

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я
ІМ. О.М. МАРЗЄЄВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК
УКРАЇНИ»

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

ОПЕРЧУК АНАТОЛІЙ ПАВЛОВИЧ

УДК 613.648.01:616-006]:622.349.5](477)(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВО-ГІГІЄНИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКРАЩЕННЯ
РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ З ВИДОБУТКУ Й
ПЕРВИННОМУ ЗБАГАЧЕННІ УРАНОВИХ РУД

14.02.01 – гігієна та професійна патологія

22 Охорона здоров'я

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.П. Оперчук

Науковий керівник - **Павленко Тетяна Олександрівна**, доктор біологічних
наук, професор

Київ 2020

АНОТАЦІЯ

Оперчук А.П. Науково-гігієнічне обґрунтування покращення радіаційного захисту на підприємствах з видобутку й первинному збагаченні уранових руд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук за спеціальністю 14.02.01 – «Гігієна та професійна патологія». – Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної Академії медичних наук України», Київ, 2020.

Науковим комітетом з дії атомної радіації Організації об'єднаних націй (НКДАР ООН) у доповіді за 2016 рік узагальнено результати наукових робіт за останні десять років (UNSCEAR, 2017) та визначено основні напрямки нових досліджень (UNSCEAR, 2016). Аналізуючи отримані результати, Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) прийшла до висновку, що існує ряд невизначеностей щодо впливу на здоров'я гірників уранових шахт довгоіснуючих альфа-випромінювачів уранового ряду, а оцінки радіаційних ризиків – неоднозначні.

Експерти визнали, що останній пулінговий аналіз епідеміологічних досліджень впливу радону та його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) на здоров'я шахтарів не дав однозначної відповіді щодо радіаційних ризиків. Так, накопичені в останні роки данні щодо онкологічної захворюваності шахтарів уранових шахт (Tomasek, 2012, 2014; Kreuzer, 2015; Zaballa and Eidemüller, 2016; Beck, 2017) свідчать про істотне зниження величини радіаційних ризиків від радону та його ДПР, оцінки доз опромінення яких були побудовані на концепції «умовного дозового переходу» (ICRP Publ.65, 1995). Тому останні рекомендації МКРЗ щодо опромінення радоном та його ДПР пропонують повернутися до дозиметричних та біокінетичних моделей розрахунків еквівалентних та ефективних доз (ICRP Publ.115, 2010; ICRP Publ. 126, 2014), а нові коефіцієнти переходу від робочого рівня за місяць

(PPM) до ефективної дози (ЕД) для цих радіонуклідів ще необхідно розробити. Дискусія з цього приводу триває (Besk, 2017).

Зміни в системі радіаційного захисту персоналу уранових шахт мають пряме відношення до нашої країни. Сьогодні Україна посідає 10 місце в світі по видобутку урану, а енергетична стратегія розвитку України до 2035 року, схвалена на засіданні уряду 18 серпня 2017 року, передбачає подальше збільшення видобутку уранових руд та створення резервів уранового концентрату, а це означає, що потенційно має збільшитись кількість працівників (персоналу категорії «А»), які зазнають додаткового професійного опромінення.

Сталий розвиток урановидобувної та переробної галузі вимагає відповідної сучасної системи радіаційного захисту персоналу, яка дозволить зберегти здоров'я гірників.

Діюча система радіаційного захисту шахтарів була запроваджена у 1986 році і за останні 30 років практично не змінювалась, а її ефективність не оцінювалася. До сьогодні оцінки доз опромінення шахтарів здійснюються непрямыми методами, які застосовувалися ще до впровадження «Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» і які мають бути приведені до вимог «Основних стандартів радіаційної безпеки» Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) (IAEA, 2014) та Директив 2013/59/Євратому (2013/59/EURATOM).

Необхідно зазначити, що закритість цієї галузі впродовж багатьох років не дозволяла проаналізувати онкологічну захворюваність шахтарів та оцінити ефективність існуючої системи захисту. Дані про ЕД опромінення почали накопичуватися тільки після затвердження НРБУ-97 та запровадження ліцензування практичної діяльності в Україні. За ці роки накопичилася інформація щодо професійних раків, верифікованих провідними академічними інститутами, якої достатньо для попереднього аналізу та висновків.

Таким чином, дана робота є актуальною і своєчасною в контексті світових тенденцій перегляду впливу на здоров'я людини окремих радіоактивних джерел в залежності від ситуації опромінення і, в першу чергу, для запланованої ситуації, до якої відносяться гірники уранових шахт.

У дисертаційній роботі узагальнено та науково обґрунтовано вимоги до системи радіаційного захисту персоналу урановидобувних підприємств на підставі аналізу реальної онкологічної захворюваності гірників.

Для досягнення поставленої в дисертаційній роботі вирішені наступні завдання:

- визначені ефективні дози опромінення робітників уранових шахт та їх структура;
- проведений порівняльний аналіз ефективних доз опромінення гірників за професійними групами;
- проаналізована професійна онкологічна захворюваність гірників за віком, професійним стажем, окремими професіями, іншими чинниками, які потенційно впливають на онкологічну захворюваність;
- проведено порівняльний аналіз радіаційних ризиків гірників з реальним рівнем онкологічної захворюваності.
- надані рекомендації щодо радіаційного захисту гірників.

Дослідження були виконані за допомогою бібліографічного (аналіз наукової інформації), аналітичного - для узагальнення інформації щодо результатів аналізу ЕД опромінення гірників, закономірностей їх формування, онкологічної захворюваності та порівняльного аналізу реальної онкологічної захворюваності і прогнозованих ризиків; математичного - для статистичної обробки та аналізу отриманих даних: дескриптивний та дисперсійний методи статистичного аналізу результатів досліджень.

Також в дисертації використані методи математичних моделей МКРЗ для розрахунку доз опромінення населення та оцінки радіаційних ризиків.

За результатами роботи вперше за показниками реальної професійної онкологічної захворюваності працівників уранових шахт визначені найбільш

небезпечні робочі місця і когорти працюючих за факторами впливу іонізуючого випромінення на уранових шахтах України та окреслені задачі і напрямки профілактичних заходів у забезпеченні радіаційного захисту персоналу в контексті сучасних міжнародних вимог.

За визначеними часовими та віковими закономірностями реалізації радіаційних ризиків онкологічної захворюваності на рак легенів робітників уранових шахт, запропоновані нові підходи щодо оцінки стану радіаційної безпеки працівників підприємств відповідно до вимог сучасної системи радіаційного захисту, реалізованої в нових стандартах радіаційної безпеки МАГАТЕ та з урахуванням особливостей формування доз опромінення та умов праці персоналу український урановидобувних підприємств.

Науково обґрунтовані шляхи оптимізації системи радіаційного захисту персоналу урановидобувних підприємств.

Визначений перелік найбільш критичних документів з радіаційного захисту персоналу щодо ефективної і достовірної системи розрахунку і реєстрації ефективних доз персоналу до сучасних міжнародних вимог радіаційного захисту працюючих.

В дисертації на основі теоретичного узагальнення та комплексного дослідження радіаційно-гігієнічних параметрів робочих місць та інформації щодо професійної онкологічної захворюваності за верифікованими діагнозами визначені часові та вікові закономірності реалізації радіаційних ризиків онкологічної захворюваності на рак легенів та науково обґрунтовано шляхи оптимізації системи радіаційного захисту працівників уранових шахт України:

1. Встановлено, що усереднена ЕД гірників склала 12,5 мЗв/рік, частка зовнішнього опромінення 3,3 мЗв/рік (26,7%), радону-222 і його ДПР – 3,9 мЗв/рік (31,5%), активності довгоіснуючих продуктів розпаду уранового і торієвого рядів – 4,5 мЗв/рік (35,9%). Визначено, що ЕД варіювали від 1,5 мЗв/рік до 47,6 мЗв/рік при стандартному відхиленні 5,4 мЗв/рік і середньо геометричному показникові ЕД 10,9 мЗв/рік. Визначено, що в середньому

величина накопиченої дози по всьому масиву даних склала 92,7 РРМ й по когортам: «основна 0» – 92,9 РРМ, «основна 1» – 78,0 РРМ, «допоміжні» – 91,4 РРМ, «поверхня» – 71,5 РРМ.

2. Визначена структура ЕД для окремих когорт підземних груп професій і встановлено, що внесок радону-222 і ДПР для когорти «основна 0» становить 31%, по когорті «основна 1» – 44%, по когорті «допоміжні» – 37%.

Визначено, що внесок ДЖАУ складає: когорта «основна 0» – 34%, когорта «основна 1» – 31%, когорта «допоміжні» – 37%. Відповідний внесок зовнішнього гамма-опромінення склав 31% для когорти «основна 0», 25% – для когорти «основна 1» і 26% – для когорти «допоміжні».

Встановлено, що для когорти «поверхня» структура сумарної ЕД істотно відрізняється, а внесок окремих джерел складає: ДЖАУ – 61%, ЕРОА радону-222 – 21%, зовнішнє гамма-опромінення – 18%.

3. Встановлено, що середній відсоток професійної онкологічної захворюваності за період з 1997 по 2015 рік складає 11% від загальної кількості професійних захворювань, які були зареєстровані на підприємствах. Рівень онкологічної захворюваності на рак легенів складає 4,2 випадки на 1000 працівників категорії «А». За окремими когортами цей показник склав: «основна 0» – 7,62, «основна 1» – 5,58, «допоміжна» і «поверхня» – 3,54 і 2,02, відповідно. Визначено, що професійний рак діагностувався у працівників уранових шахт в середньому у віці 59 років. Мінімальний вік, в якому було діагностовано професійний рак, склав 40 років, а максимальний – 78 років.

4. Встановлені вікові закономірності реалізації раку легенів, а саме: 60% випадків професійного раку виникло у працівників, які почали свою трудову діяльність в шкідливих умовах у віці 24-32 роки. Для цієї вікової категорії кількість випадків професійного раку в середньому була удвічі вища, ніж в інших вікових групах. Більше половини професійних раків було

діагностовано у віці 40-60 років з піком захворюваності в 49 років, тобто в працездатному віці. Встановлена вагома відмінність щодо частоти виникнення професійного раку між окремими підприємствами, а саме: професійна онкологічна захворюваність на Смолінській шахті була на 34% вища, ніж на Інгульській.

5. Доведено, що фактична кількість зареєстрованих раків значно вища від прогнозованої величини і складає по загальному масиву даних 4,7 випадків проти прогнозованого показника 1,24, що практично у 3,8 разів перевищує прогноз. У когорті «основна 0» фактична захворюваність перевищує прогнозовану у 7,2 разів, у когорті «основні 1» – 5,3 разів, у когортах «допоміжні» і «поверхня» – у 2,9 і 2,1 разів, відповідно.

6. Визначено, що однією з можливих причин високої реєстрації професійного раку може бути додаткове опромінення гірників у власних оселях. В окремих випадках ЕД опромінення радоном і його ДПР в повітрі житлових будинків Кіровоградщини можуть сягати 30 мЗв/рік.

Реєстрація випадків професійної онкологічної патології при роботі з радіаційно-небезпечними факторами виробничого середовища, при яких у верхніх дихальних шляхах і легенях працівників категорії «А» відбувається накопичення аерозолів ДПР радону і пилу уранової руди, здатних викликати розвиток онкологічних захворювань, дають підставу рекомендувати:

- знизити максимально допустиму концентрацію пилу в повітрі робочої зони з 2 мг/м³ 1 мг/м³;
- переглянути чинні нормативні документи щодо величини показників радіаційно-небезпечних факторів виробничого середовища;
- розробити наступні нормативно-правові документи: «Інструкція з радіаційної безпеки при видобутку уранових руд»; «Інструкція з радіаційної безпеки при підземному і купчастому вилуговуванню уранових руд»; «Методичні вказівки з індивідуального дозиметричного контролю зовнішнього й внутрішнього опромінення персоналу уранових копалень»; «Методичні вказівки з контролю радіаційної обстановки на уранових

копальнях»; «Пам'ятка з радіаційної безпеки для персоналу урановидобувних підприємств».

Для підвищення медико-соціальної захищеності під час роботи і перед виходом на пенсію за віком або вислугою років гірники в обов'язковому порядку мають проходити ретельне медичне обстеження з рентгено-функціональною оцінкою стану їхніх органів дихання з метою виявлення можливої наявності чи ознак професійної патології легенів.

При проходженні медичного огляду при прийомі на роботу на підприємства урановидобувної та переробної промисловості необхідно встановити відповідні маркери спроможності організму індивідуума протидіяти виникненню онкологічних захворювань в умовах дії іонізуючого випромінювання.

Медичне спостереження за працівниками урановидобувних і переробних підприємств повинне бути продовжене до кінця їхнього життя.

При проектуванні і введенні в експлуатації підприємств з видобутку і первинного збагачення уранових руд необхідно провести інженерно-технічні дослідження захисних заходів, спрямованих на оптимізацію радіаційного стану і, в першу чергу, заходів боротьби з радоном.

Основні матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на наступних форумах, науково-практичних конференціях, наукових нарадах, а саме: Третій Європейський конгрес Міжнародної Асоціації Радіаційного Захисту (IRPA), м. Гельсінкі, Фінляндія, 2010 р.; Науково-практична конференція «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі Марзеєвські читання)», м. Київ, 2011 р.; Науково-практична конференція «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дев'яті Марзеєвські читання)», м. Київ, 2015 р.; V міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології», м. Київ, 2016 р.; VI міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології», м. Київ, 2017 р.

Отримані результати впроваджені: - на галузевому рівні затверджено МОЗ України Методичні рекомендації МР 6.6.1. 6.2.-000-14 «Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України», 2014; - у навчальний процес кафедри загальної гігієни та екології ДВНЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України» (акт впровадження від 15.09.2018 року), кафедри громадського здоров'я Національного університету «Острозька академія» (акт впровадження від 05.03.2018 року), - у практичну роботу ДУ «Кіровоградський обласний лабораторний центр МОЗ України» (акт впровадження від 25.09.2018 р.).

Ключові слова: уранові шахти України, радон та його продукти розпаду, професійна онкологічна захворюваність, ризик, доза опромінення, довгоживучі радіонукліди уранового і торієвого рядів.

SUMMARY

Operchuk AP Scientific and hygienic substantiation of improvement of radiation safety at the enterprises for extraction and primary enrichment of uranium ores. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Medical Sciences degree in specialty 14.02.01 - «Hygiene and occupational pathology». - State Institution «Institute of Public Health. OHM. Marzeev Academy of Medical Sciences of Ukraine» Kiev, 2020.

The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNFCCC) summarizes the results of scientific work over the last ten years (UNSCEAR, 2017) and outlines new research (UNSCEAR, 2016). Analyzing the findings, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) concluded that there were a number of uncertainties regarding the health effects of long-lived uranium alpha miners, and that the estimates of radiation risks were ambiguous.

Experts have acknowledged that the latest pooling analysis of epidemiological studies of the effects of radon and its decay products (DPR) on the health of miners did not provide a clear answer regarding radiation risks. Thus, the accumulated data in recent years on the cancer incidence of uranium miners (Tomasek, 2012, 2014; Kreuzer, 2015; Zaballa and Eidemüller, 2016; Beck, 2017) indicate a significant reduction in the magnitude of radiation risks from radon and its DDP, dose estimates of radiation which were built on the concept of «conditional dose transition» (ICRP Publ.65, 1995). Therefore, the latest ICRP recommendations on radon irradiation and its DWP suggest a return to dosimetric and biokinetic models of equivalent and effective dose calculations (ICRP Publ.115, 2010; ICRP Publ. 126, 2014), and new month-to-month (PPE) transition rates an effective dose (ED) for these radionuclides remains to be developed. Discussion is ongoing (Beck, 2017).

Changes in the radiation protection system for uranium mine personnel are directly related to our country. Today, Ukraine is ranked 10th in the world in

uranium production, and Ukraine's energy development strategy until 2035, approved by the government on August 18, 2017, envisages a further increase in uranium ore production and uranium concentrate reserves, which means that potential employees (Category A staff) who are exposed to additional occupational exposure.

Sustainable development of the uranium mining and processing industry requires an up-to-date personnel radiation protection system that will help to keep the miners healthy.

The existing miners' radiation protection system was introduced in 1986 and has remained virtually unchanged over the last 30 years and has not been evaluated for effectiveness. To date, mine doses are estimated by indirect methods, which were applied before the implementation of the «Ukrainian Radiation Safety Standards-97 (RSSU-97)» and which should be brought to the requirements of the International Atomic Energy Agency (IAEA) Basic Radiation Safety Standards (IAEA) 2014) and Directive 2013/59/Euratom (2013/59 / EURATOM).

It should be noted that the closure of this industry for many years did not allow to analyze the cancer incidence of miners and evaluate the effectiveness of the existing protection system. Data on ED irradiation began to accumulate only after the approval of «Ukrainian Radiation Safety Standards-97 (RSSU-97)» and the introduction of practice licensing in Ukraine. Over the years, information about professional cancers has been accumulated, verified by leading academic institutions, which is sufficient for preliminary analysis and conclusions.

Thus, this work is relevant and timely in the context of global trends in the review of the impact on human health of individual radioactive sources, depending on the irradiation situation and, first of all, for the planned situation to which the miners of uranium mines belong.

The thesis generalizes and scientifically substantiates the requirements to the system of radiation protection of the personnel of uranium mining enterprises on the basis of analysis of real oncological morbidity of miners.

To achieve the thesis set out in the dissertation, the following tasks are solved:

determined effective doses of irradiation of workers of uranium mines and their structure;

a comparative analysis of effective doses of miners' exposure by occupational groups was carried out;

the professional oncological incidence of miners by age, professional experience, individual professions, other factors that potentially affect oncological incidence is analyzed;

a comparative analysis of radiation risks of miners with the real level of cancer was conducted.

recommendations for radiation protection of miners were provided.

The studies were performed using bibliographic (scientific information analysis), analytical - to summarize information on the results of the analysis of the miners' radiation exposure, patterns of their formation, oncological morbidity and comparative analysis of real oncological morbidity and projected risks; mathematical - for statistical processing and analysis of the obtained data: descriptive and variance methods of statistical analysis of research results.

The dissertation also uses the methods of mathematical models of the ICRP to calculate the doses of population exposure and to evaluate radiation risks.

According to the results of the work, for the first time in terms of real professional oncological morbidity of uranium mines workers, the most dangerous workplaces and cohorts working on the factors of ionizing radiation impact on uranium mines in Ukraine are identified and the tasks and directions of preventive measures in providing radiation protection in modern context are outlined.

According to certain temporal and age regularities of realization of radiation risks of cancer on lung cancer of workers of uranium mines, new approaches are proposed for estimation of a state of radiation safety of workers of enterprises in accordance with the requirements of modern radiation protection system

implemented in new radiation standards. and working conditions of Ukrainian uranium mining personnel.

Ways to optimize the radiation protection system of uranium mining personnel are scientifically substantiated.

The list of the most critical documents on personnel radiation protection concerning an effective and reliable system of calculation and registration of effective doses of personnel to the modern international requirements of radiation protection of employees is determined.

In the dissertation on the basis of theoretical generalization and complex research of radiation-hygienic parameters of workplaces and information on occupational cancer on verified diagnoses, time and age regularities of realization of radiation risks of lung cancer and scientific work were determined.

1. It is found that the average ED of miners was 12,5 mSv/year, the share of external radiation was 3.3 mSv/year (26,7%), radon-222 and its daughter decay products (DDP) 3,9 mSv/year (31,5%), the activity of long-lived decay products of uranium and thorium series – 4,5 mSv/year (35,9%). It was determined that the ED varied from 1,5 mSv/year to 47,6 mSv/year, with a standard deviation of 5,4 mSv/year and a geometric mean ED of 10,9 mSv/year. It was determined that the average accumulated dose over the entire data set was 92,7 WLM : cohort «main 0» - 92,9 WLM, «main 1» - 78,0 WLM, «auxiliary» - 91,4 WLM, «surface» - 71,5 WLM.

2. The ED structure was determined for individual cohorts of underground occupational groups and it was found that the contribution of radon-222 and DDP for the «main 0» cohort was 31%, for the «main 1» cohort - 44%, and for the «auxiliary» cohort -37%.

The long-lived radionuclides contribution was determined to be: cohort «main 0» 34%, «main 1» - 31%, «auxiliary» - 37%. The corresponding external gamma contribution was 31% for the «major 0» cohort, 25% for the «main 1» cohort, and 26% for the auxiliary cohort.

It is established that for the cohort «surface» the structure of total ED is significantly different, and the contribution of individual sources is: long-lived radionuclides 61%, radon-222 21%, external gamma-irradiation 18%.

3. The average percentage of occupational cancer rates from 1997 to 2015 was found to be 11% of the total number of occupational diseases reported at the enterprises. The incidence of lung cancer is 4,2 cases per 1,000 A-category workers. For individual cohorts, this figure was: «main 0» 7,62, «main 1» 5,58, «auxiliary» and «surface» 3,54 and 2,02 respectively. Occupational cancer has been identified in uranium mines at an average age of 59 years. The minimum age at which professional cancer was diagnosed was 40 years and the maximum age was 78 years.

4. Established age-related patterns of lung cancer, namely: 60% of occupational cancer cases occurred in workers who started their work in harmful conditions at the age of 24-32 years. For this age group, the average number of occupational cancer cases was twice as high as in other age groups. More than half of occupational cancers were diagnosed at the age of 40-60 years with a peak incidence of 49 years, that is, of working age. There is a significant difference in the incidence of occupational cancer between individual enterprises, namely: occupational cancer incidence at the Smolin mine was 34% higher than in Ingulsk.

5. It is proved that the actual number of registered cancers is much higher than the predicted value, and is 4,7 cases against the total of 1,24, which is almost 3,8 times higher than the forecast. In the cohort «main 0» the actual incidence exceeds the predicted in 6,2 times, in the cohort «main 1» – in 5,3 times, «auxiliary» and «surface» by 2,9 and 2,1 times, respectively.

6. It is determined that one of the possible reasons for the high registration of occupational cancer may be the additional exposure of miners in their homes. In some cases, the radiation exposure of radon and its DDR in the air of residential buildings in the Kirovograd region may reach 30 mSv/year.

Registration of cases of occupational cancer oncology at work with radiation-hazardous factors of industrial environment at which in the upper

respiratory tract and lungs of workers of category «A» there is accumulation of aerosols of radon and dust of uranium ore, capable to cause the development of oncological diseases:

- reduce the maximum permissible concentration of dust in the air of the working area from 2 mg/m³ to 1 mg/m³;
- revise the current regulatory documents regarding the magnitude of the radiation-hazardous factors of the production environment;
- to develop the following regulatory documents: «Radiation Safety Instruction for Uranium Ore Extraction»; «Instructions for radiation safety in underground and pile leaching of uranium ores»; «Methodical instructions for individual dosimetric control of external and internal exposure of uranium mining personnel»; «Methodical instructions for control of radiation situation at uranium mines»; «A radiation safety memo for uranium mining personnel».

To improve medical and social security during work and before retirement by age or seniority, the miners must have undergone a thorough medical examination with X-ray functional assessment of their respiratory organs to identify possible presence or signs of occupational lung pathology.

When undergoing a medical examination when hiring for uranium and processing enterprises, it is necessary to establish appropriate markers of the individual's ability to counteract the occurrence of oncological diseases under conditions of ionizing radiation.

Medical surveillance of uranium mining and processing workers should be continued for the rest of their lives.

When designing and commissioning enterprises for the extraction and primary enrichment of uranium ores, it is necessary to carry out engineering and technical studies of protective measures aimed at optimizing the radiation status and, first of all, measures to combat radon.

The main materials of the dissertation were reported and discussed at the following forums, scientific-practical conferences, scientific meetings, namely: Third European Congress of the International Radiation Protection Association

(IRPA), Helsinki, Finland, 2010; Scientific and Practical Conference «Topical Issues of Hygiene and Ecological Safety of Ukraine (Seventh Marseille Readings)», Kyiv, 2011; Scientific and Practical Conference «Topical Issues of Hygiene and Environmental Safety of Ukraine (Ninth Marseille Readings)», Kyiv, 2015; V International Conference «Medical Physics - Current State, Problems, Ways of Development. Innovative technologies» Kyiv, 2016; 6th International Conference «Medical Physics» is the current state, problems, ways of development. Innovative Technologies, Kyiv, 2017.

The obtained results are implemented: - Methodological recommendations are approved at the sectoral level of the Ministry of Health of Ukraine MR 6.6.1. 6.2.-000-14 «Implementation of radiation and hygienic monitoring by the institutions of the State Sanitary and Epidemiological Service of Ukraine», 2014; - in the educational process of the Department of General Hygiene and Ecology of Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine (implementation act dated 15.09.2018), Department of Public Health of the National University «Ostroh Academy» (act of implementation from 05.03.2018) - in the practical work of the State Institution «Kirovograd Regional Laboratory Center of the Ministry of Health of Ukraine» (act of implementation from 25.09.2018). Keywords: Ukraine's uranium mines, radon and its decay products, occupational cancer, risk, radiation dose, long-lived uranium and thorium series radionuclides.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

у наукових фахових виданнях України

1. А.П. Оперчук. Оценка величины радиационных рисков персонала урановых шахт Украины // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. 2009. Том 13 №2. С. 285–291.

2. Оперчук А.П., Л.И. Ковалевский, И.П. Лось. Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // Довкілля та здоров'я. 2009. №2 (45). С. 4–9. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

3. А.П. Оперчук, Л.Л. Стадник, Л.О. Гайсенюк, Г.В. Кулініч. Характеристика умов праці та дозових навантажень гірників уранових шахт СхідГЗК з діагнозом професійний рак органів дихання // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. 2010. Том 134 /№1/. С. 129–134. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

у виданнях, які входять до науково метричних баз даних, та в міжнародних фахових виданнях

4. Т.О. Павленко, А.П. Оперчук, М.В. Аксьонов, М.А Фризюк, О.В. Федоренко. Особливості планування досліджень рівнів радону в повітрі будинків в рамках реалізації плану дій // Довкілля та здоров'я. 2020. № 1. С. 41–54. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

5. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchuk. The Ukrainian Pilot Project «Stop Radon» // Nuclear Technology & Radiation Protection: 2014, Vol. 29, No. 2, pp. 142–148. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

6. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchuk. Radon Remediation Efficiency Assessment in the Kirovograd

// Nuclear Technology & Radiation Protection: 2018, Vol. 33, No. 3, pp. 317–323.

(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)

наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. А.П. Оперчук, Т.О. Павленко, С. В. Протас, М. В. Аксьонов, О. О. Герман, Ю.М. Брюм. Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської області // Матеріали науково-практичної конференції (одинадцяті Марзєєвські читання) Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України 8-9 жовтня 2015 р.) Івано-Франківськ, 2015. С. 37–39. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

8. Anatolii Operchuk. Professional cancer pathology uranium miners in Ukraine related to the inhalation of radioactive radon gas and radioactive dust. Radiation protection issues in fuel-manufacturing //Third European IRPA Congress 17-18 june 2010 Helsinki, Finland W52-06. 2010 pp. 164–165.

9. А.П. Оперчук. Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // Матеріали науково-практичної конференції «Гігієнічна наука та практика на рубіжі століть». XIV з'їзд гігієністів України, м. Дніпропетровськ 2004. С. 163–164.

10 А.П. Оперчук. Гігієнічні аспекти радіаційної безпеки при видобутку уранових руд // Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії. Матеріали XV з'їзду гігієністів України, 20–21 вересня 2012 року ЛДМУ ім. Д. Галицького 2012. С. 352–353.

11. А.П. Оперчук, Ю.М. Брюм, В.Г. Вечеровський «Кіровоградська область як маркер «Радонової» проблеми України» // Матеріали науково-практичної конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» м. Харків 2016. С. 47–54. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

12. А.П. Оперчук. Особливості проведення індивідуальної дозиметрії персоналу уранових шахт України. Огляд // Науково-практична конференція

з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні». Харків. 2016. С. 47–54.

13. А.П. Оперчук. Дослідження радону-222 в житлових приміщеннях та приміщеннях загального призначення Кіровоградської області. Протирадонові заходи // V міжнародна конференція «Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології», Київ. 2016. С. 38–42.

14. Tatyana Pavlenko, Anatolii Operchuk Special aspects of individual dosimetry of uranium mines staff in Ukraine //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET. Kiev. 2017. С. 94–98. (*Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів*)

15. Operchuk A., Brium Y. Kirovograd oblast as a marker of a radon problem in Ukraine //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET. Kiev. 2017. С. 124–132. (*Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів*)

16. А.П. Оперчук. Особливості проведення санітарно-епідеміологічного нагляду на підприємствах з видобутку та первинного збагачення уранових руд // матеріали міжнародної науково-практичної конференції Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (десяті марзєєвські читання). 2014. Випуск 14. Київ. С. 282–285.

матеріали що додатково відображають результати дисертації

17. А.П Оперчук, Т.О. Павленко Онкозаболеваемость персонала урановых шахт как маркер эффективности системы радиационной защиты на предприятии // Ядерна та радіаційна безпека. 2017. № 3 (75). С. 56–59. (*Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів*)

18. О.С. Тарасюк, М.В. Аксьонов, М.А. Фризюк, А.П. Оперчук, Т.А. Павленко, О.В. Федоренко. Наукове обґрунтування контрзаходів щодо зменшення доз опромінення населення України від радону в повітрі приміщень громадських та житлових будівель // Актуальні питання захисту

довкілля та здоров'я населення України. Вип. 5 (результати наукових розробок 2018 р.)/ Під ред. Акад. НАМНУ А.М. Сердюка – К: Видавництво: рекламне агентство TR Studio 2019. С. 180–210. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

19. Т.О. Павленко, М.А. Фризюк, М.В. Аксьонов, О.О. Герман, А.П. Оперчук, М.І. Костенецький, А.В. Куцак, А.І. Сєвальнєв, С.В. Протас. Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України// МР 6.6.1. 6.2.-000-14, 2014 *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

20. І.П. Лось, Т.О. Павленко, А.П. Оперчук, М.В. Аксьонов, М.А. Фризюк, О.Є. Тарасюк, Н.Д. Семенюк, Н.Л. Ковтонюк, О.В. Михайленко, О.В. Федоренко, Н.К. Кушнір, Є.О. Біляєв, Ю.С. Савін, Р.К. Стасюк, Н.В. Власюк, О.О. Герман. Радіаційно-гігієнічна оцінка залишків видобутку та переробки корисних копалин з високим вмістом природних радіонуклідів// Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України (результати наукових розробок 2015 р.) НАМНУ; ДУ «ІГЗ НАМНУ»; За ред. Акад. Сердюка А. М. 2016. 210 с. *(Збір матеріалів)*

ЗМІСТ

	Сторінка.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І СИМВОЛІВ	23
ВСТУП	26
Розділ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ. (Огляд літератури)	34
1.1 Особливості експлуатації уранових родовищ України	38
1.2 Біологічний вплив джерел іонізуючого випромінювання на здоров'я гірників за результатами епідеміологічних досліджень	43
1.3 Епідеміологічні дослідження онкологічної захворюваності шахтарів Уранових шахт	55
1.4 Міжнародні вимоги до радіаційного захисту шахтарів	68
1.5 Висновки до розділу	75
Розділ 2 ПРОГРАМА, МЕТОДИ І ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ	77
2.1 Інформаційна база	77
2.2 Методика проведення обрахунку доз опромінення	80
2.3 Методика перерахунку ефективних доз опромінення в відповідності до вимог Публікації МКРЗ №126	88
2.4 Розподіл працівників по когортам за професійним принципом	90
2.5 Не радіаційні фактори виробничого середовища	92
Розділ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ (ЕД) ПРАЦІВНИКІВ УРАНОВИХ	

	ШАХТ	96
3.1	Аналіз радіаційно-небезпечних факторів виробничого середовища (РНФ) і доз опромінення персоналу	99
3.2	Структура доз опромінення за окремими когортами	103
3.3	Оцінка радіаційного ризику	111
3.4	Висновки до розділу	113
Розділ 4	АНАЛІЗ ПРОФЕСІЙНОЇ ОНКОЛОГІЧНОЇ ЗАХВОРЮВАНOSTI	115
4.1	Встановлення термінів вивчення професійної онкологічної захворюваності	116
4.2	Встановлення фактичної кількості працюючих	116
4.3	Аналіз професійної онкологічної захворюваності	120
4.4	Терміни виникнення професійного раку після припинення робіт	129
4.5	Висновки до розділу	130
Розділ 5	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ З РЕАЛЬНИМ РІВНЕМ ОНКОЛОГІЧНОЇ ЗАХВОРЮВАНOSTI. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	132
5.1	Порівняльний аналіз радіаційних ризиків	132
5.2	Оцінка ризику в відповідності до сучасних вимог	136
5.3	Вірогідні додаткові причини ускладнення радіаційних ризиків	137
5.4	Реалізація принципу «не перевищення»	139

5.4	Висновки до розділу	142
	ВИСНОВКИ	143
	РЕКОМЕНДАЦІЇ	145
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	148
	Додаток А Список наукових праць опублікованих за темою дисертації	166
	Додаток В Апробація результатів дисертації	170
	Додаток В Акти впровадження	172
	Додаток Г1 Зразки надання підприємствами інформації щодо опромінення персоналу категорії «А»	175
	Додаток Г2 Зразки вихідних документів що використовувались для аналізу професійної онкологічної захворюваності	182

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І СИМВОЛІВ:

АЕ	- Атомна енергетика
АЕС	- Атомна електростанція
АМAD	Activity median aerodynamic diameter. Середній аеродинамічний діаметр активності.
САДА	- Значення аеродинамічного діаметра, при якому 50% присутньої в повітрі активності в даному аерозолі пов'язане з частками меншого розміру, ніж САДА, а 50% активності пов'язане з частинками більшого розміру, ніж САДА
Бк	- Беккерель
ВООЗ	- Всесвітня організація охорони здоров'я
ВЗУ	- Високосбагачений уран
Гр	- Грей
ГРОВ	- Гірничий робітник очисного вибою
Гц	- Герц
ДВР	- Додатковий відносний ризик
ЕД	- Ефективна доза (розрахована величина дози іонізуючого випромінення отримана на весь організм)
Н _т	- Еквівалентна доза (розрахована величина дози іонізуючого випромінення отримана на окремий орган або тканину)
ДПР	- Дочірні продукти розпаду радону-222
ЕРОА	- Ефективна рівноважна об'ємна активність радону
ДЖАУ	- Довгоживучі альфа-активні радіонукліди уранового і

(ДАН)	торієвого рядів
дБ	- Децибел
Зв	- Зіверт
Ки	- Кюри
МАГАТЕ	- Міжнародна агенція по атомній енергетиці
МКРЗ	- Міжнародний комітет з радіаційного захисту
МеВ	- Мегаелектронвольт
мБк	- Мілібеккерель
мЗв	- Мілізіверт
мкМ	- мікрометр
МКБ	- Міжнародна класифікація хвороб
МКРЗ	- Міжнародна комісія з радіаційного захисту
МС _{вд.}	- Максимальна сила вдиху
МС _{вид.}	- Максимальна сила видиху
МСЧ	- Медико-санітарна частина
МСЕК	- Медико-соціальна експертна комісія
НКДАР	- Науковий комітет з дії атомної радіації ООН
НРБУ	- Норми радіаційної безпеки України
ЛПЕ	- Лінійна передача енергії
сЗв	- Сантизіверт
ФЗД	- Функція зовнішнього дихання
ФЖЄЛ	- Форсована життєва ємність легенів
РНФ	- Радіаційно-небезпечні фактори
РЗФ	- Рудозбагачувальна фабрика

РЗД	- Рудозбагачувальна дільниця
ХДЛП	- Хіміко-дозиметрична лабораторія підприємств
РР	- Робочий рівень ДПР. Будь-яка комбінація коротко існуючих дочірніх продуктів радону в одному літрі повітря, яка приводить до випущення $1,3 \cdot 10^5$ MeV потенціальної енергії альфа-випромінювання.
РРМ	- Робочий рівень за місяць. Накопичена експозиція, обумовлена диханням в атмосфері з концентрацією дочірніх продуктів радону 1 робочий рівень протягом робочого місяця тривалістю до 170 годин.
ЯПЦ	- Ядерно-паливний цикл

ВСТУП

Актуальність теми. Науковий комітет Організації Об'єднаних Націй по впливу атомної радіації (НКДАР ООН) у доповіді за 2016 рік узагальнив результати наукових робіт за останні десять років [1] та визначив основні напрямки нових досліджень [2]. Так, один із розділів та окремий додаток цієї доповіді присвячені безпосередньо опроміненню персоналу, який працює на підприємствах з видобутку та переробки уранової руди, та узагальненню здобутих результатів [1].

Аналізуючи отримані результати, Комісія прийшла до висновку, що існує ряд невизначеностей щодо впливу на здоров'я гірників уранових шахт довгоживучих альфа-випромінювачів уранового ряду, внесок якого практично не визначений, а оцінки радіаційних ризиків неоднозначні. Експерти також визнали, що пулінговий аналіз епідеміологічних досліджень впливу радону та його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) на здоров'я шахтарів довів необхідність переоцінки внеску цього джерела з позиції величини дози опромінення. Результати аналізу останніх епідеміологічних досліджень [3-8] зафіксували суттєве заниження величини радіаційних ризиків від радону та його ДПР для шахтарів, оцінки доз опромінення яких були побудовані на концепції «умовного дозового переходу «Публікації 65»» Міжнародної Комісії Радіологічного захисту (МКРЗ) [9]. Тому останні рекомендації МКРЗ щодо опромінення радоном та його ДПР пропонують повернутися до дозиметричних та біокінетичних моделей розрахунків еквівалентних та ефективних доз [10, 11], а нові коефіцієнти переходу від робочого рівня за місяць (PPM) до ефективної дози (ЕД) для цих радіонуклідів сьогодні оцінюються та обговорюються експертами з дозиметрії та радіаційного захисту.

Зміни в системі радіаційного захисту персоналу уранових шахт мають пряме відношення до нашої країни. Сьогодні Україна посідає 10 місце в світі по видобутку урану [12, 13], а енергетична стратегія розвитку України до 2035 року, схвалена на засіданні уряду 18 серпня 2017 року, передбачає подальше збільшення видобутку уранових руд та створення резервів уранового концентрату [14]. Це значить, що потенційно має збільшитись кількість гірників (персоналу категорії А), які зазнають додаткового професійного опромінення.

Таким чином, сталий розвиток урановидобувної та переробної галузі вимагає відповідної сучасної системи радіаційного захисту персоналу, яка дозволить зберегти здоров'я гірників. Діюча система радіаційного захисту шахтарів була запроваджена у 1986 році і за в останні 30 років практично не змінювалась [15]. За ці роки переглядалися тільки методики розрахунку доз опромінення персоналу (2008 рік) [16], проте одна з головних вимог - впровадження індивідуальної дозиметрії для персоналу так і не була виконана, що значно погіршило контроль опромінення гірників за ці роки. До сьогодні оцінки доз опромінення шахтарів здійснюються непрямыми методами, які застосовувалися до впровадження «Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» [17], і, які також мають бути переглянуті та приведені до вимог «Основних стандартів радіаційної безпеки» МАГАТЕ [18] та Директив 2013/59/Євратому [19].

Необхідно зазначити, що закритість цієї галузі впродовж багатьох років не дозволяла проаналізувати онкологічну захворюваність шахтарів та оцінити ефективність існуючої системи захисту. Дані про ЕД опромінення почали накопичуватися тільки після затвердження НРБУ-97 та запровадження ліцензування практичної діяльності в Україні. За ці роки накопичилася інформація щодо діагнозів професійних раків, верифікованих провідними академічними інститутами, якої достатньо для попереднього аналізу та висновків.

Таким чином, дана робота є актуальною і своєчасною в контексті світових тенденцій перегляду впливу на здоров'я людини, розвитку системи громадського здоров'я окремих радіоактивних джерел в залежності від ситуації опромінення і, в першу чергу, для запланованої ситуації опромінення до якої відносяться гірники уранових шахт.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дана дисертація виконувалась у рамках наступних науково-дослідних робіт:

– «ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва АМНУ» «Радіаційно-гігієнічна оцінка залишків видобутку та переробки корисних копалин з високим вмістом природних радіонуклідів», державний реєстраційний номер 0110U001463.

- Кіровоградська обласна державна адміністрація. Кіровоградська регіональна програма «Стоп-радон» затверджена рішенням Кіровоградської обласної державної адміністрації від 2 квітня 2012 року №172-р в рамках реалізації «Комплексної програми захисту населення Кіровоградської області від впливу іонізуючого випромінювання на 2009-2013 роки» затвердженої рішенням Кіровоградської обласної ради, від 19 березня 2009 року № 646

Мета та задачі дослідження.

