Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years.

The analysis of the mortality relative risks of Chernobyl clean-up workers by classes of disease showed for the period 1988–2021 a statistically significant increase in the relative mortality risks of Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident from diseases of the circulatory system in all dose subgroups and from diseases of the digestive system in the subgroup with an exposure dose 0.05–0.09 Gy compared to dose subgroup 0.05 Gy (Table 4).

Trends in the relative risk of mortality from diseases of the genitourinary system, endocrine diseases, nutritional and metabolic disorders, and diseases of the nervous system were identified in all dose subgroups.

No statistically significant relative risks of mortality were found in Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years, but there was an unstatistically confirmed trend towards an increase in mortality risks from genitourinary system diseases, endocrine system

Таблиця 2

Відносні ризики RR (95 % CI) смертності від непухлинних хвороб УЛНА з різними дозами опромінення відносно показника смертності в дозовій підгрупі < 0,05 Гр

Table 2

Relative risks RR (95 % CI) mortality from non-tumor diseases of Chernobyl clean-up workers with different radiation doses in relation to the mortality rate of the dose subgroup < 0.05 Gy

Вік на дату аварії на ЧАЕС Age at the date of the Chernobyl accident	Доза опромінення, Гр / Radiation dose, Gy			
	0,05–0,09 до < 0,05	0,1–0,199 до < 0,05	0,2–0,249 до < 0,05	0,25–0,7 до < 0,05
18–39 років / years	1,26* (1,17–1,37)	1,16* (1,07–1,25)	1,15* (1,06–1,24)	1,11* (1,01–1,22)
40–60 років / years	0,91 (0,78–1,07)	0,96 (0,82–1,11)	0,96 (0,83–1,11)	0,93 (0,78–1,11)
18–60 років / years	1,05 (0,98–1,13)	0,97 (0,91–1,04)	0,95 (0,89–1,02)	0,94 (0,87–1,02)

Примітка. *Статистично достовірна різниця, p < 0,05
Note. *The statistically significant difference, p < 0.05

Таблиця 3

Відносний ризик (RR, 95 % CI) смертності УЛНА обох вікових груп від непухлинних хвороб в зазначені періоди спостереження залежно від дози опромінення (відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр)

Table 3

Dynamics of relative risk indicators (RR, 95 % CI) of mortality from non-tumor diseases of Chernobyl clean-up workers with different radiation doses in relation to the mortality in the dose subgroup < 0.05 Gy

Періоди спостереження, роки Observation periods, years	Вік на дату аварії, роки Age at the date of the accident, years	Доза опромінення, Гр / Radiation dose, Gy			
		0,05–0,09	0,1–0,199	0,2–0,249	0,25–0,7
1988–1992 рр.	18–39	1,28 (0,64–2,58)	1,48 (0,76–2,89)	1,2 (0,62–2,35)	0,83 (0,36–1,89)
	40–60	0,59 (0,23–1,52)	0,27 (0,09–0,81)	0,81 (0,35–1,89)	0,83 (0,29–2,38)
1993–1997 рр.	18–39	1,8* (1,37–2,37)	1,8* (1,38–2,35)	1,51* (1,16–1,97)	1,52* (1,1–2,09)
	40–60	0,91 (0,58–1,43)	0,87 (0,56–1,35)	1,06 (0,69–1,62)	1,25 (0,77–2,02)
1998–2002 рр.	18–39	1,22 (0,98–1,52)	1,09 (0,88–1,35)	1,09 (0,88–1,35)	1,12 (0,87–1,43)
	40–60	0,93 (0,63–1,38)	0,97 (0,66–1,42)	1,11 (0,77–1,6)	1,07 (0,67–1,64)
2003–2007 рр.	18–39	1,19* (1,0–1,41)	1,04 (0,88–1,23)	1,0 (0,85–1,18)	0,93 (0,75–1,14)
	40–60	0,76 (0,54–1,05)	0,99 (0,73–1,35)	0,95 (0,70–1,29)	0,98 (0,68–1,41)
2008–2012 рр.	18–39	1,11 (0,94–1,32)	0,94 (0,79–1,11)	0,98 (0,84–1,16)	0,96 (0,79–1,16)
	40–60	0,84 (0,64–1,21)	0,74 (0,54–1,02)	0,68 (0,50–0,94)	0,55 (0,36–0,83)
2013–2017 рр.	18–39	1,21* (1,0–1,45)	1,05 (0,87–1,25)	1,11 (0,93–1,32)	1,02 (0,83–1,26)
	40–60	1,03 (0,71–1,50)	1,03 (0,72–1,49)	1,03 (0,72–1,49)	0,88 (0,57–1,36)
2018–2021 рр.	18–39	1,01 (0,79–1,29)	1,04 (0,83–1,31)	1,11 (0,89–1,4)	1,04 (0,8–1,36)
	40–60	0,77 (0,44–1,36)	1,11 (0,66–1,86)	0,93 (0,54–1,59)	0,71 (0,36–1,37)

