

УДК: 616–006.6:616.441:314.82(477):613.648+632.154

**А. Є. Присяжнюк✉, Д. А. Бази́ка, Н. А. Гудзенко, М. М. Фузі́к, Н. Г. Бабкі́на,
О. М. Хухрянська, С. А. Даневич***Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна*

ЧАСТОТА РАКУ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ У НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ ТА ЙОГО ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ: ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЕНДОКРИННІ РУЙНІВНИКИ

Мета: оцінка ризику захворюваності на рак щитоподібної залози населення України у зв'язку з його опроміненням опадами радіоактивного йоду Чорнобильського походження та застосуванням пестицидів у сільськогосподарському виробництві країни.

Об'єкт дослідження: показники захворюваності на рак щитоподібної залози (РЩЗ) населення України у 2001–2019 рр.; середні обласні дози опромінення, поглинуті щитоподібною залозою, внаслідок аварії на ЧАЕС; обсяги застосування різних груп пестицидів в областях України.

Методи дослідження: статистичні, математичні, картографічні.

Результати. Дослідження, що охоплює період 2001–2019 рр., виявило істотні часові та регіональні відмінності в захворюваності населення областей України на рак РЩЗ. Встановлено існування достовірного кореляційного зв'язку показників захворюваності на РЩЗ з величиною радіаційного опромінення щитоподібної залози, пов'язаним з аварією на ЧАЕС. Встановлено існування достовірного кореляційного зв'язку показників захворюваності на РЩЗ зі ступенем інтенсивності використання пестицидів у сільському господарстві областей України. Встановлено достовірне значення показників множинної кореляції $r = 0,5866$ ($p < 0,05$) між рівнями захворюваності населення України на РЩЗ та середньообласними дозами опромінення і показниками інтенсивності застосування пестицидів у сільськогосподарському виробництві країни.

Висновки. Визначено достовірне значення показників множинної кореляції між величиною середньообласних доз радіаційного опромінення щитоподібної залози, пов'язаним з аварією на ЧАЕС і ступенем інтенсивності застосування пестицидів у народному господарстві України та показниками захворюваності на РЩЗ населення країни.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, пестициди, щитоподібна залоза, захворюваність, рак.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2023. Вип. 28. С. 176–190. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-176-190

✉ Присяжнюк Анатолій Євтихійович, e-mail: anatprys@gmail.com

A. Ye. Prsyazhnyuk✉, D. A. Bazyka, N. A. Gudzenko, M. M. Fuzik, N. G. Babkina,
O. M. Khukhrianska, S. A. Danevych

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

THYROID CANCER INCIDENCE IN THE POPULATION OF UKRAINE AND ITS EPIDEMIOLOGICAL DETERMINANTS: IONIZING RADIATION AND ENDOCRINE DISRUPTORS

Objective: to estimate the risk of thyroid cancer incidence in the population of Ukraine in connection with its exposure to radioactive iodine fallout of Chernobyl origin and the use of pesticides in agricultural production in the country.

Object of study. Incidence rates of thyroid cancer in the population of Ukraine in 2001-2019, average regional radiation doses absorbed by the thyroid because of the Chernobyl accident, the volume of use of various groups of pesticides in the regions of Ukraine.

Research methods: statistical, mathematical and cartographic.

Results. The study covering the period of 2001–2019, revealed significant temporal and regional differences in the thyroid cancer incidence in the population of the Ukraine regions in 2001–2019. The existence of a significant correlation between the thyroid cancer incidence and the amount of radiation exposure to the thyroid associated with the Chernobyl accident was established. The existence of a significant correlation between the thyroid cancer incidence and the degree of pesticide use intensity in agriculture in the Ukraine regions was established. A significant value of multiple correlation $r = 0.5866$ ($p < 0.05$) was found between the thyroid cancer incidence in Ukraine and the average regional radiation doses and the pesticide use intensity in agricultural production in the country.