Науково обґрунтувати вимоги до системи радіаційного захисту персоналу урановидобувних підприємств на підставі аналізу реальної онкологічної захворюваності гірників.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

1. Визначити ефективні дози опромінення робітників уранових шахт та їх структуру.
2. Провести порівняльний аналіз ефективних доз опромінення гірників за професійними групами.
3. Проаналізувати дані щодо професійної онкологічної захворюваності гірників за віком, професійним стажем, окремими

професіями, іншими чинниками, які потенційно можуть впливати на онкологічна захворюваність.

4. Провести порівняльний аналіз радіаційних ризиків гірників з реальним рівнем онкологічної захворюваності.

5. Надати рекомендації щодо радіаційного захисту гірників.

Об'єкт досліджень

Закономірності формування ЕД опромінення персоналу категорії «А» та професійної захворюваності персоналу урановидобувних підприємств, обумовлених дією радіаційно-небезпечних факторів

Предмет дослідження

Радіаційно-гігієнічні параметри робочих місць гірників уранових шахт України та верифіковані діагнози їхньої професійної онкологічної захворюваності

Методи дослідження:

аналітичний - для узагальнення інформації щодо результатів аналізу ЕД опромінення гірників, закономірностей їх формування, онкологічної захворюваності та порівняльного аналізу реальної онкологічної захворюваності і прогнозованих ризиків;

математичні - для статистичної обробки та аналізу отриманих даних: дескриптивний, кореляційний, дисперсійний методи статистичного аналізу результатів досліджень. Математичні моделі МКРЗ для розрахунку доз опромінення населення та оцінки радіаційних ризиків.

Наукова новизна дослідження

В роботі вперше за показниками реальної професійної онкологічної захворюваності працівників уранових шахт визначені найбільш небезпечні робочі місця і когорти працюючих за факторами впливу іонізуючого випромінювання на уранових шахтах України та окреслені задачі і напрямки профілактичних заходів у забезпеченні радіаційного захисту персоналу в контексті сучасних міжнародних вимог.

Теоретичне значення

За визначеними часовими та віковими закономірностями реалізації радіаційних ризиків онкологічної захворюваності на рак легенів робітників уранових шахт запропоновані нові підходи щодо оцінки стану радіаційної безпеки працівників підприємств відповідно до вимог сучасної системи радіаційного захисту, реалізованої в нових стандартах радіаційної безпеки МАГАТЕ та з урахуванням особливостей формування доз опромінення та умов праці персоналу український урановидобувних підприємств.

Практичне значення

Науково обґрунтовані шляхи оптимізації системи радіаційного захисту персоналу урановидобувних підприємств.

Визначений перелік найбільш критичних документів з радіаційного захисту персоналу щодо ефективної і достовірної системи розрахунку і реєстрації ефективних доз персоналу до сучасних міжнародних вимог радіаційного захисту працюючих.

Особистий внесок автора

Дисертантом особисто виконано патентно-інформаційний пошук і аналітичний аналіз літератури, визначення актуальності проблеми та мети роботи, розроблено програму досліджень, виконані конкретні теоретичні дослідження.

Здобувач особисто збирав базовий матеріал, виконував розрахунки, аналіз, систематизацію, математичну та статистичну обробку даних, формував рекомендації щодо радіаційного захисту гірників. Особисто автором сформовані основні положення, висновки та практичні рекомендації.

У спільних публікаціях авторіві належить розробка та наукове обґрунтування основних ідей і положень дослідження, проведення аналізу та інтерпретації отриманого результату.

Особистий внесок здобувача становить 80% обсягу роботи. В роботі не використовувались наукові результати та ідеї співавторів опублікованих робіт.

В роботі також використані:

- матеріали радіаційного і дозиметричного контролю які проводились хіміко-дозиметричними лабораторіями Смолінської і Інгульської шахт ДП «Східний гірничозбагачувальний комбінат», які надавались за офіційними запитами державної санітарно-епідеміологічної служби для складання санітарно-гігієнічних характеристик умов праці, що становить близько 10% обсягу роботи;

- матеріали поточного санітарного нагляду за умовами праці шахтарів, які проводились Смолінською санітарно-епідеміологічною станцією на об'єктах з особливим режимом роботи МОЗ України, та дослідження радіаційно-гігієнічних параметрів умов праці шахтарів, проведених за запитом Смолінської санітарно-епідеміологічної станції об'єкту з особливим режимом роботи МОЗ України лабораторією радіаційного захисту ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України», що становить близько 10% обсягу роботи.

Автор висловлює подяку керівнику та фахівцям лабораторії радіаційного захисту ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України» за допомогу в проведенні додаткових досліджень радіаційних факторів виробничого середовища при виконанні цієї роботи.

Апробація результатів дисертації

Основні матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на наступних форумах, науково-практичних конференціях, наукових нарадах, а саме:

- Третій Європейський конгрес Міжнародної Асоціації Радіаційного Захисту (IRPA), м. Гельсінкі, Фінляндія, 2010 р.;
- Науково-практична конференція «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі Марзеєвські читання)», м. Київ, 2011 р.;
- Науково-практична конференція «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дев'яті Марзеєвські читання)», м. Київ, 2015 р.;

- V міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології» м. Київ, 2016 р.;
- VI міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології» м. Київ, 2017 р.

Результати роботи впроваджені:

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри загальної гігієни та екології ДВНЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України» (акт впровадження від 15.09.2018 року), кафедри громадського здоров'я Національного університету «Острозька академія» (акт впровадження від 05.03.2018 року), у практичну роботу ДУ «Кіровоградський обласний лабораторний центр МОЗ України» (акт впровадження від 25.09.2018 р.); Методичні рекомендації МР 6.6.1. 6.2.-000-14 «Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України» затверджені МОЗ України, 2014.

Публікація результатів досліджень

За темою дисертації опубліковано 20 робіт, у тому числі у: фахових виданнях рекомендованих ДАК України – 3 (з них 1 самостійна), в науково-метричних журналах – 3, тези доповідей у матеріалах науково-практичних конференцій, симпозіумів – 14 (з них 3 міжнародних).

Структура та обсяг дисертації

Дана дисертаційна робота містить: вступ; 5 розділів, а саме: методичний розділ – опис матеріалів досліджень, методики вимірювань окремих джерел, методики визначення ефективних доз (ЕД) опромінення (розділ 2); результати визначення ЕД опромінення персоналу уранових шахт за професійними групами, аналіз закономірностей формування ЕД гірників (розділ 3); аналіз онкологічної захворюваності шахтарів (розділ 4); аналізу реальної онкологічної захворюваності з прогнозом за величиною

радіаційних ризиків та узагальнення результатів (розділ 5), висновків та рекомендації; а також додатків та переліку використаних джерел.

Дисертація викладена на 184 сторінках друкованого тексту (основний текст склав 150 сторінок), ілюстрована 17 рисунками, 34 таблицями, наведено 23 формули розрахунків. Складається зі вступу, аналітичного огляду наукової літератури, опис матеріалів, методів і обсягів дослідження, 4 розділів власних досліджень, аналізу та узагальнення результатів, висновків, списку використаних джерел (всього 128 найменувань, із них українських та російськомовних – 32, 95 – англомовних, 3 додатка.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

(аналітичний огляд літератури)

Прогнози світового розвитку ядерної енергетики, підготовлені Міжнародним агентством по атомній енергії (МАГАТЕ), вказують на подальше зростання її об'єму до 2030 року [20]. Незважаючи на те, що з 2010 року кожен новий прогноз був нижче попереднього, потенціал довгострокового розвитку, як і раніше залишається високим (рис. 1.1).

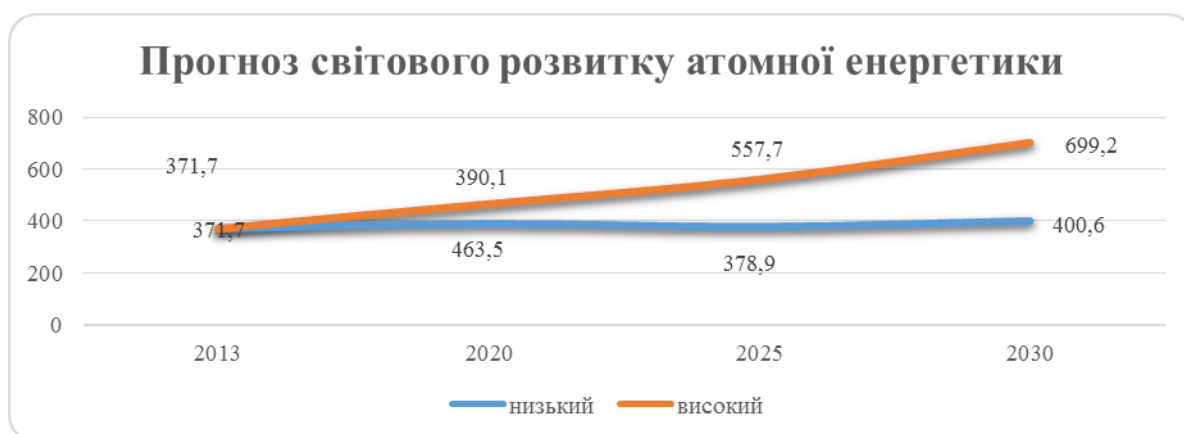


Рис. 1.1. Прогноз вироблення електроенергії на АЕС у світі за даними МАГАТЕ (у ГВт).

Як видно із рисунку 1.1, при обох сценаріях розвитку ядерної енергетики очікується подальше зростання виробництва, не зважаючи на ядерні аварії на Чорнобильській АЕС (Україна) та АЕС «Фукусіма-Дайті» (Японія) [21].

Природний уран залишається основним джерелом для виробництва ядерного палива. Світовий річний видобуток природного урану сьогодні

становить порядку 40 тисяч тон на рік. За прогнозом, в наступні 20 років його видобуток має збільшитись вдвічі [22]. Необхідно зазначити, що починаючи з 1991 року споживання урану стало перевищувати його виробництво. Сумарний дефіцит за 1991-2014 роки досяг майже 370 тисяч тон. Цей дефіцит був компенсований ураном з раніше накопичених вторинних джерел (опромінене ядерне й МОКС паливо, високосбагачений уран (ВЗУ), складські запаси, тощо) [21, 23].

Немає сумніву у тім, що в найближчій перспективі вуглецево-водневе паливо буде продовжувати служити головним джерелом енергії для промисловості України, однак ціни на нього постійно ростуть а екологічна складова не витримує ніякої критики. В зв'язку з цим повинні стати поступові зміни в інфраструктурі виробництва енергії, обумовлені як економічними (підвищення цін і їхня мінливість), так і природоохоронними факторами.

Велика увага в міжнародних дискусіях приділяється екологічним наслідкам використання викопного вуглецевого палива. Введення глобальних обмежень на викиди парникових газів серйозно вплинуть на структуру світової енергетики що розвивається і зажадають значних додаткових інвестицій для стримування росту викидів. Позитивному вирішенню усіх цих проблем буде сприяти розвиток ядерної енергетики.

Атомні електростанції, сировинною базою для яких є видобуток урану в режимі нормальної експлуатації практично не створюють викидів забруднювачів повітря. Енергетичні ж установки, які працюють на органічному паливі, навпаки є головними джерелами забруднення повітря, тому числі і радіоактивними речовинами [24].

Щоб у масштабі України істотно вплинути на виробництво електричної енергії, забезпечити енергетичну безпеку держави і ослабити парниковий ефект, виробництво ядерної енергії повинне бути збільшене в кілька разів від досягнутого [25]. Наявність ядерних потужностей такого масштабу піднімає

дуже важливі питання ресурсної забезпеченості дешевим паливом, обігу з відходами [25].

За даними світової ядерної асоціації (World Nuclear Association) на 2015 рік (таблиця 1.1) у світі видобувалось 59637 тон урану (в перерахунку на закис-окис урану, так званий «жовтий кек») [26].

Таблиця 1.1

Місце України серед країн світу за рівнем видобутку урану

№	Країна	Об'єми видобутку урану у 2013 році, тон	% від світового видобутку	Об'єми видобутку урану у 2012 році, тон	% від світового видобутку
1	Казахстан	22574	37,85	21317	36,51
2	Канада	9332	15,65	8999	15,41
3	Австралія	6350	10,65	6991	11,97
4	Нігер	4528	7,59	4667	7,99
5	Намібія	4315	7,24	4495	7,0
6	Росія	3135	5,26	2872	4,92
7	Узбекистан	2400	4,02	2400	4,11
8	США	1835	3,08	1596	2,73
9	КНР	1450	2,43	1500	2,57
10	Малаві	1132	1,90	1101	1,89
11	Україна	1075	1,80	960	1,64
12	ПАР	540	0,91	465	0,80
13	Індія	400	0,67	385	0,66
14	Чехія	225	0,38	228	0,39
15	Бразилія	198	0,33	231	0,40
16	Румунія	80	0,13	90	0,15
17	Пакистан	41	0,07	45	0,08
18	Німеччина	27	0,05	50	0,09
19	Франція	0	0,00	3	0,01
	Разом	59637	100%	58395	100

З видобутком 1072 тон закису-окису Україна займає 11-те місце в світі (таблиця 1.1) [27].

По розвіданих запасах уранової руди Україна посідає перше місце в Європі і тринадцяте у світі (131 тисяча тон або 3,25% світових запасів) [27]. За розрахунками Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, цих запасів вистачить на найближчі 100 років, а у випадку введення нового покоління реакторів на швидких нейтронах, потенціал України зросте відповідно в 60-70 разів [28].

Таблиця 1.2

Розвідані видобувні запаси урану в світі (за станом на 2017 рік) [27]

№	Країна	Об'єми видобутку урану, тон	Частка у світовому запасі, %
1	Австралія	1673,00	31
2	Казахстан	651,00	12
3	Канада	485,00	9
4	Росія	480,00	9
5	Південна Африка	295,00	5
6	Намібія	284,00	5
7	Бразилія	279,00	5
8	Нігер	272,00	5
9	США	207,00	4
10	Китай	171,00	3,5
11	Йорданія	112,00	3
12	Узбекистан	111,00	3
13	Україна	105,00	3
14	Індія	80,00	1
15	Монголія	49,00	1
16	Інші країни	150,00	2
	Разом у світі	5404,00	100

У перспективі ядерна енергія буде поступово замінювати нафту і природний газ у виробництві енергії для технологічних процесів, що збереже природну органічну сировину для неенергетичного застосування.

В радіаційному відношенні видобуток урану є досить небезпечною, а по деяким даним - самим небезпечним для персоналу стадією ядерно-паливного циклу [29], тому що тяжкі фізичні умови підземної праці супроводжуються значними дозами опромінення як зовнішніми, так і внутрішніми.

1.1 Особливості експлуатації уранових родовищ в Україні

Розроблювані Ватутінське, Мічурінське і Центральне уранові родовища за своїм розташуванням територіально прив'язані до Кіровоградської області:

- Ватутінське – до південно-західної частини Маловисківського району Кіровоградської області, смт. Смоліне, що є містом-супутником Смолінської шахти ДП «СхідГЗК», яка розробляє дане родовище;
- Мічурінське і Центральне родовища – до м. Кропивницький.

На промисловому майданчику Центрального родовища і шахти «Південна» Мічурінського родовища видача гірничої маси і руди на денну поверхню не проводиться. Гірнична маса і руда видається на денну поверхню на промисловому майданчику шахти «Північна» Мічурінського родовища. Від шахти «Північна» на глибині 300 метрів до Центрального родовища пройдений східний польовий штрек «Транспортний» довжиною 6,2 кілометра по якому і проводиться відкатка гірничої маси з даного родовища на основний промисловий майданчик шахти «Інгульська».

Рудовміщуючі гірські породи всіх родовищ представлені альбітітами і гранітами з міцністю порід по шкалі проф. М.М. Протодіяконова від 12 до 16 [30]. За своєю структурою залягання рудних тіл Кіровоградська уранова провінція (Мічурінське і Центральне родовище) дещо відрізняється від Центральної (Ватутінське і Новокопачівське родовища), але принципового значення на технологію видобутку руди і радіаційну ситуацію це не впливає. Вміст вільного діоксиду кремнію перебуває в межах 20-80%, і у середньому становить 52%.

Дослідження рудного пилу встановило значну різницю в розмірах пилинок від 0,2 - 0,5 мкм до 60-80 мкм і більше, при тому що фракції пилу 0,2-0,5 мкм складають більше 60%.

Середній вміст природного урану по всім родовищам становить від 0,04% до 0,12%.

Промислові майданчики підприємств

Інгульська шахта.

На шахті здійснюється видобуток і первинне збагачення уранових руд, проводиться підземне блокове вилуговування. З 2011 року розпочата переробка і сортування гірничих відвалів за допомогою пересувного рудо-сортувального комплексу.

Мічурінське родовище розкрито з поверхні вертикальними стовбурами шахт, а також шурфом. Під землею родовище розкрито квершлагами і польовими штреками на декількох горизонтах.

Прохідницькі і видобувні роботи ведуться буро-вибуховим способом. У залежності від призначення і розташування гірничих виробок шпури буряться за допомогою самохідної техніки або за допомогою розпірних станків. Прибирання і відкатка гірничої маси здійснюється загрузо-доставними машинами.

Відбійка руди у виємних блоках здійснюється за допомогою глибоких свердловин, пробурених з нарізних горизонтів спеціальними буровими станками. Середньорічні обсяги буріння на шахті складають близько 95 тис. погонних метрів. Доставка руди в блоках передбачена самопливна, скреперна або вантажно-доставними машинами. Окрім того на шахті проводяться закладні роботи, які зменшують ділянки оголення гірничих тіл, які вміщують значні концентрації урану, що в свою чергу зменшує ексхаляцію радону в шахтне повітря.

Відбита гірська маса транспортується до стовбура шахти, де видається на поверхню.

Частина видобутку шахти «Інгульська» розташована на Центральному родовищі, яке за умовами праці гірників відрізняється від Мічурінського. Це родовище розкрите вертикальними й горизонтальними гірничими виробками та з'єднане з основним промисловим майданчиком Інгульської шахти Мічурінського родовища (шахта «Північна») транспортним штреком довжиною 6,2 кілометра, що дозволяє організувати роботи з видобутку на Центральному родовищі уранової руди з використанням об'єктів підземного й поверхневого комплексів Мічурінського родовища.

Розробка родовища здійснюється двома стовбурами з поверхні й транспортним штреком довжиною 6,2 км.

Від двох стовбурів шахт поклади уранових руд розкриті квершлагами, польовими штреками і ортами на трьох горизонтах. Підготовка покладів до відпрацьовування здійснюється висхідними й підповерховими ортами й штреками. Гірська маса з чотирьох горизонтів подається на горизонт 300 м і далі по транспортному штреку доставляється до стовбура шахти «Північна» для видачі на поверхню Інгульської шахти.

В контексті формування дозового навантаження шахтарів ця шахта є досить небезпечною, тому що її розташування під густозаселеними районами міста Кропивницький, не дозволяє застосувати ефективні вентиляційні схеми провітрювання. Найбільша ефективність роботи вентиляційних систем провітрювання підземних гірничих виробок досягається тоді, коли подача свіжого повітря в шахту і викид відпрацьованого здійснюється з різних сторін шахтного поля. В даному випадку організація такої системи вентиляції є неможливою в зв'язку з розташуванням на поверхні житлових кварталів. Існуюча схема передбачає подачу свіжого і відкачку відпрацьованого повітря з одного місця (виробничий майданчик Центрального родовища), що впливає на ефективність і не задовольняє вимогам щодо нормалізації рудничної атмосфери безпосередньо на основних робочих місцях.

Смолінська шахта

Гідрогеологічні умови родовища визначаються розташуванням його в межах центральної частини Українського кристалічного щита.

Притік підземних вод встановився в 80-ті роки й з часом істотно не змінюється. «Ватутінське» родовище на даний момент практично здреноване. Притік підземних вод у шахту зумовлений, в основному, від статичних запасів. Родовище характеризується низькими фільтраційними властивостями й сприятливими гідрогеологічними умовами.

Вміст радону в шахтних водах досить високий і досягає до 18-40 кБк/м³, що є додатковим потужним джерелом його надходження до шахтного повітря.

Основні технологічні процеси на шахті пов'язані з видобутком та первинним збагаченням уранової руди, поверхневим купним вилуговуванням збіднених руд та сортуванням гірничих відвалів.

Ватутінське родовище розкрито з поверхні вертикальними стовбурами шахт, а також закладним шурфом. Під землею рудне тіло розкрито двома «сліпими» шахтами, а також квершлагами і польовими штреками на декількох горизонтах.

Прохідницькі і видобувні роботи ведуться буро-вибуховим способом. У залежності від призначення гірничих виробок шпури буряться за допомогою самохідної техніки або допомогою розпірних станків. Прибирання породи проводиться вантажно-доставними машинами. Середньорічний обсяг прохідницьких робіт на Смолінській шахті становить близько 6500 погонних метрів.

Відбійка руди у виємних блоках здійснюється за допомогою глибоких свердловин, пробурених з нарізних горизонтів буровими станками. Доставка руди в блоках передбачена самопливна, скреперна або вантажно-доставними машинами. Відбита гірська маса транспортується до стовбурів двох шахт, де видається на денну поверхню.

Дозове навантаження шахтарів, обумовлене радоном і його ДПР, залежить від стану вентиляційної систем шахт родовища. Шахти провітрюються за фланговою схемою (окрім Центрального родовища) всмоктувальним способом. Подача свіжого повітря для провітрювання гірських виробок здійснюється по стовбурах всіх шахт і закладному шурфу. Провітрювання основних горизонтів і очисних вибоїв здійснюється за рахунок загально шахтної депресії, підготовчих і нарізних робіт - вентиляторами місцевого провітрювання (ВМП).

Для подальших розрахунків, аналізу радіаційних ризиків та рекомендацій мають значення особливості технології гірських робіт.

Так, відповідно до проектних завдань, прохідницькі роботи на шахтах ведуться з застосуванням буро-вибухових операцій. Інтенсивне буріння і обвалення за допомогою вибухів рудовмісних гранітних порід, їхня висока міцність, приводить до великої кількості дрібнодисперсного пилу (більше 60%), що має радіаційно-гігієнічне значення, а вибухи і буріння приводять до утворення тріщин в гірському масиві, що в свою чергу сприяє інтенсивній ексхаляції радону. Окрім того, мала обводненість гірського масиву вимагає при проведенні гірських робіт застосовувати методи гідрообезпилення, що обумовлює складність при проведенні протипилових і проти радонових заходів.

Таким чином, встановлено, що родовища уранових руд, які знаходяться в стадії експлуатації, розташовані в межах Центрально-Українського кристалічного щита, на території Кіровоградської області.

З геологічної точки зору вони мають екзогенне, гідротермічне походження. Властивості таких родовищ характеризуються великою різноманітністю щодо мінералогічного складу гірських порід, їх високої твердості та радіоактивності. Такі характеристики мають суттєве значення щодо формування ЕД опромінення персоналу урановидобувних підприємств. Різниця між родовищами, які знаходяться в експлуатації, полягає в кількості притоку підземних шахтних вод і протяжності підземних гірничих виробок.

Так, для «Мічурінського» і «Центрального» родовища приплив шахтних вод є значним, в той-же час приплив шахтних вод для «Ватутінського» родовище є стабілізованим і суттєво меншим. Враховуючи що концентрація радону в шахтних водах є досить високою і досягає 60 кБк/літр, шахтні води є потужним додатковим джерелом надходження цього радіоактивного газу до повітря робочої зони і, як наслідок, можуть значно впливати на формування ЕД опромінення гірників.

Окрім того, видобуток урану на українських шахтах проводиться буровибуховим методом. Дана технологія приводить до викиду в повітря робочої зони великої кількості пилу, значна частина якого (близько 60%) є мілко дисперсною з розміром пилових частинок 0,2-0,5 мкм. Такі фракції пилу можуть проникати через засоби індивідуального захисту у дихальні шляхи і досягати альвеол.

Ще одною особливістю цієї технології є потужна ексхаляція радону.

1.2 Біологічний плив джерел іонізуючого випромінювання на здоров'я гірників за результатами епідеміологічних досліджень

Доза опромінення працівників уранових шахт обумовлена як зовнішнім, так і внутрішнім опроміненням.

До зовнішнього опромінення шахтарів відноситься гамма-випромінювання від гірських порід, що містять уран. Внутрішнє опромінення формують радіоактивні гази радон та торон, їх дочірні продукти розпаду (ДПР та ДПТ) і довгоживучі альфа-випромінювачі уранового ряду (ДЖАУ), які надходять до організму шахтарів з пилом.

Властивості радону та продуктів його розпаду. В уранових шахтах радіаційна небезпека пов'язана, головним чином, з наявністю зважених в повітрі радіонуклідів, які складаються з радону і його короткоживучих дочірніх продуктів - полонію-218, свинцю-214, вісмуту-214 і полонію-214.

Радон-222 це інертний газ; отже він вільно проходить в легені і виходить з них при мінімальному поглинанні дихальною системою. З іншого боку, дочірні продукти радону (ДПР) є тверді частинки, які можуть зв'язуватися з частинками пилу в повітрі. При вдиханні цих часток дочірні продукти радону відкладаються, переважно, в дихальному тракті, при цьому місце відкладення залежить від розміру часток, так званий АМАД [31]. Величина дози випромінювання, яку отримує дихальна система, залежить від концентрації ДПР радону у інгальованому повітрі, розмірів частинок пилу, фізіологічних параметрів людського організму а також важкості (інтенсивності) виконуваних робіт.

До складу звішених в повітрі шахти радіоактивних частинок входять також довго живучі радіонукліди з сімей ізотопів урану-238 і урану-235. Тобто, з точки зору внутрішнього радіоактивного зараження значення мають ізотопи: уран-238, уран-234, торій-230, радій-226 і полоній-210. При проведенні таких технологічних операцій, як буріння і вибухи, утворюється звішений в повітрі пил, що містить ці довго живучі нукліди, концентрація яких в більшості руд близька до рівноважної [30].

Небезпека зовнішнього опромінення в уранових шахтах обумовлена бета- і гамма-випромінюванням, що виходить від рудних тіл. Рівні зовнішнього випромінювання у шахтах ДП «СхідГЗК» зазвичай невеликі і не викликають серйозних проблем. У деяких блоках шахт з відносно високою якістю руди дози зовнішнього опромінення створюють значну небезпеку.

Зважаючи на викладене і в зв'язку зі складністю і дорожнечою проведення проти радонових заходів та відсутністю ефективних індивідуальних засобів захисту, найбільш небезпечним фактором для персоналу уранових шахт є радон та його продукти розпаду, який по гірничим виробленням може поширюватися на значні відстані і створювати в рудничній атмосфері високі концентрації.

За даними Наукового комітету дії атомної радіації ООН (НКДАР ООН), від 5 до 20% всіх онкологічних захворювань людей пов'язано з

впливом на організм радону [1]. Міжнародне агентство з вивчення ракових захворювань віднесло радон до числа канцерогенів першої групи, тому генетична токсичність радону широко вивчається в різних країнах світу[32].

В цілому, радон обумовлює бластогенні, генотоксичні ефекти, індукує хромосомні аберації широкого класу і впливає на поліморфізм генів [33, 34].

Радон як хімічний елемент з масовим числом 222 є одним із інертних газів. Загальна кількість радону в земній корі – всього близько 115 тон. Утворений в радіоактивних рудах і мінералах радон поступово надходить на поверхню Землі, в гідросферу і атмосферу.

Таблиця 1.3

Фізичні властивості радону

Температура плавлення	– 71 °C
Температура кипіння	– 62 °C
Енергія іонізації	10,74 eV
Густина радону в газоподібному стані при нормальних умовах	9,727 кг·м ⁻³

Радон – найважчий елемент серед інертних (благородних) газів у періодичній системі Д. Менделєєва. При нормальних умовах він не має ні запаху, ні смаку, безбарвний і прозорий. У конденсованому стані здатний люмінесціювати. Щільність при температурі 0° C становить 9,81 кг/м³, тобто майже у 8 разів більша за щільність повітря. Фізичні властивості радону представлено в таблиці 1.3.

Радон в природі не має стабільних ізотопів. Всього на даний час відомо 19 ізотопів радону з масовими числами 204–224, з яких тільки 3 – є природними. До природних відносяться радон-222 ($T_{1/2} = 3,8235$ доби, є найбільш стійким), торон ($T_{1/2} = 54,5$ с) і актинон (^{219}Rn , $T_{1/2} = 3,92$ с), які утворюються з радіоактивних рядів урану-238, торію-232 та урану-235,

відповідно [35]. На рисунку 1.2 представлено ланцюжки розпаду природних радіоактивних рядів урану та торію до утворення радіоактивного газу – радону [36].

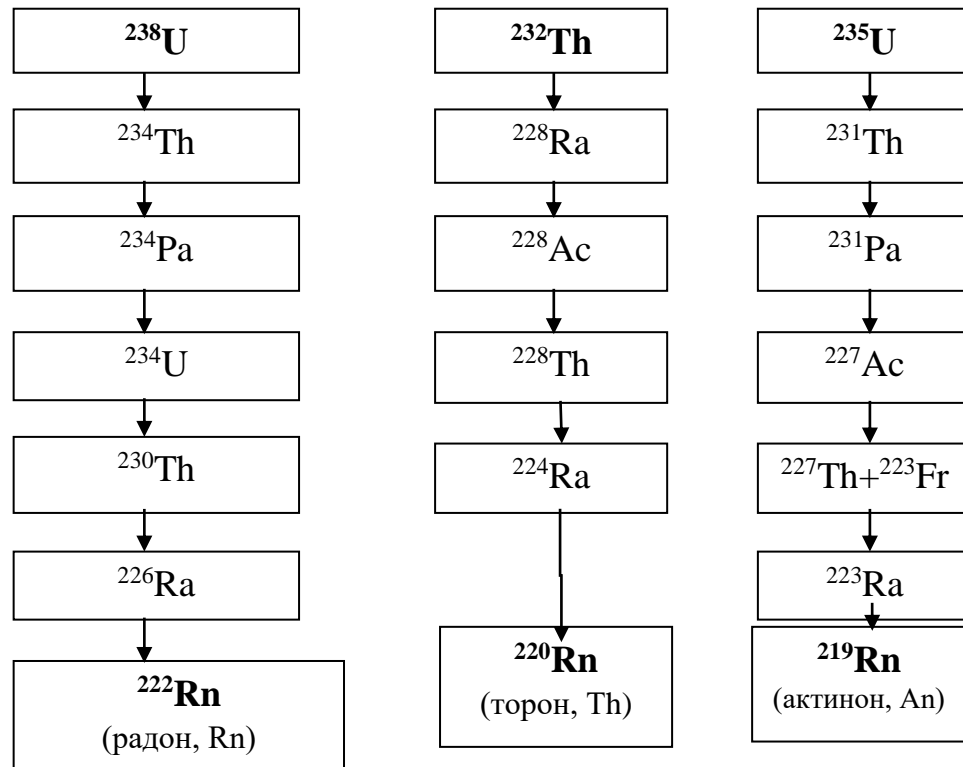


Рис. 1.2. Розпад природних радіоактивних рядів урану та торію утворення радіоактивного газу – радону

Ізотопи радону - коротко існуючі, але не зважаючи на це, вони ніколи не зникають з повітря робочої зони уранових шахт завдяки тому, що радон постійно надходить з руди та порід, які містять материнські атоми рядів урану та торію. Дана ситуація називається еманациєю (вихід молекули радону за межі молекули материнського елементу) та ексхалляцією (виходу радону в міжмолекулярний простір і далі завдяки тріщинам в породах та ґрунтовим і підземним водам в повітря робочої зони (атмосфери)) [37].

Тому спад активності самого радону як газу компенсується його надходженням. В повітрі робочої зони як шахт, так і атмосферному повітрі завжди існує певна рівноважна активність радону і його ДПР. Ця рівновага залежить від системи та ефективності провітрювання підземних гірничих виробок, проведених протирадонових заходів (торкрет, підвищений тиск повітря, тощо).

На рис. 1.3 показано ланцюжки розпаду природних ізотопів радону: радону-222, радону-220 (торону) і радону-219 (актинону). Над стрілками вказано тип розпаду α чи β і, відповідно, який тип випромінення.

Як видно з рис. 1.3, практично всі ізотопи радону (Rn) розпадаються до стабільних ізотопів свинцю (Pb), відповідно 206, 208 чи 207. Важливою особливістю розпаду радону, торону та актинону, яку необхідно враховувати, є те, що випускаючи альфа-частинку ізотопи радону перетворюються в тверді радіоактивні ізотопи, що вже не мають відношення до інертних газів [38].

Атоми металів (якими є продукти розпаду радону) у повітрі не можуть довго перебувати у вільному стані. Стикаючись з іншими нерадіоактивними аерозолями субмікронного розміру (твердими частинками пилу, краплинками водної аерозолі, аерозолів олій, тощо), велика частина вільних атомів дочірніх продуктів розпаду (ДПР) радону приєднуються до них з утворенням радіоактивного аерозолу. У результаті осадження на поверхнях гірничих виробок та вентиляційних штреків в замкнутих гірничих просторах (наприклад відпрацьовані блоки, штреки) радіоактивна рівновага між радоном та його ДПР не досягається [39, 40].

Дані показники нам важливі як радіаційно-біологічні складові, визначаючи коефіцієнти для розрахунку доз.

Ще одною важливою радіаційно-гігієнічною складовою радону є рівновага об'ємної активності (ОА) та ДПР які практично є металами.

Згідно з гігієнічними нормативами України, одним з кількісних критеріїв, що забезпечують протирадіаційний захист персоналу уранових шахт від радону,

є середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) його ізотопів в повітрі робочої зони, яка пов'язана з ОА через коефіцієнт рівноваги.

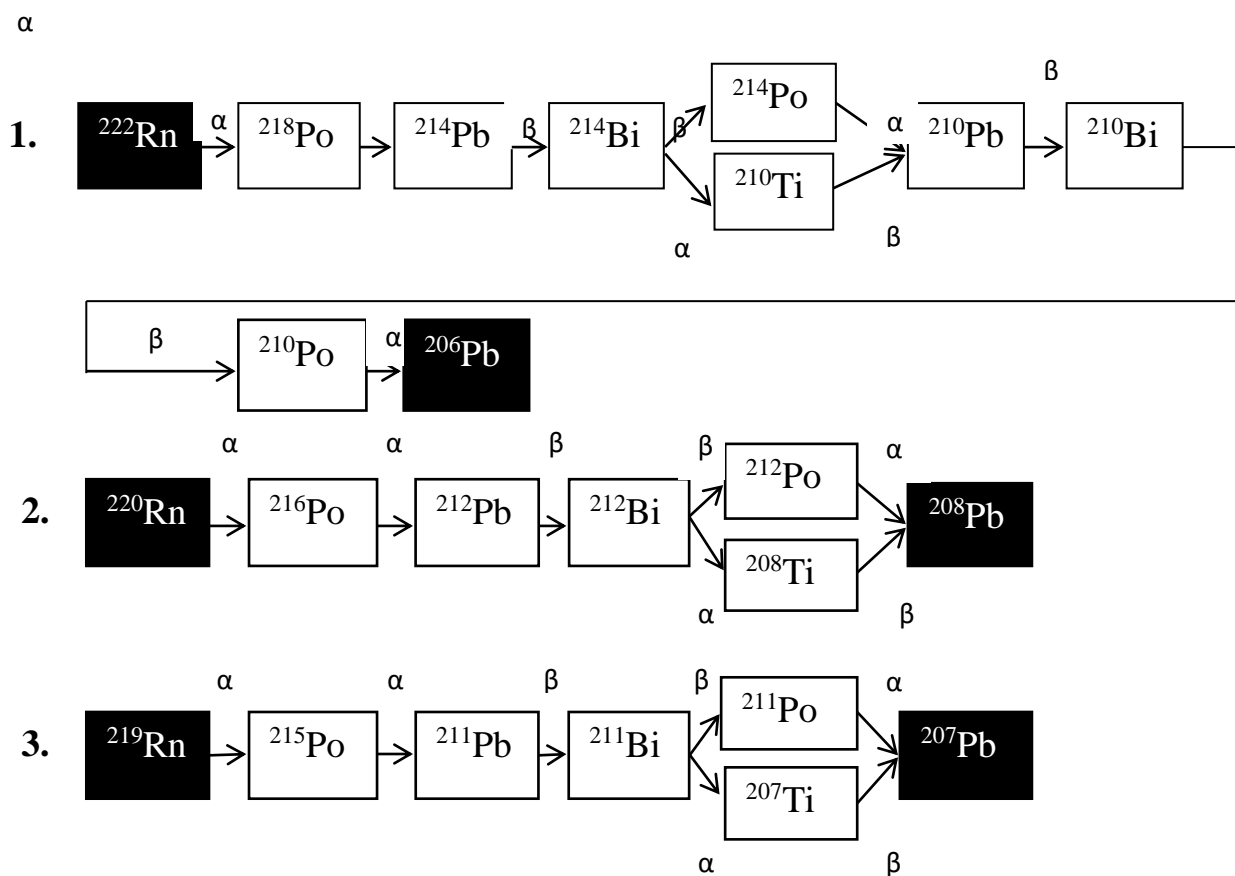


Рис. 1.3 Ланцюжки розпаду радону-222, торону-220, актинону-219

Таблиця 1.4

Ядерно-фізичні властивості радону, торону і продуктів їх розпаду [40]

Елемент	Період напіврозпаду $T_{1/2}$ / постійна розпаду λ	Тип випро- мі- нювання	Енергія випро- міню- вання, MeV	Інтенсивність випромінювання на 1 розпад, MeV/розпад
Радон ^{222}Rn	3,823 дні / $2,10 \cdot 10^{-6} \text{c}^{-1}$	α	5,490	5,585
Радій А	3,05 хв. / $3,79 \cdot 10^{-3} \text{c}^{-1}$	α	6,003	6,115
Радій В Pb-214	26,8 хв / $4,31 \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$	β, γ $\Sigma \gamma$	1,024 (max.) 0,295 0,352	0,291 0,249
Радій С Bi-214	19,9 хв. / $5,86 \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$	β, γ $\Sigma \gamma$	3,270 (max.) 0,609 1,120 1,765	0,648 1,459
Радій С Po-214	$1,64 \cdot 10^4 \text{c}$ / $4,23 \cdot 10^3 \text{c}^{-1}$	α	7,687	7,834
Торон Rn-220	55,6 с / $1,25 \cdot 10^{-2} \text{c}^{-1}$	α	6,288	6,398
Торій А Po-216	0,15 с / $4,78 \text{c}^{-1}$	α	6,779	6,907
Торій В Pb-212	10,64 год / $1,81 \cdot 10^{-5} \text{c}^{-1}$	β, γ $\Sigma \gamma$	0,573 (max) 0,075 0,077	0,104 0,148
Торій С Bi-212	60,55 хв / $1,91 \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$	β, γ $\Sigma \gamma$	6,051 2,246 (max)	2,214 0,461 0,185
Торій С Po-212	$3,05 \cdot 10^{-7} \text{хв.}$ / $23,2 \cdot 10^6 \text{c}^{-1}$	α	8,785	8,956
Торій С Tl-208	3,07 хв. / $3,79 \cdot 10^{-3} \text{c}^{-1}$	β, γ $\Sigma \gamma$	1,795 (max) 0,511 0,583 0,860 2,615	

ЕРОА радону – це значення ОА радону в рівновазі з його ДПР, яка має таку ж саму величину прихованої енергії, як і дана не рівноважна суміш. ЕРОА радону визначається за формулою:

$$A_{EPOA} = A_{Rn} \cdot F, \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (1.1)$$

де A_{Rn} – об'ємна активність радону, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$;

F – коефіцієнт рівноваги.

В загальному випадку коефіцієнт рівноваги (F) може приймати значення від 0 до 1. F визначають з наступних виразів.

Для радону-222:

$$F_{Rn} = \frac{A_{EPOA(Rn)}}{A_{Rn}} = \frac{0,105 A_{Po-218} + 0,516 A_{Pb-214} + 0,379 A_{Bi-214}}{A_{Rn}}, \quad (1.2)$$

для торону:

$$F_{Th} = \frac{A_{EPOA(Th)}}{A_{Th}} = \frac{0,913 A_{Pb-212} + 0,087 A_{Bi-212}}{A_{Th}}, \quad (1.3)$$

де A_i – об'ємна активність ізотопів ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb та ^{212}Bi , $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$

F залежить від швидкості накопичення та осадження радіоактивних газів і їх ДПР в підземних гірничих виробленнях, приміщеннях поверхневого комплексу шахт. На інтенсивність осадження впливають кратність вентиляції підземних гірничих виробок та приміщень поверхневого комплексу шахт, розмір частинок конденсації (пил, водяна та масляна аерозоль), ОА ДПР у повітрі.