Примітка. *Статистично достовірна різниця, p < 0,05
Note. *The statistically significant difference, p < 0.05

Таблиця 4

Відносні ризики (RR, 95 % CI) смертності від непухлинних хвороб УЛНА віком 18–39 років на дату аварії з різними дозами опромінення відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр

Table 4

Relative risks (RR, 95 % CI) of mortality from non-cancer diseases in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years on the date of the accident with different radiation doses in relation to the dose subgroup < 0.05 Gy

Класи непухлинних хвороб Classes of non-neoplastic diseases	Шифр за МКХ-10 ICD-10 code	Доза опромінення, Гр / Radiation dose, Gy			
		0,05–0,09	0,1–0,199	0,2–0,249	0,25–0,7
Усі непухлинні хвороби, за весь період All non-neoplastic diseases for the entire period	D50.0–R94.8	1,26* (1,17–1,37)	1,16* (1,07–1,25)	1,15* (1,06–1,24)	1,11* (1,01–1,22)
Хвороби ендокринної системи, розлади харчування та порушення обміну речовин Diseases of the endocrine system, nutritional disorders and metabolic disorders	E00.0–E90.0	1,65 (0,67–4,04)	1,92 (0,81–4,54)	1,46 (0,61–3,48)	1,06 (0,37–2,66)
Хвороби нервової системи Diseases of the nervous system	G00.0–G99.0	1,45 (0,92–2,28)	1,21 (0,77–1,90)	1,22 (0,79–1,90)	0,89 (0,52–0,98)
Хвороби системи кровообігу Diseases of the circulatory system	I00.0–I99.0	1,27* (1,15–1,40)	1,20* (1,09–1,32)	1,17* (1,06–1,28)	1,18* (1,06–1,38)
Хвороби органів дихання Diseases of the respiratory system	J00.0–J99.9	1,08 (0,80–1,46)	0,93 (0,70–1,25)	1,01 (0,76–1,34)	0,90 (0,64–1,28)
Хвороби органів травлення Digestive system diseases	K00.0–K93.9	1,26* (1,02–1,56)	1,01 (0,82–1,25)	1,12 (0,91–1,37)	0,97 (0,76–1,25)
Хвороби сечостатевої системи Genitourinary system diseases	N00.0–N99.9	2,79 (0,97–7,99)	2,73 (0,97–7,66)	2,06 (0,73–5,83)	1,99 (0,62–6,34)

Примітка. *Статистично достовірна різниця, p < 0,05
Note. *The statistically significant difference, p < 0.05

ми, від ендокринних хвороб, розладів харчування та порушення обміну речовин, від хвороб органів травлення.

Збільшення відносних ризиків смертності від окремих хвороб системи кровообігу виявлено тільки в УЛНА віком 18–39 років на дату аварії (табл. 5). Достовірно вищі були ризики смертності в усіх дозових підгрупах від цереброваскулярних хвороб; від кардіоміопатії, за винятком підгрупи з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр; від ішемічної хвороби серця в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр (відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр).

На момент Чорнобильської катастрофи УЛНА віком 40–60 років перебували в працездатному віці. Поступово на показники смертності, окрім дозового навантаження, отриманого за час участі в роботах з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, впливали фізіологічні процеси старіння. Тому поглиблений аналіз відносних ризиків смертності ми проводили з акцентом на вікову категорію 18–39 років на дату аварії.