Conclusions. A reliable value of the multiple correlation between the value of the average regional radiation exposure doses to the thyroid associated with the Chernobyl accident and the degree of pesticide use intensity in the national economy of Ukraine and the thyroid cancer incidence in the population was determined.

Key words: ionizing radiation, pesticides, thyroid gland, morbidity, cancer.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2023;28:176-190. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-176-190

За свідченням Міжнародного агентства дослідження раку (МАДР) виникнення 80 % злоякісних новоутворень (ЗН) зумовлено негативними побічними ефектами людської діяльності. До них належать хімічні речовини, фізичні та біологічні агенти, фармацевтичні препарати, складні суміші, професійний вплив та інші чинники. Це стосується переважної більшості нозологічних форм онкологічної патології, включно з раком щитоподібної залози (РЩЗ).

Аналізу причинних факторів виникнення РЩЗ має логічно передувати огляд його розповсюдженості. У всьому світі, за даними GLOBCAN 2022 [1], у 2020 році зареєстровано 586 000 випадків РЩЗ, що відповідає дев'ятому місцю у структурі захворюваності на ЗН. Грубий показник захворюваності на цю патологію – 7,5, стандартизований за світовим стандартом – 6,6 на 100 000 населення. В країнах Центральної та Східної Європи, які зазнали забруднення радіонуклідами Чорнобильського походження, по-

According to the International Agency for Research on Cancer (IARC), 80 % of malignant tumors caused by negative side effects of human activity. These include chemicals, physical and biological agents, pharmaceuticals, complex mixtures, occupational exposure, and other factors. This applies to the vast majority of nosological forms of cancer, including thyroid cancer.

The analysis of the causal factors of thyroid cancer should be logically preceded by an overview of its prevalence. Worldwide, according to GLOBCAN 2022 [1], 586,000 cases of thyroid cancer were registered in 2020, which corresponds to the 9th place in the structure of the malignant neoplasms incidence. The crude incidence rate of this pathology is 7.5, standardized according to the world standard – 6.6 per 100,000 population. In Central and Eastern European countries contaminated with radionuclides of Chernobyl origin, the

✉ Anatoly Ye. Prsyazhnyuk, e-mail: anatprys@gmail.com

казники захворюваності перевищують середньо-освітовий показник: у Латвії та Угорщині – 10,2, Білорусі – 9,0, Україні – 8,6 на 100 000 населення. Слід зазначити, що в деяких країнах Західної та Південної Європи, які не зазнали суттєвого забруднення радіонуклідами, показники є істотно вищими: в Італії – 16,1, Франції – 14,8, Австрії – 11,9, Португалії – 11,7. Це викликає сумніви щодо переважаючого впливу радіаційного фактору на формування рівня захворюваності на цю патологію. Тому, слід визнати, що етіологія РЩЗ вивчена недостатньо і потребує більш глибокого дослідження. Разом з тим, до цього часу єдиним добре встановленим фактором ризику є іонізуюче випромінювання, особливо коли опромінення відбулось у дитинстві.

Під час Чорнобильської аварії було викинуто в атмосферу близько 1,8 Твк ^{131}I . Більше 10 % цієї активності випало на території України. Через 4–5 років після аварії відмічено зростання захворюваності на РЩЗ дітей, а згодом і дорослих. Вважається, що це зумовлено впливом ^{131}I та спостерігається переважно в північних регіонах України з найбільшими його опадами [2].

Вивчення впродовж понад 60 років асоціативного зв'язку між радіаційним випромінюванням і ризиком виникнення РЩЗ продовжує поповнюватись новими знахідками. Ризик, спричинений опроміненням у дитячому віці, мабуть, триває все життя, хоча, схоже, він знижується впродовж тривалого часу після експозиції [3]. Разом з тим, доказів збільшення ризику РЩЗ серед тих, хто пережив атомне бомбування у дорослому віці, замало. Можливо, що різні результати досліджень зумовлені особливостями опромінення, яке спостерігалось за різних обставин радіаційного впливу.