При зменшенні кратності обміну повітря в підземних гірничих виробленнях та зі збільшенням концентрації аерозолів коефіцієнт рівноваги зростає. На його величину впливають просторова геометрія поверхні гірничої виробки, турбулентність у повітрі гірничих виробок, наявність працюючого гірничого обладнання, тощо.

Чим швидше осідають ДПР радону на поверхні (гірниче обладнання,

стіни виробок, тощо), тим швидше спадає їх активність у повітрі робочої зони. Це приводить до порушення рівноваги між материнськими та дочірніми радіонуклідами. Тому в реальних умовах підземних гірничих виробок постійно спостерігається зсув рівноваги між радоном та його ДПР. При поновленні технологічного процесу на даному робочому місці (проведення буро-вибухових, очисних робіт) осілі частинки ДПР разом з пилом знову попадають в повітря робочої зони тим самим спричиняючи зсув рівноваги між радоном та його ДПР в протилежну сторону.

Середні значення та діапазон коливань коефіцієнтів рівноваги, які отримані різними науковими колективами, наведені в (табл. 1.5) [41].

Таблиця 1.5

Виміряні значення коефіцієнта рівноваги (F) радону-222 у повітрі

Країна	F (діапазон)
Поза приміщеннями:	
США	0,87
	0,79
ФРН	0,71
	0,43 (0,04–1,0)
Всередині приміщень:	
Австрія	0,6
Канада	0,35 (0,17–0,65)
	0,41
Фінляндія	0,47 (0,3–0,63)
Норвегія	0,5 (0,3–0,8)
Швеція	0,44 (0,1–0,8)
ФРН	0,37 (0,25–0,65)
	0,34 (0,1–0,9)
США (в підвалах)	0,52
США (в житлових приміщеннях)	0,63
	0,33

Але ці всі показники мають значення для житлових і суміжних з ними приміщень. Що ж стосується підземних гірничих вироблень уранових шахт, то ситуація тут значно складніша і залежить від багатьох чинників.

Важливою властивістю радону, яка впливає на організм, є його біологічна дія. Вона складається з таких важливих показників як розчинність у хімічних і біологічних середовищах, період напіввиведення з різних органів організму, основного органу – мішені, тощо.

Радон досить добре розчиняється у крові. Розчинність його в спиртах та органічних кислотах у 20-40 разів більша, ніж у воді. Ще більша його розчинність у бензолі, гексані, діетиловому ефірі та хлороформі [42].

Вплив радону на здоров'я шахтарів вивчається багато років. Перші дослідження були проведені у США та Німеччині. Вони встановили, що опромінення радоном та його ДПР викликає рак легенів, латентний період розвитку якого триває 15-30 років при хронічному опроміненні [35].

Велика кількість досліджень біологічного впливу радону та його ДПР на здоров'я дозволили зрозуміти інгаляційну компоненту впливу джерел, що пов'язані з опроміненням бронхіального тракту та стінок повітряних шляхів у легенях. Проте, механізм ініціювання радоном раку легенів досі однозначно не визначено, як і не встановлена однозначна причина синергічного механізму дії радону з тютюнопалінням.

Сьогодні вчені дійшли згоди, що вплив альфа-частинок на секреторні і базальні клітини верхніх дихальних шляхів є причиною розвитку раку легенів у шахтарів, хоча і існує невизначеність: пошкодження яких саме клітин найбільш важливо для ініціювання раку [43].

Доза опромінення легенів, обумовлена інгаляційним надходженням радону і його короткоживучих продуктів розпаду, як правило, розраховується за моделями МКРЗ [11] або іншим моделям респіраторного тракту людини.

Через короткий періоду розпаду ДПР радону (менше півгодини) ці радіонукліди формують дозу в легеневих тканинах до їх виведення

абсорбцією через кров. Два з короткоживучих ДПР, а саме: полоній-218 і полоній-214 розпадаються з випусканням альфа-частинок, і саме їх енергія обумовлює відносно високу дозу опромінення легенів. У порівнянні з ними дози в системних органах і відділах травного тракту малі, і в ЕД домінує внесок ЕД на легені [43].

Останні дослідження встановили, що альфа-частинки радону генерують вільні радикали і оксидативний стрес, які можуть викликати пряме пошкодження ДНК в клітинах. Але є ряд свідчень про присутність «bystand effect», тобто ефекту присутності в прилеглих клітинах, який призводить до їх пошкодження навіть при відсутності прямої експозиції [44, 45].

Наукові дослідження встановили, що геномна нестабільність та «bystand» ефекти в клітинах спостерігаються вже на рівні доз менших за 200 мЗв. У роботах Кламмера і Кадхім [44, 45] було показано, що альфа-частинки здатні створювати хромосомну нестабільність навіть в дочірніх культивованих клітинах людини. Такі дослідження фактично є індикатором того, що відносний внесок цих непрямих впливів іонізуючого випромінювання, в порівнянні з прямим впливом і пошкодженням клітинного матеріалу, може бути більш значущим.

Таким чином, автори прийшли до висновку, що «bystand effect» і геномна нестабільність проявляються як успадковані (мутагенні), так і не успадковані (летальні) ефекти, і саме баланс цих двох клітинних ефектів може призводити як до підвищення, так і до зниження радіаційних ризиків.

Такі неоднозначні висновки біологів привели до перегляду даних епідеміологічних досліджень.

Властивості урану та його вплив на організм людини.

Існує три природних ізотопи урану (уран-234, уран-235 і уран-238), які мають однакові хімічні властивості, але різні радіологічні характеристики.

Уран-238 має найдовший період напіввиведення та, як наслідок, найнижчу питому активність. Уран-234 має найкоротший період напіврозпаду серед природних ізотопів урану і найвищу активність [46].

Природний уран складається з суміші трьох ізотопів з співвідношенням приблизно 0,72% від маси урану-235. Збіднений уран відноситься до ізотопних сумішей, які містять більш низький відсоток урану-235 (близько 0,2-0,3%), тоді як збагачений уран, зазвичай містить 3-5% від маси урану-235 і може містити до 90% урану-238 [46].

Уран у ґрунтах знаходиться у рівновазі з ДПР свого ланцюга. Ланцюг розпаду урану закінчується стабільним ізотопом свинцю-206 і досягає рівноваги протягом року. Проте порушення рівноваги між ізотопами урану може відбуватися через фізичні та хімічні зміни, пов'язані з водою. Наприклад, комбінації фізико-хімічних процесів можуть призвести до розділення урану-238 і урану-234 у підземних водах [47].

Розчини урану-235 і 238 сприяють подальшому утворенню 10 або більше α , β і γ випромінювачів.

Радіотоксичність урану залежить від розчинності його хімічної сполуки. У природі він, як правило, визначається як діоксид урану (UO_2), а металічний уран легується іншими хімічними елементами (Si, Cr, Al, Fe, Mo, Sn, Al) [47].

Природний уран надходить до організму людини перорально (вода, їжа) та інгаляційно.

Аналіз результатів розтину людей у різних країнах показує, що скелет є основним місцем накопичення урану (~80% від загальної ваги) [46]. Ці результати збіглися в кількох дослідженнях [48, 49], проте, однорідність розподілу урану у скелеті є дискусійним питанням [50, 51].

У звіті НКДАР ООН окремо були проаналізовані дані про концентрацію урану в тканинах людини, включаючи кров, м'які тканини та кістки. Аналіз результатів досліджень встановив, що в середньому скелет людини містить 30 мкг урану, а загальний вміст урану в організмі людини оцінюється у 50-60 мкг, а саме: у скелеті - 57%, у м'язах - 20%, у крові - 4%, у легенях - 2%, у печінці - 1%, і 1% у нирках [49].

Уран може також мати відношення до професійного опромінення, особливо для працівників, які беруть участь у виробництві електроенергії на АЕС і на будь-якій стадії ядерного паливного циклу (ЯПЦ).

Кожна стадія ЯПЦ пов'язана з чіткими характеристиками опромінення [52, 53]. Під час видобутку робітники можуть піддаватися впливу різних з'єднань урану, що мають різну розчинність і можуть накопичуватися у організмі шахтарів. Так, секційні матеріали, які були зібрані при розтині робітників US Transuranium і Uranium Registries (USTUR) [54] встановили, що аварійне опромінення гексафторидом урану (UF_6) призвело до тривалого (65 років) утримання урану в легенях і грудних лімфатичних вузлах [55]. Висока концентрація урану в трахеобронхіальних лімфатичних вузлах також виявлена в інших випадках без аварійного впливу [56].

1.3 Епідеміологічні дослідження онкологічної захворюваності шахтарів уранових шахт

Дослідницька група L. Tomasek проаналізувала данні про смертність гірників чеських уранових шахт [57]. Дане дослідження базується на реєстрі з 9978 чеських шахтарів, серед яких зафіксовано 1141 летальний випадок від раку легенів, які спостерігалися в період з 1952 по 2010 рр. Дослідження встановило, що рак легенів обумовлений ДПР радону є лінійним з істотними модифікаціями за часом, величиною експозиції, віку при експозиції тощо. Відносний ризик (ERR) на одиницю експозиції в PPM (WLM) в когорті становить 0,0097 для 90% довірчого інтервалу (CI) 0.0074-0.0127. Співвідношення (ERR/WLM), що відповідає рівню експозиції нижче 7 (WL, значно вище - 0.0145 (90% CI 0.0109-0.0193). У кінцевій моделі спостерігається зворотний ефект при високих показниках опромінення > 7 WL, при цьому ERR/WLM зменшується до 31%. В період з 20 до 29 років і 30 + років від впливу ERR/WLM зменшується до 32% та 9% у порівнянні з періодом від 5 до 19 років з моменту впливу [57].

Іще одне дослідження цієї групи стосується когорти чеських та французьких шахтарів уранових шахт [58], кумулятивні дози яких склали менше 60 PPM при середньому терміні опромінення 10 років. Дози опромінення цієї когорти визначалися за результатами високоякісної індивідуальної дозиметрії. Дослідження зафіксувало 574 смерті від раку легенів на 10000 осіб, що на 187% вище ніж було очікувано. Автори пов'язують такі результати з кумулятивним впливом радону. Визначений ризик на PPM (WLM) склав 0,027 при 95% довірчому інтервалі та варіабельності ризику у діапазоні 0,017-0,043 на WLM. Для опромінених шахтарів віком 20 и 30 років ризик на WLM склав 0,042, і ця величина зменшувалася на 50% для кожних додаткових 10 років віку з початку опромінення [58].

Таким чином, дослідники прийшли висновку, що час з моменту опромінення та вік при опроміненні є найбільш впливовими модифікаторами ефектів [58]. Дослідження також встановило, що при експозиції менше 4 PP (WL) ефектів не виявлено. Ці результати добре узгоджуються з оцінками звіту BEIR VI [59].

Наступне пулінгове дослідження розширило попереднє. До нього було включено 11 когорт гірників - 68 тисяч осіб, для якої було зафіксовано 2700 раків легенів [60]. Аналіз результатів дослідження встановив залежність виникнення раку легенів не тільки від величини дози опромінення, яку отримав шахтар, але і його віку на момент опромінення та зроблено висновок про модифікуючий вплив останнього [60]. Дозиметрична модель, яку використовували дослідники, порівняно з моделлю BEIR VI [59] прогнозує більші ризики у меншому віці та їх зменшення з віком.

Багато дослідників вивчають німецьку когорту шахтарів, яка надає унікальну можливість досліджувати ризик виникнення раку легенів після професійного опромінення радоном при низьких дозах опромінення - порядку 0,2 PPM [61, 62].

Загальна кількість працівників уранових шахт компанії «Вісмут» складала майже 100 000 осіб. З них була створена когорта з 59 001 колишніх працівників чоловічої статі, яка утворила велику ретроспективну когорту шахтарів за період з 1946 по 1998 роки. За час спостереження із загальної кількості робітників, померло 16 598 (28,1%). На підставі 2 388 смертей від раку легенів дослідники оцінили ризик, пов'язаний з радоновим раком легенів. Співвідношення відносного ризику ERR на WLM дослідники оцінили як 0,21% при 95% довірчому інтервалі (ДІ: 0,18-0,24). Встановлена залежність від часу після експозиції та досягнутого віку. Найвищий показник ERR/WLM спостерігався у наймолодшій віковій групі (менше 55 років) через 15-24 роки. Хоча був установлений сильний інверсний ефект впливу експозиції, жодних значних зв'язків не було виявлено при експозиції нижче 100 WLM [61].

Zaballa and Eidemüller проаналізували смертність від раку легенів в когорті «Вісмуту», використовуючи іншу модель «two-stage clonal expansion» (TSCE) [62]. Встановлено, що протягом періоду спостереження (між 1946 і 2003 роками) спостерігалось 2 996 смертей від раку легенів серед 58 695 чоловіків-працівників. Для порівняння було проведено додатковий аналіз з описової моделлю надлишкового відносного ризику (ERR). Модель TSCE, яка найкращим чином описує дані, є нелінійною і має рівень насичення при швидкості експозиції $dr \approx 100 \text{ WLM/рік}$.

Встановлено, що відносні ризики зменшуються з віком. А у порівнянні з моделлю ERR модель TSCE пророкує значно більший ризик для низьких рівнів опромінення (менше 50 WLM/рік). Окрім того дослідження встановило, що механізм нелінійної відповіді в клональному розширенні з деяким рівнем насичення при великих швидкостях експозиції може відігравати вирішальну роль у розвитку раку легенів після опромінення альфа-частинками [61].

Іще одна група дослідників аналізувала онкологічну захворюваність шахтарів Вісмуту (когорта 26 766 осіб, які працювали на уранових шахтах з

1960 року). Для цієї когорти зафіксовано 334 смерті від раку легенів. Встановлений ризик склав 0.013 на WLM (95% довірчим інтервалом: 0.007; 0.021). Дослідники зробили висновок, що зафіксовано значне збільшення ризику раку легенів після довготривалого впливу низьких рівнів радону серед шахтарів «Вісмуту» і ці результати є сумісними з результатами досліджень радону в житлових приміщеннях [62].

Окреме дослідження шахтарів «Вісмуту» (58 987 чоловіків, і 3 006 смертей від раку легенів) стосувалося оцінки різних моделей ризику смертності від раку легенів, пов'язаних з опроміненням не тільки радоном, а і впливом зовнішнього γ -випромінювання, довгоживучих радіонуклідів уранового ряду, миш'яку та дрібного пилу [63]. Дослідження встановили, що нормалізований коефіцієнт смертності для раку легенів становить 2,03 (95% CI: 1,96; 2,10), відносний ризик оцінено як 0.0019 (95% CI: 0.0016; 0.0022). Було також встановлено, що математична модель ризиків BEIR VI (ERR) добре описує отримані ризики. За цією моделлю - ERR/WLM становить 0,0054 (95% ДІ: 0,0040; 0,0068) для опромінення в продовж 30 років. Встановлено також, що з кожним наступним десятиріччям опромінення ризику зменшувалися на 51%.

Американське епідеміологічне дослідження виявило значне збільшення смертності від раку легенів серед працівників підприємств по видобутку та переробці урану у м. Гранц штат Нью Мехіко [64]. Видобуток урану в США був розпочатий на початку 1950-х років і здійснювався до 1990-х років, а комбінат по переробці урану працював з 1958 по 1990 рік. Дане дослідження оцінило смертність від раку протягом 1950-2004 роки, та захворюваність на рак протягом 1982-2004 років серед мешканців округу. В рамках цього дослідження визначені стандартизовані показники смертності (SMR) для 95% довірчого інтервалу. В роботі приводиться порівняльний аналіз кількості смертей від раку та захворюваності на рак без летального результату у порівнянні з очікуваними величинами, які базуються на показниках захворюваності на рак населення Нью-Мексико. Встановлено, що загальна

кількість смертей від раку близька до очікуваної величини (SMR 1,04, 95% CI 1,01-1,07, SIR 0,97, 95% CI 0,92-1,02). Показники смертності та захворюваності на рак легенів помітно більші для чоловіків (SMR 1,11, 95% CI 1,02-1,21; SIR 1,40, 95% CI 1,18-1,64) у порівнянні з жінками (SMR 0,97, 95% CI 0,85-1,10, SIR 1,01, 95% CI 0,78-1,29).

Дослідження також встановило, що смертність від раку серед чоловіків (1,57 SMR, 95% CI 1,21-1,99), що проживають близько підприємства по переробці урану, також була значно вища за жіночу (SMR 1,12; 95% CI 0,75-1,61), за винятком збільшення смертності від раку шлунка (SMR 1,30; 95% CI 1,03-1,63), яка поступово зменшувалася протягом 55-річного періоду спостереження [63].

Когорта шахтарів французьких уранових шахт, яка включала 12 649 робітників, серед яких 88% чоловіків, досліджувалася 27 років. Середній вік робітників наприкінці досліджень склав 60 років. Дослідження встановили, що висока смертність гірників спостерігається від неракових причин смерті, таких як респіраторні захворювання (SMR 0,51 (0,41-0,63)) та хвороби кровообігу (SMR 0,68 (0,62-0,74)). Встановлено також, що смертність у цій когорті спостерігається від всіх видів раку (SMR (95% CI): 0,76 (0,71-0,81)). Окрім того, автори зафіксували в цьому регіоні підвищену смертність від плевральної мезотеліоми (SMR = 2,04 (1,19-3,27)) [64].

Окреме дослідження присвячено канадській когорті шахтарів. Когорта складалася з 28 546 шахтарів-чоловіків із середнім кумулятивним опроміненням радону 21 WLM. Спостереження за цією когортою тривало з 1954-2007 рр., і перш за все, це стосується раку легенів. Для оцінки відносних ризиків (RR) була використана регресія Пуассона з 95% довірчим інтервалом щодо кумулятивного впливу ДПР радону. Підвищений ризик виникнення раку легенів та взаємозв'язок між дозою та ефектом спостерігався при накопиченні дози опромінення від ДПР радону на рівні 100 WLM. Для цієї когорти зафіксовано подвоєння ризиків щодо раку легенів (RR 1,89, CI 1,43 до 2,50) у порівнянні з групою, що не опромінювалася ДПР

радону [65]. Проте, залежності між опроміненням ДПР радону та раками шлунку, лейкемією, раком нирок та нераковою захворюваністю та смертністю (серцево-судинні захворювання) не виявлено.

В останні роки було проведено кілька епідеміологічних досліджень щодо радіаційних ризиків смертності від раку легенів при кумулятивнім впливі радону та його ДПР і ДЖАУ. Французька когорта подібного дослідження включала 3 777 летальних випадків від раку легенів серед шахтарів уранових шахт, найнятих з 1956 року по 1999 рік загальною кількістю 89 405 чоловік. Дози на легені для цієї когорти були розраховані за легеневою моделлю МКРЗ Публікації 66 [66]. Середня «поглинута легенева доза» від випромінювання α -частинок становила 78 мГр, доза опромінення від γ -квантів та β -частинок випромінювання було оцінено у 56 мГр. Дослідження встановили, що ДПР радону є відповідальним за 97% випадків раку легенів серед шахтарів. Великий рівень відносних ризиків (ERR) смертності від раку легенів дослідники пов'язали з величиною дози, накопиченою легенями ($ERR / Gy = 2,94$; 95% ДІ 0,80; 7,53) [67].

Для цієї ж когорти працівників уранових шахт були проведені дослідження щодо смертності від цереброваскулярних захворювань (CeVD) в контексті ризику захворювань системи кровообігу (CSD) обумовлену опроміненням радоном, яке раніше не розглядалося [68].

Для цього була оновлена до 2007 року французька когорта шахтарів ($n = 5,086$), яка включала 442 випадки смерті від захворювань системи кровообігу, з яких 167 випадків - від ішемічної хвороби серця та 105 – від цереброваскулярних захворювань. Відповідно за чисельністю була створена контрольна група та вивчений вплив факторів ризику на зв'язок між смертністю від CSD та професійним зовнішнім гамма-опроміненням та внутрішнім опроміненням обумовленим ДПР радону та ДЖАУ. Дослідження охоплювало гірників, які почали працювати з 1955 року, працювали в 1976 р. і продовжували працювати до 2007 р. Індивідуальна інформація про фактори ризику була зібрана з медичних файлів 76 померлих від CSD і 237 гірників,

які не померли від CSD до кінця спостереження. Співвідношення доза опромінення/ризик оцінювали за допомогою моделі Кокса, зважену за принципом зворотної ймовірністю вибірки [68].

Таким чином було встановлено, що по всій когорті спостерігалось значне збільшення всіх ризиків смертності від серцево-судинних захворювань, пов'язаних з опроміненням ДПР радону. Встановлено, що радіаційні ризики на 100 місяців робочого рівня (WLM) склали 1,11, для 95% довірчого інтервалу (1,01; 1,22), для цереброваскулярних захворювань ця величина склала $100 \text{ WLM} = 1,25$ (1,09; 1,43) відповідно [69].

Далі були застосовані корегування результатів досліджень за модифікуючими факторами, а саме: надмірної ваги, гіпертонії, цукрового діабету, гіперхолестеринемії та куріння. Як результат, біли зроблені наступні висновки: опромінення радоном не впливає на захворюваність системи кровообігу, але може викликати цереброваскулярні захворювання [68]. Автори вважають, що ці висновки мають бути підтверджені іншими дослідниками, або має сенс продовжити самі дослідження.

Окреме дослідження присвячене впливу куріння на виникнення раку легенів у шахтарів [70]. Дослідження гірників із великими дозами від ДПР радону показали стійке збільшення ризику раку легенів у некурців зі збільшенням дози опромінення. Проте, при відносно малих дозах від ДПР радону величина ризику стає незрозумілою.

Таким чином, було проведено достатньо епідеміологічних досліджень захворюваності на рак легенів працівників уранових шахт, щоб зробити висновок про його безпосередній зв'язок з радоном та його ДПР [71-73].

Але шахтарі отримують внутрішні дози опромінення не тільки від радону та його ДПР, але і від ДЖАУ, які також можуть створювати значні дози опромінення в залежності від розчинності урану та дисперсності часток пилу у повітрі робочої зони.

Перші дослідження поведінки урану в легенях після його інгаляції проводилися в експериментах на тваринах [74-78].

Для вивчення впливу ДЖАУ на легені, з метою вичленення цієї компоненти, дослідники проаналізували онкологічну захворюваність атомників, які займаються конформацією та виготовленням ядерного палива. Дослідження містило оцінку 553 випадків раку легенів та 1 333 випадків контролю. Медіана накопиченої легенями дози від альфа-випромінювачів становила 2,42 мГр (при середньоарифметичному 8,13 мГр та максимальній дозі - 316 мГр); для плутонію медіана становила 1,27 мГр, а для урану 2,17 мГр. Перевищення співвідношення від випадку захворювання на рак до дози в 1 Gy (90% довірчий інтервал), було зважене на величину зовнішнього випромінювання, соціально-економічного статусу та куріння, і становило 11 (2, 6, 24) для загальної альфа-дозы, 50 (17, 106) для плутонію та 5,3 (-1,9, 18) для урану [79].

Дослідники вважають, що встановили стійку залежність між опроміненням у діапазоні малих доз та раком легенів. В контексті шахтарів уранових шахт, треба зазначити, що для них ризики від інгаляційного надходження урану нижче, ніж у працівників, які працюють з плутонієм [78].

Проте, найбільшу цікавість викликає вплив на шахтарів. Аналіз літературних джерел встановив, що незважаючи на велику кількість опублікованих експериментальних даних та результатів епідеміологічних досліджень, про вплив на здоров'я людей урану в ситуації хронічного опромінення малими дозами, практично нічого не відомо.

Окремі дослідники вважають, що саме біологічні маркери допоможуть об'єктивно охарактеризувати патологічні процеси та реакції тканин людини на уран [80]. Для ініціювання такого дослідження було запроваджене «Узгоджене дослідження з урану в Європі» (CURE) [81], яке включає біологів, епідеміологів та дозиметристів. Основними цілями першого етапу досліджень CURE стали наступні напрямки:

- визначити біомаркери та біологічні зразки, що стосуються впливу урану;
- визначити стандартні операційні процедури (SOPs);

- розробити загальні протоколи досліджень (логістичний, анкетний, етичний) для проведення масштабних молекулярних епідеміологічних досліджень у когортах осіб, які контактували з ураном;
- провести ідентифікацію біомаркерів, пов'язаних з органами-мішенями (легені, нирки та кістки) та іншими системами або органами, з підозрою на які уран потенційно може впливати (серцево-судинна система, центральна нервова система та лімфатична система);
- визначити цільові молекули (пошкодження ДНК, геномна нестабільність);
- опрацювати та визначити високопродуктивні методи ідентифікації нових біомаркерів.

В рамках першого етапу досліджень для отримання високоякісних біологічних матеріалів були встановлені вимоги для відбору проб та зберігання різних біоспецифічних речовин. Запропонована стратегія може бути адаптована до інших досліджень внутрішнього опромінення та визначення біологічних та медичних наслідків, які мають значення для оцінки ризику [81].

Проте, основним напрямком досліджень цього проекту є визначення індивідуальних ризиків для здоров'я за оцінкою вимірювань концентрації ДЖАУ у повітрі на робочих місцях [81]. Оцінка доз опромінення шахтарів, обумовлених ДЖАУ, сьогодні базується на реконструкції впливу на легені рудного пилу, накопиченого впродовж певного часу. Для цього було розроблено специфічні дозові моделі, які оцінювали накопичені дози опромінення від радону і його ДПР, ДЖАУ і зовнішнього гамма-випромінювання [82].

Такий підхід дозволив оцінити внесок ДЖАУ в сумарну дозу та провести ряд когортних досліджень смертності від раку, лейкемії або серцево-судинних захворювань, обумовлених ураном [83-88]. Проаналізувавши результати цих досліджень НКДАР ООН прийшов до висновку, що труднощі з вивченням захворюваності шахтарів полягають у

тому, що дози на легені від ДПР радону значно більші, ніж від урану. Вони часто корелюють з експозицією ДЖАУ, що перешкоджають відокремленій оцінці впливу цього джерела на легені. По - друге, для ДЖАУ не існує індивідуальної дозиметрії, а це не дозволяє достовірно оцінити величину індивідуальних доз опромінення, щоб провести повноцінні дослідження «випадок - контроль». По-третє, необхідно враховувати «ефект зміщення здорової людини», тому що шахтарі, які відносяться до категорії «персонал», проходять обов'язкові медичні огляди і отримують роботу тільки з умови відмінного фізичного здоров'я [89]. Взагалі, дослідження впливу урану на здоров'я розділяють на три категорії.

До першої категорії відносяться дослідження, для яких інгалаційні дози опромінення від ДЖАУ для шахтарів не визначені і таких досліджень більшість. До другої відносяться дослідження шахтарів, які не мають індивідуальних доз опромінення, проте, для них визначені стандартизовані коефіцієнти смертності (SMR) та загальні статистичні дані щодо впливу ДЖАУ. І третя категорія, це дослідження, які базуються на дозиметричних даних. В таблиці 1.6 представлені результати досліджень радіаційних ризиків шахтарів, обумовлені інгалацією урану.

Аналізуючи ці данні можна констатувати, що їх недостатньо для остаточних висновків, враховуючи малу кількість зафіксованих випадків раку легенів у шахтарів та малі концентрації урану, які були виміряні [94].

Ще одне дуже цікаве дослідження триває по сьогодні і стосується майже мільйона американських працівників категорії «А» (персоналу) та військових ветеранів, які отримували хронічне опромінення малими дозами в продовж багатьох років [95].

Особливістю цього епідеміологічного дослідження стану здоров'я персоналу є оцінки смертності не тільки від онкологічних захворювань, але і інших причин смерті, таких як серцево-судинні та цереброваскулярні захворювання.

Таблиця 1.6

**Оцінки відносних ризиків раку легенів шахтарів уранових шахт за
рахунок інгаляції урану.**

Дослідження	Кількість летальних випадків	Одиниця вимірювань та оцінки величини впливу урану	Одиниця ризику на одиницю впливу
Франція, CEA_COGEMA [90, 91]	94	кБк/м ³	ERR=0.32 (95% CI: 0.09, 0.73)
Німеччина, Вісмут [92]	554	10 кБк/м ³	ERR=0.098 (95% CI: -0.11, 0.31) (Рак гортані)
Німеччина, Вісмут [93]	234	100 кБк/м ³	ERR=-0.17 (95% CI: -2.50, 2.16) (Рак верхніх дихальних шляхів)

Проте, достовірність результатів досліджень радіаційних ризиків напряду пов'язана з достовірністю методів реконструкції доз, які визначають реалістичність оцінок доз і залежать від коректних оцінок їхніх супутніх невизначеностей та модифікуючих факторів [94].

Автори статті підкреслюють, що дозиметричні аспекти таких когортних досліджень є досить складними, оскільки вони стосуються різноманітних сценаріїв впливу джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) на різні професійні групи, що вивчаються в США вже протягом 70 років. Наприклад, закономірності формування середньорічної дози опромінення працівників атомних електростанцій, радіологів, медичних фізиків, промислових радіографістів чи шахтарів уранових шахт будуть відрізнятися. Хоча для більшості з них, за винятком шахтарів, основним джерелом радіаційного впливу буде зовнішнє гамма- або рентгенівське опромінення. Для шахтарів уранових шахт більш значущим є внутрішнє опромінення, що, в свою чергу, вимагає індивідуальної дозиметричної оцінки [95].

Таким чином, на першому етапі наших досліджень дуже важливо визначитися з методиками реконструкції доз опромінення персоналу та

визначитися зі всіма невизначеностями, які можуть вплинути на їх величину, включаючи питання контролю якості вимірювань та процедури звірення [95],

Особливості оцінки доз опромінення та аналіз ситуацій, в яких їх застосовують у сучасних когортних дослідженнях викладені у ряді Публікацій Національної ради з питань радіаційного захисту та вимірювань США (NCRP) [96-98].

До таких же висновків дійшли і французькі епідеміологи [99]. В своїй статті вони зауважили, що на якість статистичних даних впливають, по-перше помилки вимірювання радону та оцінки накопиченої дози, по друге, – невизначеності щодо термінів експозиції та інших модифікуючих факторів [98].

Щоб вирішити цю проблему автори пропонують використовувати «байєсовський» структурний підхід, який, безумовно, є найбільш гнучким методом обліку невизначеностей в оцінці опромінення. Автори вважають, що потрібні додаткові дослідження, щоб визначитися з цього питання [99].

W. F. Heidenreich, L. Tomasek пропонують використовувати для оцінки ризиків двостадійну модель розширення вибірки (TSCE). Аналіз цієї моделі для оцінки ризиків раку легенів від ДПР радону для трьох різних когорт шахтарів (чеської, німецької та французької) визначив незначний вплив на кінцеву оцінку ризику невизначених параметрів [99].

Таким чином, існує два методичних підходи для оцінки ризиків, перший:

- за результатами епідеміологічних досліджень,
- другий – за дозиметричними моделями.

Еволюція значень одиниці дози на одиницю експозиції ДПР радону ($\text{мЗв на РУМ або мЗв на мДж}\cdot\text{ч}\cdot\text{м}^{-3}$), розрахованих з використанням різних моделей представлена в табл. 1.7 [100- 103].

Аналізуючи данні цих досліджень, МКРЗ прийшла до висновку, що в радіаційному захисті до радону і його ДПР необхідно ставитися як до будь-яких інших радіоактивних елементів.

Таблиця 1.7

Оцінки ефективних доз опромінення дорослої людини при інгаляційному надходженні радону і його ДПР, розраховані з використанням дозиметричних моделей МКРЗ [11]

Публікація	Тип моделі	Сценарій опромінення	Ефективна доза, мЗв на РРМ	Ефективна доза, мЗв на $\text{мДж} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$
Harley et al., 1996		Приміщення і шахти	9,6 ¹⁾	2,7
Porstendorfer, 2001	Zock et al., 1996	Житло	8	2,3
		Робочі місця	11,5	3,2
		На відкритому просторі	10,6	3
Winkler-Heil et al., 2007	Детерміністична модель дихальних шляхів	Шахта	8,3	2,3
	Стохастична модель дихальних шляхів	Шахта	8,9	2,5
	МКРЗ (ICRP, 1994)	Шахта	11,8	3,3
Marsh and Birchall, 2000	МКРЗ (ICRP, 1994)	Житло	15	4,2
James et al., 2004	МКРЗ (ICRP, 1994)	Шахта	20,9	5,9
		Житло	20,1	6,0
Marsh et al., 2005	МКРЗ (ICRP, 1994)	Шахта	12,5	3,5
		Житло	12,9	3,6

Примітки:

Значення поглинутої у повітрі дози 6 мГр/РРМ (1,7 мГр на $\text{мДж} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$) розраховано для бронхіального відділу. Ефективна доза на одиницю експозиції отримана з використанням зваженого коефіцієнту

випромінювання 20 для альфа-часток і тканинного зважувального коефіцієнту 0,08 ($=2/3 \times 0,12$) (ICRP, 1993).

У сучасній системі радіаційного захисту (МКРЗ, 103) для розрахунку доз від радону і його ДПР використовуються як біокінетичні і дозиметричні моделі, так і метод «умовного дозового переходу».

Такий підхід неоднозначний, коли йдеться про професіональне опромінення. В даний час МКРЗ готує нову публікацію, де будуть представлені коефіцієнти переходу для радону і його ДПР, які розраховуються за біокінетичними та дозиметричними моделями МКРЗ. Проаналізувавши результати досліджень МКРЗ визначилася щодо конверсійних коефіцієнтів ризику та доз опромінення як для житла, так і умов виробництва і пропонує для оцінки доз опромінення персоналу використовувати коефіцієнт 14 мЗв на WLM, який добре узгоджується з результатами дозиметричних моделей [104].

В новій публікації МКРЗ буде надана достатня інформація і дозиметричні дані, щоб можна було розраховувати коефіцієнти дози для конкретної ділянки на основі вимірних значень параметрів аерозолів [105].

1.4 Міжнародні вимоги до радіаційного захисту шахтарів.

Основні вимоги до радіологічного захисту персоналу були викладені МКРЗ у Публікації 75 [106] Публікація 103 [107] запропонувала нову систему радіологічного захисту, в основу якої покладено принципи виправданості і оптимізації, які застосовуються для усіх ситуацій опромінення, і, в першу чергу, для запланованої. Опромінення шахтарів уранових шахт відноситься саме до цієї ситуації, яка передбачає зважену, з точки зору радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту, експлуатацію радіоактивних джерел, причому, заплановані ситуації опромінення можуть зумовлювати як очікуване (нормальне) опромінення, так і опромінення, яке

можливо не відбудеться (потенційне опромінення). Три ситуації опромінення нової системи (запланована, існуюча та аварійна) в значній мірі відповідає вимогам існуючої в Україні нормативної бази, коли йдеться про поняття «практична діяльність» і «втручання».

МКРЗ продовжує використовувати ці терміни, дещо змінивши їх контекст. Наприклад, термін «практична діяльність» використовується для позначення діяльності, яка обумовлює збільшення доз опромінення або радіаційних ризиків. Термін «втручання» використовується, щоб описати захисні дії, вжиті для зменшення доз опромінення. МКРЗ роз'яснює застосування цих термінів наступним чином: «практичною діяльністю може бути не тільки бізнес, торгівля, виробництво, це можуть бути і урядові угоди і договори, благодійність». У концепції практичної діяльності не відкрито виражено поняття «радіоактивного джерела», який привноситься або застосовується, і може контролюватися прямими діями на джерело» (Публікація МКРЗ 103). Іншими словами, термін «практична діяльність» неповно відображає суть поняття «радіоактивне джерело» для всіх можливих ситуацій опромінення:

- коли вводиться в експлуатацію нове джерело;
- коли джерело експлуатується (підтримується) за умови, що воно може контролюватися прямим впливом на джерело.

Іншими словами, термін «практична діяльність» неповно відображає суть поняття «радіоактивне джерело» для всіх можливих сценаріїв опромінення. Наприклад, коли нове джерело вводиться в експлуатацію або коли контрольоване джерело не експлуатується але має підтримуватися.

Основні принципи радіологічного захисту в новій системі захисту також пов'язані поняттям «джерела» і формулюються наступним чином:

- виправданість – «будь-яке рішення, яке змінює існуючу радіаційну ситуацію, повинно приносити більше користі, ніж шкоди». «Джерело» в цьому випадку пов'язує принцип з усіма ситуаціями опромінення.

- оптимізація захисту - «при можливості піддатися впливу опромінення, кількість опромінених людей і величина їх індивідуальних доз повинні бути збережені на такому низькому рівні, як це розумно досяжно, беручи до уваги економічні та соціальні фактори». В цьому випадку, «джерело» також пов'язує принцип з усіма ситуаціями опромінення.

- обмеження дози - «сумарна доза будь-якого індивідуума від регульованих джерел для запланованих ситуацій опромінення, виключаючи медичне опромінення пацієнтів, не повинна перевищити референтні рівні і дози, рекомендовані МКРЗ».

Цей принцип є індивідуальним. Він пов'язаний і застосовується тільки для запланованих ситуацій опромінення.

Найбільш цікавим в контексті даної роботи є принцип обмеження індивідуальних доз опромінення.

За визначенням «ліміт дози» це «сумарна доза будь-якого індивідуума від регульованих джерел для запланованих ситуацій опромінення, виключаючи медичне опромінення пацієнтів, яка не повинна перевищити референтні рівні і дози, рекомендовані МКРЗ».

Це поняття застосовується для запланованих ситуацій опромінення і містить сукупні обмеження для професійного опромінення від усіх регульованих джерел, причому оцінка доз опромінення для окремих осіб виконується для порівняння з межами доз, рекомендованими МКРЗ. Наведені в табл. 1.8 ліміти ЕД є сумою ЕД від джерел зовнішнього опромінення за певний період, а саме один рік і накопиченої ЕД від внутрішнього надходження радіонуклідів за цей період. Для дорослих, накопичена ЕД розраховується за 50 років з моменту надходження радіонукліда, для дітей - 70 років.

Для професійного опромінення існують додаткові умови - ЕД не повинна перевищувати 20 мЗв за один окремо взятий рік. Існують також додаткові обмеження для вагітних жінок.

Поняття квоти дози було запропоновано МКРЗ в 1990 році [108] і до недавнього часу застосовувалася при проведенні процедур оптимізації для практичної діяльності. По суті, квота дози є обмеженням індивідуальної дози для запланованої діяльності від джерела, яке було оптимізовано. На стадії планування, варіант при якому дози опромінення перевищують референтні рівні, апріорі вважається неприйнятним.

У таблиці 1.9 наведені рекомендовані МКРЗ референтні рівні і квоти доз. Дані величини є верхніми межами при проведенні процедур оптимізації у наступних випадках:

- якщо змінюється число факторів впливу, які необхідно проаналізувати, включаючи всі вигоди для суспільства від аналізованої діяльності;
- вартість і доцільність захисних заходів, а також загальновизнана вигода для даної ситуації опромінення.

Таблиця 1.8

Ліміти доз опромінення персоналу [107]

Тип ліміту	Професійне опромінення, мЗв/рік	Опромінення населення, мЗв/рік
Ефективна доза	20 мЗв/рік в середньому за 5 років	1 мЗв/рік
Річні еквівалентні дози:		
Кришталік ока	150 мЗв	15 мЗв
Шкіра	500 мЗв	50 мЗв
Руки/ ноги	500 мЗв	-

Одним з основних нововведень цього документа є поняття «референтних рівнів», які замінили звичний «норматив» (регламент). По суті, референтний рівень є верхньою межею нормативу, перевищення якого неприпустимо, а його кількісна величина визначається виходячи з реальних соціально-економічних умов кожної країни [109, 110].

Публікація 104 МКРЗ, підкреслює, що національні регулятори повинні забезпечити величини референтних рівнів, лімітів і квот доз для всіх ситуацій опромінення на рівні нижче величин, рекомендованих МКРЗ і представлених у таблиці 1.9 [111].

Таблиця 1.9

Референтні рівні МКРЗ для запланованої ситуації опромінення [18]

Рівні лімітів оптимізації (квот доз і референтних рівнів) для ЕД, мЗв/рік	Характеристика ситуації опромінення	Приклад
>20-100 Високі референтні рівні встановлюються для добре навченого персоналу, який працює в аварійних умовах	Екстремальні ситуації опромінення, коли джерело є неконтрольованим і потрібні обов'язкові захисні заходи за всіма шляхами опромінення	Ситуація аварійного опромінення
>1-20	Індивідуум зазвичай отримує вигоду від даної ситуації. Захист застосовується для всіх типів опромінення або джерел.	Професійне опромінення для запланованих ситуацій, а також для реабілітаційних заходів після аварій. Існуючі ситуації опромінення
1 і менше	Застосовується тільки для ситуацій, коли буде присутня вигода для суспільства, а не окремої людини	Опромінення населення для запланованих ситуацій.