У другому періоді спостереження (1993–1997 рр.) відносні ризики смертності від ішемічної хвороби серця, в тому числі від інфаркту міокарда, були статистично достовірно вищими в усіх дозових підгрупах порівняно з показниками смертності в дозовій підгрупі < 0,05 Гр.

Достовірне підвищення відносних ризиків смертності від цереброваскулярних хвороб, у тому числі від інфаркту головного мозку, встановлено за весь період спостереження (1988–2021 рр.) та у шостому

diseases, nutritional and metabolic disorders, and digestive system diseases.

An increase in relative risks from certain diseases of the circulatory system was detected only in Chernobyl clean-up workers aged 18–39 years at the date of the accident (Table 5). Statistically significant were the mortality related risks in all dose subgroups from cerebrovascular diseases; from cardiomyopathy, except for the subgroup with a dose of 0.05–0.09 Gy; from ischaemic heart disease in the subgroup with a dose of 0.05–0.09 Gy – compared to dose subgroup 0.05 Gy.

At the time of the Chernobyl disaster, Chernobyl clean-up workers aged 40–60 years were of working age. Gradually, in addition to the dose burden received during participation in the Chernobyl accident response, physiological processes of ageing affected mortality rates. Therefore, we conducted an in-depth analysis of relative mortality risks with a focus on the age group of 18–39 years at the date of the accident.

In the second observation period (1993–1997), the relative risks of mortality from coronary heart disease, including myocardial infarction, were statistically significant in all dose subgroups compared with mortality rates in the dose subgroup < 0.05 Gy.

A statistically significant increase in the relative risks of mortality from cerebrovascular diseases, including cerebral infarction, was found for the entire observation period (1988–2021) and in the

Таблиця 5

Відносні ризики RR (95 % CI) смертності УЛНА віком 18–60 років на дату аварії від окремих хвороб системи кровообігу з різними дозами опромінення відносно дозової підгрупи < 0,05 Гр

Table 5

Relative risks RR (95 % CI) of mortality of Chernobyl clean-up workers aged 18–60 years at the date of the accident from certain diseases of the circulatory system depending on the radiation dose in relation to the mortality rate of the dose subgroup < 0.05 Gy

Хвороби системи кровообігу Circulatory system diseases	Вік, роки Age, years	Доза опромінення, Гр / Radiation dose, Gy			
		0,05–0,09	0,1–0,199	0,2–0,249	0,25–0,7
Хвороби системи кровообігу, із них: Circulatory system diseases, of which:	18–39	1,27* (1,15–1,40)	1,20* (1,09–1,32)	1,17* (1,06–1,28)	1,18* (1,06–1,38)
	40–60	0,90 (0,76–1,07)	0,96 (0,81–1,13)	0,94 (0,80–1,11)	0,90 (0,74–1,10)
➤ ішемічна хвороба серця / ischemic heart disease	18–39	1,17* (1,04–1,32)	1,11 (0,99–1,24)	1,08 (0,96–1,20)	1,09 (0,95–1,91)
	40–60	0,83 (0,68–1,02)	0,93 (0,77–1,13)	0,88 (0,72–1,06)	0,89 (0,70–1,12)
➤ кардіоміопатія / cardiomyopathy	18–39	1,47 (0,99–2,08)	1,62* (1,14–2,32)	1,63* (1,14–2,31)	1,57* (1,05–2,34)
	40–60	0,51 (0,15–1,75)	0,68 (0,22–2,07)	0,82 (0,28–2,41)	0,58 (0,14–2,44)
➤ цереброваскулярні хвороби / cerebrovascular diseases	18–39	1,65* (1,28–2,11)	1,54* (1,21–1,96)	1,54* (1,21–1,96)	1,65* (1,26–2,16)
	40–60	1,08 (0,73–1,57)	1,01 (0,69–1,47)	1,08 (0,74–1,56)	0,95 (0,61–1,48)

Примітка. *Статистично достовірна різниця, p < 0,05
Note. *The statistically significant difference, p < 0.05

періоді (2013–2017 рр.) в усіх дозових підгрупах відносно підгрупи порівняння.

Статистично вагоме збільшення відносних ризиків смертності від хвороб органів травлення за весь період спостереження визначено в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр. Достовірно вищий відносний ризик смертності від хвороб печінки визначили в підгрупі з дозою опромінення 0,25–0,7 Гр у період спостереження 2008–2012 рр. порівняно з дозовою підгрупою < 0,05 Гр.