Документ НКДАР ООН 2008 року [4] містить твердження про відсутність ризику РЩЗ у дорослих, зумовленого експозицією внаслідок Чорнобильської катастрофи. Це твердження суперечить результатам наших досліджень, які свідчать про те, що три групи постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи – учасники ліквідації наслідків аварії (ліквідатори), евакуйовані та мешканці найбільш радіоактивно забруднених територій (РЗТ) мають підвищений рівень захворюваності на РЩЗ. Наприклад, дослідження [5] частоти РЩЗ в когорті українських ліквідаторів ($n = 150\,813$) вказує на збільшення ризику цієї патології (1986–2010 рр.), $\text{SIR} = 3,50$ % (95 % ДІ: 3,04–4,03). Продовження спостереження за цією когортою до 2012 р. свідчить про подібність визначених показників захворюваності – 3,35 (95 % ДІ: 2,51–3,80) [6].

incidence rates exceed the global average: 10.2 in Latvia and Hungary, 9.0 in Belarus, and 8.6 in Ukraine per 100,000 people. It should be noted that in some countries of Western and Southern Europe that have not been significantly contaminated by radionuclides, the rates are significantly higher: Italy – 16.1, France – 14.8, Austria – 11.9, Portugal – 11.7. This raises doubts about the predominant influence of the radiation factor on the formation of the incidence of this pathology. Therefore, it should be recognized that the etiology of thyroid cancer has not been studied sufficiently and requires more in-depth research. At the same time, ionizing radiation is the only well-established risk factor, especially when exposure occurred in childhood.

During the Chornobyl accident, about 1.8 TBq of ^{131}I was released into the atmosphere. More than 10 % of this activity fell on the territory of Ukraine. In 4–5 years after the accident, an increase in the thyroid cancer incidence in children and later in adults was noted. It is believed that this is due to ^{131}I exposure and is observed mainly in the northern regions of Ukraine with the highest fallout [2].

The study of the association between radiation exposure and the risk of developing thyroid cancer has been going on for more than 60 years and continues to be updated with new findings. The risk caused by childhood exposure seems to last a lifetime, although it seems to decrease for a long time after exposure [3]. At the same time, there is little evidence of an increased risk of thyroid cancer among atomic bombing survivors in adulthood. It is possible that different study results are due to the peculiarities of exposure observed under different circumstances of radiation exposure.

The UNSCEAR document of 2008 [4] states that there is no risk of adult thyroid cancer caused by exposure to the Chornobyl disaster. This statement contradicts the results of our studies, which indicate that three groups of victims of the Chornobyl accident – liquidators, evacuees and residents of the most radioactively contaminated areas have an increased thyroid cancer incidence. For example, a study [5] of the thyroid cancer incidence in a cohort of Ukrainian liquidators ($n = 150,813$) indicates an increased risk of this pathology (1986–2010), $\text{SIR} = 3.50$ (95 % CI: 3.04–4.03). Continuation of follow-up of this cohort until 2012 indicates the similarity of the determined incidence rates – 3.35 (95 % CI: 2.51–3.80) [6].

Реалізовані ризики виникнення РЩЗ в цій когорті учасників ліквідації наслідків аварії було оцінено в аналітичному епідеміологічному дослідженні, проведеному ННЦРМ НАМН України спільно з Національним інститутом раку США [7]. Було проведено гніздове дослідження «випадок–контроль» (149 – випадків і 458 – контролів). Надлишковий відносний ризик, визначений як надлишок відношення шансів (EOR), на 1 Грей опромінення ЩЗ склав 0,40 (95 % ДІ: -0,05–1,48; p -value = 0,118).