Повертаючись до опромінення шахтарів на робочих місцях, тобто ситуації, яка відноситься до запланованого опромінення, необхідно зазначити, що радіаційних захист для персоналу повинен бути спланований заздалегідь.

Заплановані ситуації можуть відноситися як до «нормального» опромінення, так і для потенційного, причому в цьому випадку очікувані рівні опромінення для робітників і населення можна оцінити. Проте, можливі

випадки, коли заплановані рівні можуть бути перевищені (наприклад, аварія або теракт). Такі випадки розглядаються в контексті потенційного опромінення.

За визначенням МКРЗ професійне опромінення це «радіаційне опромінення робітників, отримане в результаті професійної діяльності». Проте, так як радіоактивні джерела присутні скрізь, МКРЗ обмежує використання застосування цього терміну наступним чином: «радіаційне опромінення на робочих місцях в результаті ситуацій, які можуть розумно бути розцінені як частина виробничого процесу».

МКРЗ також продовжує наполягати на застосуванні класифікації з використанням «робочих зон», а не робітничих спеціальностей і розрізняти «контрольовані зони» і «наглядові зони».

Більшість країн вітає такий розподіл. Міжнародний досвід радіаційного захисту свідчить, що такий підхід дає можливість виділити зони потенційної небезпеки і застосувати до них спеціальні заходи для мінімізації доз опромінення, як в режимі нормальної експлуатації, так і в аварійних ситуаціях.

До потенційних ситуацій опромінення МКРЗ відносить такі ситуації, які виникають в результаті відхилень від запланованих технологічних процедур, або в разі, коли опромінення може бути прогнозовано. Прикладом потенційного опромінення може вважатися гетерогенне забруднення, коли існує ймовірність переопромінення. МКРЗ розглядала сценарії потенційного опромінення в публікації № 76, 1997, [112] - заплановане потенційне опромінення невеликої кількості людей, № 64, 1993 [113] - заплановане потенційне опромінення для великих когорт, № 96, 2005 [114] - зловмисні інциденти, № 81, 1998 [115] - РАО. У публікації 103 МКРЗ використовує це поняття для контрольованих ситуацій запланованого опромінення і при оцінці ризиків для існуючих ситуацій. Послідовність дій для оцінки потенційного опромінення містить наступні кроки:

- визначаються всі види діяльності і сценарії, які могли б викликати опромінення;
- ідентифікуються і визначаються ймовірності виникнення і величини можливих доз опромінення;
- визначаються розумні заходи, які дозволять запобігти виникненню таких подій, або зменшити ймовірність таких сценаріїв опромінення, які потенційно можна запобігти.

Проаналізувавши вимоги сучасної системи радіаційного захисту можна констатувати, що за всіма ознаками опромінення шахтарів уранових шахт на робочих місцях відноситься до запланованої ситуації, а референтний рівень середньорічної ЕД опромінення складає до 20 мЗв/рік.

Необхідно зауважити, що регламенти (нормативи) опромінення персоналу неодноразово змінювалася. Перші нормативи обмежували середньорічне опромінення персоналу на рівні 50 мЗв [116]. У 1990 році річна ЕД для професіоналів була знижена до 20 мЗв/рік [90, 117]. Ця величина збереглася і у нових «Основних стандартах безпеки» МАГАТЕ, та, відповідно у Директивах 2013/59/Євратому, але величина 20 мЗв/рік стала референтним рівнем, тобто кожна країна має сама вирішувати, яка доза опромінення для неї прийнятна за умов не перевищення цієї величини.

Якщо величина ліміту дози не змінилася, то величини радіаційних ризиків та методологічні підходи до їх оцінки були переглянуті з позицій пріоритету інтересів індивідуума над суспільством в цілому [118, 119].

Так, в моделюванні та розрахунках шкоди від захворювань на рак МКРЗ застосовує нову інформацію про ризики виникнення карцею в окремих органах. Ці коефіцієнти суттєво відрізняються від наведених в Публікації 60 (таблиця 1.10) [120].

Таблиця 1.10

**Коефіцієнти номінального ризику для стохастичних ефектів
з урахуванням шкоди ($10^{-2}/\text{Зв}$) [107]**

Опромінена популяція	Рак		Спадкові ефекти		Сумарний ефект	
	Публ. 103	Публ. 60	Публ. 103	Публ. 60	Публ. 103	Публ. 60
Все населення	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
Дорослі	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6

Якщо в Публікації 60 оцінка шкоди базувалася на смертності від раку, то останні висновки ґрунтуються на даних захворюваності на рак, що дозволяє отримати більш обґрунтовані оцінки радіаційних ризиків.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Новітні епідеміологічні дослідження випадків раку легенів серед працівників уранових шахт встановили, що основним дозоформуючим фактором, який викликає рак легенів є ДПР радону.

2. Дослідження впливу на бронхо-легеневу систему шахтарів ДЖАУ і їх внесок в онкологічну захворюваність остаточно не визначено, тому що ЕД опромінення шахтарів від ДПР радону в рази більше і дуже важко відокремити їх плив. Дослідження впливу урану на організм людини НКДАР ООН визначив як пріоритетні на наступні роки.

3. Для більшості досліджених когорт відсутні достовірні індивідуальні дозиметричні дані, що ускладнює отримання остаточних залежностей. Дослідження мають продовжуватися в наступні роки.

4. Переоцінка впливу на здоров'я радону та його ДПР привела до переоцінки радіаційних ризиків для цього джерела у сторону збільшення. Відповідно, змінюються конверсійні коефіцієнти «активність – доза» і

контрольні рівні ЕД опромінення шахтарів, що приведе до перегляду нормативної бази та системи радіаційного захисту шахтарів.

5. Дослідження онкологічної захворюваності шахтарів уранових шахт та чинників, які впливають на її величину у контексті реалізації сучасних вимог системи радіаційного захисту для запланованої ситуації опромінення, є безперечно своєчасними та актуальними не вирішеними науковими проблемами.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИ І ОБСЯГ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Інформаційна база

Інформаційна база даної роботи щодо індивідуальних ЕД опромінення, формувалась в результаті виконання наглядових функцій держави, в нашому випадку, проведення санітарно-гігієнічного нагляду за умовами праці шахтарів уранових шахт державного підприємства ДП «СхідГЗК» протягом 1997-2015 років. За даний період проаналізовано 1100 витягів з карток обліку доз опромінення шахтарів («Карти індивідуального обліку дози опромінення персоналу категорії «А»»), які офіційно були надані підприємствами на запити санітарно-епідеміологічної служби для складання санітарно-гігієнічних характеристик умов праці на осіб у яких була підозра на професійне захворювання. Об'єми досліджень приведено у таблиці 2.1.

Період 1997 – 2015 роки обрано в зв'язку з особливістю законодавства України в сфері радіаційної безпеки. Справа в тому, що у 1997 році були прийняті Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), які регламентували верхню дозу опромінення для персоналу категорії «А» («професіонали») 20 мЗв/рік. Попередній документ який використовувався в даній сфері був радянських часів і регламентував граничну дозу опромінення 50 мЗв/рік.

Аналіз професійної онкологічної захворюваності шахтарів проводився за даними журналів реєстрації професійних захворювань.

Таблиця 2.1

Об'єми та методи досліджень

№ з/п	Етап	Об'єкт	Методи	Кількість
1	Вивчення стану онкологічної захворюваності серед шахтарів уранових шахт в світі.	Епідеміологія розповсюдженос-ті захворювань на професійний рак серед шахтарів уранових шахт.	Аналіз літературних джерел	127 джерел
2	Оцінка радіаційної ситуації на робочих місцях	Матеріали ДП «СхідГЗК»; ДУ «Смолінська СЕС ООРР МОЗ України»	Ретроспективний аналіз	1100 карт, Журнал виробничого радіаційного контролю
3	Стандартизація розрахунку індивідуальних доз опромінення шахтарів, враховуючи неоднорідність даних	Матеріали ДП «СхідГЗК»	За математичними моделями МКРЗ Публ. 60, 65, 115 і 126.	1100 карт
4	Аналіз індивідуальних доз опромінення шахтарів (категорія «А».)	Матеріали ДП «СхідГЗК»	Ретроспективний аналіз	1100 карт
5	Аналіз професійної онкологічної захворюваності	Акти розслідування професійних захворювань (форма П-4)	Ретроспективний аналіз	950 Актів
6	Розрахунок ризиків стохастичних ефектів, персонал категорії «А»	Статистично-епідеміологічні дослідження	За матема-тичними моделями МКРЗ	3 урано-видобувних шахт ДП СхідГЗК

На кожного професійного хворого складався Акт розслідування професійного захворювання (форма П-4), а діагноз заносився в журнал реєстрації професійних захворювань. Терміни зберігання таких документів складають 45 років.

Інформація щодо індивідуальних доз опромінення за цей період Смолінською і Інгульською шахтами надавалась дещо різною в суті свого викладення. Зразки надання інформацій наведені в додатках (Г1, Г2).

Як видно з наведених форм, інформація щодо радіаційного стану на робочих місцях шахтарів і отриманої індивідуальної ЕД, різними підприємствами і в різні періоди надавалась не була однобічною і потребувала приведення до певного узагальнюючого вигляду, а також єдиного підходу щодо обрахування доз опромінення.

Зважаючи на це, з метою найбільш достовірного отримання результатів, прийнято рішення розрахунки ефективних доз опромінення персоналу уранових шахт проводити окремо для кожного шахтаря, на основі даних моніторингу радіаційних факторів на робочих місцях (надані підприємством), відповідно до «Керівництва з розрахунків індивідуальних доз опромінення персоналу ДП «СхідГЗК» і населення», яку було розроблено відділом радіаційної безпеки ДП «СхідГЗК» і погодженого з Міністерством охорони здоров'я України в 2007 році. Даний документ був введений в дію наказом по ДП «СхідГЗК» від 15.05.2008 року №208.

Важливим для нашої роботи є те, що індивідуальна дозиметрія персоналу категорії «А» на підприємствах не проводиться, якщо не брати до уваги не значну кількість осіб, де проводиться індивідуальна дозиметрія зовнішнього гамма опромінення термolumінесцентним методом.

2.2 Методика проведення обрахунку доз опромінення.

Розрахунок доз опромінення проводився в відповідності до «Керівництва з розрахунку доз опромінення персоналу ДП «СхідГЗК» та населення» [16] погодженого з Міністерством охорони здоров'я України і затвердженого Наказом ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» від 15.05.2008 року №208.

Визначення ЕД опромінення персоналу

Величина ЕД опромінення підземного персоналу розраховується за наступною формулою

$$E_{\text{ПП}}^A = H_{\text{ext}}^A + H_{\text{Rn}}^A + H_{\text{ДПР}}^A + H_{\text{ДПТ}}^A + H_{\text{ДАН}}^A \leq 20 \text{ мЗв/рік}^1 \quad (2.1)$$

де $E_{\text{ПП}}^A$ - сумарна ЕД опромінення підземного персоналу, мЗв;

H_{ext}^A - ЕД зовнішнього опромінення, мЗв;

H_{Rn}^A - ЕД внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження радону, мЗв;

$H_{\text{ДПР}}^A$ - ЕД внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду радону, мЗв;

$H_{\text{ДПТ}}^A$ - ЕД внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду торону, мЗв;

$H_{\text{ДАН}}^A$ - ЕД внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження довготривалих α -нуклідів по ряду урану та торію, що містяться у пилові, мЗв;

Визначення ЕД зовнішнього опромінення.

ЕД зовнішнього опромінення від γ -випромінювання розраховується за наступною формулою:

$$H_{\text{ext}}^A = 6,46 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot P_{\gamma}, \text{ мЗв}, \quad (2.2)$$

де $6,46 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнт переходу від експозиційної до ЕД, мЗв-мкР⁻¹;

t – час роботи за звітний період, годин;

P_{γ} – середнє значення потужності експозиційної дози на робочому місці за звітний період, $\text{мкР} \times \text{год}^{-1}$.

Якщо середнє значення потужності еквівалентної дози на робочому місці за звітний період визначено в $\text{мкЗв} \times \text{год}^{-1}$, то ЕД розраховується за наступною формулою

$$H_{ext}^A = t \cdot P_{\gamma} \cdot 10^{-3}, \text{ мЗв}, \quad (2.4)$$

де t – час роботи за звітний період, годин;

P_{γ} – середнє значення потужності еквівалентної дози на робочому місці за звітний період, мкЗв/год ;

10^{-3} – коефіцієнт переходу від мкЗв до мЗв .

Визначення ЕД опромінення від радону.

ЕД опромінення від інгаляційного надходження радону розраховується за наступною формулою:

$$H_{Rn}^A = 2,42 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot R_n, \text{ мЗв} \quad (2.5)$$

де $2,42 \cdot 10^{-7}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності радону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

R_n – середнє значення об'ємної активності радону що містяться у рудничні атмосфері на робочих місцях за звітний період, Бк/м^3 .

Якщо середнє значення об'ємної активності радону виміряне у Ки/л^1 , то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{Rn}^A = 8,95 \cdot 10^6 \cdot t \cdot R_n, \text{ мЗв} \quad (2.6)$$

де $8,95 \cdot 10^6$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності радону до ЕД, $\text{мЗв/Ки} \cdot \text{л} \cdot \text{год.}$;

R_n – середнє значення об'ємної активності радону, що містяться у рудничні атмосфері на робочих місцях за звітний період, Ки/л .

Визначення ЕД опромінення від ДПР радону

ЕД опромінення від інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду радону розраховується за наступною формулою:

$$H_{ДПР}^A = 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot \text{ЕРОА}_{\text{Rn}}, \text{ мЗв} \quad (2.7)$$

де $9,8 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

ЕРОА_{Rn} – середнє значення об'ємної питомої активності радону у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду, що містяться у рудничній атмосфері на робочому місці за звітний період, Бк/м^3 .

Якщо середнє значення об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону виміряне у величинах «прихованої енергії» у МеВ/л , то ЕД розраховується за формулою

$$H_{ДПР}^A = 2,82 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot \text{ЕРОА}_{\text{Rn}}, \text{ мЗв} \quad (2.8)$$

де $2,82 \cdot 10^{-7}$ - коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону до ефективної дози, $\text{мЗв} \times \text{МеВ}^{-1} \times \text{л} \times \text{годин}^{-1}$;

ЕРОА_{Rn} - середнє значення об'ємної питомої активності радону у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду, що містяться у рудничній атмосфері на робочих місцях за звітний період, $\text{МеВ} \cdot \text{л}^{-1}$.

Визначення ЕД опромінення від дочірніх продуктів розпаду торону (ДПТ).

ЕД опромінення від інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду торону розраховується за наступною формулою:

$$H_{ДПТ}^A = 1,31 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \text{ЕРОА}_{\text{Tn}}, \text{ мЗв} \quad (2.9)$$

де $1,31 \cdot 10^{-4}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

ЕРОА_{Tn} – середнє значення об'ємної питомої активності торону у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду, що містяться у рудниковій атмосфері на робочому місці за звітний період, Бк/м^3 .

Якщо середнє значення об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону виміряне у $\text{Мев}\cdot\text{л}^{-1}$, то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{\text{ДПТ}}^A = 2,82 \cdot 10^{-7} \cdot \text{ЕРОА}_{\text{Тн}}, \text{ мЗв}, \quad (2.10)$$

де $2,82 \cdot 10^{-7}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону до ЕД, $\text{мЗв}\cdot\text{Мев}^{-1}\cdot\text{лгодин}^{-1}$;

$\text{ЕРОА}_{\text{Тн}}$ – середнє значення об'ємної питомої активності торону у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду, що містяться у рудниковій атмосфері на робочому місці за звітний період, $\text{Мев}\cdot\text{л}^{-1}$.

Визначення ЕД опромінення від довгоживучих α -випромінювачів.

ЕД опромінення від інгаляційного надходження довгоживучих α -нуклідів, що містяться у рудничній атмосфері (рудному пилу) розраховується за наступною формулою:

$$H_{\text{ДАН}}^A = 0,24 \cdot (C_{\text{ДАН}}^U + 2 \cdot C_{\text{ДАН}}^{Th}), \text{ мЗв} \quad (2.11)$$

де 0,24 та 2 – відповідно, коефіцієнти переходу від питомої α -активності ^{238}U (^{226}Ra) та ^{232}Th до ЕД, $\text{мЗв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{м}^3\cdot\text{годин}^{-1}$;

$C_{\text{ДАН}}^U$; $C_{\text{ДАН}}^{Th}$ - відповідно, середні значення об'ємної α -активності урану (радію) та торію, що містяться у рудниковій атмосфері на робочому місці за звітний період, $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Якщо середні значення питомої α -активності виміряні у $\text{Ки}\cdot\text{л}^{-1}$, то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{\text{ДАН}}^A = 8,7 \cdot 10^{12} \cdot (C_{\text{ДАН}}^U + 2 \cdot C_{\text{ДАН}}^{Th}), \text{ мЗв}, \quad (2.12)$$

де $8,7 \cdot 10^{12}$ та $8,7 \cdot 10^{12} \cdot 2$ – відповідно, коефіцієнти переходу від питомої α -активності ^{238}U (^{226}Ra) та ^{232}Th до ЕД, $\text{мЗв}\cdot\text{Ки}^{-1}\cdot\text{лгодин}^{-1}$;

$C_{\text{ДАН}}^U$, $C_{\text{ДАН}}^{Th}$ - відповідно, середні значення питомої α -активності урану (радію) та торію, що містяться у рудниковій атмосфері на робочому місці за звітний період, $\text{Ки}\cdot\text{л}^{-1}$.

Розрахунок величини ЕД (E_E) опромінення поверхневого персоналу категорії А (когорта «поверхня»)

Величина ЕД опромінення поверхневого персоналу розраховується за наступною формулою:

$$E_{\text{ПД}}^A = H_{\text{ext}}^A + H_{\text{Rn}}^A + H_{\text{ДПР}}^A + H_{\text{ДПТ}}^A + H_{\text{ДАН}}^A \leq 20 \text{ мЗв/рік} \quad (2.13)$$

де $E_{\text{ПД}}^A$ - сумарна ЕД опромінення поверхневого персоналу категорії А, мЗв;

$$H_{\text{ext}}^A + H_{\text{Rn}}^A + H_{\text{ДПР}}^A + H_{\text{ДПТ}}^A + H_{\text{ДАН}}^A - \text{дивись формулу (2.1).}$$

Розрахунок ЕД зовнішнього опромінення

ЕД зовнішнього опромінення від γ -випромінювання розраховується за наступною формулою:

$$H_{\text{ext}}^A = 6,46 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot P_{\gamma}, \text{ мЗв} \quad (2.14)$$

де $6,46 \cdot 10^{-6}$; t ; P_{γ} – дивись формулу (2.2).

ЕД доза зовнішнього опромінення від γ -випромінювання виміряна в мкЗв·рік⁻¹, то розрахунок ведеться за формулою (3).

Розрахунок ЕД опромінення від радону

ЕД опромінення від інгаляційного надходження радону розраховується за наступною формулою

$$H_{\text{Rn}}^A = 1,94 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot R_n, \text{ мЗв} \quad (2.15)$$

де $1,94 \cdot 10^{-7}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності радону до ЕД, мЗв·Бк⁻¹·м³·годин⁻¹;

t ; R_n – дивись формулу (2.4)

Якщо середнє значення об'ємної активності радону виміряне у Кі·л⁻¹, то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{\text{Rn}}^A = 7,18 \cdot 10^6 \cdot t \cdot R_n, \text{ мЗв}, \quad (2.16)$$

де $7,18 \cdot 10^6$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності радону до ЕД, мЗв·Кі⁻¹·л·годин⁻¹;

t ; R_n – дивись формулу (2.5).

Розрахунок ЕД опромінення від ДПР радону

ЕД опромінення від інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду радону розраховується за наступною формулою:

$$H_{ДПР}^A = 7,84 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot EPOA_{Rn}, \text{ мЗв} \quad (2.17)$$

де $7,84 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

$EPOA_{Rn}$ – дивись формулу (2.6).

Якщо середнє значення об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону виміряне у $\text{Мев} \cdot \text{л}^{-1}$, то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{ДПР}^A = 2,26 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot EPOA_{Rn}, \text{ мЗв}, \quad (2.18)$$

де $2,26 \cdot 10^{-7}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Мев}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{годин}^{-1}$;

$EPOA_{Rn}$ – дивись формулу (2.7).

Розрахунок ЕД опромінення від ДПТ

ЕД опромінення від інгаляційного надходження дочірніх продуктів розпаду торону розраховується за наступною формулою:

$$H_{ДПТ}^A = 1,07 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot EPOA_{Tn}, \text{ мЗв} \quad (2.19)$$

де $1,07 \cdot 10^{-4}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

$EPOA_{Tn}$ – дивись формулу (2.8).

Якщо середнє значення об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону вимірювано у $\text{Мев} \cdot \text{л}^{-1}$, то ефективна доза розраховується за формулою:

$$H_{ДПТ}^A = 2,26 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot EPOA_{Tn}, \text{ мЗв} \quad (2.20)$$

де $2,26 \cdot 10^{-7}$ – коефіцієнт переходу від об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду торону до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Мев}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{годин}^{-1}$.

$EPOA_{Tn}$ – дивись формулу (2.9).

Розрахунок ЕД опромінення від радіоактивних аерозолів (у т.ч. від рудного пилу)

ЕД опромінення від інгаляційного надходження довгоживучих α -нуклідів, що містяться у повітрі робочої зони розраховується за наступною формулою:

$$H_{\text{ДАН}}^A = 0,2 \cdot t \cdot (C_{\text{ДАН}}^U + 2 \cdot C_{\text{ДАН}}^{Th}), \text{ мЗв} \quad (2.21)$$

де 0,2 та 2 – відповідно, коефіцієнти переходу від питомої α -активності ^{238}U (^{226}Ra) та ^{232}Th до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{годин}^{-1}$;

$C_{\text{ДАН}}^U$; $C_{\text{ДАН}}^{Th}$ - відповідно, середні значення питомої α -активності урану (радію) та торію, що містяться у рудничній атмосфері на робочому місці за звітний період, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$.

Якщо середні значення питомої α -активності виміряні у $\text{Ки} / \text{л}^{-1}$, то ЕД розраховується за формулою:

$$H_{\text{ДАН}}^A = 7,2 \cdot 10^{12} \cdot t \cdot (C_{\text{ДАН}}^U + 2 \cdot C_{\text{ДАН}}^{Th}), \text{ мЗв}, \quad (2.22)$$

де $7,2 \cdot 10^{12}$ та $7,2 \cdot 10^{12} \cdot 2$ – відповідно, коефіцієнти переходу від питомої α -активності ^{238}U (^{226}Ra) та ^{232}Th до ЕД, $\text{мЗв} \cdot \text{Ки}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{годин}^{-1}$.

За даною методикою, при використанні програмного забезпечення Microsoft Office Excel, на основі даних наданих підприємством, нами було обраховано ефективну дозу у 1100 гірників, з різним стажем роботи у різних професіях.

Розрахунок дози опромінення на прикладі працівника Смолінської шахти наведений на рисунку 2.1.

Таким чином, вдалося привести до загального знаменника отримані ЕД персоналу, не зважаючи на форму їхнього надання підприємствами.

Необхідно зауважити, що при проведенні розрахунку індивідуальних ефективних доз опромінення, різниця в обрахованих нами і фахівцями хіміко-дозиметричних лабораторій (ХДЛ) підприємств склала 10-15 відсотків.

Справа в тому що фахівцями ХДЛ розрахунок проводився фактично на відпрацьований робочий час кожного робітника, а нами були взяті референтні дані тривалості опромінення відповідно до таблиці Д.2.4 НРБУ-97.

лист 1

Расчет эффективной эквивалентной дозы для работников урановых рудников

Время отработки за год, ч.:	ДАН	ДПР	ГAM	Год	Ср. год. С по рудной пыли мг/м ³ (респ. фракция)	Ср. С U в пыли %	ЭОРА Rn МзВ*10 ⁴ /л*г ⁻¹ (доля от N)	Внешнее облучение мкР/ч (доля от N)	N _{ДАН}	N _{ДПР}	N _Г	N _{ЭЭ}
1500	1600	1700	Смолинская шахта	1994	1	0,07	0,07	0,04	3,26	1,20	1,23	5,89
				1995	1,2	0,07	0,07	0,01	3,80	1,20	0,31	5,31
				1996	1,6	0,07	0,06	0,01	5,06	2,03	0,31	6,40
				1997	1	0,07	0,21	0,01	3,17	3,66	0,31	7,07
				1998	1	0,07	0,2	0,01	3,17	3,43	0,31	6,96
				1999	1,2	0,07	0,14	0,01	3,80	2,40	0,31	6,51
				2000	0,9	0,07	0,14	0,01	2,85	2,40	0,31	6,51
				2001	1,2	0,07	0,14	0,01	3,80	2,40	0,31	6,51
				2002	1,4	0,07	0,14	0,01	4,43	2,40	0,31	7,14
				2003	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
				2004	1	0,07	0,14	0,01	3,17	2,40	0,31	5,87
				2005	0,7	0,07	0,14	0,01	2,22	2,40	0,31	4,92
				2006	0,6	0,07	0,14	0,01	1,90	2,40	0,31	4,61
				2007	0,8	0,07	0,14	0,01	2,53	2,40	0,31	5,24
				2008	0,08	0,07	0,14	0,01	0,25	2,40	0,31	2,96
				2009	0,08	0,07	0,14	0,01	0,25	2,40	0,31	2,96
				2010	1,1	0,07	0,14	0,01	3,48	2,40	0,31	6,19
				2011	1,1	0,07	0,14	0,01	3,48	2,40	0,31	6,19
				2012	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
				2013	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
				Суммарная ЭЭ					62,95	46,46	7,07	116,49

13 14 15 16

Рисунок 2.1. Зразок обрахунку індивідуальної ЕД для працівника уранової шахти

1. Кількість годин впливу довго живучих радіонуклідів уранового і торієвого рядів за рік (1500 годин)
2. Кількість годин впливу ЕРОА радону-222 за рік (1600 годин)
3. Кількість годин впливу зовнішнього гамма-опромінення за рік (1700 годин)
4. Рік за який обраховується ЕД
5. Середня концентрація респірабельної фракції пилу за рік
6. Середня концентрація урану в пилу в %
7. Середня концентрація ЕРОА радону-222 в рік в долях від норми

8. Середня потужність зовнішнього гамма-опромінення в долях від норми
9. Обрахована ЕД внутрішнього опромінення від довго живучих радіонуклідів уранового і торієвого рядів за даний рік
10. Обрахована ЕД внутрішнього опромінення від ЕРОА радону-222 за даний рік
11. Обрахована ЕД зовнішнього гамма-опромінення за даний рік
12. ЕД за рік
13. Накопичена ЕД внутрішнього опромінення від довго живучих радіонуклідів уранового і торієвого рядів за весь стаж роботи
14. Накопичена ЕД внутрішнього опромінення від ЕРОА радону-222 за весь стаж роботи
15. Накопичена ЕД зовнішнього гамма-опромінення за весь стаж роботи
16. Накопичена ЕД за весь стаж роботи

2.3 Методика перерахунку ЕД опромінення в відповідності до вимог Публікації 126 МКРЗ [11]

На даний час, змінилися методичні підходи до оцінки доз опромінення від радону. Якщо в Публікації 65 [9] для розрахунку доз був використаний «умовний дозовий перехід», то Публікація 126 [11] пропонує повернутися до біокінетичних і дозиметричних моделей, тобто оцінювати вплив радону і його ДПР так само, як оцінюється вплив інших радіонуклідів, при цьому радіаційні ризики від радону і його ДПР збільшені майже в два рази - до $5 \cdot 10^{-4}$ на RPM.

Відповідно були переглянуті дозові коефіцієнти для радону і його ДПР, що автоматично тягне за собою перегляд контрольних рівнів всіх параметрів дозиметричного контролю та методик розрахунку доз опромінення, а також

розробку нових інструктивно-методичних документів. В першу чергу ці зміни стосуються організацій що експлуатують уранові шахти.

Для оцінки ЕД опромінення та відносних ризиків (ДВР) онкологічної захворюваності працівників був проведений перерахунок ЕД опромінення оцінених за конверсійними коефіцієнтами «умовного дозового переходу», за відповідними коефіцієнтами отриманими за біокінетичними та дозиметричними моделями Публікацій 115 МКРЗ [10].

Для реалізації цієї задачі, використовуючи рекомендації МКРЗ і довідкову літературу, була розроблена власна методика перерахунку ЕД шахтарів.

Враховуючи не постійність вентиляції підземних гірничих виробок, а також темпів ексхаляції радону з гірничих тіл для підземних гірничих виробок, за даними моніторингу радіаційної обстановки на робочих місцях приладом РГА-09М, який за методом Маркова крім інших показників визначає коефіцієнт рівноваги між радоном-222 і його ДПР, для працівників підземного комплексу було вирішено прийняти коефіцієнт рівноваги до 0,6, а для поверхневого комплексу використовувати коефіцієнт рівноваги 0,4. Час перебування на робочих місцях було прийнято 1700 годин на рік.

Таким чином, був визначений конверсійний коефіцієнт для активності радону $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ($1 \text{ Бк/м}^3 = 5,56 \cdot 10^{-9} \text{ Дж/м}^3 = 5,56 \cdot 10^{-6} \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-3}$), який обумовлює річну експозицію $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ РРМ}$ ($5,56 \cdot 10^{-6} \text{ мДж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot 1700 \text{ ч. (час перебування)} \cdot 0,6 (0,4) = 4,45 \cdot 10^{-3} \text{ мДж} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$).

Ця величина використовувалася для подальших розрахунків ЕД від радону.

У розділі 3 аналіз професійної онкологічної захворюваності шахтарів проводили за даними «Актив розслідування професійного захворювання», журналів реєстрації професійних захворювань, використовуючи медико-статистичні методи.

Реєстрація і розслідування випадків професійних захворювань проводили в відповідності до постанови Кабінету міністрів України від 30.11.2011 року №1232 «Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві».

В роботі для аналізу використані тільки офіційно зареєстровані випадки раку легенів. Установлено, що вони є неповними по ряду причин:

- частина гірників після закінчення трудової діяльності і виходу на пенсію поміняла місце проживання (країну), тому їх подальша доля невідома;
- деякі хворі або їх родичі не зверталися до медичних установ для підтвердження причинно-наслідкових зав'язків діагнозу раку з професією в минулому й інші.

2.4 Розподіл працівників по когортам за професійним принципом

Для проведення достовірного аналізу дозових навантажень, виходу професійного раку і обрахування ризиків нами був проведений розподіл працівників за окремими когортами за професійним принципом.

Для коректної оцінки стану умов праці, шляхів формування ЕД опромінення і оцінки рівня професійної онкологічної захворюваності, всі працівники урановидобувних підприємств були розділені на 4 основних когорти: «основні 0», «основні 1», «допоміжні», «поверхня».

Такий розподіл ми базували на наступних чинниках, а саме:

- умови праці в різних групах суттєво відрізняються одна від одної за параметрами радіаційного і нерадіаційного характеру;
- робочі місця в різних групах суттєво відрізняються - мають постійний і непостійний характер;
- різні умови праці працівників і шляхи формування ЕД опромінення.

Когорта «Основні 0». До цієї групи професій віднесено ті професії і робочі місця, які безпосередньо зайняті на гірничопрохідницьких і очисних

роботах по видобутку гірничої маси. Практично це всі професії, що мають пряме відношення до видобутку руди, а робочі місця знаходяться безпосередньо біля рудних тіл і очисних камер, відповідно працівники підпадають під самий потужний вплив радіаційних факторів. Дані професії мають постійні робочі місця.

Перелік професій цієї групи (когорти): прохідники, гірничоробочі очисного вибою (ГРОВ) на бурінні, ГРОВ на видобутку, ГРОВ на масових вибухах.

Когорта «Основні 1». В цю когарту професій віднесено групу працівників, які зайняті на завантаженні, відкатці гірничої маси, а також кріпленні гірничих виробок, і мають як постійні, так і непостійні робочі місця.

Професію кріпильника також було віднесено до цієї когорти зважаючи на те, що кріплення гірничих виробок і будівництво вентиляційних і гідрозакладних перемичок, в основному, знаходяться в районах розташування рудних блоків, також, почасти. уже в відпрацьованих гірничих виробках, де при відсутності ефективної вентиляції або вхідного вентиляційного потоку має місце накопичення радону-222 і його ДПР.

В цю групу (когарту) входять наступні професії: машиністи електровозу підземного, машиністи вібро-завантажувальних установок, кріпильники.

Когорта «Допоміжні». До цієї групи професій (виду робіт) відноситься велика група професій з непостійними робочими місцями в підземних умовах, які не мають безпосереднього відношення до видобутку руди, але охоплюють цілий комплекс робіт, направлених на забезпечення технологічного процесу, виконання комплексу ремонтних, будівельно-монтажних і інших видів робіт. Ця когорта працюючих сама чисельніша, робочі місця непостійні і розміщені по всіх працюючим гірничим виробкам. Сюди віднесено електрослюсарну і слюсарну групу всіх підземних дільниць, підземні стовбурові і сигналісти, гірничоробочі широкого спектру виконання

робіт, дорожніх робітників, маркшейдерів, механіків, інженерно-технічний персонал, включаючи гірничих майстрів.

В плані дії факторів іонізуючого випромінення ця група доволі неоднорідна і мінлива. Так, при необхідності роботи виконуються і в підповерхових виробленнях основних горизонтів і в виємних блоках, тощо, тобто на робочих місцях когорт «основна 0» і «основна 1».

Когорта «Поверхня». В дану когарту ввійшли всі спеціальності і робочі місця віднесені до робіт категорії «А» розташованих на поверхневому комплексі шахт. Виділити цю групу окремо вирішено в зв'язку з тим, що один із чинників формування внутрішнього опромінення – радон і його ДПР в даному випадку не мають вирішального значення, так як в основному ці робочі місця розташовані на відкритому атмосферному повітрі або там де мають місце значні переміщення повітряних мас (протяги).

Сюди ввійшли всі спеціальності рудо-збагачувальних підприємств або дільниць, сигналісти і стовбурові поверхні, гірничі робітники вагоноперекидачів на плюсових відмітках шахт, ремонтна група гірничошахтного обладнання, слюсарі і електрослюсарі поверхневого комплексу, прибиральниці санітарних пропускників, працівники спеціальних пралень та інші.

2.5 Не радіаційні фактори виробничого середовища

Для всебічного і об'єктивного проведення досліджень щодо формування ЕД гірників урановидобувних підприємств, особливо її внутрішньої складової необхідно враховувати фактори нерадіаційного характеру трудового процесу, такі як запиленість повітря робочої зони, мікроклімат, шум та вібрації, тощо. Всі ці чинники приводять до додаткових фізичних навантажень та посиленого обігу речовин в організмі, що в свою чергу викликає посилення частоти і глибини дихання і як результат – збільшення попадання радіонуклідів у верхні дихальні шляхи і легені

працюючих. Основні параметри нерадіаційних чинників виробничого середовища приведено у таблицях 2.2 – 2.5.

Таблиця 2.2

Показники шуму и вібрації (прохідницькі роботи).

Фактори	Значення (екв.корр.рівні) дБА - шум, дБV - вібрація	Гігієнічна оцінка
Шум		
Гірниче обладнання та механізми	105-115	111 клас 4 ступінь
Вібрація локальна		
Горизонтальна проходження (локальна вібрація)		
ПР-25	108-114	111 клас 1 ступінь
ПП-50	110-114	111 клас 1 ступінь
ПТ-36	120-123	111 клас 4 ступінь
УБШ	95-110	Допустимий
БК-2П	103-105	Допустимий
СБКНС	110	Допустимий
Вертикальна проходка(локальна вібрація)		
Локальна ПТ-48	128-131	Небезпечний
Загальна ПТ-48	101	111 клас 3 ступінь
Завантаження гірничої маси		
Загальна МПДН	105	111 клас 2 ступінь

Таблиця 2.3

Мікрокліматичні умови праці гірників.

Фактори	Значення	Гігієнічна оцінка
t повітря		
Холодний період	12-14	111 клас 1 ступінь
Теплий період	14-16	111 клас 1 ступінь
Відносна вологість	85-99%	111 клас 1 ступінь
Швидкість руху повітря	0,5-5,5 м/с	111 клас 2 ступінь

Оцінка умов праці за цими показниками проводили традиційними методами у відповідності до чинного санітарно-гігієнічного нормативно-правового законодавства України.

Таблиця 2.4

Показники шуму и вібрації (бурові роботи).

Фактори	Значення екв. кор. рівні в дБА шум; дБV вібрація	Гігієнічна оцінка
Тип станка СБ 1П		
шум	115	111 клас 3 ступінь
Локальна вібрація	114	111 клас 1 ступінь
Загальна вібрація	123	111 клас 3 ступінь
Тип станка НКР 100М		
Локальна вібрація	114	111 клас 1 ступінь
Загальна вібрація	103	111 клас 1 ступінь
Фактор	Транспортна вібрація	Гігієнічна оцінка
Електровоз К 10 (підземні умови)		
Вісь X,Y	135	111 клас 3 ступінь
Вісь Z	116	111 клас 2 ступінь

Встановлено , що до несприятливих факторів фізіології праці шахтарів відносяться наступні фактори виробничого середовища:

- технологічні переходи;
- перебування в вимушеній робочій позі, нахили тулубу;
- виконання фізичної роботи (важкість та потужність роботи).

Таблиця 2.5

Показники фізіології праці

	Технологічні переходи в км (усереднено)		Вимушена робоча поза в % (усереднено)		Важкість та потужність в Вт		Гігієнічна оцінка
	факт	норма	факт	норма	факт	норма	
«основні 0»	До 4,0	До 4,0	29,4/4,2	25/0	95- 135	До 92	111кл 2 ст
«основні 1»	До 4,0	До 4,0	32,1/0,5	25/0	До 95	До 92	111кл 1 ст
«допоміжні»	До 4,5	До 4,0	27,2/1,8	25/0	95- 110	До 92	111кл 2 ст
«поверхня»	До 5,0	До 4,0	29,8/4,5	25/0	90- 100	До 92	111кл 1 ст

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Аналізуючи нерадіаційні фактори виробничого середовища що наведені в таблицях, в відповідності до «Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» затвердженої наказом МОЗ України від 08.04.2014 року № 248 і зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 6 травня 2014 року за № 472/25249, загальна гігієнічна оцінка умов праці, відноситься до 111 класу 3 ступені шкідливості і небезпечності.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях
[16, 130, 133, 141, 144]

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ УРАНОВИХ ШАХТ

Технології видобутку корисних копалин підземним способом практично у всьому світі однакові і залежать від виду і форм рудних проявів, глибини залягання, міцності гірських порід, тощо.

Видобуток уранових руд не є чимось незвичайним в гірничо-геологічному і технологічному плані. Тут приймаються такі самі технології і механізми як при видобутку, скажімо, залізних або поліметалічних руд в родовищах аналогічного геологічного генезу.

В той-же час факторами, що істотно погіршують умови праці, а отже й здоров'я працюючих в урановидобувних шахтах є сам видобуток уранової сировини, яка є радіоактивним матеріалом і веде за собою техногенно підвищений радіаційний фон у підземних гірських виробках, місцях первинного збагачення, складування руди, відвалів забалансової гірничої маси.

Кількісна оцінка радіаційного ризику й обґрунтування припустимих меж впливу природних радіонуклідів на організм шахтарів, є найбільш складним завданням при забезпеченні радіаційного захисту й індивідуальної дозиметрії персоналу.

На даний час є кілька шляхів для вирішення цього завдання.

В нашій роботі прийнятий шлях детального вивчення радіаційного стану на робочих місцях шахтарів і ретроспективного аналізу професійної онкологічної захворюваності шахтарів урано видобувних шахт і спроба оцінки існуючої системи дозиметрії персоналу на підприємствах.

3.1 Аналіз радіаційно небезпечних факторів виробничого середовища і доз опромінення персоналу

Розглянемо фактори формування ефективної дози, які напряду зв'язані з радіаційною обстановкою на робочих місцях.

Природний уран являє собою суміш ізотопів урану-234, урану-235 і урану-238, який у нашому випадку знаходиться в природних гранітах і альбітітах.

Окрім природного урану у руді, що добувається, знаходяться радій-226, торій-232, калій-40 і інші радіоактивні елементи. Виходячи з цього, уранова руда представляє собою цілий комплекс радіоактивних елементів природного походження і їх ізотопів.