Достовірних відносних ризиків смертності від хвороб органів дихання виявлено не було, спостерігали тільки тенденції до збільшення відносних ризиків смертності від хвороб органів дихання загалом та від хронічної обструктивної хвороби легень в підгрупах з дозами опромінення 0,05–0,09 Гр і 0,2–0,249 Гр.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що загальна смертність учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції від непухлинних хвороб має тенденцію до зростання. Показники смертності УЛНА старшої вікової групи були вищі, ніж у осіб віком 18–39 років на дату аварії. У структурі смертності провідне місце займають хвороби системи кровообігу, хвороби органів травлення та хвороби органів дихання. У всіх визначених інтервалах доз зовнішнього опромінення переважна більшість летальних випадків в учасників ліквідації наслідків аварії загальної когорти була зумовлена хворобами системи кровообігу.

Результати ризик-аналізу дозових залежностей відносного ризику смертності в когорті учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС засвідчили вищу чутливість до дії іонізуючого випромінювання осіб молодшої вікової групи (18–39 років на дату аварії). Для цієї вікової категорії виявлено достовірно вищі відносні ризики смертності, переважно від хвороб системи кровообігу.

Встановлено найбільш небезпечний період дозозалежного відносного ризику смерті УЛНА через непухлинні хвороби: через 6–10 років після радіаційного впливу для всіх дозових підгруп (від 0,05 Гр до 0,7 Гр) відносно підгрупи з дозою опромінення < 0,05 Гр.

У період 1993–1997 рр. (через 6–10 років після аварії на ЧАЕС) виявлено достовірно вищі відносні ризики смертності від хвороб системи кровообігу (легеневе серце і порушення легеневого кро-

sixth period (2013–2017) in all dose subgroups compared to the mortality risks in the control subgroup.

A statistically significant increase in the relative risks of mortality from digestive diseases over the entire observation period was determined in the subgroup with a dose of 0.05–0.09 Gy. A significantly higher relative risk of mortality from liver diseases was determined in the subgroup with a dose of 0.25–0.7 Gy during the observation period 2008–2012 compared to the mortality rate in the subgroup with a dose < 0.05 Gy.

There was no statistically significant increase in the relative risks of mortality from respiratory diseases, only trends towards an increase in the relative risks of mortality from respiratory diseases in general and from chronic obstructive pulmonary disease in subgroups with radiation doses of 0.05–0.09 Gy and 0.2–0.249 Gy were observed.

CONCLUSIONS

It has been established that the overall mortality rate of Chernobyl clean-up workers from non-cancerous diseases tends to increase. The mortality rates of Chernobyl clean-up workers in the older age group were higher than in those aged 18–39 years at the date of the accident. In the structure of mortality, the leading place is occupied by diseases of the circulatory system, diseases of the digestive system and diseases of the respiratory system. In all defined intervals of external γ -radiation doses, the vast majority fatalities in the clean-up workers aged 18–60 years at the date of the Chernobyl accident were caused by circulatory system diseases.

The results of the risk analysis of dose dependencies of the relative risk of mortality in the cohorts of Chernobyl clean-up workers aged 18–60 years at the date of the accident showed a higher sensitivity to ionising radiation of the younger age group (18–39 years at the date of the accident). For this age group, significantly higher relative mortality risks were found, mainly from diseases of the circulatory system.

The most dangerous period for the dose-dependent relative risk of death of Chernobyl clean-up workers due to non-cancerous diseases was found to be 6–10 years after radiation exposure for all dose subgroups (from 0.05 Gy to 0.7 Gy) compared to the subgroup with an exposure dose of < 0.05 Gy.

In the period 1993–1997 (6–10 years after the Chernobyl accident), statistically significantly higher dose-dependent relative risks of mortality from diseases of the circulatory system (pulmonary heart and

вообігу, кардіоміопатія, інфаркт міокарду); через 26–30 років – від цереброваскулярних хвороб, у тому числі, від інфаркту головного мозку. Зазначені достовірно вищі відносні ризики характерні для всіх дозових підгруп (від 0,05 Гр до 0,7 Гр) відносно підгрупи порівняння.