У роботі [8] розглядається зв'язок між дозою опромінення та рівнем захворюваності на РЩЗ серед дорослих японців, які пережили атомне бомбардування міст Хіросіми та Нагасакі. Зроблено висновок, що експозиція до іонізуючого випромінювання в зрілому віці позитивно асоціювалася з РЩЗ тільки у жінок, хоча, схоже, що цей ризик нижчий, ніж у тих, хто зазнав опромінення в дитинстві. Атрибутивний радіаційний ризик РЩЗ склав 25 %.

Слід зазначити, що поряд з радіаційним опроміненням існують докази того, що інші фактори (надмірна маса тіла, великий зріст, гормональний вплив і деякі забруднювачі навколишнього середовища) можуть відігравати суттєву роль в етіології РЩЗ [9]. Оскільки у більшості країн світу починаючи з 80-х років минулого століття спостерігається швидке зростання рівня захворюваності та відносна стабільність або навіть зниження показників смертності [9, 10], таке зростання частоти РЩЗ здебільшого пов'язують з впровадженням широко доступного ультразвукового дослідження разом зі збільшенням використання інших діагностичних методів візуалізації [11, 12]. Це, ймовірно, призвело до широкого виявлення та діагностики великого числа субклінічних, прихованих уражень ЩЗ, які, як відомо, притаманні ситуації у загальній популяції [13, 14].

Слід зауважити, що радіаційне опромінення в генезі РЩЗ не вичерпує перелік факторів, відповідальних за ризик виникнення цієї патології. Серед інших чинників навколишнього середовища у виникненні та прогресуванні онкологічних захворювань істотну роль відіграють ендокринні руйнівники (дизраптори). Ендокринні руйнівники є сполуками з переважно естрогенною активністю і з огляду на те, що останнім часом природні естрогени відносять до канцерогенів [15], ендокринні руйнівники можна розглядати як онкогенні чинники. Ендокринні руйнівники – це екзогенні речовини антропогенного походження – пестициди, поліхлоровані біфеніли, бісфенол А, полібромідні дифенілові ефіри, фталати та ін. До ендокринних руйнівників належить дихлордифенілтрихлоре-

The developing thyroid cancer realized risks in this cohort of accident liquidators assessed in an analytical epidemiological study conducted by the NRCRM of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine in collaboration with the US National Cancer Institute [7]. A nested case–control study was conducted (149 cases and 458 controls). The excess relative risk, defined as the excess odds ratio (EOR), per 1 Gray of thyroid irradiation was 0.40 (95 % CI: -0.05; 1.48; p -value = 0.118).

Study [8] examines the relationship between radiation dose and the thyroid cancer incidence among Japanese adults who survived the atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki. It is concluded that exposure to ionizing radiation in adulthood was positively associated with thyroid cancer only in women, although this risk seems to be lower than in those exposed in childhood. The attributable radiation risk of thyroid cancer was 25 %.

It is worth noting, there is evidence that other factors (overweight, height, hormonal effects, and certain environmental pollutants) may play a significant role in the thyroid cancer etiology along with radiation exposure [9]. Since most countries have experienced a rapid increase in the incidence rate and a relative stability or even decline in mortality rates since the 1980s [9, 10], this increase in the thyroid cancer incidence is mainly associated with the introduction of widely available ultrasound along with the increased use of other diagnostic imaging methods [11, 12]. This has probably led to the widespread detection and diagnosis of a large number of subclinical, occult thyroid lesions that are known to be common in the general population [13, 14].

It should be noted, radiation exposure in the genesis of thyroid cancer does not exhaust the list of factors responsible for the risk of this pathology. Among other environmental factors, endocrine disruptors play a significant role in the onset and cancer progression. Endocrine disruptors are compounds with predominantly estrogenic activity and given that natural estrogens have been classified recently as carcinogens [15], endocrine disruptors can be considered as oncogenic factors. Endocrine disruptors are exogenous substances of anthropogenic origin – pesticides, polychlorinated biphenyls, bisphenol A, polybrominated biphenyl ethers, phthalates, etc. Endocrine disruptors include dichlorodiphenyl-