При видобутку уранової руди підземним способом, на організм працюючих окрім загальноприйнятих факторів виробничого середовища таких як: підвищений атмосферний тиск, несприятливий мікроклімат, запиленість і загазованість повітря робочої зони, шум, вібрація, тяжка фізична праця, недостатня освітленість робочих поверхонь, також впливає потужний радіаційний фактор, що вимагає проводити цілий комплекс заходів направлених на покращення радіаційної обстановки на робочих місцях.

За нашими даними основними факторами радіаційного впливу на організм працюючих є:

- зовнішнє γ -випромінювання;
- довгоіснуючі α -активні природні радіонукліди уранового й торієвого ряду (ДЖАУ, (ДАН)), депоновані в частках пилу;
- α -випромінюючі радіоактивні гази радон-222, торон-220;
- α і β - активні ДПР радону-222 й торону-220.

Визначення індивідуальних ЕД персоналу уранових рудників проводилися розрахунковим методом, суть якого полягає в періодичному (відповідно до затверджених графіків) вимірюванні радіаційно небезпечних

факторів (РНФ) на робочих місцях і подальшому проведенню розрахунків за методикою, яка наведена в розділі 2.

Розрахунки допустимих робочих рівнів, які використовуються підприємством для контролю РНФ на робочих місцях, наведені в «Керівництві з розрахунку індивідуальних доз опромінення персоналу ДП «СхідГЗК» і населення», яке погоджене з Міністерством охорони здоров'я і введене у дію з 20.05.2008 р. наказом по ДП «СхідГЗК» від 15.05.2008 р. №208 [128], виходячи із встановлених НРБУ-97 меж ЕД опромінення для персоналу та населення. Представлені в таблиці числові значення допустимих робочих рівнів (ALI, PC) розраховані для умов пункту 5.1.6 НРБУ-97.

Для робіт з видобутку та первинного збагачення уранових руд характерний одночасний вплив всіх наведених вище РНФ. У зв'язку з чим у реальних умовах при контролі величини річного надходження довгоіснуючих радіонуклідів уранового і торієвого рядів, середньорічної об'ємної активності ЕРОА радону-222 та дози зовнішнього опромінення, характерних для уранової галузі РНФ, повинні виконуватися умови пунктів 5.1.9, 5.1.10 НРБУ-97. Базуючись на цьому в практиці використовують показники приведені у таблиці 3.1.

Далі в роботі аналізувалися офіційні матеріали періодичної звітності підприємств за формами № 10 РТБ (радіаційно-технологічна безпека), яка надавалось до санітарно-епідеміологічної служби до 2007 року, а починаючи з 1 кварталу 2007 року у відповідності до наказу Державного комітету ядерного регулювання від 16.10.2006 №162 (зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 6 грудня 2006 р. за №1268/13142) «Про затвердження Вимог до періодичності та змісту звітів, що надаються ліцензіатами у сфері використання ядерної енергії», додатки Г1.

Таблиця 3.1

**Допустимі показники радіаційно-небезпечних факторів
виробничого середовища**

Найменування показника РНФ	Потужність ЕД зовнішнього γ -опромінення в мкЗв/годину	Допустима об'ємна активність (PC_A^{inhal}) радіонукліду у повітрі робочої зони, Бк/м ³	
		еквівалентної об'ємної активності радону у рівновазі з його ДПР	довготривалих α -активних аерозолів ряду урану (^{238}U) за умови їх рівноваги у пилові по сумарній α -активності
Підземний персонал шахт категорії «А»	11,76	1200	0,25
Поверхневий персонал шахт категорії «А»	11,76	1500	0,25

Як видно з таблиці 3.2, середні показники потужності експозиційної дози (ПЕД) зовнішнього γ -опромінення на робочих місцях практично для всіх когорт обох шахт не перевищували контрольні рівні. В той же час, максимальні показники даного параметру перевищували нормативні значення в 1,3-1,6 рази у всіх підземних когортах Смолінської шахти та в 1,1-1,6 рази по підземним когортам Інгульської шахти. При цьому відсоток вимірювань з перевищенням нормативу від загальної кількості досліджень склав 6,2 і 4,2 по Смолінській і Інгульській шахті, відповідно.

Таблиця 3.2

**Усереднені показники потужності експозиційної дози (ПЕД) зовнішнього
γ-опромінення на робочих місцях, мкЗв/годину**

Назва когорти	Смолінська шахта		Інгульська шахта		Вся когорта	
	середня	макс.	середня	макс.	середня	макс.
основні 0	2,5	18,7	2,3	16,6	2,5	17,6
основні 1	1,4	14,6	1,4	4,1	1,4	9,4
допоміжні	1,1	18,2	1,1	16,6	1,1	17,5
поверхня	0,9	3,4	0,7	3,2	0,9	3,4

Проаналізувавши усереднені показники моніторингу за об'ємною активністю (PC_A^{inhal}) середніх і максимальних ЕРОА радону-222 в повітрі робочої зони, які наведені в таблиці 3.3 встановлено, що середні показники даної компоненти знаходяться в межах допустимого нормативу практично за всіма когортам обох шахт.

Таблиця 3.3

**Усереднені показники середньої і максимальної об'ємної активності
(PC_A^{inhal}) ЕРОА радону-222 в повітрі робочої зони, Бк/м³**

Назва когорти	Смолінська шахта		Інгульська шахта		Вся когорта	
	середня	макс.	середня	макс.	середня	макс.
основні 0	680	4820	620	1720	660	3280
основні 1	620	1320	640	4440	640	2880
допоміжні	290	3000	370	1160	340	2100
поверхня	30	450	90	105	60	285

Що стосується максимальних показників то тут перевищення сягають більше 4-х разів по когорті «основна 0» Смолінської шахти і в 3,7 рази по

когорті «основна 1» Інгульської шахти. Відсоток проб з перевищенням нормативного показника склав 4,2 і 5,1 по Смолінській і Інгульській шахтах відповідно. Значні перевищення максимальних активностей ЕРОА радону-222, пояснюється перш за все недостатньою вентиляцією на робочих місцях, неправильного розміщення робочих місць, наявністю видобувних камер поряд з робочим місцем.

Різниця в показниках відсотків проб з перевищенням нормативу між Смолінською і Інгульською шахтами пояснюється різним масивом підземних гірничих виробок (величиною шахтного поля), який потрібно вентилувати. Так, на Інгульській шахті об'єм підземних гірничих виробок значно більший за Смолінську, що ускладнює їх вентиляцію.

Аналіз моніторингових показників ($PC_{A_{inhal}}$) середніх і максимальних значень щодо ДЖАУ (ДАН) в повітрі робочої зони не виявив їх перевищень (таблиця 3.4). Дана ситуація пояснюється, перш за все, незначним вмістом урану і його ізотопів у руді що видобувається.

Таблиця 3.4

Усереднені показники об'ємної активності (PC_A^{inhal}) середніх і максимальних показників ДЖАУ (ДАН) в повітрі робочої зони, Бк/м³

назва когорти	Смолінська		Інгульська		Вся когорта	
	середня	Макс.	середня	Макс.	середня	Макс.
1	2	3	4	5	6	7
основні 0	0,16	0,21	0,13	0,19	0,15	0,20
основні 1	0,10	0,13	0,11	0,14	0,11	0,14
допоміжні	0,08	0,12	0,07	0,12	0,08	0,12
поверхня	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	0,07

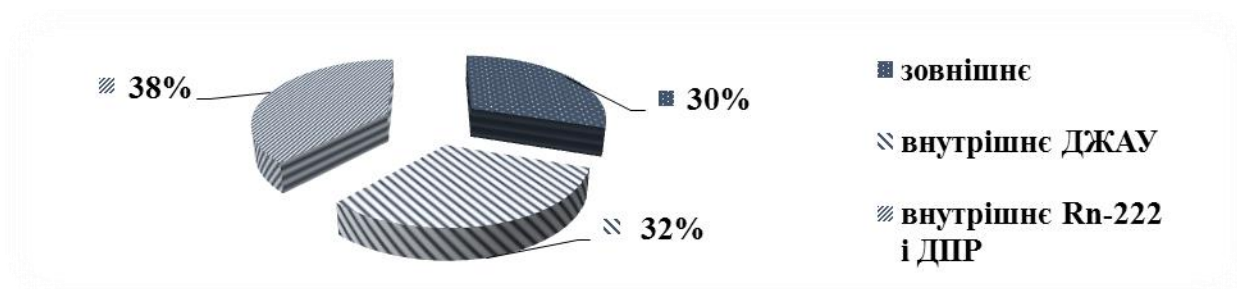


Рис. 3.1 Структура та внесок окремих джерел опромінення в сумарну ЕД шахтарів за всіма професійними групами.

Таблиця 3.5

Усереднена середньорічна ЕД різних когорт працівників, мЗв/рік

всі професії	Когорта основні		Когорта допоміжні	Когорта поверхня
	0	1		
1	2	3	4	5
12,48	16,72	13,35	11,79	6,41

Проведений аналіз ефективних доз опромінення показав (табл 3.5), що усереднені середньорічні дози для когорти «основні 0» склали 16,7 мЗв/рік, для когорти «основні 1» - 13,4 мЗв/рік, для когорти «допоміжні» 11,8 мЗв/рік для когорти «поверхня» - 6,41 мЗв/рік.

Більш детально опис щодо формування доз у персоналу приведений в таблиці 3.6.

Аналізуючи показники наведені в таблиці 3.6 можна вважати, що усереднена доза по всьому масиву даних склала 12,5 мЗв/рік, доля зовнішнього опромінення 3,3 мЗв/рік (26,7%), активність радону-222 і його ДПР сформувала дозу 3,9 мЗв/рік (31,5%). Активності довгоживучих продуктів розпаду уранового і торієвого рядів (ДЖАУ) сформували дозу 4,5 мЗв/рік (35,9%).

Внутрішнє опромінення від радону-222 і його продуктів розпаду та довгоживучих радіонуклідів уранового і торієвого рядів сформувало ЕД дозу 8,4 мЗв/рік або 67,4 % від усієї ефективної дози.

Таблиця 3.6

**Розподіл ефективних доз опромінення щодо окремих когорт професій,
мЗв/рік**

Назва		Усереднена Е _Е , мЗв/рік	ЕД зовніш- нього опромі- нення	%	ЕД внутрішнього опромінення					
					Rn і ДПР	% від Е _Е	ДЖАУ (ДАН)	% від Е _Е	Rn і ДПР+ ДЖАУ	%
Всі професії		12,5	3,3	26,7	3,9	31,5	4,5	35,9	8,4	67,4
Основні	0	16,7	5,1	30,3	6,1	36,3	5,2	31,1	11,3	67,4
	1	13,4	3,3	24,5	5,8	43,2	4,0	29,9	9,8	73,1
Допоміжні		11,8	3,0	25,9	4,3	36,9	4,3	36,1	8,6	72,9
Поверхня		6,4	1,2	18,9	1,4	21,1	4,0	62,8	5,4	83,9

3.2 Структура доз опромінення за окремими когортами

Когорта «основні 0».

Сформована доза від зовнішнього опромінення склала 5,1 мЗв/рік (30%), від внутрішнього опромінення (ЕРОА радону-222) – 6,1 мЗв/рік (36%), внутрішнє опромінення від ДЖАУ – 5,2 мЗв/рік (33%). Сумарно внутрішнє опромінення від ЕРОА радону-222 і ДЖАУ склало 11,3 мЗв/рік (69%).

Ефективна річна доза від всіх джерел опромінення 16,7 мЗв.

Когорта «основні 1». Вклад зовнішнього опромінення в формування річної ефективної дози для цієї когорти працюючих 3,3 мЗв/рік (24%), опромінення від ЕРОА радону-222 - 5,8 мЗв/рік (43%), ДЖАУ – 4,0 мЗв/рік

(30%). Сумарно внутрішнє опромінення сформувало ЕД 9,8 мЗв/рік (73%) від річної ефективної дози яка склала в цілому 13,4 мЗв/рік.

Когорта «допоміжні». Річна ЕД від всіх джерел опромінення склала 11,8 мЗв, при цьому зовнішнє опромінення становило - 3,0 мЗв/рік (26%), внутрішнє від ЕРОА радону-222 – 4,3 мЗв/рік (37%) від ДЖАУ – 4,3 мЗв/рік (36%). Сумарно по внутрішньому опроміненню сформована доза склала 9,7 мЗв/рік (73%).

Когорта «поверхня». В даній когорті ЕД склала 6,4 мЗв/рік. Вона розподілилась наступним чином: зовнішнє опромінення 1,2 мЗв/рік (19%), внутрішнє опромінення за рахунок ЕРОА радону-222 1,4 мЗв/рік (21%), за рахунок ДЖАУ – 4,0 мЗв/рік (63%).

Вклад ЕРОА радону-222 і ДЖАУ у внутрішнє опромінення сумарно склав 5,4 мЗв/рік (84%).

Частотний розподіл ЕД опромінення по всьому масиву даних проводився з інтервалом дози 0,5 мЗв.

Аналіз статистичних параметрів частотного розподілу по всьому масиву даних встановив, що розподіл ЕД проходив по логнормальному типу, з піком на середніх показниках масиву. Варіабельність дозових величин доволі значна і сягає від 1,5 до 47,6 мЗв/рік при стандартному відхиленні 5,4 мЗв/рік і середньо геометричному показникові дози 10,9 мЗв/рік. Середньо арифметичне значення дози склало 12,1 мЗв/рік.

Враховуючи виявлену значну варіабельність в даному дослідженні виникає необхідність провести дослідження частотного розподілу безпосередньо по когортам працюючих. Результати приведені на рисунках 3.2-3.6.

Встановлено, що частотний розподіл річних ЕД опромінення по когорті «основні 0» має логнормальний характер, з піком значень у діапазоні від 14 до 18 мЗв/рік. Варіабельність показників ЕД в даній когорті менша, відносно основного масиву даних і складає від 6 до 35 мЗв/рік при середньо

геометричному показнику ЕД - 15,2 мЗв/рік та середньоарифметичному - 15,9 мЗв/рік. Стандартне відхилення в дозових показниках склало 4,5 мЗв/рік.

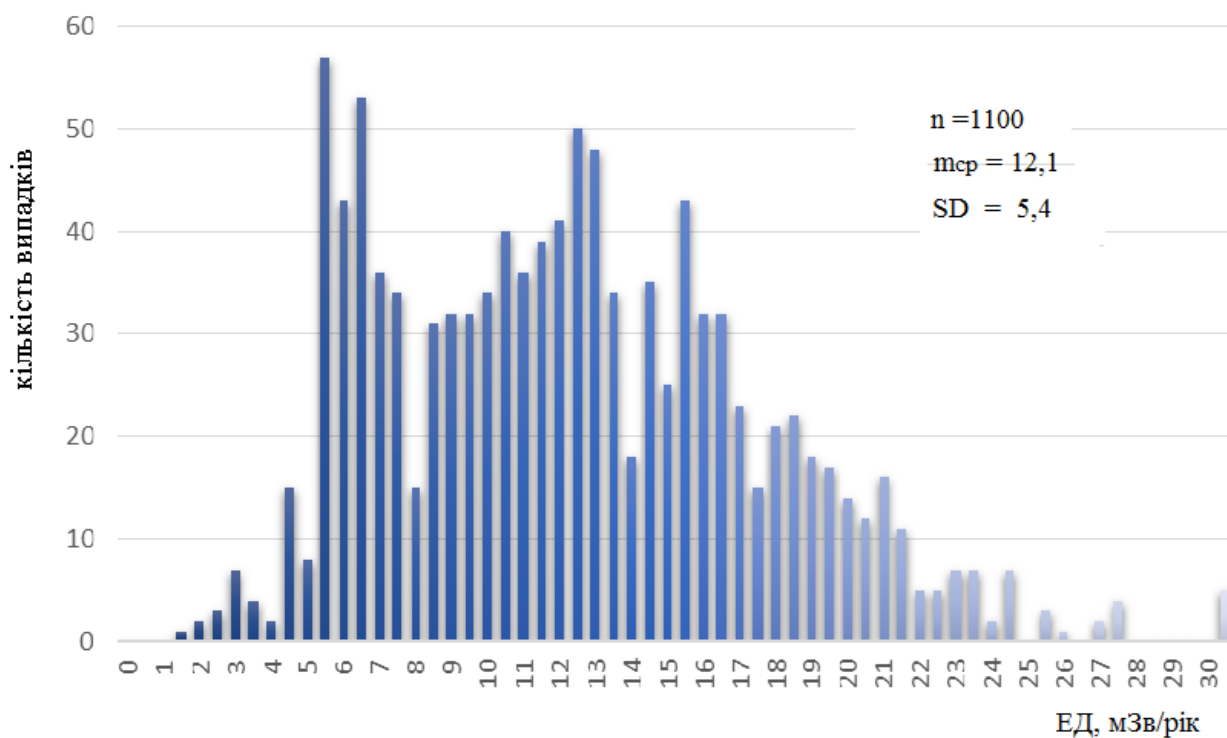


Рис. 3.2. Частотний розподіл ЕД по всьому масиву даних, мЗв/рік.

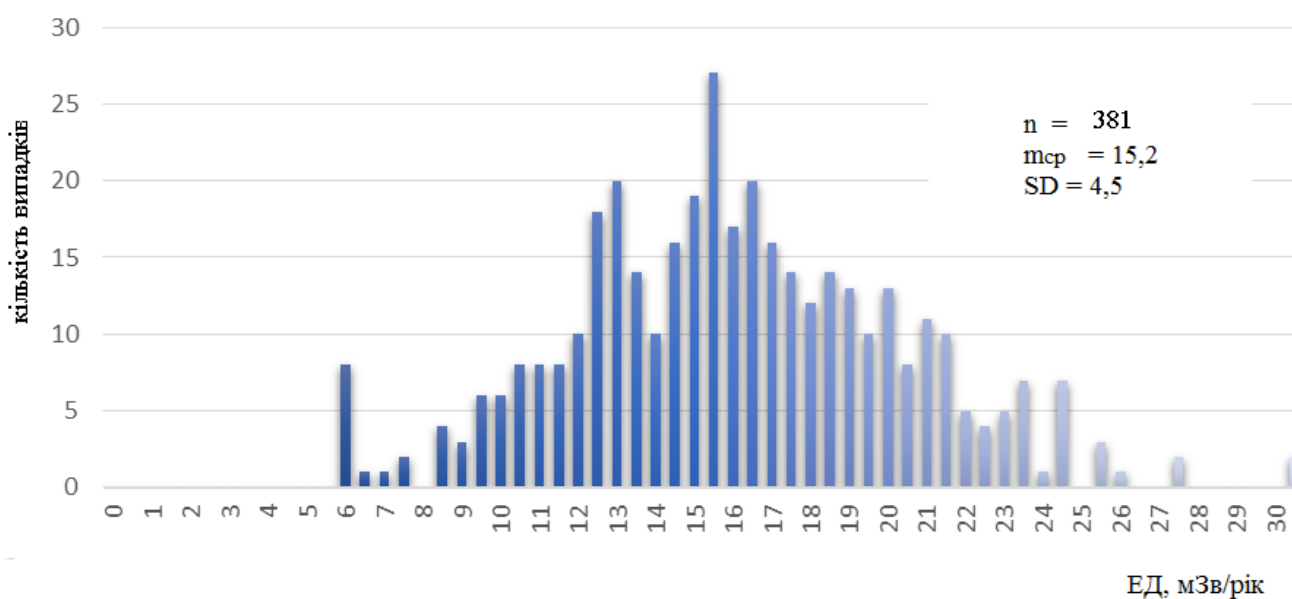


Рис. 3.3. Розподіл ЕД по когорті «основна 0»

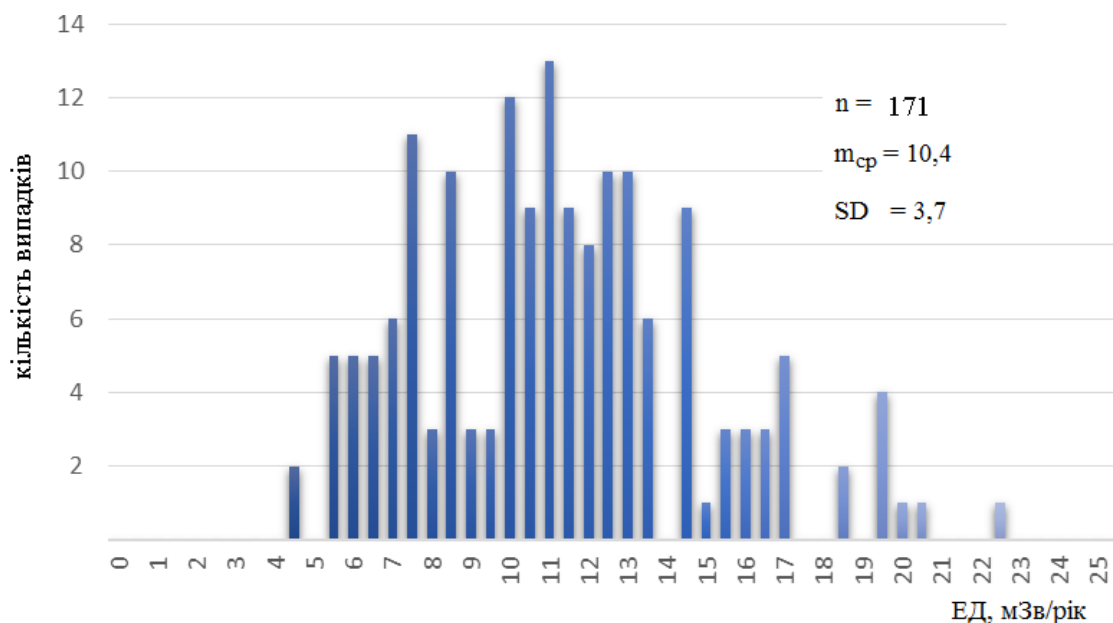


Рис. 3.4. Розподіл ЕД по когорті «основна 1»

В когорті «основна 1» характер частотного розподілу також наближався до логнормального типу, з варіабельністю доз від 5,5 мЗв/рік до 22,5 мЗв/рік, при середньо геометричних та середньо арифметичних показниках дози відповідно 10,4 та 11 мЗв/рік. При цьому стандартне відхилення складало 3,7 мЗв/рік.

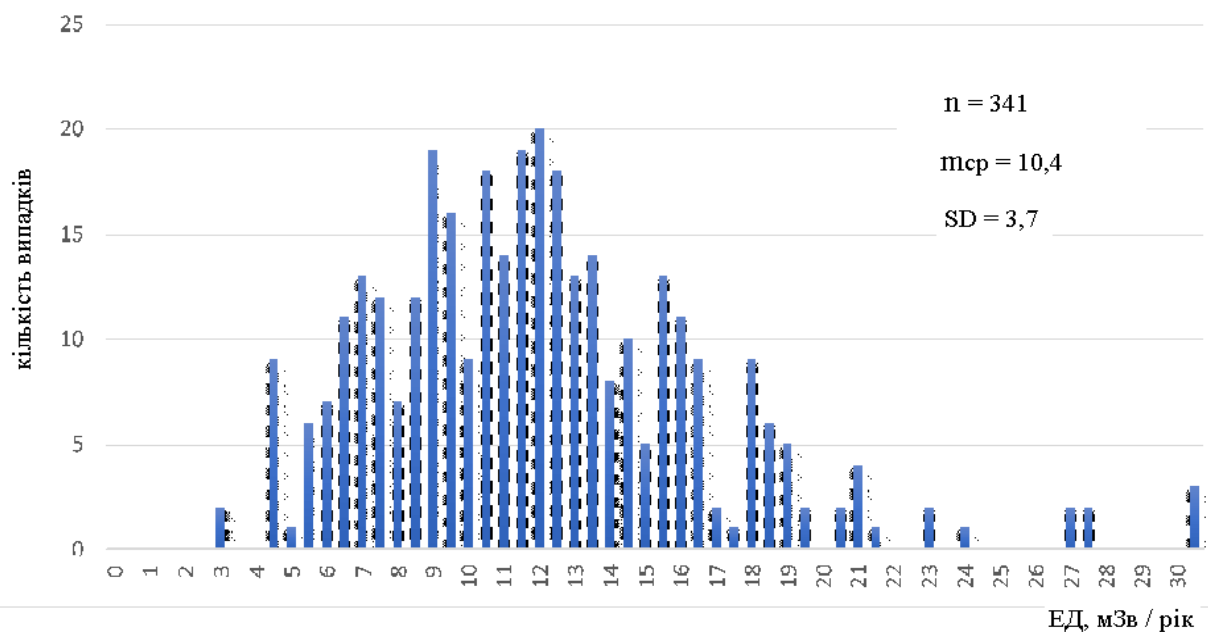


Рис. 3.5. Розподіл ЕД по когорті «допоміжна»

Досліджуючи частотний розподіл середньорічних ЕД когорти «допоміжна» встановлено, що варіабельність річних доз у цій когорті доволі

значна, а саме варіює від 3,5 мЗв/рік до мЗв/рік. Середньо геометричні та середньо арифметичні показники річної ефективної дози персоналу даної когорти склали відповідно 10,9 та 11,9 мЗв/рік, при стандартному відхиленні 5,1 мЗв/рік.

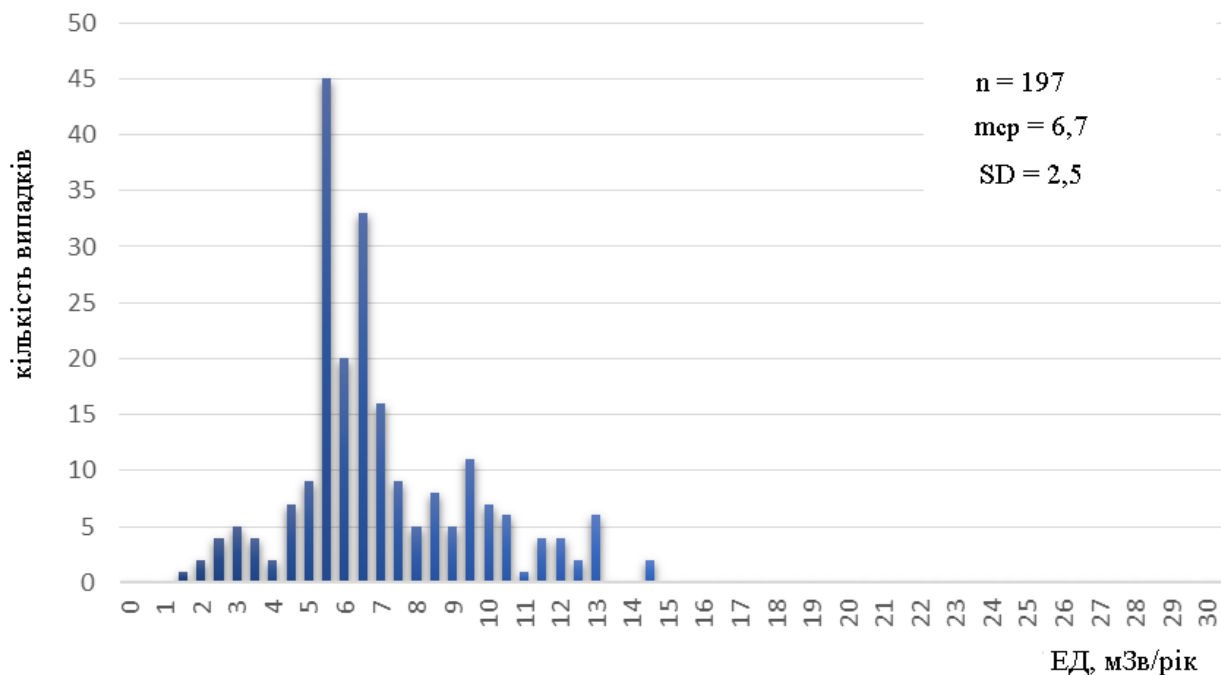


Рисунок 3.6. Розподіл ЕД по когорті «поверхня»

Частотний розподіл когорти «поверхня» носить логнормальний характер, з варіабельністю річних ЕД опромінення від 2,0 мЗв/рік до 13,0 мЗв/рік. Середньоарифметичний показник річної дози склав 6,7 мЗв, а середньо геометричний 6,3 мЗв. Стандартне відхилення показників доз склало 2,5 мЗв/рік.

Підводячи підсумки статистичних досліджень частотного розподілу зареєстрованих доз персоналу урановидобувних підприємств можна зробити висновки про те, що найбільш збалансованою когортою в статистичних показниках є когорта «поверхня», де відмічена найменша варіабельність і саме низьке стандартне відхилення.

Це пояснюється перш за все тим, що основне формування доз в цій когорті проходить під впливом факторів активності довгоживучих

радіонуклідів уранового і торієвого рядів (ДЖАУ) і зовнішнього гамма-опромінення. Радонова компонента тут зіграла незначну роль, враховуючи, що практично всі робочі місця знаходяться на відкритому повітрі.

Окрім цього, варіабельність в дозах персоналу по когортам значно менша чим по всьому масиву в цілому, що говорить про те що правильно були згруповані професії в когортах.

Окрім звітних матеріалів підприємства по РНФ факторам виробничого середовища, які вже проаналізовані вище, в рамках Державного санітарно-епідеміологічного нагляду на Інгульській і Смолінській шахтах були проведені вимірювання ЕРОА радону інтегральним методом (пасивна трекова радонометрія).

Обстежувались в основному робочі місця, які віднесені до когорти «основні 0», а саме:

- робочі місця гірничоробочих очисного вибою на бурових роботах (ГРОВ на бурінні);
- гірничоробочих очисного вибою на видобувних роботах (ГРОВ на видобутку);
- прохідників.

Результати вимірювань приведені в таблиці 3.7.

Дослідження встановили, що активності радону-222 і його ДПР, при абсолютно однакових технологіях проведення гірничих робіт на обох шахтах, порівняних активностях ДЖАУ (ДАН) в руді, схожих системах вентиляції і принципу розміщення робочих місць відрізняються в рази. Відповідно, в рази відрізняються і обраховані ЕД опромінення за даним фактором.

Таку різницю можна пояснити лише однією причиною – встановлені на Смолінській шахті радонометри більшу частину часу вимірювань знаходились не на робочих місцях. Наявність радонометрів на робочих місцях практично проконтролювати було неможливо враховуючи те, що кожне вимірювання проводилося на протязом календарного місяця.

Таблиця 3.7

**Результати вимірювань ЕРОА радону-222 на окремих робочих
місцях Смолінській та Інгульській шахт**

№	Смолінська шахта			Інгульська шахта		
	Місце встановлення датчика	Активність ЕРОА Rn-222 Бк·м ⁻³	Ефективна доза від ЕРОА радону мЗв/рік	Місце встановлення датчика	ЕРОА Rn-222 Бк·м ⁻³	Ефективна доза від ЕРОА радону мЗв/рік
1	ГРОВ на бурінні	606	9,8	ГРОВ на бурінні	884	14,2
		464	7,5		791	12,7
		651	10,5		719	11,6
2	Прохідницькі роботи	366	5,9	Прохідницькі роботи	3267	52,6
		275	4,4		2499	40,2
		365	5,9		2105	33,9
3	ГРОВ на видобутку	596	9,6	ГРОВ на видобутку	1514	24,4
		941	15,1		1271	20,5
		531	8,5		1253	20,2

Не зважаючи на розбіжності в показниках, даний фрагмент роботи надзвичайно важливим для аналізу «офіційних» доз опромінення шахтарів.

Зважаючи на проведені вимірювання та розрахунки ЕД опромінення, для подальшого аналізу були взяті результати по Інгульській шахті, як найбільш вірогідні.

Враховуючи їх результати можна припустити що еквівалентні дози опромінення від радону та його ДПР на верхні дихальні шляхи і легені можуть значно перевищувати встановлені ліміти і досягати величини більше 50 мЗв/рік, а величина сумарної ЕД, враховуючи інші дозоутворюючі фактори, значно перевищувати допустимий ліміт у 20 мЗв/рік.

Досліджені матеріали вказують на те, що радон-222 і його ДПР в повітрі робочої зони є одним з найбільш значущих факторів, які формують дозу опромінення для шахтарів.

Структура сумарних (ЕД) опромінення для різних когорт показані на рисунку 3.7

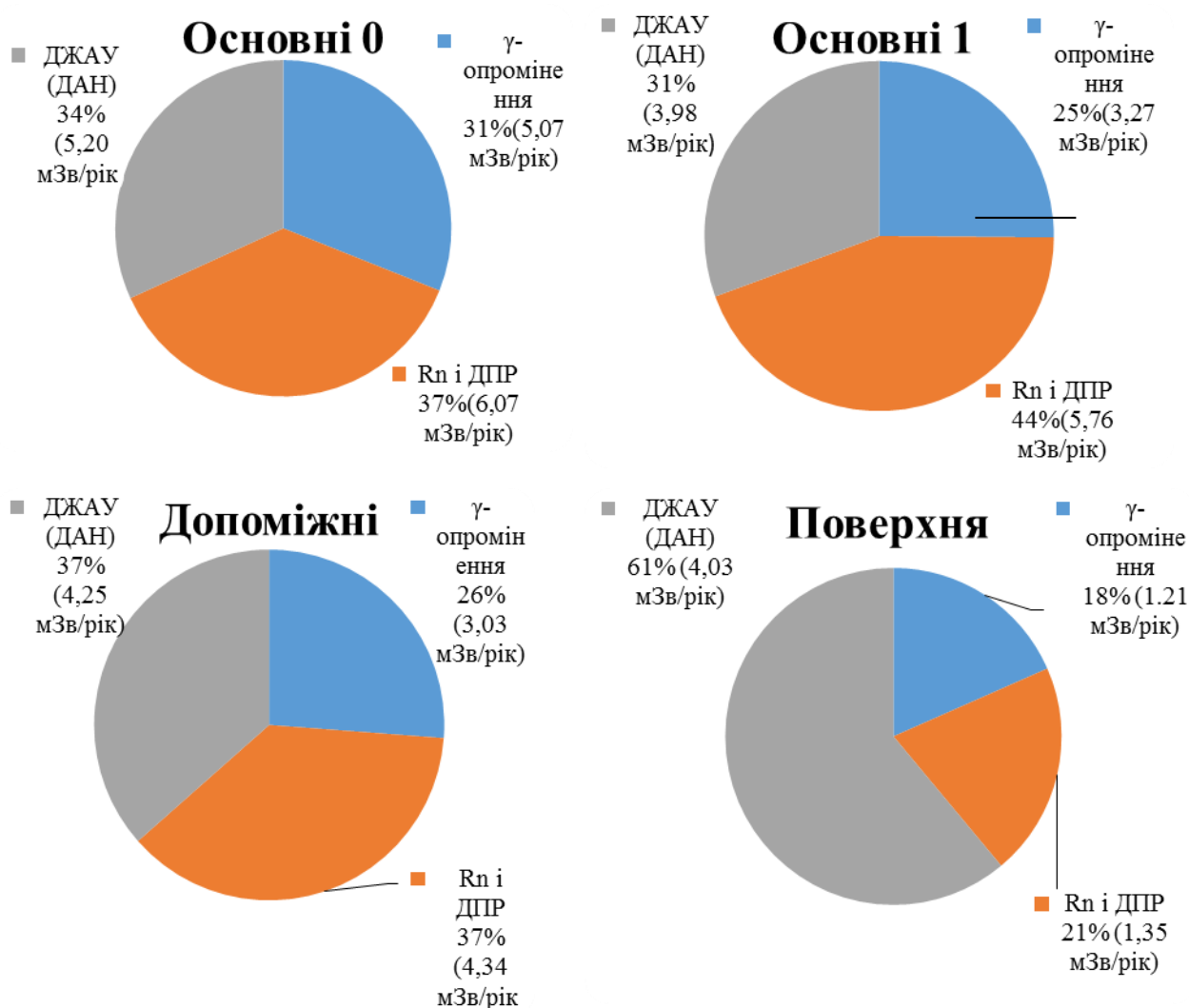


Рис. 3.7 Структура та внесок окремих джерел опромінення в сумарну середньорічну дозу опромінення шахтарів окремих спеціальностей.

Таким чином, аналіз ЕД опромінення персоналу встановив, що для всіх підземних професій внесок окремих джерел опромінення в сумарну ЕД майже рівний за величиною доз. Виняток склала когорта «поверхня», де вплив радону-222 та його ДПР на формування сумарної ЕД незначний, що

пов'язано з особливістю розташування цих робочих місць. Встановлено, що основними дозоутворюючими факторами для всіх когорт є внутрішнє опромінення від ЕРОА радону-222 і довготривалих радіонуклідів уранового і торієвого рядів, які становлять від 74% для когорти «допоміжні» до 84% когорти «поверхня». Щодо останньої, внутрішнє опромінення цієї когорти формувалось за рахунок ДЖАУ і внесок ЕРОА радону-222 є незначним, тому що всі робочі місця знаходяться на відкритій поверхні.

3.3 Оцінка радіаційного ризику

Традиційно, дози опромінення гірників уранових шахт оцінюються у місячних робочих рівнях (PPM) або WLM в англійській аббревіатурі.

Щоб мати можливість порівняти отримані результати досліджень з висновками інших наукових робіт, має сенс перевести отримані оцінки ЕД опромінення у PPM.

Аналіз накопичених даних щодо онкологічної захворюваності шахтарів уранових шахт у світі (табл. 3.8), встановив стійкий зв'язок між накопиченою дозою опромінення від радону та його продуктів розпаду близько 50 PPM і ризиком розвитку раку легенів [1, 3, 4].

Оцінки радіаційних ризиків від радону та його ДПР для гірників уранових шахт за даними епідеміологічних досліджень різних років наведені в таблиці 3.8. Для коректного порівняння наведених результатів досліджень щодо радіаційних ризиків з фактичним рівнем онкозахворюваності серед шахтарів урановидобувних підприємств України, необхідно перейти від методик розрахунків «умовного дозового переходу», на основі якого проводились всі розрахунки, до біокінетичних і дозиметричних моделей Публікацій 115 і 126 МКРЗ [11, 12].

Таблиця 3.8

Оцінки радіаційних ризиків від радону та його продуктів розпаду

Джерело	Кількість шахтарів	Сумарний ризик на 100 PPM	95 % довірчий інтервал
ICRP (1993) [108]	31486	1,34	0,82–2,13
Tomasek et.al. (2008)[4]	10100	1,60	1,00–2,30
UNSCEAR (2009) [1]	125627	0,59	0,35–1,00

Результати проведених розрахунків приведено в таблиці 3.9.

Аналіз результатів дослідження встановив, що накопичені дози опромінення шахтарів в середньому склали 92,7 PPM по загальному масиву даних. Окремо по когортам ця величина склала для когорти «основна 0» - 92,9 PPM, «основна 1» - 78 PPM, «допоміжні» - 91,4 PPM і когорти «поверхня» - 71,5 PPM.

Таблиця 3.9

Накопичені ЕД опромінення шахтарів урановидобувних шахт в робочих рівнях за місяць (PPM)

Назва когорти	Середні показники кількості PPM за весь період спостереження
Загальний масив	92,7
Основні 0	92,9
Основні 1	78,0
Допоміжні	91,4
Поверхня	71,5

В таблиці 3.10 приведено результати оцінок прогнозних радіаційних ризиків онкологічної захворюваності шахтарів, розрахованих за різними моделями. Для більшої наочності розрахунки проводилися на 100 РРМ.

Таблиця 3.10

Порівняння ризиків виникнення стохастичних ефектів за даними світових досліджень і когортами працівників уранових шахт України

	Сумарний ризик на 100 РРМ	95 % довірчий інтервал	Сумарний ризик на 100 РРМ досліджуваних когорт					95 % довірчий інтервал
			Всі	основні 0	основні 1	допоміжні	поверхня	
ICRP (1993) [3]	1,34	0,82–2,13	1,24	1,24	1,05	1,22	1,01	1,6-2,9
Tomasek et.al. (2008) [4]	1,6	1,00–2,30	1,48	1,49	1,25	1,46	1,20	
UNSCEAR (2009) [1]	0,59	0,35–1,00	0,55	0,55	0,46	0,54	0,44	

Якщо проаналізувати величини накопичених доз гірників і результати прогнозних ризиків за допомогою таблиці 3.10, то стає очевидним, що кількість випадків онкологічної захворюваності на рак легенів повинна бути меншою за 1 випадок на 1000 осіб.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

За результатами дослідження можна зробити наступні висновки, а саме:

1. На урановидобувних підприємствах ДП «СхідГЗК» дозиметрія персоналу категорії «А» проводиться непрямим методом розрахунку доз за результатами періодичного моніторингу РНФ виробничого середовища.
2. Аналіз усереднених показників радіаційно-небезпечних факторів виробничого середовища на робочих місцях гірників не встановив перевищень для всіх дозоформуєчих факторів.
3. Формування доз опромінення персоналу проходить переважно за рахунок внутрішнього опромінення від ЕРОА радону-222 і довгоіснуючих радіонуклідів уранового і торієвого рядів.
4. Проведення періодичних вимірів РНФ виробничого середовища, не гарантує якість і достовірність розрахунку ЕД опромінювання, отриманих працівниками уранових шахт.
5. Статистичні дослідження всього масиву даних і окремих когорт працюючих підтвердило правильність віднесення різних груп професій до певних когорт.
6. Аналіз зареєстрованих ЕД персоналу категорії «А» визначений за офіційними методиками, не встановив перевищень річних лімітів для персоналу (20 мЗв/рік) для всіх когорт гірників, а для когорти «поверхня», ЕД опромінення персоналу знаходяться значно нижче за ліміти доз.
7. Проведено оцінку радіаційних ризиків онкологічних захворювань за офіційно зареєстрованими ЕД і встановлено, що величина прогнозованого ризику становить 1 випадок на 1000 осіб.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях
[132, 133, 141, 130, 134, 136,137, 143, 145]

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ПРОФЕСІЙНОЇ ОНКОЛОГІЧНОЇ ЗАХВОРЮВАНOSTІ.