Аналіз причин збільшення рівнів і ризиків смертності УЛНА на ЧАЕС від непухлинних хвороб є важливим і актуальним підґрунтям для планування заходів спеціалізованої медичної допомоги в умовах надзвичайних та інших ситуацій опромінення, адекватного лікування та запобігання розвитку ускладнень і, відповідно, зменшення втрат внаслідок смертності від них.

Джерела підтримки

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи ННЦРМГО, яка фінансувалась з бюджету НАМН України (№ держреєстрації 0122U002258).

Конфлікт інтересів

Автори не розголошують конфіденційну інформацію та не мають жодної приналежності або фінансової зацікавленості в будь-якій організації, яка могла б створити конфлікт інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє : Національна доповідь України. Київ : Атіка, 2006. 232 с.
2. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки : Національна доповідь України. Київ, 2016. 177 с.
3. Стан здоров'я постраждалих у віддалений післяаварійний період / В. О. Бузунов та ін. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки : Національна доповідь України. Київ, 2016. С. 37-62.
4. Ionizing radiation-induced circulatory and metabolic diseases / S. Tapio et al. *Environ. Int.* 2021. Vol. 146. 106235. doi: 10.1016/j.envint.2020.106235.
5. Issues in interpreting epidemiologic studies of populations exposed to low-dose, high-energy photon radiation / E. S. Gilbert et al. *J Natl Cancer Inst Monogr.* 2020. Vol. 2020, no. 56. P. 176-187. doi: 10.1093/jncimonographs/igaa004.
6. Low-dose ionizing radiation increases the mortality risk of solid cancers in nuclear industry workers: a meta-analysis / S. G. Qu et al. *Mol. Clin. Oncol.* 2018. Vol. 8, no. 5. P. 703-711. doi: 10.3892/mco.2018.1590. 7.
7. Зміни судин сітківки в співробітників Чорнобильської атомної електростанції, які зазнали тривалого ненормованого радіаційного впливу на робочому місці внаслідок окупації ЧАЕС у 2022 році / Д. А. Базика, В. О. Сушко, П. А. Федірко та ін. *Проблеми*

diseases of pulmonary circulation, cardiomyopathy, myocardial infarction) were found; in 26–30 years – from cerebrovascular diseases, including cerebral infarction. These significantly higher relative risks are characteristic of all dose subgroups (from 0.05 Gy to 0.7 Gy) vs. the comparison group.

The analysis of the reasons for the increase in the levels and risks of mortality of the Chernobyl NPP survivors from non-tumour diseases is an important and relevant basis for planning measures of specialised medical care in emergency and other exposure situations, adequate treatment and prevention of complications and, accordingly, reduction of losses due to mortality.

Sources of support

The study was performed within the framework of the research work of the NRCRMHO, which was funded from the budget of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (state registration number 0122U002258).

Conflict of interest

The authors neither disclose confidential information nor have any affiliation or financial interest in any organization that could create a conflict of interest.

REFERENCES

1. [Twenty years after Chernobyl accident. Future outlook: National Report of Ukraine]. Kyiv: Atika; 2006. 224 p. Ukrainian.
2. [Thirty years of Chernobyl catastrophe: radiological and health effects. National Report of Ukraine]. Kyiv; 2016. 172 p. Ukrainian
3. Buzunov V. O., Voychulene Yu. S., Gubina I. G. et al. Health status of victims in the distant post-accident period. In: *Thirty years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences: National report of Ukraine.* Kyiv, 2016. P. 37-62.
4. Tapio S, Little MP, Kaiser JC, Impens N, Hamada N, Georgakilas AG, et al. Ionizing radiation-induced circulatory and metabolic diseases. *Environ Int.* 2021;146:106235. doi: 10.1016/j.envint.2020.106235.
5. Gilbert ES, Little MP, Preston DL, Stram DO. Issues in interpreting epidemiologic studies of populations exposed to low-dose, high-energy photon radiation. *J Natl Cancer Inst Monogr.* 2020;2020(56): 176-187. doi: 10.1093/jncimonographs/igaa004.
6. Qu SG, Gao J, Tang B, Yu B, Shen YP, Tu Y. Low-dose ionizing radiation increases the mortality risk of solid cancers in nuclear industry workers: A meta-analysis. *Mol Clin Oncol.* 2018;8(5):703-711. doi: 10.3892/mco.2018.1590.
7. Bazyka DA, Sushko VO, Fedirko PA, Babenko TF, Vasylenko W, Kolosynska OO, et al. Retina vessels changes in Chernobyl Nuclear Power Plant employees who experienced long-term abnormal radiation exposure at the workplace as a result of the occupation of