Аналіз реальної професійної онкологічної захворюваності шахтарів проводили за даними журналів реєстрації професійних захворювань.

Професійний рак діагностувався лікарськими експертними комісіями ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» (м. Харків) та ДУ «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України» (м. Київ) в установленому законодавством порядку.

На кожний випадок професійного захворювання у відповідності до «Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 р. № 1232,) складався Акт розслідування професійного захворювання (форма П-4), який підлягав в реєстрації журналі професійних захворювань. Терміни зберігання таких документів складають 45 років. Зразки даних документів наведені в додатку Г2.

Для аналізу професійної онкологічної захворюваності, пов'язаної з дією іонізуючого випромінювання нами були використані тільки офіційно зареєстровані випадки раку легенів.

Ймовірно ця інформація є неповною, тому що частина гірників після закінчення трудової діяльності і виходу на пенсію поміняла місце проживання (країну) і їх подальша доля невідома. Існують також випадки, коли хворі або їх родичі не зверталися до медичних установ для підтвердження причинно-наслідкових зв'язків діагнозу раку з професією в минулому.

4.1 Встановлення термінів вивчення професійної онкологічної захворюваності

Аналіз реальної онкологічної захворюваності (професійного раку) проводився за термін з 1997 по 2015 рік. Цей термін пов'язаний з введенням у дію НРБУ-97 та вимог цього документу щодо опромінення персоналу категорії А. Основні дані щодо реєстрації випадків професійних захворювань на шахтах ДП «СхідГЗК» приведено в таблиці 4.1

4.2 Встановлення фактичної кількості працюючих

Дані таблиці 4.1 щодо ПФЗ на урановидобувних шахтах України за період спостереження свідчать, що за цей термін статус «персонал» отримало близько 62 тисяч осіб, а кількість зареєстрованих випадків професійного раку становить 124 особи. Фактична кількість працівників категорії «персонал» буде значно меншою за цю цифру. Це пов'язано з тим, що певна кількість шахтарів постійно працювала на шахтах, а для порівняння відносних показників реальної і прогнозованої онкологічної захворюваності необхідна максимально приближена до реальності кількість працюючих.

Для встановлення реальної кількості працюючих необхідно вирахувати з цієї величини тих осіб, які за різними причинами були звільнені з підприємств. Встановлено що плин кадрів на шахтах за цей період в середньому складав близько 500 осіб від загальної кількості працюючих, у т.ч. близько 200 осіб серед працівників основного виробництва, тобто категорії «А» або персоналу.

Таблиця 4.1

Стан професійної захворюваності за період 1997-2015 роки

Назва підприємства	Загальна кількість працюючих	Загальна кількість ПФЗ	З них онкологічні ПФЗ	Кількість професійного раку на 1000 працюючих	% професійного раку до загальної кількості ПФЗ	Кількість персоналу категорії «А»	Питома вага професійного раку серед персоналу
1	2	3	4	5	6	7	8
1997							
Інгульська	1700	4	4	2,4	100%	825	4,8
Смолінська	1704	3	1	1,8	33%	965	1,0
Разом	3404	7	5	2,1	71%	1790	2,8
1998							
Інгульська	1620	43	7	26,5	16%	842	8,3
Смолінська	1980	15	1	7,6	7%	975	1,0
Разом	3600	58	5	1,4	9%	1817	2,8
1999							
Інгульська	1561	36	3	1,9	8%	883	3,4
Смолінська	1670	23	6	3,6	26%	931	6,4
Разом	3231	59	9	2,8	15%	1814	5,0
2000							
Інгульська	1659	36	4	2,4	11%	796	5,0
Смолінська	1545	23	4	2,6	17%	862	4,6
Разом	3204	59	8	2,5	14%	1658	4,8
2001							
Інгульська	1566	16	4	2,6	25%	870	4,6
Смолінська	1683	35	3	1,8	9%	1057	2,8
Разом	3249	51	7	2,2	14%	1927	3,6
1	2	3	4	5	6	7	8
2002							
Інгульська	1526	32	4	2,6	13%	831	4,8
Смолінська	1708	44	11	6,4	25%	933	11,8
Разом	3234	76	15	4,6	20%	1764	8,5
2003							
Інгульська	1428	27	0	0,0	0%	749	0,0
Смолінська	1719	30	2	1,2	7%	958	2,1
Разом	3147	57	2	0,6	4%	1707	1,2

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
2004							
Інгульська	1489	36	1	0,7	3%	749	1,3
Смолінська	1719	40	4	2,3	10%	1001	4,0
Разом	3208	76	5	1,6	7%	1750	2,9
2005							
Інгульська	1513	42	2	1,3	5%	782	2,6
Смолінська	1720	45	4	2,3	9%	992	4,0
Разом	3233	87	6	1,9	7%	1774	3,4
2006							
Інгульська	1543	38	5	3,9	16%	745	6,7
Смолінська	1800	68	7	4,4	12%	1059	6,6
Разом	3343	106	12	4,2	13%	1804	6,7
2007							
Інгульська	1599	35	7	4,4	20%	721	9,7
Смолінська	1790	53	3	1,7	6%	1080	2,8
Разом	3389	88	10	3,0	11%	1801	5,6
2008							
Інгульська	1557	22	3	1,9	14%	741	4,0
Смолінська	1869	60	2	1,1	3%	1020	2,0
Разом	3426	82	5	1,5	6%	1761	2,8
2009							
Інгульська	1590	36	3	1,9	8%	784	3,8
Смолінська	1806	38	5	2,8	13%	1065	4,7
Разом	3396	74	9	2,4	11%	1849	4,9
2010							
Інгульська	1543	24	2	1,3	8%	821	2,4
Смолінська	1781	32	2	1,1	6%	1036	1,9
Разом	3324	56	4	1,2	7%	1857	2,2
2011							
Інгульська	1540	29	0	0,0	0%	832	0,0
Смолінська	1760	32	1	0,6	3%	1063	0,9
Разом	3300	61	1	0,3	2%	1895	0,5
1	2	3	4	5	6	7	8
2012							
Інгульська	1545	29	0	0,0	0%	893	0,0
1	2	3	4	5	6	7	8
Смолінська	1703	34	4	2,3	12%	1080	3,7
Разом	3248	63	4	1,2	6%	1973	2,0

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
2013							
Інгульська	1530	29	3	2,0	10%	861	3,5
Смолінська	1653	40	5	3,0	13%	1060	4,7
Разом	3183	69	8	2,5	12%	1921	4,2
2014							
Інгульська	1535	26	2	1,3	8%	827	2,4
Смолінська	1394	45	3	2,2	7%	1030	2,9
Разом	2929	71	5	1,7	7%	1857	2,7
2015							
Інгульська	1505	27	1	0,7	4%	806	1,2
Смолінська	1354	38	3	2,2	8%	970	3,1
Разом	2859	65	4	1,4	6%	1776	2,3

Аналіз даних встановив, що в середньому кількість звільнених і прийнятих на роботу, як правило, були однаковими. Зважаючи на це, можна констатувати, що оновлення кадрів в рік становило близько 500 осіб по підприємству, включаючи близько 200 осіб, які в подальшому відносилися до категорії «А». Володіючи даною інформацією, можна оцінити орієнтовну (з долею вірогідності до 90%) кількість працівників на підприємстві в цілому, і категорії «А» окремо.

Встановлено, що в середньому за цей період часу працювало 2533 особи, й і з них категорії «А» 1925 осіб (таблиця 4.2).

Плинність кадрів складала близько 500 осіб для всіх категорій працівників і близько 200 осіб для категорії «А», тобто близько 2054 осіб щорічно становили основний кістяк працюючих на підприємствах, з них 1725 осіб відносилися до категорії «А».

Для визначення орієнтовної кількості персоналу категорії «А», які працювали у цей період на шахтах, було визначено коефіцієнт плинності кадрів, а саме:

$$K_{\text{плин}} = (\text{Кількість вибувших} / \text{Загальна кількість працюючих}) \times 100 \quad (4.1).$$

Встановлено, що плинність кадрів на підприємстві за цей період в середньому дорівнювала 19%. Таким чином, встановлено, що з 1997 по

2015 рік на підприємстві працювало 34880 осіб, з них 26500 осіб були віднесені до категорії «А».

4.3 Аналіз професійної онкологічної захворюваності

Аналіз даних щодо загальної та онкологічної захворюваності гірників на підприємствах, які приведено у таблиці 4.2., показав, що професійна онкологічна захворюваність спіткала 11% працівників і оцінюється у 4,2 випадки на 1000 осіб персоналу категорії «А».

За даними дозиметричних лабораторій підприємств (розділ 3) середня ЕД для цієї категорії становить 13,8 мЗв/рік (для всіх працівників категорії «А»), і досягає 16,7 мЗв/рік для працівників основних професій когорти «основна 0».

Наведені на рисунку 4.1 дані свідчать, що за досліджуваний період рівень онкологічної захворюваності професійним раком по роках має тенденцію незначного зниження.

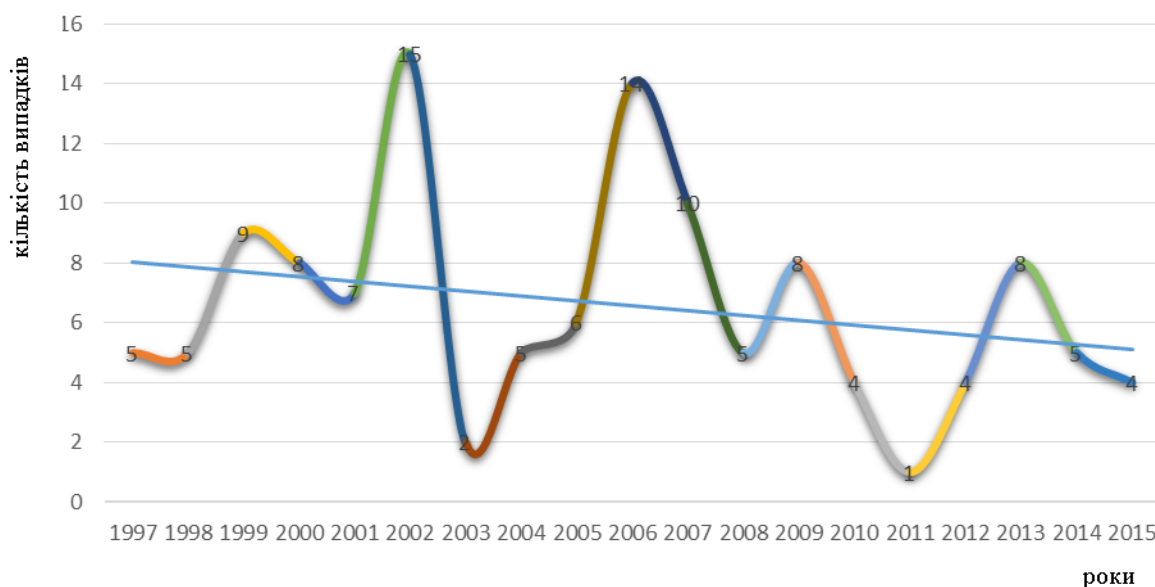


Рис 4.1 Реєстрація випадків професійних онкологічних захворювань за роками

Таблиця 4.2

Узагальнені дані щодо реєстрації загальної і онкологічної професійної захворюваності на підприємствах враховуючи плинність кадрів

№ п/п	Загальна кількість працюючих за весь час спостереження	Загальна кількість ПФЗ зареєстрованих за час спостереження	Загальна кількість професійного раку зареєстрованого за час спостереження	Відсоток професійного раку від загальної кількості професійних захворювань	Відсоток професійного раку від всіх ПФЗ	Загальна кількість працюючих категорії «А» за весь час спостереження	Питома вага професійного раку на загальну кількість працюючих категорії «А»
Сума за всі роки	61907	1265	124	9,8	10%	34495	3,6
Середнє значення за 1 рік	2533	74	7	-	-	1925	-
Кількість осіб	34880	1265	124	9,8	-	26500	3,6

Цей феномен пов'язаний з введенням більш жорстких вимог до радіаційного захисту шахтарів НРБУ-97 та зменшенням ліміту дозу для персоналу з 50 мЗв/рік до 20 мЗв/рік [17].

Для порівняльної оцінки онкологічної захворюваності шахтарів в таблиці 4.3 наведено показники онкологічної захворюваності по Кіровоградській області і Україні в цілому.

Аналіз свідчить, що онкологічна захворюваність серед працюючих на уранових шахтах України значно перевищує відповідні показники, як по регіону, так по Україні в цілому.

Більш детальні оцінки розподілу професійного і не професійного раку серед працівників урановидобувних підприємств приведені в таблицях 4.4 і 4.5.

Таблиця 4.3

**Онкологічні захворювання в Україні, Кіровоградській області і
розташованих на території Кіровоградської області шахтам ДП
«СхідГЗК» станом на 2016 рік. (відносні показники на 100 000 осіб).**

Показники	Загальна кількість онкологічних захворювань на підприємстві	Інгульська шахта	Смолінська шахта	Кірово- градська область	Україна
Всього	499,7	776,5	900,0	411,2	328,6
Рак легенів і верхніх дихальних шляхів	164,7	64,7	100,0	54,8	37,9

Дані наведені в таблицях 4.3 - 4.6 свідчать, що загальна онкологічна захворюваність на обох шахтах в 2 рази перевищує аналогічні показники по Кіровоградщині, а онкологічна захворюваність працівників Смолінської шахти перевищує аналогічну захворюваність в Україні майже в три рази. Рівень захворюваності на рак легенів і верхніх дихальних шляхів серед професійної когорти перевищує регіональні показники в 1,2 і в 1,8 рази, відповідно по Інгульській і Смолінській шахтах, і відповідні національні показники - 1,8 та в 2,6 рази по підприємствах.

Таблиця 4.4

**Онкологічна захворюваність серед загальної кількості працюючих на
Смолінському промисловому майданчику
(абс. дані)**

Роки	Кількість працюючих на підприємств і	Загальна кількість zareєстровани х онкологічних захворювань	Не професійний рак		Професійн ий рак
			Всі випадки	із них рак легенів и ВДШ	
1999	1670	11	5	1	6
2000	1545	5	1	0	4
2001	1683	6	3	1	3
2002	1708	13	2	1	11
2003	1684	7	5	1	2
2004	1719	7	3	0	4
2005	1720	10	6	2	4
2006	1800	15	7	2	8
2007	1790	12	9	3	3
2008	1869	5	3	0	2
2009	1806	8	3	0	5
2010	1781	9	7	1	2
2011	1760	8	7	0	1
2012	1703	13	9	2	4
2013	1653	13	8	2	5
2014	1394	11	8	1	3
2015	1354	9	9	0	3
Разом	28639	162	95	17	70
Усереднене значення	1684,65	9,00	5,59	1,00	4,12

Таблиця 4.5

**Стан онкологічної захворюваності серед загальної кількості працюючих
на Інгульському промисловому майданчику**

(абс. дані)

Роки	Кількість працюючих на підприємств і	Загальна кількість zareєстровани х онкологічних захворювань	Не професійний рак		Професій- ний рак
			Всі випадки	із них рак легенів и ВДШ	
1999	1561	5	2	1	3
2000	1659	7	3	0	4
2001	1566	8	3	0	4
2002	1526	6	2	0	4
2003	1428	4	4	2	0
2004	1489	3	2	0	1
2005	1513	7	5	0	2
2006	1543	13	5	2	6
2007	1599	13	5	0	7
2008	1557	9	6	2	3
2009	1590	6	3	0	3
2010	1543	9	6	0	2
2011	1540	11	9	1	0
2012	1545	6	6	2	0
2013	1530	4	1	0	3
2014	1535	9	5	1	2
2015	1505	12	11	0	1
Всього	26229	132	78	11	54
Усереднене значення	1542,9	7,8	5,1	0,6	2,6

Необхідно зазначити, що Кіровоградщина є лідером по онкологічній захворюваності в Україні, і її рівень перевищує загальноукраїнську в 1,25 - 1,35 разів.

Таблиця 4.6

**Зведені показники онкологічної захворюваності на
урановидобувних підприємствах України, абс. дані**

Рік	Кількість працюючих	Загальна кількість зареєстрованих онкологічних захворювань	Не професійний рак		професійний рак
			Всі випадки	із них рак легенів і ВДШ	
1999	3231	18	7	2	9
2000	3204	12	4	0	8
2001	3249	15	7	1	7
2002	3234	20	4	1	15
2003	3112	11	9	3	3
2004	3208	8	5	0	3
2005	3233	19	11	2	7
2006	3343	28	14	4	14
2007	3389	25	15	3	10
2008	3426	16	9	2	7
2009	3396	14	6	0	8
2010	3324	20	14	1	6
2011	3300	20	18	1	2
2012	3248	19	15	4	4
2013	3183	17	9	2	8
2014	2929	20	15	2	5
2015	2859	25	20	0	5
Разом	54868	294	170	28	124
Усереднене значення	3275	17	10,7	1,6	6,8

*- Інформація по промисловим майданчикам надана з урахуванням всіх працюючих, у т. ч. і працівників, які не підпадають під вплив іонізуючого випромінювання (управління, фінансово-економічні підрозділи, працівники об'єктів загального харчування, автотранспортні дільниці, тощо).

Проведений у Розділі 3 аналіз отриманих персоналом доз опромінення показав, що усереднені річні і накопичені ЕД для кожної окремої когорти працівників суттєво відрізняються. Тому виникає необхідність проаналізувати стан професійної онкологічної захворюваності за окремими когортами і віком шахтарів, в якому діагностовано захворювання, а також стажем роботи в умовах дії іонізуючого опромінення (накопичених ЕД) і віком, в якому особа була прийнята на роботу. Окремо необхідно проаналізувати данні щодо віку, в якому був діагностований професійний рак, а також терміну припинення робіт в умовах дії іонізуючого випромінення до виникнення професійного раку.

В таблиці 4.7 представлені дані розподілу випадків професійного раку в когортах за віком та стажем роботи в умовах дії іонізуючого випромінення. Аналіз вікових і показників стажу виникнення професійного раку у працюючих в умовах дії іонізуючого випромінення свідчать, що середній стаж роботи становив 21 рік, при максимальному стажі - 40 років, і мінімальному - 10 років. Професійний рак діагностувався у працівників уранових шахт в середньому у віці 59 років. Мінімальний вік, в якому було діагностовано професійний рак, склав 40 років, а максимальний - 78.

Аналіз даних також встановив, що захворюваність на професійний рак гірників лежить також від віку, в якому особа починала працювати в умовах дії іонізуючого випромінення (рис. 4.2)

З рис 4.2 видно, що основна кількість випадків професійного раку (близько 60%) виникала у працівників, які почали свою трудову діяльність в шкідливих умовах у віці 24-26 і 32 роки. Для цих вікових категорій працівників кількість випадків професійного раку в середньому була в двічі вища за інші вікові групи. Ці результати узгоджуються з епідеміологічними даними досліджень онкологічної захворюваності чеських шахтарів уранових шахт [56].

Таблиця 4.7

Розподіл випадків професійного раку в когортах за віком та стажем роботи в умовах дії іонізуючого випромінення.

Когорта професій	Всього	Вік					Стаж роботи					
		31-40	41-50	51-60	61-70	71 і >	0-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31 і >
основні 0	47	1	13	17	13	4	2	11	12	10	9	4
основні 1	15	1	1	8	6	1	0	5	6	3	1	1
допоміжні	51	1	5	15	15	6	0	13	11	14	9	1
поверхня	15	0	1	9	12	0	3	4	4	3	2	0
Разом	124	3	20	49	46	11	5	33	33	30	21	6

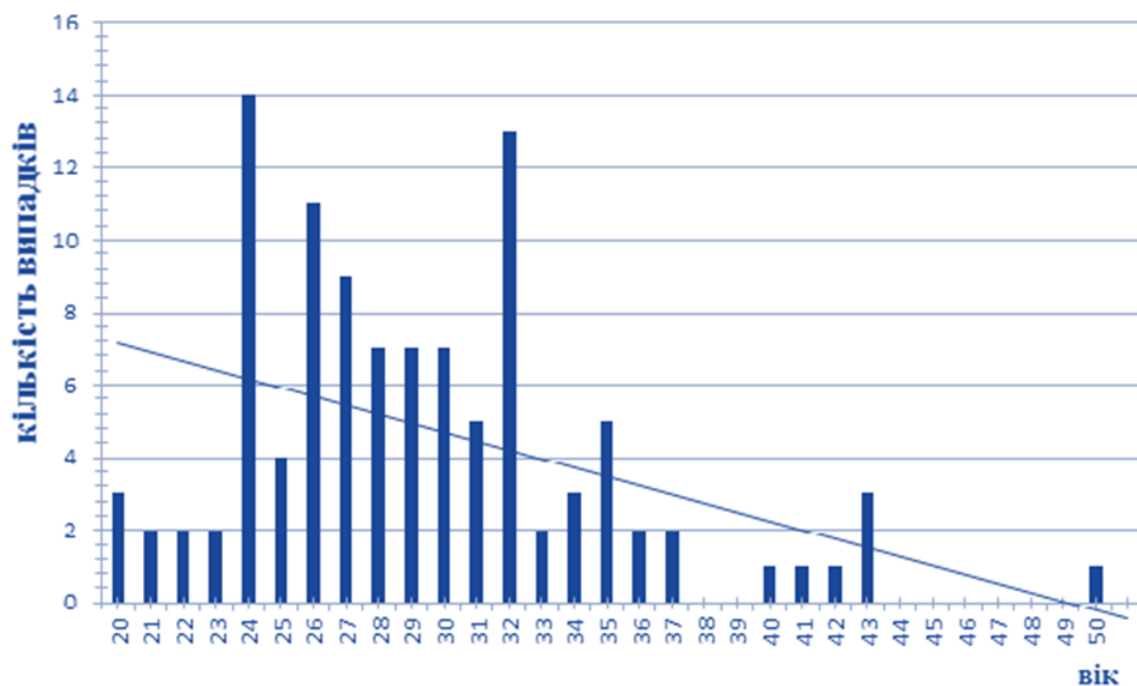


Рис. 4.2 Частота виникнення професійного раку в залежності від віку початку роботи в умовах іонізуючого випромінення.

В таблиці 4.8 й на рисунку 4.3 приведено статистичні данні онкологічної захворюваності на рак легенів за професійними когортами у відносних одиницях на 1000 осіб.

Вони свідчать, що відносна кількість випадків професійного раку значно відрізняється між окремими когортами, досягаючи показника 7,67 на 1000 працюючих в когорті «основна 0». Для когорти «основна 1» ця величина склала 5,58, для когорти «допоміжні» - 3,54 і 2,02 для когорти «поверхня».

Таблиця 4.8

**Розподіл випадків професійного раку по когортам професій
(в відносних величинах на 1000 працюючих)**

Назва когорти	Усереднена кількість працюючих у когорті Інгульської шахти	Усереднена кількість працюючих у когорті Смолінської шахти	Усереднена загальна кількість працюючих	Усереднена кількість випадків професійного раку в рік	Відносна (на 1000) кількість професійного раку в когорті
основні 0	157	214	371	2,85	7,67
основні 1	52	72	124	0,69	5,58
допоміжні	369	457	827	2,92	3,54
поверхня	186	270	456	0,92	2,02
разом	765	1013	1778	7,38	4,15

Графічне зображення результатів даного дослідження представлено на рисунку 4.3

Встановлено, що кількість професійних раків легенів у когорті «основні 0» на майже на 43% перевищує відповідну величину у когорті «основні 1» і в 3 рази у когорті «допоміжні».

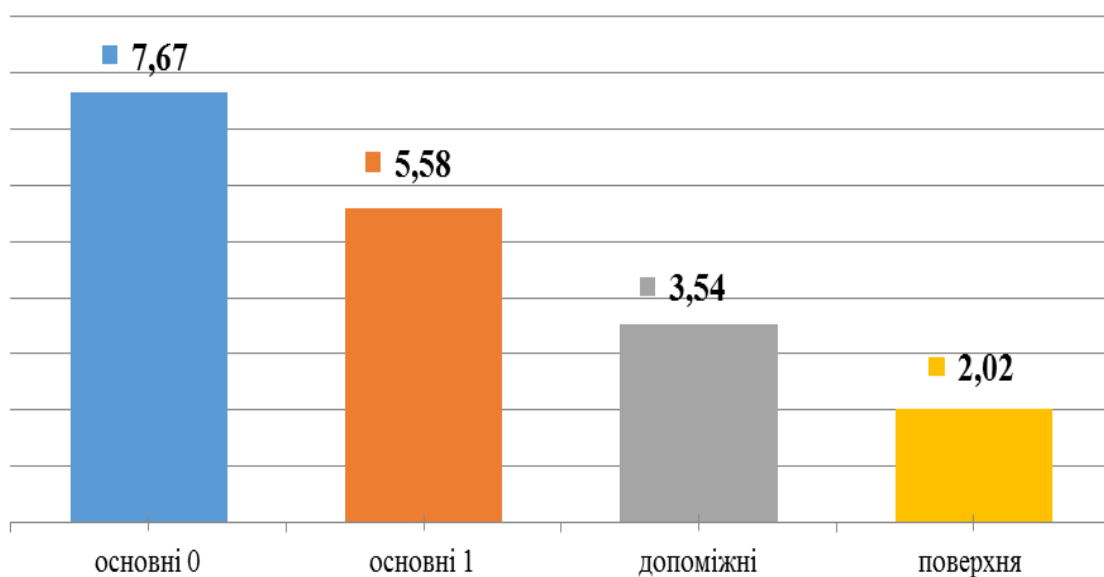


Рис. 4.3 розподіл професійного раку по когортам працюючих

4.4 Визначення термінів виникнення професійного раку після припинення робіт

Наступним етапом досліджень був аналіз термінів виникнення професійного раку після припинення робіт в умовах дії іонізуючого випромінювання, результати якого наведені на рисунку 4.4

Як видно з рис 4.4, можна виділити два основних часових періоди виникнення найбільшої кількості випадків зареєстрованого професійного раку.

Перший період – це перший рік після звільнення, коли було діагностовано близько 21% професійного. Другий період більш пролонгований у часі і склав термін від 6 до 12 років. Тут рівень виникнення професійного раку досягав 37%.

Інші випадки професійного раку практично рівномірно розподілились в інші часові періоди.

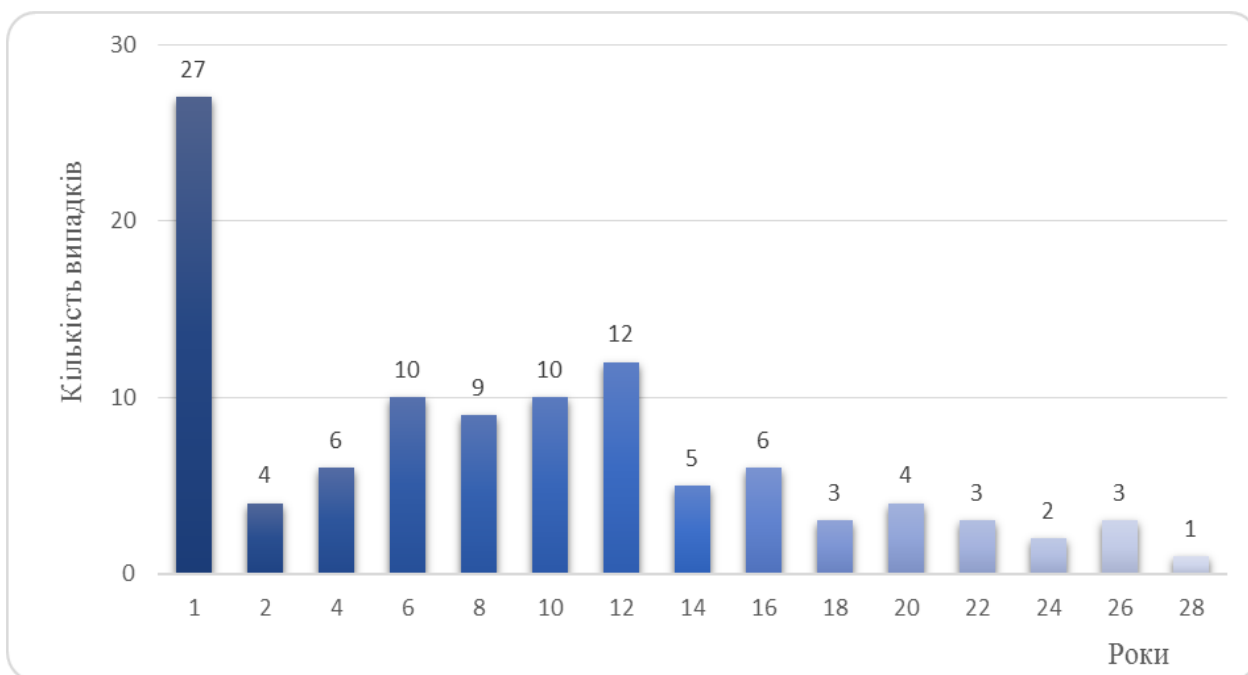


Рис. 4.4 Термін виникнення професійного раку після закінчення роботи під впливом дії іонізуючого випромінювання.

У абсолютній більшості професійний рак був діагностований у термін більше одного року після закінчення трудової діяльності в умовах дії іонізуючого випромінювання. У більшості осіб з діагнованим раком легенів до цього були поставлені діагнози професійного хронічного обструктивного бронхіту або пилової патології легень. Тобто, в даних випадках може йти мова про перехід хронічних професійних захворювань бронхів і легень у ракові захворювання.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Аналіз захворюваності на професійний рак працівників уранових шахт встановив:

1. На урановидобувних підприємствах України реєструється висока онкологічна захворюваність серед всіх категорій працівників, яка значно перевищує аналогічні регіональні і національні показники. В групі професій категорії «А», перевищення національних показників онкологічної

захворюваності на рак легенів і верхніх дихальних шляхів склали 1,8 та 2,2 рази по Інгульській і Смолінській шахтах, відповідно.

2. Частота виникнення професійного раку у шахтарів в умовах дії іонізуючого випромінення на пряму залежить від отриманої ЕД опромінення, яка в свою чергу на пряму залежить від розташування робочого місця, професії (когорти працюючих), а також стажу (накопичені дози).

3. Встановлено, що частота виникнення професійного раку залежить від віку в якому особа була прийнята на роботу з впливом РНФ. Встановлено, що чим молодшим був вік початку роботи, тим більшою була вірогідність виникнення онкологічного захворювання в майбутньому.

4. Показано, що 21% професійного раку діагностується у період практичної діяльності працівників і 37% - у найближчі 5-6 років.

5. Реєстрація професійного раку в більш віддалені терміни, в основному, є ускладненням професійних захворювань бронхолегеневої системи, які були виявлені в період активної трудової діяльності особи.

6. Більша половина професійних раків була діагностована у віці 40-60 років з піком захворюваності між 50-60 роками, тобто в працездатному віці.

7. Найбільша кількість випадків професійного раку реєструвалася при стажі практичної діяльності 11 - 20 років.

8. Визначено, що онкологічна захворюваність на Смолінській шахті була на 34% вище ніж на Інгульській. Чинником цього може бути значна кількістю осіб серед захворілих на Смолінській шахті осіб, які до початку роботи на даному підприємстві працювали на аналогічних об'єктах південного Уралу, Казахстану та Середньої Азії. Така ситуація не є такою актуальною для Інгульської шахти.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях:

[132, 133, 141, 131, 130,134, 145, 137, 138, 144, 136, 143]

РОЗДІЛ 5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ГІРНИКІВ З РЕАЛЬНИМ РІВНЕМ ОНКОЛОГІЧНОЇ ЗАХВОРЮВАНOSTІ. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.

5.1 Порівняльний аналіз радіаційних ризиків

Дослідження ЕД опромінення встановили, що середньорічні індивідуальні дози опромінення варіюють в широкому діапазоні - від 1,5 (машиніст конвеєра рудозбагачувальній фабрики) до 46,5 мЗв/рік (ГРОВ на бурінні). В когортах варіабельність доз значно менше: від 10,7 до 46,5 мЗв/рік «основні 0» і від 8,4 до 19,4 мЗв/рік в «основні 1». Для допоміжних професій показники ефективної дози варіювали від 1,5 до 20,7 мЗв/рік.

Чинники формування ЕД практично рівномірно розподілялися за всіма основними РНФ, а саме: близько 30% припадає на зовнішнє гамма-опромінення, а внутрішня складова ЕД розподілилась практично порівну між радоном-222 та його ДПР і ДЖАУ. Відсоток внутрішнього опромінення в сумарній ЕД становить 68 - 75%, причому пропорції складових опромінення шахтарів підземної групи і робітників, які працюють на поверхні, практично однакові.

Встановлено, що отримані результати суттєво відрізняються від результатів досліджень, які були проведені в інших країнах [59, 67, 123]. Основним дозоформуючим фактором для працівників уранових шахт інших країн є радон і його ДПР, а внесок ДЖАУ у формування ЕД складає близько 10%. В Україні внесок ДЖАУ в сумарну дозу дорівнює близько 30% для працівників підземних когорт і досягає 80% в когорті «поверхня». Це

викликає певні сумніви, щодо якості існуючої системи дозиметрії і розрахунку доз на уранових шахтах України.

В умовах уранових рудників, де при дотриманні технологічних процесів і регламентів нормативних документів гостре опромінення практично виключено, а виникнення детермінованих ефектів неможливе, має місце лише хронічне опромінення малими дозами. За аналізом офіційних даних дозиметричного контролю зареєстровані ЕД знаходяться в межах передбачених відповідними нормативно-правовими актами [17, 125, 126] і лише інколи незначно перевищують ліміти доз для окремих осіб. В цих умовах, одним із проявів дії радону-222, його ДПР, ДЖАУ в умовах уранових шахт є кількість випадків професійного раку, що реєструється серед працівників основного виробництва.

Проте, проведений аналіз індивідуальних доз опромінення не встановив, ні в одній із когорт працівників, перевищення індивідуальної ЕД. Навпаки, офіційно зареєстровані дози персоналу когорти «поверхня» набагато нижчі за встановлений ліміт доз і контрольні рівні. Тобто, при таких індивідуальних ЕД опромінення ризик виникнення професійного раку повинен бути менше 1 випадку на 1000 (розділ 4), але зареєстрована захворюваність на професійний рак значно перевищує цю величину. Так, найбільша кількість професійного раку 7,67 випадків на 1000 осіб зареєстрована в когорті «основні 0», при середній індивідуальній ЕД для даної когорти 16,7 мЗв/рік. В інших когортах, ця величина була: 5,58 випадків для професій «основні 1» при середній індивідуальній ЕД 13,35 мЗв/рік; в когорті «допоміжні» - 3,54 при 11,79 мЗв/рік і когорті «поверхня» - 2,02 випадки при індивідуальній ЕД - 6,41 мЗв/рік.

Аналіз залежності кількості випадків раку від величини накопичених доз опромінення шахтарів виявив, що виникнення онкологічних захворювань серед шахтарів лінійно залежне від величини ЕД, яку отримав працівник і стажу роботи в умовах дії іонізуючого випромінювання, що повністю співпадає з висновками інших досліджень (розділ2).

Дослідження часових закономірностей реалізації радіаційних ризиків професійного раку встановило, що 21% випадків професійного раку було зареєстровано під час трудової діяльності, або в перший рік після припинення робіт. Це стосується п'ятої частини всіх професійних раків, початкові прояви яких були виявлені ще в період практичної діяльності, проте діагноз був помилковий.

Ця особливість може бути пов'язана з неповним або неякісним обстеженням під час періодичних медичних оглядів. Якість їх залежить, в першу чергу, від наявності сучасної діагностичної апаратури та проведення певних клініко-діагностичних обстежень. І перше, і друге вимагають поліпшення.

Необхідно зазначити, що ці проблеми виникають не тільки в нашій країні, тому в рамках проекту ICIDOSE [127] сьогодні розробляються єдині методичні підходи щодо дозиметрії та медичних протоколів обстежень шахтарів.

Аналіз онкологічної захворюваності виявив ще одну закономірність, яка пов'язана з віком – а саме зв'язок вікових показників початку роботи у шкідливих умовах за радіаційним фактором. Так встановлено, що 60% професійного раку діагностовано у працівників, які почали свою трудову діяльність в умовах дії іонізуючого випромінення у віці 24 - 32 роки. Для цих вікових категорій працівників кількість випадків професійного раку в середньому, була в двічі вища за інші вікові групи. Ця особливість має під собою соціально-медичне підґрунтя. В більшості випадків на початку трудової діяльності працівники, як правило, ідуть на робочі місця, які приносять найбільшу фінансову винагороду, тобто в ті професії, де заробітна платня вище. Це, в основному професії когорти «основна 0» і «основна 1», і тільки через певний проміжок часу, який може бути доволі тривалим (10 років і більше) працівники за станом здоров'я переходять на робочі місця з легшими умовами праці, у тому числі і по радіаційно-небезпечному фактору.

За цих умов відбувається опромінення в молодий період життя, коли шахтар отримує максимальні дози опромінення, які поєднані з важкими умовами праці.

На жаль, у даний час на уранових шахтах України фактично відсутня індивідуальна дозиметрія персоналу, за винятком індивідуального дозиметричного контролю зовнішнього опромінення методом термолюмінесцентної дозиметрії. Цей факт не дозволяє коректно визначити й оцінити ризики.

На сьогодні в Україні чинні НРБУ-97 [17], які базуються на системі радіаційного захисту Публікації 60 МКРЗ [108]. За цією публікацією прийнятним ризиком для персоналу, є ймовірність смерті від онкологічного захворювання не вище 10^{-4} рік^{-1} (1 випадок на 10 000 працюючих). Верхнім же рівнем прийнятного індивідуального ризику або границею індивідуального ризику є ймовірність виникнення онкологічного захворювання 10^{-3} рік^{-1} , тобто верхньою межею виправданості в практичній діяльності при використанні джерел іонізуючого випромінювання, і відповідно для уранових шахт, є смертність від раку 1 випадок на 1000 працюючих за рік. Згідно з цим, верхній рівень прийнятного ризику відповідає 1 випадку раку на 1000 осіб персоналу. Ще одним із варіантів оцінки індивідуального ризику, є оцінка за РНФ виробничого середовища. Так в Публікації №65, МКРЗ оцінила абсолютний ризик смерті від раку легенів, для шахтарів чоловічої статі рівним $1,6 \cdot 10^{-11} / \text{Бк} \cdot \text{рік} \cdot \text{м}^{-3}$ [9].

Якщо прийняти внесок радону та його ДПР і ДЖАУ у сумарну дозу в межах 70 %, що відповідає результатам проведених у даній роботі досліджень, то при середньому віці шахтарів в 35-40 років (дані по шахтам) і тривалості їхнього життя близько 70 років, прогнозовану кількість раків (K_p) можна оцінити наступним чином:

$$K_p = 1,6 \cdot 10^{-11} \cdot 0,8 \cdot (70-35) \cdot 1200 \cdot 1700 = 0,98 \cdot 10^{-3}$$

де: $1,6 \cdot 10^{-11}$ - абсолютний ризик смерті від раку легенів; 0,8 - загальний ризик виникнення раку легенів [10, 11]; 70-35 – різниця у віці; 1200 і 1700 -

термін дії ДЖАУ і радону та його ДПР в умовах уранової шахти за рік. Прогноз щодо онкологічної захворюваності шахтарів оцінює кількість раків на рівні 1 випадку в рік на 1000 працюючих.

Згідно з вказаним, при різних підходах для розрахунку прогнозованої онкологічної захворюваності, верхня межа індивідуального ризику складає 1 випадок на 1000 працюючих за рік.

5.2 Оцінка ризику в відповідності до сучасних вимог

Згідно останніх даних, щодо дії радону і його ДПР на організм людини [11], з урахуванням пропозицій перейти від «умовного дозового переходу» до біокінетичних і дозиметричних моделей, величина радіаційних ризиків для цих радіонуклідів була збільшена в 1,8 рази - до величини 5×10^{-4} на РРМ. Відповідно мають бути переглянуті і дозові коефіцієнти для радону і його ДПР, що автоматично тягне за собою перегляд контрольних рівнів всіх параметрів дозиметричного контролю, методик розрахунку доз опромінення і розробку нових інструктивно-методичних документів. В першу чергу, ці зміни стосуються операторів уранових шахт.

Опираючись на рекомендовану величину ризику Публікації МКРЗ 126 [11], було проведено оцінки ризиків для шахтарів уранових шахт України, за даними офіційної дозиметрії. Результати наведені в таблиці 5.1.

Аналіз результатів цього дослідження встановив, що фактична кількість зареєстрованих раків значно вища від прогнозованої і складає по загальному масиву даних 4,7 випадки проти прогнозованого показника 1,24, що практично 3,8 рази перевищує прогноз. По когорті «основна 0», фактична захворюваність перевищує прогнозовану у 6,2 рази, по когорті «основні 1» у 5,3 рази, а по когортам «допоміжні» і «поверхня» у 2,9 та 2,1 рази, відповідно.

Таблиця 5.1

**Оцінка радіаційних ризиків для шахтарів уранових шахт України
за даними офіційної дозиметрії (ДІ 0,95)**

Назва когорти	Усереднена кількість РРМ отриманих за весь трудовий стаж	Ризик (прогнозована кількість раків) (доля вірогідності 0,95)	Фактична кількість раків
Весь масив даних	92,8	1,24	4,7
Основні 0	92,9	1,24	7,67
Основні 1	78	1,05	5,58
Допоміжні	91,4	1,22	3,54
Поверхня	71,5	0,96	2,02

Проведений аналіз фактичної онкологічної професійної захворюваності за загальноприйнятою лінійною моделлю показує, що ризик виникнення канцерогенного (стохастичного) ефекту в організмі прямо пропорційний ЕД й стажу роботи в умовах впливу іонізуючого випромінювання, він вказав на «вузькі» місця в організації і проведенні попередніх і періодичних медичних оглядів і, що саме головне, дане дослідження дає підстави засумніватися у відповідності офіційно зареєстрованих доз персоналу рівню захворюваності гірників на професійний рак.

5.3 Вірогідні додаткові причини ускладнення радіаційних ризиків

Однією з вірогідних причин, що можуть прояснити ситуацію з підвищеною захворюваністю у шахтарів на професійний рак, є оцінка тільки професійної складової середньорічних доз опромінення.

Слід усвідомлювати, що робітники уранових шахт проживають на територіях ураноносних провінцій, тобто, в ґрунтах під житловими будинками та воді артезіанських свердловин знаходяться ті ж самі радіонукліди урано-радієвих рядів, звісно в менших кількостях. Вони є потужними джерелами еманції радону, який в свою чергу надходить до житлових будинків, створюючи додаткову «домашню» дозу опромінення.

В рамках двох регіональних програм, а саме: програми «Стоп – радон» і українсько-шведського проекту «Reduction of risks caused by exposure to radon gas and natural radiation» нами було проведено більше 3 тисяч вимірювань радону в житлових та громадських будинках області. За результатами цих досліджень у 35% будівель встановлено перевищення нормативу НРБУ-97 для радону-222 [135]. Середньоарифметичне значення ЕРОА радону по області складало 91 Бк/м³, при середньому геометричному значенні – 53 Бк/м³ і стандартному відхиленні – 105 Бк/м³, що свідчить про значну варіабельність рівнів радону. Максимальні активності, які були зареєстровані на Кіровоградщині сягали 1752 Бк/м³, що відповідає ЕД порядку 52 мЗв/рік [135].

Таким чином, працівники уранових шахт з високою долею вірогідності отримують додаткову дозу від радону-222 і його ДПР у власних оселях, що також може впливати на частоту виникнення раку легенів.

Ще однією з можливих причин високих рівнів професійного раку може бути ситуація, коли хворий на рак отримав значні дози опромінення за попередньою роботою.

Порівняльний аналіз кількості випадків професійного раку між підприємствами, тобто Смолінською і Інгульською шахтами, встановив, що кількість професійного раку зареєстрованого на Смолінській шахті майже в 1,5 рази більша за ситуацію на Інгульській шахті, а саме: 70 випадків за період спостереження на Смолінській шахті проти 54 випадків на Інгульській. Це при тому що, технології ведення гірничих робіт практично

однакові, мінеральний склад ураноносних руд також не має принципіальних відмінностей.

Для прояснення ситуації, ми звернулися до історії розвитку шахт.

При введенні в експлуатацію Смолінської шахти в 70-х роках минулого століття на нове підприємство були запрошені працівники з інших аналогічних підприємств колишнього Радянського Союзу, які мали досвід роботи і могли ефективно організувати виробництво. Тобто, на роботу прийшли вже «стажовані» працівники, які мали попередні дози опромінення від 50 до 120 МРР [125], що не враховано при оцінках професійної онкологічної захворюваності. Кількість таких працівників була більшою на Смолінській, ніж на Інгульській шахті.

Дослідивши реєстрацію професійних онкологічних захворювань в динаміці ми бачимо, що лінія «тренду» свідчить про тенденцію до зниження випадків професійного раку, тобто можливий «пік» реєстрації професійних раків на Інгульській шахті пройшов раніше досліджуваного періоду, тим більше що Інгульська шахта розпочала свою практичну діяльність на 5 років раніше ніж Смолінська, і наповнення кадровим потенціалом «стажованих» професіоналів на даному підприємстві пройшло раніше.

5.4 Реалізація принципу не перевищення

Одним із шляхів виключення детермінованих ефектів і гарантування низької ймовірності виникнення стохастичних ефектів опромінення є запровадження «лімітів доз», при яких має бути реалізований принцип не перевищення [18, 19].

Реалізація даного принципу на практиці в урановидобувній галузі повинна здійснюватися через обов'язковий контроль доз опромінення персоналу категорії «А» і «Б», й проведення індивідуальної дозиметрії.

Законами України «Про Захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» [126-128], і НРБУ-97 ліміт дози для категорії «А»

встановлений на рівні 20 мЗв/рік, а індивідуальний дозиметричний контроль повинен бути запроваджений для осіб, ЕД яких перевищують 10 мЗв/рік [17]. Незважаючи на вимоги нормативних документів (НД) по суті індивідуальний дозиметричний контроль на українських шахтах не проводиться.

В урановидобувній галузі України дозиметричний контроль завжди здійснювався і здійснюється тільки розрахунковим методом, на підставі періодичних вимірювань РНФ виробничого середовища співробітниками дозиметричних лабораторій самих підприємств.

На даний час в Україні відсутня законодавчо затверджена методика проведення дозиметрії персоналу уранових рудників щодо індивідуальних альфа дозиметрів. Також практично не діє система ретроспекції індивідуальних доз за дослідженнями біологічних зразків працівників.

Існуюча нормативно-правова база вимагає дотримання не тільки встановлених лімітів доз, але і вимагає утримувати ЕД на «прийнятно низькому рівні» шляхом введення контрольних рівнів за всіма РНФ, що у свою чергу, може привести до мінімізації стохастичних ефектів.

Забезпечення радіаційного захисту персоналу в урановидобувній галузі завжди пов'язане з додатковими витратами, які, відповідно, впливають на ціну продукції. Тому, з однієї сторони, фактичні дози опромінення повинні бути як найменшими, а з іншої - витрати на здійснення захисних заходів повинні бути зведені до прийнятного мінімуму. Іншими словами, необхідно провести оптимізацію заходів.

Найважливішим є зниження інгаляційних (внутрішніх) доз опромінення, які за даними розділу 3 становлять близько 70% ЕД. Санітарними правилами експлуатації уранових рудників від 28.10.1986 року № 86-118 [15], (розділ 3) «Вентиляція підземних уранових рудників» п.п. 3.6, 3.16 і (розділі 6) «Захист від радону й продуктів його розпаду за допомогою вентиляції й заходи щодо боротьби з радоновиділенням» для цього регламентовані наступні заходи:

- в п. 3.6 - нагнітальний спосіб провітрювання рудника;
- в п. 3.16 - крім звичайних показників стану вентиляції, вентиляційна служба зобов'язана постійно контролювати провітрюваний об'єм, кратність обміну повітря в робочій зоні і оптимальність розподілу подаваного повітря в підземні гірські вироблення, виходячи з результатів вивчення локальних дебітів ексхалції радону;
- в п. 6.6 - проведення радонових зйомок не рідше 1 разу на рік;
- в п. 6.11 - проведення (1 раз на 3 роки) детальних загально рудничних радоно-повітряних зйомок для визначення локальних дебітів ексхалції радону й провітрюваних об'ємів всієї вентиляційної системи шахти (рудника).

Як показує практика і наш багаторічний моніторинг виконання цих вимог в рамках санітарно-гігієнічного нагляду, сьогодні виконується тільки один із чотирьох регламентованих пунктів на шахтах, а саме періодичного контролю радіаційних параметрів на робочих місцях.

Така ситуація приводить до нераціональних схем провітрювання підземних гірських виробок, не своєчасному будівництву вентиляційних перегородок для перерозподілу повітряних потоків, відсутності ізоляції недіючих гірських виробок, відсутності достовірних даних для проектування вентиляційних схем при будівництві нових очисних блоків і розташування робочих місць та інших гірських виробок.

Усе вище перераховане в кінцевому результаті приводить не тільки до необґрунтованого збільшення/зменшення подачі повітря з головних шахтних вентиляторів, а й до додаткового опромінення персоналу.

Ще одною причиною, накопичення радону та його ДПР у рудничній атмосфері є значна кількість «не погашених» гірських виробок, які є не тільки додатковими постачальниками радону на робочі місця гірників, а й забирають на себе значну частину свіжого повітря, яке подається на підземні робочі місця.

Для уранових рудників ефективність використання проти радонових і протипилових заходів, виходячи з того, що саме радон і його ДПР, а також ДЖАУ є основними вкладниками в ЕД, саме вентиляція гірничих виробок є головним фактором у забезпеченні радіаційного захисту на робочих місцях гірників.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

1. Фактично зареєстрована професійна онкологічна захворюваність у працівників урановидобувних підприємств України, не відповідає зафіксованим підприємством ЕД опромінення персоналу і значно перевищує розраховані ризики на основі офіційної індивідуальної дозиметрії.

2. Існуюча непряма система обрахунку і реєстрації індивідуальних ЕД опромінення щодо контролю за РНФ виробничого середовища не відповідає вимогам чинного законодавства України і рекомендаціям міжнародних організацій і потребує корінного перегляду.

3. Основна частина нормативно-правової бази в урановидобувній галузі на даний момент застаріла і як радянська скасована Урядом, втратила свою актуальність і потребує негайного перегляду в світлі нових підходів щодо розрахунку та реєстрації доз опромінення персоналу, а також контролю за РНФ виробничого середовища.

4. Існуюча система організації і проведення попередніх і періодичних оглядів потребує доопрацювання в плані удосконалення професійного відбору для роботи в умовах впливу іонізуючого випромінювання.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях:

[132,133, 141, 131, 130,134, 145, 137, 138, 144, 136,143]

ВИСНОВКИ

В дисертації на основі теоретичного узагальнення та комплексного дослідження радіаційно-гігієнічних параметрів робочих місць та інформації щодо професійної онкологічної захворюваності за верифікованими діагнозами визначені дозові, часові та вікові закономірності реалізації радіаційних ризиків онкологічної захворюваності на рак легенів та науково обґрунтовано шляхи оптимізації системи радіаційного захисту працівників уранових шахт України:

1. Встановлено, що усереднена ЕД гірників склала 12,5 мЗв/рік, доля зовнішнього опромінення 3,3 мЗв/рік (26,7%), радону-222 і його ДПР - 3,9 мЗв/рік (31,5%), активності довгоіснуючих продуктів розпаду уранового і торієвого рядів - 4,5 мЗв/рік (35,9%). Визначено, що ЕД варіювали від 1,5 мЗв до 47,6 мЗв/рік при стандартному відхиленні 5,4 мЗв/рік і середньо геометричному показникові 10,9 мЗв/рік. Визначено, що в середньому величина накопиченої дози по всьому масиву даних склала 92,7 РРМ, по когорті «основна 0» - 92,9 РРМ, по когорті «основна 1» - 78,0 РРМ, по когорті «допоміжні» - 91,4 РРМ, по когорті «поверхня» - 71,5 РРМ.

2. Визначена структура ЕД для окремих когорт підземних груп професій і встановлено, що внесок радону-222 і ДПР для когорти «основна 0» становить 31%, по когорті «основна 1» - 44%, когорті «допоміжні» 37%.

Визначено, що внесок ДЖАУ складає в когорті «основна 0» - 34%, в когорті «основна 1» - 31%, в когорті «допоміжні» - 37%. Відповідний внесок зовнішнього гамма-опромінення склав 31% для когорти «основна 0», 25% для когорти «основна 1» і 26% для когорти «допоміжні».

Встановлено, що в когорті «поверхня» структура сумарної ЕД суттєво відрізняється від підземних когорт, а внесок окремих джерел складає: ДЖАУ- 61%, ЕРОА радону-222 - 21%, зовнішнє гамма-опромінення 18%.

3. Встановлено, що середній відсоток професійної онкологічної захворюваності за період з 1997 по 2015 рік складає 11% від загальної кількості професійних захворювань, які були зареєстровані на підприємствах. Рівень онкологічної захворюваності на рак легенів складає 4,2 випадки на 1000 працівників категорії «А». За окремими когортами цей показник склав: «основна 0» 7,62, «основна 1» - 5,58, «допоміжна» і «поверхня» 3,54 і 2,02, відповідно.

Визначено, що професійний рак діагностувався у працівників уранових шахт в середньому у віці 59 років. Мінімальний вік, в якому було діагностовано професійний рак, склав 40 років, а максимальний - 78.

4. Встановлені вікові закономірності реалізації раку легенів, а саме: 60% випадків професійного раку виникло у працівників, які почали свою трудову діяльність в шкідливих умовах у віці 24 - 32 роки. Для цієї вікової категорії кількість випадків професійного раку в середньому була в двічі вища за інші вікові групи. Більше половини професійних раків було діагностовано у віці 40-60 років з піком захворюваності в 49 років, тобто в працездатному віці. Встановлена вагома відмінність щодо частоти виникнення професійного раку між окремими підприємствами, а саме професійна онкологічна захворюваність на Смолінській шахті була на 34% вище ніж на Інгульській.

5. Доведено, що фактична кількість зареєстрованих раків значно вища від прогнозованої величини і складає по загальному масиву даних 4,7 випадки проти прогнозованого показника 1,24, що практично у 3,8 рази перевищує прогноз. У когорті «основна 0» фактична захворюваність перевищує прогнозовану у 6,2 рази, по когорті «основні 1» - 5,3 рази, «допоміжні» і «поверхня» - у 2,9 і 2,1 рази, відповідно.

6. Визначено, що однією з можливих причин високої реєстрації професійного раку може бути додаткове опромінення гірників у власних оселях. В окремих випадках ЕД опромінення радоном і його ДПР в повітрі житлових будинків Кіровоградщини можуть сягати 30 мЗв/рік.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Енергетичною стратегією України до 2035 року передбачається пріоритетний розвиток атомної енергетики, створення власного виробництва тепловиділяючих елементів, збільшення обсягів видобування уранових руд. Всі ці напрями вимагають вирішення проблем радіаційного захисту і радіаційної безпеки працівників і населення.

Виконані нами дослідження свідчать про наявність суттєвих недоліків в нинішній системі захисту від дії іонізуючого випромінювання працюючих. Їх сукупність викликає пошкодження органів і систем організму, що й проявляється в більш високих рівнях професійної онкологічної захворюваності.

Вони обумовлюються дією радіаційно небезпечних факторів виробничого середовища, при яких в верхніх дихальних шляхах і легенях працівників категорії «А» відбувається накопичення аерозолів ДПР радону-222 і пилу уранової руди.

З метою покращення радіаційної ситуації на урановидобувних підприємствах України, зниження нинішнього рівня і профілактики захворюваності онкологічними захворюваннями працюючих пропонується здійснення комплексу заходів.

1. Заходи на загальнодержавному рівні

1.1 В найкоротші терміни розробити і ввести нормативний документ по експлуатації уранових рудників з урахуванням рекомендацій міжнародних і вітчизняних організацій із забезпечення радіаційного захисту працюючих і населення;

1.2 Провести перегляд чинних законодавчих і нормативних документів з питань радіаційного захисту працюючих і населення, привести їх у відповідність з рекомендаціями міжнародних організацій;

1.3 В Державних будівельних нормах при проектуванні і введенні в експлуатацію підприємств з видобутку й первинного збагачення уранових руд передбачити необхідність проведення інженерно-технічних досліджень і застосування засобів, спрямованих на оптимізацію радіаційного стану і, в першу чергу, заходів по боротьбі з радоном.

1.4 Провести перегляд чинних нормативних документів щодо відповідності величин радіаційно небезпечних факторів виробничого середовища.

2. На галузевому рівні

2.1 З метою зменшення захворюваності бронхо-легеневою патологією і імовірності появи раків легенів і верхніх дихальних шляхів знизити максимально - допустимі концентрації пилу в повітрі робочої зони підприємств урановидобувної галузі з 2 до 1 мг/м³;

2.2 Міністерству соціальної політики України:

- в Законі України «Про обов'язкове соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві й професійних захворювань» для покращення медико-соціальної захищеності гірників урановидобувної галузі під час роботи і перед виходом на пенсію за віком чи вислугою років передбачити в обов'язковому порядку ретельне медичне обстеження з рентгено-функціональною оцінкою стану їхніх органів дихання для виявлення можливої наявності у них ознак професійної патології легенів;

- забезпечити дієвий контроль за охороною й безпекою праці працюючих на підприємствах з видобутку й первинного збагачення уранових руд,

2.3 Міністерству охорони здоров'я України:

- Розробити інструкцію з радіаційного захисту при підземному видобуванню і купчастому вибуговуванню уранових руд;

- Розробити методичні рекомендації по індивідуальному дозиметричному контролю зовнішнього і внутрішнього опромінення персоналу уранових шахт;

- Розробити Методичні вказівки по контролю радіаційної обстановки на уранових шахтах;
- Розробити Пам'ятку з радіаційного захисту персоналу уранових шахт;
- В системі медичного захисту працівників урановидобувних і переробних підприємств передбачити позитивний медичний нагляд за їх здоров'ям;
- Включити в перелік критеріїв при проходженні попереднього (при прийомі на роботу) медичного огляду працівників урановидобувних і переробних підприємств відповідні маркери виявлення спроможності організму протидіяти виникненню онкологічних захворювань в умовах дії іонізуючого випромінювання.

3. Заходи на рівні підприємств

- Забезпечити об'єктивний і дієвий контроль за рівнями опромінення працівників;
- Посилити відповідальність відповідних посадових осіб за облік захворілих.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)/ United Nations // New York. – 2017. – с. 502. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://www.unscear.org/docs/publications/2017/UNSCEAR_2017_Report.pdf.
2. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Sixty-third session (27 June-1 July 2016) /United Nations // United Nations, New York. – 2016. – 18 с. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://www.unscear.org/docs/GAreports/2016/A-71-46_e_V1604696.pdf
3. Ladislav Tomasek, Agnès Rogel, Margot Tirmarche, Nicolas Mitton, and Dominique Laurier Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners: Radon-Associated Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure // Radiation Research. – 2008 February 2008, Vol. 169, No. 2, pp. 125-137. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.rrjournal.org/doi/abs/10.1667/RR0848.1>.
4. L. Tomasek. Lung cancer mortality among Czech uranium miners—60 years since exposure // Journal of Radiological Protection. – 2012. – C. Volume 32.
5. L. Tomasek. Effect of age at exposure in 11 underground miners studies // Radiation Protection Dosimetry. – 2014. –P. 124–127.
6. M Kreuzer, N Fenske, M Schnelzer and L Walsh. Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners // British Journal of Cancer. – 2015. – №113. – pp. 1367–1369..
7. Zaballa and M. Eidemüller. Mechanistic study on lung cancer mortality after radon exposure in the Wismut cohort supports important role of clonal expansion in lung carcinogenesis // Radiation and Environmental Biophysics. – 2016. – № 55-2. – pp. 299–315

8. T. R. Beck. The conversion of exposures due to radon into the effective dose: the epidemiological approach // *Radiation and Environmental Biophysics*. – 2017. – №56-4. – pp. 353–364.

9. Публикация № 65 МКРЗ. Защита от радона-222 в жилых помещениях и на рабочих местах. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – С. 78.

10. ICRP. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. ICRP Publication 115. *Annals of the ICRP* 40(1). International Commission on Radiological Protection, Elsevier Ltd., 2010.

11 ICRP. Radiological protection against radon exposure. ICRP Publication 126. *Annals of the ICRP* 43(3). International Commission on Radiological Protection, Elsevier Ltd., 2014.

12. Uranium Price Forecasts 2017 and Top Uranium Stocks to Watch // *Free Investors Guide*. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://investingnews.com/get-download/?dtd=127918&mqsc=TA128713>

13. Uranium Mining Overview. – 2019. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>

14. Ukraine's Energy Strategy: boost of uranium mining, diversification of fuel supplies to NPPs/ The Energy Strategy of Ukraine until 2035 approved at the government meeting on August // *UNN*. – 2017. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://economics.unian.info/2091541-ukraines-energy-strategy-boost-of-uranium-mining-diversification-of-fuel-supplies-to-npps.html>.

15. Санитарные правила эксплуатации урановых рудников, Приказ №86-118 от 28.10.1986 г. МЗ СССР – Москва: III ГУ Управление МЗ СССР, 1989. – 154 с.

16. «Керівництво з розрахунків індивідуальних доз опромінення персоналу ДП «СхідГЗК» і населення», Погоджене з Міністерством охорони здоров'я України у 2007 році, і введеним у дію наказом по ДП «СхідГЗК» від 15.05.2008 року №208.

17. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ–97) : ДГН 6.6.1.– 6.5.001–98 Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України. – Офіц. вид. – К., 1998. – 135 с.

18. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – Vienna : IAEA, 2014. – 436 p. – (General Safety Requirements; No. GSR Part 3).

19. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom. – 2014. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>.

20. Доклад Генерального директора. Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2014. МАГАТЕ GOV/INF/2014/13-GC(58)/INF/6 // МАГАТЭ. – 2014. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://www.iaea.org/sites/default/files/gc59-7_rus.pdf.

21. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. Reference data series N1 2014 Edition. IAEA // МАГАТЭ. – 2014. – [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaea.org/publications/10793/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>.

22. Boice J D Jr Uncertainties in studies of low statistical power (Editorial) J. Radiol // Health Phys. – 2010. – Prot. 30 115–20. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/34/3/E7/meta>.

23. Boice J D Jr Implications of radiation dose and exposed populations on radiation protection in the 21st century Health Phys 2014. 106 313–28. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: http://nrcki.ru/includes/periodics/news_arch_2015/2015/0522/000015261/detail.shtml

24. Стратегія розвитку атомної енергетики: «Перспективи для виробників та економіки України».[Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу:<https://www.energoatom.com.ua/uploads/presentations/ned2019/1%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%90%D0%95%202019%20%D0%92%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf>

25. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р . Розділ 4. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://menr.gov.ua/files/images/news_2020/21012020/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%BE%D0%B4%20%D0%B4%D0%BE%202035%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf

26. Uranium Mining Overview . – 2019. – [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>

27. Суходолов А.П. Мировые запасы урана: Перспективы сырьевого обеспечения атомной энергетики // Известия ИГЕА. 2010 №4.

28. Уранодобывающая и ураноперерабатывающая промышленность. Доклад Госатомрегулирования Украины о состоянии ядерной и радиационной безопасности в Украине в 2010 году. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=132444>

29. Ядерно-топливный цикл. Перспективы и опасности [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: http://nrcki.ru/includes/periodics/news_arch_2015/2015/0522/000015261/detail.shtml

30. Моргун В. Г. Порівняння лужних метасоматитів східного Приазов'я з фенітами карбонатитових комплексів та іншими лужними метасоматитами українського щита. – Київ: Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2013. – (№13 (частина II)).

31. Москалев Ю. И. Отдаленные последствия воздействия ионизирующих излучений // М. : Медицина, 1991.

32. Sources and effects of ionizing radiation : UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2008). – New York: UN, 2010. – Vol. 1, Annex B. – 245 p.

33. Rakhmet Bersimbaev, Alessandra Pulliero, Olga Bulgakova et al Radon Biomonitoring and microRNA in Lung Cancer (Review), Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 2154

³⁴. Reisz, J.A.; Bansal, N.; Qian, J.; Zhao, W.; Furdui, C.M. Effects of Ionizing Radiation on Biological Molecules-Mechanisms of Damage and Emerging Methods of Detection. Antioxid. Redox Signal. 2014, 21, 260–292, doi:10.1089/ars.2013.5489.

35. Бекман И. Н. Радон: враг, врач и помощник: курс лекций. – Лекция 2. Проблема радона / И. Н. Бекман. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.profbeckman.narod.ru/rad.files/Rad2.pdf>.

36. Радиометрия изотопов радона. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://profbeckman.narod.ru/radiometr.files/L12_3.pdf.

37. ICRP Publication 50: Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters // Ann. ICRP. – 1988. – Vol. 17, № 1. – 76 p.

38. Яковлева В.С. Методы определения объёмной активности изотопов радона и продуктов распада в воздухе: учебное пособие // В. С.

Яковлева; Томский политехнический ун-т. – Томск: изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. – 119 с.

39. Розвиток уранодобувної галузі в Україні Міністерство енергетики України. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nzvdpu_geogr/2008_15/rozvutok%20yrano%20dobyvnoi%20galyzi.pdf.

40. Химическая энциклопедия – в 5 т. // под.ред. Н.С. Зефирова. – М. : Советская энциклопедия, 1995. – Т. 4. – с.639

41. Measurement of Radon and Radon Daughters in Air: NCRP report № 97 // NCRP. – Bethesda, Maryland, 1988. – 174 p

42. Радон и его свойства [Электронный ресурс) Режим доступу http://profbeckman.narod.ru/RH0.files/10_2.pdf

43. UNSCEAR 2006 Report: Annex E: Source-to-effects assessment for radon in homes and workplaces // United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2009. – 138 p

44. Klammer H. Evidence of an adaptive response targeting DNA nonhomologous end joining and its transmission to bystander cells // H. Klammer, M. Kadhim, G. Iliakis // Cancer Research. –2010. – №70 (21). – P. 8498-8506.

45. Long-term genomic instability in human lymphocytes induced by single-particle irradiation / M. A. Kadhim, S. J. Marsden , D. T. Goodhead et al. // Radition Research. – 2001. – Vol. 155, № 1, Part 1. – P. 122-126.

46. Бекман И.Н. Уран. Учебное пособие. // Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Кафедра радиохимии, 2009. — 300 с. Учебное пособие к курсам лекций «Ядерная индустрия» и «Радиохимия».

47. NCRP. Exposure of the population in the United States and Canada from natural background radiation. // NCRP Report No. 94. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, 1988.

48. Ham, G.J., Hodgson S.A., M.J. Youngman et al. Review of autopsy, in vivo and bioassay measurements on members of the public in the UK. NRPB-W42. // National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, 2003.
49. Igarashi Y., Yamakawa A. and Ikeda N.. Plutonium and uranium in Japanese human tissues.// *Radioisotopes* 36(9): 433-439 (1987).
50. Harley N.H. and Fisenne I.M.. Distribution and alpha radiation dose from naturally occurring U, Th, and Ra in the human skeleton. // *Health Physics* 58(4): (1990) 515-518
51. Singh, N.P., D.B. Bennett and M.E. Wrenn. Macro-distribution of naturally occurring alpha emitting isotopes of U in the human skeleton. // *Health Physics* 52(6): (1987) 769-773
52. Davesne, E. and E. Blanchardon. Physico-chemical characteristics of uranium compounds: A review. // *J Radiation Biological* 90(11): (2014). 975-988
53. Filipy R.E. and Russell J.J.. The United States Transuranium and Uranium Registries as sources for actinide dosimetry and bio effects. // *Radiation Protection Dosimetry* 105(1-4): (2003) 185-187
54. Avtandilashvili, M., M. Puncher, S.L. McComish et al. US Transuranium and Uranium Registries case study on accidental exposure to uranium hexafluoride // *J Radiological Protection* 35(1): (2015) 129-151
55. Russell, J.J. and. Kathren R.L. Uranium deposition and retention in a USTUR whole body case. // *Health Physics* 86(3): (2004) 273-284
56. Tomasek Ladislav. Lung cancer mortality among Czech uranium miners—60 years since exposure // *Journal of Radiological Protection*, Volume 32, Number 3, 2012
57. Tomasek Ladislav, Rogel Agnès, Tirmarche Margot, Mitton Nicolas, and Dominique Laurier Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners: Radon-Associated Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure. // *Radiation Research*: February 2008, Vol. 169, No. 2, pp. 125-137.

58. BEIR VI Report: The Health Effects of Exposure to Indoor Radon // National Research Council, 1999, 516 p
59. L. Tomasek. Effect of age at exposure in 11 underground miners studies //Radiation Protection Dosimetry, Volume 160, Issue 1-3, 1 July 2014, Pages 124–127
60. B Grosche, M Kreuzer, M Kreisheimer, M Schnelzer, and A Tschense Lung cancer risk among German male uranium miners: a cohort study, 1946–1998// British Journal of Cancer. 2006 Nov 6; 95(9): pp1280–1287.
61. M Kreuzer, N Fenske, M Schnelzer, L Walsh Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners // British Journal of Cancer (2015) 113, pp 1367–1369
62. Linda Walsh, Annemarie Tschense, Maria Schnelzer, Florian Dufey, Bernd Grosche and Michaela Kreuzer The Influence of Radon Exposures on Lung Cancer Mortality in German Uranium Miners, 1946–2003 // Radiation Research Jan 2010, Vol. 173, No. 1 (January 2010) pp. 79-90
63. John D., Boice Jr., Michael T. Mumma and William J. Blot Cancer Incidence and Mortality in Populations Living Near Uranium Milling and Mining Operations in Grants, New Mexico, 1950–2004 // Radiation Research Nov 2010, Vol. 174, No. 5 (November 2010) pp. 624-636
64. Eric Samson, Irwin Piot, Sergey Zhivin, David B Richardson, Pierre Laroche, Ana-Paula Serond, Dominique Laurier and Olivier Laurent. Cancer and non-cancer mortality among French uranium cycle workers: the TRACY cohort. // BMJ Open 2016 6:4, e010316.
65. Navaranjan G., Berriault C., Do M, Villeneuve PJ, Demers PA_Cancer incidence and mortality from exposure to radon progeny among Ontario uranium miners.//Occupation Environment Med. 2016 Dec;73(12):838-845.
- 66 Boice J. D., J.R., Mumma, M. T. and Blot, W. J. Cancer and Noncancer Mortality in Populations Living Near Uranium and Vanadium Mining and Milling Operations in Montrose County, Colorado, 1950–2000. // *Radiation Research* 167, 711–726 (2007).

67. Estelle Rage, Blandine Vacquier, Eric Blanchardon, Rodrigue S. Allodji, James W. Marsh, Sylvaine Caër-Lorho, Alain Acker and Dominique Laurier. Risk of Lung Cancer Mortality in Relation to Lung Doses among French Uranium Miners: Follow-Up 1956–1999. // *Radiation Research* 2012;177:3, 288-297.

68. Damien Drubay, Sylvaine Caër-Lorho, Pierre Laroche, Dominique Laurier and Estelle Rage Mortality from Circulatory System Diseases among French Uranium Miners: A Nested Case-Control Study // *Radiation Research* May 2015, Vol. 183, No. 5 (May 2015) pp. 550-562

69. Sung-Soo Oh, Sangbaek Koh, Heetae Kang, Jonggu Lee Radon exposure and lung cancer: risk in nonsmokers among cohort studies // *Ann Occupation Environment Med.* 2016; 28: 11.

70. National Research Council Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. // National Academies Press, Washington, D.C., 1999.

71. UNSCEAR. Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. UNSCEAR 2006 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. // United Nations sales publication E.09.IX.5. United Nations, New York, 2009.

72. WHO Handbook on indoor radon: A public health perspective (H. Zeeb and F. Shannoun, eds.). // World Health Organization, Geneva, 2009.

73. ATSDR. Toxicological profile for uranium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, // Atlanta, Georgia, 2013.

74. Cooper, J.R., G.N. Stradling, H. Smith et al. The behavior of uranium-233 oxide and uranyl-233 nitrate in rats. // *J Radiation Biological Relation Study Physics Chemical Med* 41(4): 421-433 (1982).

75. Damon E.G., A.F. Eidson F.F. Hahn et al. Comparison of early lung clearance of yellowcake aerosols in rats with in vitro dissolution and IR analysis. // *Health Physics* 46(4): 859-866 (1984).

76. Ellender M. The clearance of uranium after deposition of the nitrate and bicarbonate in different regions of the rat lung. // *Human Toxicology* 6(6): 479-482 (1987).

77. Tradling, G.N., Stather J.W., Strong J.C et al. Metabolism of some industrial uranium tetrafluorides after deposition in the rat lung. // *Human Toxicology* 4(2): 159-168 (1985).

78. James Grellier; Will Atkinson; Philippe Bérard; at all Risk of Lung Cancer Mortality in Nuclear Workers from Internal Exposure to Alpha Particle-emitting Radionuclides // *Epidemiology*. 28(5):675–684, 2017

79. Yann Guéguen, Laurence Roy, Sabine Hornhardt at all Dominique Laurier and Maria Gomolka Biomarkers for Uranium Risk Assessment for the Development of the CURE (Concerted Uranium Research in Europe) Molecular Epidemiological Protocol // *Radiation Research* Jan 2017, Vol. 187, No. 1 pp. 107-127

80. Tirmarche, M., D. Laurier, F. Bochicchio et al. Final scientific report of the Alpha Risk Project funded by the European Commission EC FP6. FI6R-CT-2005-516483. // European Commission Brussels, 2010.

81. Marsh, J.W., E. Blanchardon, D. Gregoratto et al. Dosimetric calculations for uranium miners for epidemiological studies. // *Radiation Protection Dosimetry* 149(4): 371-383 (2012).

82. Vacquier, B., Rage E., Leuraud K. et al. The influence of multiple types of occupational exposure to radon, gamma rays and long-lived radionuclides on mortality risk in the French «post-55» sub-cohort of uranium miners: 1956-1999. // *Radiat Res* 176(6): 796-806 (2011).

83. Drubay, D., S. Ancelet, A. Acker et al. Kidney cancer mortality and ionizing radiation among French and German uranium miners. // *Radiation Environment Biophysics* 53(3): 505-513 (2014).

84. Dufey, F., L. Walsh, M. Sogl et al. Radiation dose dependent risk of liver cancer mortality in the German uranium miners cohort 1946-2003. // *J Radiological Protection* 33(1): 175-185 (2013).

85. Kreuzer, M., K. Straif, J.W. Marsh et al. Occupational dust and radiation exposure and mortality from stomach cancer among German uranium miners, 1946-2003. // *Occup Environ Health* 69(3): 217-223 (2012).
86. Tomasek L. and Malatova I. Leukaemia and lymphoma among Czech uranium miners. // *Medical Radiology and Radiation Safety* 51(5): 74-79 (2006).
87. Rage, E., S. Caer-Lorho, D. Drubay et al. Mortality analyses in the updated French cohort of uranium miners (1946-2007). // *Int Arch Occup Environ Health* 20: 20 (2014).
88. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Annex D. Biological effects of selected internal emitters—uranium. // report unsear/ United Nations, New York, 2017 – 363-502 c.
89. Vacquier, B., E. Rage, K. Leuraud et al. The influence of multiple types of occupational exposure to radon, gamma rays and long-lived radionuclides on mortality risk in the French «post-55» sub-cohort of uranium miners: 1956-1999. // *Radiation Research* 176(6): 796-806 (2011).
90. Rage, E., S. Caer-Lorho, D. Drubay et al. Mortality analyses in the updated French cohort of uranium miners (1946-2007). // *Int Arch Occup Environ Health* 20: 20 (2014).
91. Mohner, M., M. Lindtner and H. Otten. Ionizing radiation and risk of laryngeal cancer among German uranium miners. // *Health Physics* 95(6): 725-733 (2008).
92. Kreuzer, M., F. Dufey, J.W. Marsh et al. Mortality from cancers of the extra-thoracic airways in relation to radon progeny in the Wismut cohort, 1946-2008. *Int J Radiation Biological* 90(11): 1030-1035 (2014).
93. Canu, I.G., S. Jacob, E. Cardis et al. Reprocessed uranium exposure and lung cancer risk. // *Health Physics* 99(3): 308-313 (2010)
94. André Bouville, Richard E. Toohey, John D. Boice, Harold L. Beck, Larry T. Dauer, Keith F. Eckerman, Derek Hagemeyer, Richard W. Leggett, Michael T. Mumma, Bruce Napier, Kathy H. Pryor, Marvin Rosenstein, David A. Schauer, Sami Sherbini, Daniel O. Stram, James L. Thompson, John E. Till, Craig

Yoder and Cary Zeitlin. (2015) Dose Reconstruction for the Million Worker Study.
// Health Physics 108:2, 206-220.

95. Report No. 163, Radiation Dose Reconstruction: Principles and Practices, the scope of dose reconstruction includes estimates of absorbed dose to individual organs (2009) // [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.ncrppublications.org/Reports/163>

96. NCRP Report No. 164 - Uncertainties in Internal Radiation Dose Assessment (2009) // [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.ncrppublications.org/Reports/164>

97. NCRP Report No. 179: Guidance for Emergency Response Dosimetry(2017) // [Электронный ресурс] Шлях доступа <https://www.ncrppublications.org/Reports/179>

98. Sabine Hoffmann, Estelle Rage, Dominique Laurier, Pierre Laroche, Chantal Guihenneuc and Sophie Ancelet Accounting for Berkson and Classical Measurement Error in Radon Exposure Using a Bayesian Structural Approach in the Analysis of Lung Cancer Mortality in the French Cohort of Uranium Miners/ Radiation Research Feb 2017, Vol. 187, No. 2 (February 2017) pp. 196-209

99. W. F. Heidenreich, L. Tomasek, B. Grosche, K. Leuraud and D. Laurier. (2012) Lung cancer mortality in the European uranium miners cohorts analyzed with a biologically based model taking into account radon measurement error.// Radiation and Environmental Biophysics 51:3, 263-275.

100. Harley N. H. The variability in radon decay product bronchial dose / N. H. Harley, B. S. Cohen, E. S. Robbins // Environment Intrudes – 1996. – № 22 (Suppl. 1).–P. 959-964.

101. Porstendorfer J. Physical parameters and dose factors of the radon and thoron decay products. J.Porstendorfer // Radiation. Protection. Dosimetry. 2001. – № 94.– P. 365- 373.

102. Winkler-Heil R. Comparison of modelling concepts for radon progeny lung dosimetry / R. Winkler-Heil, W. Hofmann // High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects : Proceedings of

Fifth International Conference (September 2000, Munich). – Amsterdam : Elsevier, 2000. – P. 169-177.

103. Comparison of radon lung dosimetry models for the estimation of dose uncertainties R. Winkler-Heil, W. Hofmann, J. W. Marsh et al. // Radiation Protection Dosimetry. –2007. – № 127. – P. 27-30.

104. T. R. Beck. The conversion of exposures due to radon into the effective dose: the epidemiological approach. // Radiation and Environmental Biophysics. 2017. 56:4, 353-364.

105. James W. Marsh, Dominique Laurier and Margot Triarchy RADON DOSIMETRY FOR WORKERS: Icrp's Approach. 2017. Radiation Protection Dosimetry, 1-9.

106. ICRP Publication 75. General Principles for the Radiation Protection of Workers. Vienna : Pergamon, 1997. – 61 p. // Annals of the ICRP. – 1997. – Vol. 27, N 1.

107. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года : перевод с английского под ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. – Москва. : Алана, 2009. – с.344.

108. ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. – 1991. – Vol. 21. – № 1-3. – 201 p.

109. Павленко Т.О., Лось И.П., Рязанцев В.Ф. Современные требования к ограничению облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения (планируемая ситуация облучения). // Ядерна та радіаційна безпека. 2011 - № 4 (52) – стр.68-71.

110. Т.А. Павленко Основные принципы новой системы противорадиационной защиты. // Довкілля та здоров'я № 1.2011. С. 17-22

111. ICRP Publication 104: Scope of Radiological Protection Control Measures // Annals of the ICRP. –2008. – Vol. 37, Is. 5. – 108 p.