- радіаційної медицини та радіобіології. 2022. Вип. 27. С. 423-430. doi: 10.33145/2304/8336-2022-27-423-430.
8. Sergienko N. M., Fedirko P. A. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm. Res.* 2002. Vol. 34, no. 4. P. 192-194. doi: 10.1159/000063879.
 9. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the Chernobyl accident / D. A. Bazyka et al. *Clin. Neuropsychiatry.* 2013. Vol. 10, no. 6. P. 280-281.
 10. Головний мозок та орган зору як потенційні мішені для впливу іонізуючого випромінювання. Частина I. Цереброфтальмологічні ефекти опромінення в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС / К. М. Логановський та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2020. Вип. 25. С. 90-129. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-90-129.
 11. Гарькава Н. А., Федірко П. А., Бабенко Т. Ф., Доричевська Р. Ю. Радіаційно-індуковані порушення кровообігу в циліарному тілі та зміни кута передньої камери ока в патогенезі глаукоми в учасників аварійних робіт на Чорнобильській АЕС і мешканців забруднених територій. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2017. Вип. 22. С. 332-338.
 12. Смертність від хвороб системи кровообігу мешканців радіоактивного забруднених територій України внаслідок аварії на ЧАЕС залежно від доз радіаційного опромінення та віку. 1988-2010 роки спостереження / В. О. Бузунов та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2014. Вип. 19. С. 59-66.
 13. Післяаварійні зміни стану здоров'я учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986–1987 рр. (період спостереження 1988-2012 рр.) / В. О. Бузунов та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2015. Вип. 20. С. 157-173.
 14. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology / M. P. Little et al. *Int. J. Radiat. Biol.* 2021. Vol. 6 (97). P. 782-803. doi: 10.1080/09553002.2021.1876955.
 15. Mechanisms of vascular aging / Z. Ungvari et al. *Circ. Res.* 2018. Vol. 123, no. 7. P. 849-867. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.118.311378.
 16. Стан здоров'я народу України в умовах війни. Під ред. В. М. Коваленка та В. М. Корнацького. ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології імені акад. М.Д. Стражеска», 2022. 220 с.
 17. Вплив діяльності Рівненської АЕС на природне та соціальне середовище зони спостереження / В. А. Прилипко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2019. Вип. 24. С. 131-149. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-131-149.
 18. Екологічні детермінанти у формуванні ставлення населення до розвитку атомної енергетики / В. А. Прилипко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2020. Вип. 25. С. 249-264. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-249-264.
 - Chornobyl Nuclear Power Plant in 2022. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2022;27:423-430. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-423-430.
 8. Sergienko NM, Fedirko P. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalmic Res.* 2002;34(4):192-194. doi: 10.1159/000063879.
 9. Bazyka DA, Loganovsky KN, Iliencko IN, Chumak S, Marazziti D, Maznichenko OL, Kubashko A. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the Chernobyl accident. *Clin Neuropsychiatry.* 2013;10(6):280-281.
 10. Loganovsky KM, Fedirko PA, Kuts KV, Marazziti D, Antypchuk KY, Perchuk IV, et al. Brain and eye as potential targets for ionizing radiation impact. Part I. the consequences of irradiation of the participants of the liquidation of the Chernobyl accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2020;25:90-129. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-90-129.
 11. Garkava NA, Fedirko PA, Babenko TF, Dorichevska RE. Radiation induced violations of blood circulation in the ciliary body and changes of the anterior chamber angle in the pathogenesis of glaucoma in clean up workers of the Chernobyl NPP accident and residents of contaminated areas. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2017;22:332-338.
 12. Buzunov VO, Prikaschikova KYe, Domashevskaya TYe, Kostiuk GV, Gubina IG, Tereschenko SO. Dose- and age-dependent cardiovascular mortality among inhabitants of the Chernobyl contaminated areas. 1988-2010 observation period. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2014;19:59-66.
 13. Buzunov VO, Voychulene YuS, Domashevskaya TYe, Khabarova TP, Kartushin GI. Postaccident changes in health status of the Chernobyl cleanup workers 1986–1987 (period of observation 1988–2012). *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2015;20:157-173.
 14. Little MP, Azizova TV, Hamada N. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology. *Int J Radiat Biol.* 2021;6(97):782-803. doi: 10.1080/09553002.2021.1876955.
 15. Ungvari Z, Tarantini S, Donato AJ, Galvan V, Csiszar A. Mechanisms of vascular aging. *Circ. Res.* 2018;123(7):849-867. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.118.311378.
 16. Kovalenko VM, Kornatsky VM, editors. [The state of health of the people of Ukraine in wartime]. Kyiv; 2022. 220 p. Ukrainian
 17. Prylypko VA, Morozova MM, Bondarenko IV, Petrychenko OO, Romanenko OM, Tuz KK, Ozerova YY. Impact of the Rivne NPP on the natural and social environment of the observation zone. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2019;24:131-149. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-131-149.
 18. Prylypko VA, Morozova MM, Bondarenko IV, Pelukh OO, Ozerova YY. Environmental determinants in the formation of the population's attitude to the development of nuclear energy. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2020;25:249-264. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-249-264.
 19. Buzunov VO, Pirogova OYa, Krasnikova LI, Tsuprykov VA, Voychulene YuS, Domashevskaya TE. [Indicators and methods of their calcu-

19. Показники та методи їх розрахунку в епідеміології неінфекційних захворювань : навч.-метод. посіб. / В. О. Бузунов та ін. Київ : ВД «Авіцена», 2013. 120 с.
20. Epicure users guide / D. L. Preston et al. Seattle, WA: Hirosoft International Corporation, 1993.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Федірко Павло Андрійович, доктор медичних наук, професор, директор Інституту радіаційної гігієни і епідеміології, керівник лабораторії радіаційно індукованих захворювань ока ІРГЕ, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-9668>

Бабенко Тетяна Федорівна, кандидат медичних наук, учений секретар Інституту радіаційної гігієни і епідеміології, старший науковий співробітник лабораторії радіаційно індукованих захворювань ока ІРГЕ, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5704-2709>

Капустинська Ольга Андріївна, науковий співробітник лабораторії епідеміології непухлинних захворювань ІРГЕ, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-9397-475X

Беляєв Юрій Миколайович, старший науковий співробітник лабораторії епідеміології непухлинних захворювань ІРГЕ, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Терещенко Сергій Олексійович, в. о. директора Державної установи «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

Дорічевська Раїса Юхимівна, науковий співробітник лабораторії радіаційно індукованих захворювань ока ІРГЕ, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1067>

- lation in the epidemiology of non-communicable diseases: teaching-methodical manual]. Kyiv: Avicenna; 2013. 120 p. Ukrainian
20. Preston DL, Lubin DB, Pierce DA, McConney ME. Epicure users guide. Seattle, WA: Hirosoft International Corporation; 1993. 186 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Pavlo A. Fedirko, MD, PhD, Dr. Med. Sci., Professor, Director of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology (IRHE), Head of the Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases of the IRHE, SI «NRCRMHO of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-9668>

Tetyana F. Babenko, MD, PhD, Cand. Med. Sci., Scientific Secretary of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, Senior Researcher of the Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases of the IRHE, SI «NRCRMHO of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5704-2709>

Olga A. Kapustinska, MD, Researcher of the Laboratory of Epidemiology of Non-Tumor Diseases of the IRHE, SI «NRCRMHO of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9397-475X

Yuriy M. Belyaev, Senior Researcher of the Laboratory of Epidemiology of Non-Tumor Diseases of the IRHE, SI «NRCRMHO of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Serhiy O. Tereshchenko, Acting Director of the State Institution «Ukrainian Center of Information Technologies and the National Registry of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Raisa Y. Dorichevska, MD, Researcher, Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases, IRHE, SI «NRCRMHO of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1067>

Стаття надійшла до редакції 11.09.2024

Received: 11.09.2024