112. ICRP Publication 76. Radiation protection in the case of the potential exposure. // New York: Pergamon Press. - 1995. - 61 p. Annals of the ICRP. 1995. - V. 27, № 2.

113. ICRP Publication 64. Protection from potential exposure: a conceptual framework. // New York: Pergamon Press. - 1993. - 104 p. (Annals of the ICRP. - 1993).

114. ICRP Publication 96. Protection people against radiation exposure in the event of a radiological attack. // New York: Pergamon Press. - 2004. - 82 p. Annals of the ICRP. - 2004. - V. 35, № 1.

115. ICRP Publication 81. Radiation protection recommendation as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. - New York: Pergamon Press. - 1999. - 98 p. (Annals of the ICRP. - 1999. - V. 28, № 4).

116. ICRP Publication 26. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. // Oxford: Pergamum Press, 1977.- 53 p. – Annals of the ICRP Vol. 1, No 3.

117. Суже А. Рекомендации МКРЗ: причины изменения // А. Суже, Ж.-К.Нено / пер с фр. Н. М. Суворовой ; ред. Р.М. Алексахина // Медицинская радиологическая и радиационная безопасность. - 2005. - Т. 50, № 5. - С. 31-40.

118. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года. Пер. с английского под общей редакцией М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы // ФМБЦ им. А.И. Бурназяна при поддержке ФМБА России. Москва: ООО ПКФ «Алана», 2009. – С.344.

119. Павленко Т. А. Основные принципы новой системы противорадиационной защиты / Т. А. Павленко, О. А. Герман, В. Ф. Рязанцев //Довкілля та здоров'я. – 2011.– № 1.– С. 17–22.

120. Лось І.П. Еволюція системи протирадіаційної безпеки в Рекомендаціях МКРЗ 2007 року / І.П. Лось, О.М. Цимбалюк, О.Є. Тарасюк // Вестник гигиены и эпидемиологии. - 2007. - Т. 11, № 2. - С. 259-263.

121. T. Pavlenko, O. German, M. Frizyuk, N. Aksenov, A. Operchuk The Ukrainian pilot project «Stop radon» // Nuclear Technology and Radiation Protection (2014), Vol. 29, No. 2, pp. C.142–148.

122 A.M. Zarnke, S. Tharmalingam, D.R. Boreham, A.e L. Brooks BEIR VI radon: The rest of the story / Chemico-Biological Interactions 301 (2019) 81–87 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.11.012>

123. Л.А. Гайсенюк, Г.В. Кулинич, Л.Л. Стадник, Л.Г. Ланько, В.П. Лаврик Дозы облучения и клинические особенности профессиональных раков легких у горняков урановых шахт / УРЖ 2010, том XVIII, выпуск 4 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://medradiologia.org.ua/index.php?id=413>

124. A.Giussani, et all Preliminary outcomes of the ICIDOSE exercise and impact of the new models for occupational intakes. // BIO Web of Conferences 14, 03012 (2019), [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191403012>

125. А. В. Малащенко, Я. А. Накатис Эпидемиология рака легкого в условиях освоения осадочного месторождения урановой руды // Клиническая больница №3 (17), 2016. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://med122.com/news/1/Magazine_3_2016.pdf

126. ЗУ «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» Стаття 6. // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, N 22, С.115

127. ЗУ «Про видобування і переробку уранових руд» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 11-12, ст.39 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/645/97-%D0%B2%D1%80#Text>

128. ЗУ «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 12, ст.81) [Електронний

ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>

129. Оперчук А.П., Л.И. Ковалевский, И.П. Лось Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // Довкілля та здоров'я №2 (45) 2009 рік С.4-9

130. Оперчук А.П., Т.О. Павленко А.П Онкозаболеваемость персонала урановых шахт как маркер эффективности системы радиационной защиты на предприятии // Ядерна та радіаційна безпека. 2017. № 3 (75). С. 56-59.

131. Оперчук А.П. Оценка величины радиационных рисков персонала урановых шахт Украины // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. Том 13 №2 2009 год, С.285-291.

132. А.П. Оперчук Л.Л. Стадник, Л.О. Гайсенюк, Г.В. Кулініч, Характеристика умов праці та дозових навантажень гірників уранових шахт СхідГЗК з діагнозом професійний рак органів дихання // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. Том 134 №1 2010 год, С.129 – 134

133. Павленко Т.О. Оперчук А.П. Аксьонов М.В, Фризюк М.А, Федоренко О.В Особливості планування досліджень рівнів радону в повітрі будинків в рамках реалізації плану дій // Довкілля та здоров'я. 2020. № 1. С. 41-54

134. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchuk The Ukrainian Pilot Project «Stop Radon» // Nuclear Technology & Radiation Protection: Year 2014, Vol. 29, No. 2, pp. 142-148

135. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchyuk Radon Remediation Efficiency Assessment in the Kirovograd // Nuclear Technology & Radiation Protection: Year 2018, Vol. 33, No. 3, pp. 317-323

136. Оперчук А.П. Т.О. Павленко С. В. Протас, М. В. Аксьонов, О. О. Герман, А. П., Ю. М. Брюм Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської

області // матеріали науково-практичної конференції (одинадцяті марзєєвські читання) Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України 8-9 жовтня 2015 р.) Івано-Франківськ, 2015. – С. 37-39.

137. Anatolii Operchuk Professional cancer pathology uranium miners in Ukraine related to the inhalation of radioactive radon gas and radioactive dust. Radiation protection issues in fuel-manufacturing // матеріали Third European IRPA Congress 17-18 June 2010 Helsinki, Finland W52-06.

138. Оперчук А.П. Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // матеріали науково-практичної конференції «Гігієнічна наука та практика на рубежі століть». XIV з'їзд гігієністів України Ст.163-164 м. Дніпропетровськ Україна, 2004 рік.

139. Оперчук А.П. Гігієнічні аспекти радіаційної безпеки при видобутку уранових руд // «Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії» матеріали XV з'їзду гігієністів України, 20–21 вересня 2012 року ЛДМУ ім. Д. Галицького С. 352-353.

140. Оперчук А.П. Брюм Ю.М., Вечеровський В.Г. «Кіровоградська область як маркер «Радонової» проблеми України» // матеріали науково-практичної конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» м. Харків 2016 рік. С.47-54.

141. Оперчук А.П. Особливості проведення індивідуальної дозиметрії персоналу уранових шахт України. Огляд // Науково-практична конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» м. Харків 2016 рік. С.47-54.

142. Оперчук А.П. Дослідження Радону-222 в житлових приміщеннях та приміщеннях загального призначення Кіровоградської області. Протирадонові заходи // V міжнародна конференція «Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології» м. Київ; 2016 р. м. Київ ; 2017 р.

143. Tatyana Pavlenko, Anatolii Operchuk Special aspects of individual dosimetry of uranium mines staff in Ukraine // матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET Kiev 2017 ear. С.94-98.

144. Operchuk A. Brium Y., Kirovograd oblast as a marker of a radon problem in Ukraine // матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET Kiev С.124-132.

145. Оперчук А.П. Особливості проведення санітарно-епідеміологічного нагляду на підприємствах з видобутку та первинного збагачення уранових руд // матеріали міжнародної науково-практичної конференції Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (десяті марзєєвські читання). Випуск 14. М. Київ. 2014 рік.

146. Тарасюк О.С., Аксьонов М.В., Фризюк М.А., Оперчук А.П., Павленко Т.А., Федоренко О.В. Наукове обґрунтування контрзаходів щодо зменшення доз опромінення населення України від радону в повітрі приміщень громадських та житлових будівель // Монографія. Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України. Вип. 5 (результати наукових розробок 2018 р.)/ Під ред. Акад. НАМНУ А.М. Сердюка – к: Видавництво: рекламне агентство TR Studio, 2019 С. 180-210.

147. Павленко Т.О. Фризюк М.А. Аксьонов М.В. Герман О.О. Оперчук А.П. Костенецький М.І, Куцак А.В., Сєвальнев А.І., Протас С.В. Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України // МР 6.6.1. 6.2.-000-14, 2014.

148. Лось І.П., Павленко Т.О. Оперчук А.П., Аксьонов М.В., Фризюк М.А., Тарасюк О.Є., Семенюк Н.Д., Ковтонюк Н.Л., Михайленко О.В., Федоренко О.В., Кушнір Н.К., Біляєв Є.О., Савін Ю.С., Стасюк Р.К., Власюк Н.В., Герман О.О. Радіаційно-гігієнічна оцінка залишків видобутку та переробки корисних копалин з високим вмістом природних радіонуклідів// Монографія. Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України. (результати наукових розробок 2015 р.) НАМНУ; ДУ «ІГЗ НАМНУ»; за ред. акад. Сердюка А. М. 2016. С. 210.

ДОДАТОК А

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ

ДИСЕРТАЦІЇ

у наукових фахових виданнях України

1. А.П. Оперчук. Оценка величины радиационных рисков персонала урановых шахт Украины // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. 2009. Том 13 №2. С. 285-291.

2. Оперчук А.П., Л.И. Ковалевский, И.П. Лось. Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // Довкілля та здоров'я. 2009. №2 (45). С. 4-9. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

3. А.П. Оперчук, Л.Л. Стадник, Л.О. Гайсенюк, Г.В. Кулініч. Характеристика умов праці та дозових навантажень гірників уранових шахт СхідГЗК з діагнозом професійний рак органів дихання // Вестник гигиены и эпидемиологии. Донецкий национальный медицинский университет. 2010. Том 134 /№1/. С. 129–134. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

у виданнях, які входять до науково метричних баз даних, та в міжнародних фахових виданнях

4. Т.О. Павленко, А.П. Оперчук, М.В. Аксьонов, М.А Фризюк, О.В. Федоренко. Особливості планування досліджень рівнів радону в повітрі будинків в рамках реалізації плану дій // Довкілля та здоров'я. 2020. № 1. С. 41-54. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

5. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchuk. The Ukrainian Pilot Project «Stop Radon» // Nuclear Technology & Radiation Protection: 2014, Vol. 29, No. 2, pp. 142-148. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

6. Tatyana Pavlenko, Olga German, Miroslava Frizyuk, Nikolay Aksenov, Anatolii Operchuk. Radon Remediation Efficiency Assessment in the Kirovograd

// Nuclear Technology & Radiation Protection: 2018, Vol. 33, No. 3, pp. 317-323.

(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)

наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. А.П. Оперчук, Т.О. Павленко, С. В. Протас, М. В. Аксьонов, О. О. Герман, Ю.М. Брюм. Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської області // Матеріали науково-практичної конференції (одинадцяті марзеєвські читання) Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України 8-9 жовтня 2015 р.) Івано-Франківськ, 2015. С. 37-39. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

8. Anatolii Operchuk. Professional cancer pathology uranium miners in Ukraine related to the inhalation of radioactive radon gas and radioactive dust. Radiation protection issues in fuel-manufacturing //Third European IRPA Congress 17-18 june 2010 Helsinki, Finland W52-06. 2010 pp. 164-165.

9. А.П. Оперчук Состояние радиационной безопасности на урановых шахтах Украины // Матеріали науково-практичної конференції «Гігієнічна наука та практика на рубіжі століть». XIV з'їзд гігієністів України, м. Дніпропетровськ 2004. С. 163-164.

10 А.П. Оперчук. Гігієнічні аспекти радіаційної безпеки при видобутку уранових руд // «Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії». Матеріали XV з'їзду гігієністів України, 20–21 вересня 2012 року ЛДМУ ім. Д. Галицького 2012 С. 352-353.

11. А.П. Оперчук, Ю.М. Брюм, В.Г. Вечеровський Кіровоградська область як маркер «Радонової» проблеми України» // Матеріали науково-практичної конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» м. Харків 2016. С. 47-54. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

12. А.П. Оперчук. Особливості проведення індивідуальної дозиметрії персоналу уранових шахт України. Огляд // Науково-практична конференція

з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні». Харків. 2016. С. 47-54.

13. А.П. Оперчук. Дослідження радону-222 в житлових приміщеннях та приміщеннях загального призначення Кіровоградської області. Протирадоніві заходи // V міжнародна конференція «Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології», Київ. 2016. С. 38-42.

14. Tatyana Pavlenko, Anatolii Operchuk Special aspects of individual dosimetry of uranium mines staff in Ukraine //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET. Kiev. 2017. С. 94-98. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

15. Operchuk A., Brium Y. Kirovograd oblast as a marker of a radon problem in Ukraine //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції MediPIET. Kiev. 2017. С. 124-132. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

16. А.П. Оперчук. Особливості проведення санітарно-епідеміологічного нагляду на підприємствах з видобутку та первинного збагачення уранових руд // матеріали міжнародної науково-практичної конференції Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (десяті марзєєвські читання). 2014. Випуск 14. Київ. С. 282-285.

матеріали що додатково відображають результати дисертації

17. А.П Оперчук, Т.О. Павленко Онкозаболеваемость персонала урановых шахт как маркер эффективности системы радиационной защиты на предприятии // Ядерна та радіаційна безпека. 2017. № 3 (75). С. 56-59. *(Ідея роботи, збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

18. О.С. Тарасюк, М.В. Аксьонов, М.А. Фризюк, А.П. Оперчук, Т.А. Павленко, О.В. Федоренко. Наукове обґрунтування контрзаходів щодо зменшення доз опромінення населення України від радону в повітрі приміщень громадських та житлових будівель // Актуальні питання захисту

довкілля та здоров'я населення України. Вип. 5 (результати наукових розробок 2018 р.)/ Під ред. Акад. НАМНУ А.М. Сердюка – К: Видавництво: рекламне агентство TR Studio 2019. С. 180-210. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

19. Т.О. Павленко, М.А. Фризюк, М.В. Аксьонов, О.О. Герман, А.П. Оперчук, М.І. Костенецький, А.В. Куцак, А.І. Сєвальнєв, С.В. Протас. Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України // МР 6.6.1. 6.2.-000-14, 2014 *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

20. І.П. Лось, Т.О. Павленко, А.П. Оперчук, М.В. Аксьонов, М.А. Фризюк, О.Є. Тарасюк, Н.Д. Семенюк, Н.Л. Ковтонюк, О.В. Михайленко, О.В. Федоренко, Н.К. Кушнір, Є.О. Біляєв, Ю.С. Савін, Р.К. Стасюк, Н.В. Власюк, О.О. Герман. Радіаційно-гігієнічна оцінка залишків видобутку та переробки корисних копалин з високим вмістом природних радіонуклідів // Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України (результати наукових розробок 2015 р.) НАМНУ; ДУ «ІГЗ НАМНУ»; За ред. Акад. Сердюка А. М. 2016. 210 с. *(Збір, аналіз та первинне опрацювання матеріалів)*

ДОДАТОК Б

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. XIV з'їзд гігієністів України «Гігієнічна наука та практика на рубежі століть» (Дніпропетровськ, 19-21 травня 2004 року.) (виступ, публікація).
2. «Особливості проведення санітарно-епідеміологічного нагляду на підприємствах з видобутку та первинного збагачення уранових руд. Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України». (м. Київ 2014 рік.) (виступ, публікація);
3. «Special aspects of individual dosimetry of uranium mines staff in Ukraine». MediPIET (м. Київ 2017 рік.) (виступ, публікація).
4. «Kirovograd oblast as a marker of a radon problem in Ukraine. Brium Y., Operchuk A.. State Institution Ukrainian Center for Diseases Control and Monitoring of the Ministry of Health of Ukraine» MediPIET (м. Київ 2017р.) (виступ, публікація).
5. «Дослідження Радону-222 в житлових приміщеннях та приміщеннях загального призначення Кіровоградської області. Протирадонові заходи» V міжнародна конференція «Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Інноваційні технології» (м. Київ 2016 рік). (виступ, публікація).
6. «Особливості проведення індивідуальної дозиметрії персоналу уранових шахт України. Огляд». Науково-практична конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» (м. Харків 2016 рік.) (виступ, публікація).
7. Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської області. Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзеєвські читання, 2015 рік.): (м. Київ, 8-9 жовтня 2015 р.) (виступ, публікація).

8. «Professional cancer pathology uranium miners in Ukraine related to the inhalation of radioactive radon gas and radioactive dust. Radiation protection issues in fuel-manufacturing». Third European IRPA Congress (17-18 June 2010 Helsinki, Finland) (стендова доповідь, публікація).

9. «Професійна онкологічна захворюваність і стан дозиметрії персоналу уранових рудників України». «Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії» XV з'їзд гігієністів України, (20–21 вересня 2012 року ЛДМУ ім. Д. Галицького м. Львів) (виступ, публікація).

10. «Дослідження Радону-222 в житлових приміщеннях та приміщеннях загального призначення і робочих місцях Кіровоградської області. Протирадонові заходи». Науково-практична конференція «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі Марзеєвські читання)» (м. Київ 2016 рік.) (виступ публікація).

11. Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзеєвські читання) (м. Київ 2015р.) (виступ, публікація).

12. «Кіровоградська область як маркер «Радонової» проблеми України» ДУ «Інститут медичної радіології ім: С.П. Григор'єва АМН України», м. Харків, Україна Науково-практична конференція з міжнародною участю «30 років з дня катастрофи на ЧАЕС. Унікальний досвід та досягнення Харківського інституту медичної радіології в аварійному реагуванні» (м. Харків 2016 рік.)

ДОДАТОК В

(акти впровадження)

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Перший проректор
ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»
д.мед.н. проф. **І.С. Шпонька**
_____ 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Оперчук А.П. «Науково-гігієнічне обґрунтування покращення радіаційної безпеки на підприємствах з видобутку й первинному збагаченні уранових руд» у навчальний процес кафедри гігієни та екології

ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»

1. *Назва роботи:* Покращення радіаційної безпеки населення проживаючого в зоні впливу підприємств з видобутку й первинного збагачення уранових руд.

2. *Автор:* Оперчук А.П., здобувач лабораторії якості повітря ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєсва НАМН України».

3. *Пропозиція до впровадження:* Сучасна гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря житлових приміщень радоном-222 та його продуктами розпаду; особливості впливу радону-222 та його продуктів розпаду, присутніх у атмосферних викидах урановидобувних підприємств на здоров'я населення сільбищних зон, що межують з санітарно-захисними зонами уранових шахт; алгоритми вирішення задач з оцінки впливу та мінімізації ризиків для здоров'я населення сільбищних зон, розміщених поблизу об'єктів підприємств ядерно-паливного циклу.

4. *Актуальність дослідження:* особливості діяльності урановидобувних підприємств ядерно-паливного циклу полягає в їх впливі на населення проживаючого в районі технологічної діяльності. В результаті проведення буро-вибухових робіт створюються умови для посилення ексхалації радону з ґрунтів в повітря громадських приміщень та житла, що призводить до посиленого опромінення легенів в результаті до виникнення потенційного ризику для здоров'я населення через прямий вплив радону та його дочірніх продуктів розпаду.

5. *Установа-розробник:* ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєсва НАМН України».

6. *Джерела інформації:*

- Здійснення радіаційно-гігієнічного моніторингу установами Державної санітарно-епідеміологічної служби України Друк. МР 6.6.1. 6.2.-000-14, 2014 Павленко Т.О. Фризюк М.А. Аксьонов М.В. Герман О.О. Оперчук А.П. Костенецький М.І. Куцак А.В., Севальнев А.І., Протас С.В.

- The Ukrainian pilot project “Stop radon” Друк. Nuclear Technology and Radiation Protection (2014). Vol. 29, No. 2, pp. 142-148 Т. Павленко О. Герман, М. Фризюк, Н. Аксенов А. Оперчук

- Дослідження вмісту радону-222 в повітрі приміщень загального призначення та житлових будинках Кіровоградської області. Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзєсвські читання, 2015 р.): Зб. тез доп. наук.-практ. конф. Вип. 15. Т.О. Павленко С. В. Протас, М. В. Аксьонов, О. О. Герман, А. П. Оперчук, Ю. М. Брюм

7. *Базова установа, що проводить впровадження:* кафедра гігієни та екології ДЗ «ДМА».

8. *Термін впровадження:* 15.01.2020 - 30.06.2020 рр.

9. *Форма впровадження:* результати досліджень впроваджено у наукову та педагогічну діяльність під час викладання навчальної дисципліни «Гігієна та екологія».

10. *Кількість студентів, що прослухали курс:* 200.

11. *Соціально-економічний ефект:* покращення підготовки молодих фахівців з актуальних питань радіаційної гігієни повітря, захисту здоров'я населення та мінімізації ризиків, обумовлених джерелами іонізуючого випромінювання.

Відповідальний за впровадження:

Професор кафедри гігієни та екології
ДЗ «Дніпропетровська медична академія
МОЗ України»
д.мед.н., професор

 **О.А. ШЕВЧЕНКО**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
В.о. Директора ДУ «Кіровоградський
обласний лабораторний центр МОЗ
України»

Касьяненко І.І.

“15” / 2 2019 р.

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Назва пропозицій для впровадження (гігієнічні рекомендації, методи визначення шкідливих речовин в навколишньому середовищі, прогностичні моделі, алгоритми, форми організації роботи і інші.)

Алгоритм проведення моніторингових досліджень при забезпеченні радіаційного захисту населення проживаючого в зоні впливу уранових шахт

2. Ким і коли запропоновано Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», 02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50 Оперчук А.П.

(назва установи, автор
№ авторського посвідчення та № пропозиції)

3. Джерело інформації матеріали дисертації «Науково-гігієнічне обґрунтування покращення радіаційної безпеки на підприємствах з видобутку й первинному збагаченні уранових руд»

4. Впроваджено у Державній установі «Кіровоградський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України»

5. Термін впровадження: 2018 р

6. Ефективність впровадження у відповідності з критеріями, викладеними у джерелі інформації: Проведення моніторингових спостережень при забезпеченні радіаційного захисту населення проживаючого у зоні впливу уранових шахт

«15» / 2 2019 р.

**Відповідальний за
впровадження:**

Завідуючий радіологічною
лабораторією ДУ
«Кіровоградський ОЛЦ МОЗ
України»

І. І. Бабірад

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор
ДУ «Рівненський обласний
лабораторний центр МОЗ України»

Г. Сафонов

« 28 »

2019



АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Назва пропозицій для впровадження (гігієнічні рекомендації, методи визначення шкідливих речовин в навколишньому середовищі, прогностичні моделі, алгоритми, форми організації роботи і інш.)

Сучасні вимоги до забезпечення радіаційного захисту населення, проживаючого у умовах ситуації існуючого опромінення, а саме: методологія оцінки ефективних доз опромінення та радіаційних ризиків.

2. Ким і коли запропоновано Державна установа "Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України", 02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50 Оперчук А.П.

3. Джерело інформації матеріали дисертації «Науково-гігієнічне обґрунтування покращення радіаційної безпеки на підприємствах з видобутку й первинному збагаченні уранових руд».

4. Впроваджено у ДУ «Рівненський обласний лабораторний центр МОЗ України» (33028, Рівне, вул. Котляревського,3)

5. Термін впровадження: 2019 р

6. Ефективність впровадження у відповідності з критеріями, викладеними у джерелі інформації: Використання результатів наукових досліджень дозволяє розширити знання щодо сучасних вимог до забезпечення радіаційного захисту населення, проживаючого в умовах існуючого радіаційного забруднення, та практичного застосування методології з оцінки доз опромінення та радіаційних ризиків.

7. Зауваження та рекомендації: не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Заступник директора
ДУ «РОЛЦ МОЗУ»

О.Гашовська

ДОДАТОК Г1

Зразки надання підприємствами інформації щодо опромінення персоналу
категорії «А»

ОТЧЕТ 10 РТБ ЗА 2001 ГОД

Поступление радионуклидов в организм через органы дыхания.
Оценка суммарного внутреннего облучения персонала категории А.

Наименование подразделения. Основные профессии	Число контроли- руемых лиц	Среднегодовая дозовая нагрузка по ДПР в мЗв	Среднегодовая дозовая нагрузка по ДАН в мЗв	Среднегодовая суммарная дозовая нагрузка за счет внутреннего облучения в мЗв
Проходчики	79	6,613	4,556	11,169
ГРОЗ на бурении	47	7,823	5,494	13,317
ГРОЗ на добыче	29	6,145	5,175	11,320
ГРОЗ на взрывании	7	9,851	5,932	15,783
Аппаратчики	8	1,406	2,637	4,043
Крепильщики горномонтажники ГЗК	14	11,33	4,912	16,242
Машинисты электровозов	43	1,013	4,215	5,228
Персонал остальных профессий (рабочие)	320	4,381	3,948	8,329
ИТР шахта	78	1,598	3,337	4,935
ИТР управления	45	0,825	1,02	1,845
Персонал поверхност. технологич. комплекса	104	0,521	2,435	2,956
Персонал вспомогательных цехов	96	0,16	0,325	0,485
ВСЕГО	870	4,3055	3,6655	7,971

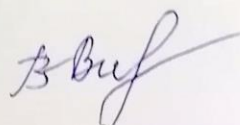
Индивидуальные дозы внешнего облучения
персонала (категории А)

Наименование подразделения. Основные профессии	Число контролируемых лиц	Среднегодовая доза внешнего облучения контролируемых лиц (мЗв)
Проходчики	79	3,910
ГРОЗ на бурении	47	3,530
ГРОЗ на добыче	29	4,930
ГРОЗ на взрывании	7	5,166
Аппаратчики	8	1,207
Крепильщики горномонт. ГЗК	14	1,785
Машинисты электровозов	43	1,123
Персонал остальных профессий (рабочие)	320	1,120
ИТР шахта	78	1,400
ИТР управления	45	0,540
Персонал повер-го технологич. комплекса	104	0,630
Персонал вспомогательных цехов	96	0,510
ВСЕГО по шахте	870	2,154

Эффективные (внешнего и внутреннего) дозы облучения персонала: числитель – доза, мЗв; знаменатель – процент персонала.

Наименование подразделения (отдельной строкой женщины до 45 лет, для категории А)	Средняя доза облучения, мЗв
Проходчики	13,704
ГРОЗ на бурении	17,740
ГРОЗ на добыче	16,265
ГРОЗ на взрывании	20,891
Аппаратчики	5,251
Крепильщики горномонт. ГЗК	18,147
Машинисты электровозов	5,337
Персонал остальных профессий (рабочие)	4,865
ИТР шахта	6,040
ИТР управления	3,089
Персонал повер-го технологич.комплекса	3,495
Персонал вспомогательных цехов	0,610
	9,6195

**Инженер по радиационной безопасности
1 категории**



В. Вахрушев

**ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И КОЛЛЕКТИВНЫЕ ДОЗЫ
ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ
ПЕРСОНАЛА КАТЕГОРИИ А**

ЗА 2000 ГОД

Наименование подразделения. Основные профессии	Число контролируемых лиц	Средняя доза облучения, мЗв
Шахта «Северная»	796	
Проходка	78	1,326
ГРОЗ бурение	47	2,535
ГРОЗ добыча	30	1,451
ГРОЗ взрывание	6	2,848
Крепильщики и горномонтажники ГЗК	15	1,220
Машинисты электровозов	31	0,832
Персонал остальных профессий (рабочие)	299	0,783
ИТР шахта	73	1,016
ИТР управление	42	0,442
Персонал поверх.технологич.комплекса	90	0,592
Персонал вспомогательных цехов	85	0,24

**Поступление радионуклидов в организм через органы дыхания.
Оценка суммарного внутреннего облучения персонала категории А.**

Наименование подразделения. Основные профессии	Число контроли- руемых лиц	Среднегодовая дозовая нагрузка по ДПР в мЗв	Среднегодовая дозовая нагрузка по ДАН в мЗв	Среднегодовая суммарная дозовая нагрузка за счет внутреннего облучения в мЗв
Шахта «Северная»	796			
Проходчики	78	4,436	2,235	6,671
ГРОЗ на бурении	47	6,463	4,308	10,771
ГРОЗ на добыче	30	3,533	2,069	5,602
ГРОЗ на взрывании	6	5,708	4,528	10,236
Крепильщики горномонтажники ГЗК	15	9,480	1,231	10,711
Машинисты электровозов	31	2,037	2,341	4,378
Персонал остальных профессий (рабочие)	299	3,315	1,934	5,249
ИТР шахта	73	3,502	1,890	5,392
ИТР управления	42	1,137	0,819	1,956
Персонал поверхност. технологич.комплекса	90	1,210	1,973	3,183
Персонал вспомогательных цехов	85	0,421	0,407	0,823

**Инженер по радиационной безопасности
1 категории**

В. Вахрушев

Довідка з індивідуальної дози
яку отримав *Іван Іванович*, **1962 року народження,**
під час роботи на Інгульській шахті
Джерела іонізуючого випромінювання

Тип і назва	Кількість	Радіаційно-гігієнічні характеристики	Умови обмеженого звільнення
Уранова руда, природний уран природні радіонукліди уранового і торієвого ряду	Розвідані запаси родовищ «Мічуринське» і «Центральне»	Питома сумарна активність в запасах уранової руди не перевищує $1,97 \cdot 10^5$ Бк/кг	ні

Доза, отримана працівником

Концентрація аерозолів пилу та величина дозового навантаження за час роботи (без врахування засобів індивідуального захисту) виходячи в середньому 100 вимірів на рік:

Рік	Пил, мг/м ³			ДПР $1 \cdot 10^{10}$ МзВ/рік	ДАНу $1 \cdot 10^{-8}$ Кі/рік	Зовнішнє опромінення Бер/рік
	Факт	макс	% перев.			
1994	1,1	1,5		2,254	0,35	0,32
1995	1,6	2,9	2,9	4,654	0,48	0,34
1996	1,7	5,9	4,0	6,254	0,45	0,56
1997	1,7	2,33	7,8	6,147	0,51	0,51
1998	1,3	2,33	7,8	7,021	0,48	0,61
Ефективна доза в мЗв/год						
1999	1,2	2,78	9,5		18,547	
2000	1,1	4,1	3,8		22,351	
2001	1,7	3,2	5,2		16,458	
2002	1,6	3,4	6,4		17,477	
2003	1,8	4,2	4,9		19,779	
2004	1,2	3,8	5,1		17,587	
2005	Дані надає ФХЛ				17,805	
2006					18,354	
2007					18,651	
2008					17,578	
2009					15,487	
ПДК	2,0 СПЭУР-86			До введення НРБУ -97 в 1999 році - 50 після 20*		2,0 НРБУ -97

* Згідно встановленому Державним департаментом ядерного регулювання Міністерства енергетики України перехідному періоду для ВостГОКа, річне дозове навантаження з 1999 по 2002 роки було відповідно по роках 45, 40, 30 та 15 мЗв/рік.

Інженер з радіаційної безпеки 1 категорії *В.Вахрушев* **В.Вахрушев**

- 3.

Концентрация аэрозолей пыли в воздухе рабочей зоны и величины дозовых нагрузок за время работы в подземных условиях характеризуются следующими данными:

2002 г

Г о д	Пыль	ДПР $\times 10^{10}$ мгв/год	ДЖАУ $\times 10^{-8}$ Ки/год	Доза бер/год
1985-				
1985	1,9	7,5	0,58	1,02
1986	2,0	9,9	0,71	1,23
1987	1,8	8,3	0,50	0,95
1988	1,6	6,5	0,43	0,71
1989	1,9	5,9	0,40	0,83
1990	1,7	5,2	0,44	0,67
1991	1,3	2,8	0,23	0,30
1992	1,5	6,5	0,38	0,53
1993	1,8	5,6	0,35	0,45
1994	1,8	4,8	0,33	0,45
1995	1,3	3,3	0,36	0,40
1996	1,7	4,7	0,41	0,38
1997	1,6	3,9	0,28	0,41
Ср.	1,7	6,0	0,41	0,64
П д у	2,0	9,6	2,5	2,0

Для защиты органов дыхания применялся респиратор ШБ-1 "лепесток" с эффективностью 60%.

Режим работы - пятидневная 36 часовая рабочая неделя в 3 смены с продолжительностью смены 7,2 часа и двумя выходными.

Отпуск 69 календарных дней.

Питание согласно рациону ЛШ №1.

Измерения выполнялись приборами ИЗВ-3М, ДРГ-01-Т1, психрометром М-34, анемометром крыльчатим типа В.

Проверка приборов произведена лабораторией метрологического обеспечения производства ЮШа ВостГЖа.

На основании распоряжения зам.министра Министерства энергетики Украины №015 - от 24.03.2000г. направить на предварительное мед-обследование в г.Евпатория Вода.

Директор Института

И.М. ЛЕЖАН



Довідка з індивідуальної дози
яку отримав [REDACTED] в [REDACTED] року народження,
під час роботи на Інгульській шахті
Джерела іонізуючого випромінювання

Тип і назва	Кількість	Радіаційно-гігієнічні характеристики	Умови обмеженого звільнення
Уранова руда, природний уран природні радіонукліди уранового і торієвого ряду	Розвідані запаси родовищ «Мічурінське» і «Центральне»	Питома сумарна активність в запасах уранової руди не перевищує $1,97 \cdot 10^5$ Бк/кг	ні

Доза, отримана працівником

Концентрація аерозолів пилу та величина дозового навантаження за час роботи (без врахування засобів індивідуального захисту) виходячи в середньому 500 вимірів на рік:

Рік	Концентрація шкідливих речовин		Сумарна доза внутрішнього опромінення, мЗв/рік	Доза зовнішнього опромінення, мЗв/рік	Ефективна доза опромінення, мЗв/рік
	Середня концентрація пилу, мг/м ³	Середня концентрація ЕРОА радону, Бк/м ³			
1997	0,8	254	3,18	0,63	3,81
1998	0,8	275	4,74	0,77	5,51
1999	0,7	187	4,83	0,80	5,63
2000	0,8	220	4,86	1,93	6,79
2001	1,2	258	4,84	1,43	6,27
2002	1,4	675	13,41	2,85	16,26
2003	1,6	520	13,41	3,05	16,46
2004	1,3	632	13,63	3,08	16,71
2005	1,4	488	14,94	3,02	17,96
2006	1,5	527	13,53	2,94	16,46
2007	1,4	598	12,87	2,77	15,63
2008	1,6	607	14,03	3,40	17,43
2009	1,5	587	12,62	2,61	15,23
2010	1,6	498	13,41	3,05	16,46
2011	1,6	487	13,48	3,07	16,55
2012	1,5	623	13,37	1,97	15,34
2013	1,4	421	10,31	1,51	11,82
Σ			181,44	38,88	220,32

* Згідно встановленому Державним департаментом ядерного регулювання Міністерства енергетики України перехідному періоду для ВостГОКа, річне дозове навантаження з 1999 по 2002 роки було відповідно по роках 45, 40, 30 та 20 мЗв/рік.

Інженер з радіаційної безпеки 1 категорії

В.Вахрушев

Лист 1

Расчет эффективной эквивалентной дозы для работников урановых рудников								
Время отработки за год, ч.:	ДАН	1500	машинист электровоза подземного					
	ДПР	1600	Смолинская шахта					
	ГАМ	1700						
Год	Ср. год. С по рудной пыли мг/м ³ (респ. фракция)	Ср. С U в пыли %	ЭОРА Rn МэВ*10 ⁴ /л ⁻¹ (доля от N)	Внешнее облучение мкР/ч (доля от N)	N _{ДАН}	N _{ДПР}	N _У	N _{ЭЭ}
1994	1	0,07	0,07	0,04	3,26	1,20	1,23	5,69
1995	1,2	0,07	0,07	0,01	3,80	1,20	0,31	5,31
1996	1,6	0,07	0,06	0,01	5,06	1,03	0,31	6,40
1997	1	0,07	0,21	0,01	3,17	3,60	0,31	7,07
1998	1	0,07	0,2	0,01	3,17	3,43	0,31	6,90
1999	1,2	0,07	0,14	0,01	3,80	2,40	0,31	6,51
2000	0,9	0,07	0,14	0,01	2,85	2,40	0,31	5,56
2001	1,2	0,07	0,14	0,01	3,80	2,40	0,31	6,51
2002	1,4	0,07	0,14	0,01	4,43	2,40	0,31	7,14
2003	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
2004	1	0,07	0,14	0,01	3,17	2,40	0,31	5,87
2005	0,7	0,07	0,14	0,01	2,22	2,40	0,31	4,92
2006	0,6	0,07	0,14	0,01	1,90	2,40	0,31	4,61
2007	0,8	0,07	0,14	0,01	2,53	2,40	0,31	5,24
2008	0,08	0,07	0,14	0,01	0,25	2,40	0,31	2,96
2009	0,08	0,07	0,14	0,01	0,25	2,40	0,31	2,96
2010	1,1	0,07	0,14	0,01	3,48	2,40	0,31	6,19
2011	1,1	0,07	0,14	0,01	3,48	2,40	0,31	6,19
2012	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
2013	1,3	0,07	0,14	0,01	4,11	2,40	0,31	6,82
Суммарная ЭЭ					62,95	46,46	7,07	116,49

ДОДАТОК Г2.

Зразки вихідних документів що використовувались для аналізу професійної онкозахворюваності

(Форма П-3)

ПОВІДОМЛЕННЯ
про професійне захворювання (отруєння)

Прізвище, ім'я та по батькові _____
Стать чол. Вік 1966 р. 46 (повних років)
Найменування підприємства, код згідно з ЄДРПОУ, реєстраційний номер підприємства у Фонді соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань _____

ШАХТА ІНГУЛЬСЬКА ДП СХІДГЗК

ЄДРПОУ _____, реєстраційний номер в ФСС ПЗ та НВ смт Смолино Кіровоградської області, Маловісковського району № _____
Орган, до сфери управління якого належить підприємство: Міністерство палива та енергетики України (ВАТ СхідГЗК)
Діагноз основний: Периферичний рак нижньої частки лівої легені з розпадом, ст. IV, T₁N₃M₁, G 3, mts в обидві легені, лімфовузли коренів легень, середостіння, кл. гр. 2.
Захворювання професійне (1 1.2013 р.)
Супутний: Хронічний холецистит. Хронічний гепатит. Хронічний пієлонефрит. Цукровий діабет, тип 2. Остеохондроз грудного відділу хребта.
Виробничий фактор, шкідлива речовина, найменування трудового процесу, що спричинив захворювання: іонізуюча радіація

Дата встановлення остаточного діагнозу _____ 0 ____ 20 ____ р.

Найменування закладу, що встановив діагноз: Державна Установа "Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України"

Реєстраційний номер повідомлення _____ від _____ 0 ____ 20 ____ р.

Головний лікар _____
(підпис) _____ (ініціали та прізвище)

Дата відправлення повідомлення _____ 0 ____ 20 ____ р.

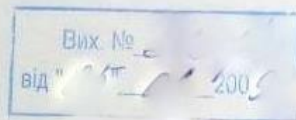
Мед. статистик – Р П Т О _____
(підпис, ініціали та прізвище (посада особи, яка надіслала повідомлення))

Дата одержання повідомлення _____ " ____ " _____ 200 ____ р.
(посада, прізвище та підпис особи, яка одержала повідомлення)

(підпис) _____ Інгурська шахта Східного ГЗК _____ (ініціали та прізвище)

ДАГО

1. г.Китровоград, ул.Дружбы Народов,3 Фонд
 2. г.Кировоград, пр-т Университетский,7/5 ОКБ
 3. Смолино, ул.Козакова,70 СЭС
 4. Смолино, шахта «Смолинская» Директору
- Д/а: _____ о, у _____ на _____ к



Додаток 14
до Порядку розслідування та ведення обліку
нещасних випадків, професійних захворювань
і аварій на виробництві

Форма П-3

ПОВІДОМЛЕННЯ про професійне захворювання (отруєння)

Прізвище, ім'я та по батькові Іванко Іван Миколайович
Стать муж. Вік 18 г.р. (6 років)

Найменування підприємства, код згідно з ЄДРПОУ, реєстраційний номер підприємства у
Фонді соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних
захворювань Шахта «Смолинская» ВОСТ ГОК

Орган, до сфери управління якого належить підприємство

Діагноз основний: Сч верхней доли левого легкого Т₃ N₁, M₀, Cт III, кл.гр.2,
пневмофиброз ЛН-II – заболевание профессиональное.

Супутній: ИБС: диффузный кардиосклероз, экстрасистолическая аритмия.
Гипертоническая болезнь II, СН О-I

Виробничий фактор, шкідлива речовина, найменування трудового процесу, що спричинив
захворювання Рудная пыль, источники ионизирующего излучения

Дата встановлення остаточного діагнозу

Найменування закладу, що встановив діагноз Клиника профессиональных заболеваний
ГУ «Институт медицины труда АМН Украины»

Реєстраційний номер повідомлення _____ від "2" 0 _____ р.

Головний лікар _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Дата відправлення повідомлення " _____ " _____ 200 _____ р.

Лікар _____
(посада особи, яка надіслала повідомлення) (підпис) (ініціали та прізвище)

Дата одержання повідомлення " _____ " _____ 200 _____ р.

Вх. № _____
1.06.05