тан (ДДТ і його метаболіт дихлордифенілдіхлоретан (ДДД)) — інсектицид, що повсюдно використовували впродовж 70 років в т. ч. в індивідуальних господарствах України для боротьби зі шкідниками картоплі, а також перхлорати, що є компонентами ракетного палива і побутових миючих засобів. Разом з тим, якщо розповсюдження ДДТ має рівномірно глобальний характер і меншою мірою впливає на статистичні залежності, на наявність перхлоратів у навколишньому середовищі впливають колишні військові об'єкти, зокрема в Миколаївській та Житомирській областях. Показано, що крім фізіологічної дії естрогенів, в організмі ці гормони при порушенні ендокринної регуляції беруть участь у процесі виникнення більшості випадків раку молочної залози, яєчників, матки і ЩЗ [16].

Всупереч численним доказам шкідливого впливу ендокринних руйнівників на ЩЗ, кількість епідеміологічних досліджень з вивчення зв'язків між експозицією до цих хімічних сполук та частотою РЩЗ, а також досліджень, зосереджених на вивченні причетності окремих хімічних речовин навколишнього середовища до зростання частоти РЩЗ, залишається обмеженою.

Приведений аналіз даних літератури свідчить про необхідність поглибленого вивчення впливу комплексу негативних чинників довкілля, включаючи іонізуюче опромінення, естрогенні руйнівники (пестициди), на ризик виникнення РЩЗ в популяції в цілому та групах населення, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінка ризику захворюваності на РЩЗ населення України у зв'язку з його опроміненням опадами радіоактивного йоду Чорнобильського походження та застосуванням пестицидів у сільськогосподарському виробництві країни.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Об'єктами дослідження були:

1. Показники захворюваності на РЩЗ населення України у 2001–2019 рр. Джерело інформації — довідка щорічних бюлетенів та інших публікацій Національного канцер-реєстру України (НКРУ) за 19-річний період часу.
2. Захворюваність на ЗН різних груп населення України. Джерело інформації: науковий звіт «Епідеміологічне дослідження формування ризиків злоякісних новоутворень у групах постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС (1990–2019 рр.)» [17].

trichloroethane (DDT and its metabolite dichlorodiphenyldichloroethane (DDD)), an insecticide that has been widely used for 70 years, including in individual households in Ukraine to control potato pests, as well as perchlorates, which are components of rocket fuel and household detergents. At the same time, while the distribution of DDT is uniformly global character and less affect by statistical dependencies, the presence of perchlorates in the environment influenced by former military facilities, in particular in Mykolaiv and Zhytomyr regions. It is show that in addition to the physiological effects of estrogens, these hormones are involved in the process of most cases of breast, ovarian, uterine and thyroid cancer in the body in case of endocrine regulation disorders [16].

Despite the abundant evidence of the harmful effects of endocrine disruptors on the thyroid gland, the number of epidemiological studies examining the relationship between exposure to these chemicals and the incidence of thyroid cancer, as well as studies focusing on the involvement of individual environmental chemicals in the increase of the thyroid cancer incidence, remains limited.

The presented analysis of the literature data indicates the need for an in-depth study of the impact of a complex of negative environmental factors, including ionizing radiation, estrogenic disruptors (pesticides) on the thyroid cancer risk in the general population and population groups affected by the Chernobyl accident.

OBJECTIVE

To estimate the risk of thyroid cancer incidence in the population of Ukraine in connection with its exposure to radioactive iodine fallout of Chernobyl origin and the use of pesticides in agricultural production in the country.

MATERIALS AND METHODS

The objects of the study were:

1. Incidence rates of thyroid cancer in the population of Ukraine in 2001–2019. The source of information is a selection of annual bulletins and other publications of the National Cancer Registry of Ukraine (NCRU) for a 19-year period.
2. The incidence of malignant tumors among different population groups in Ukraine. Source of information: scientific report «Epidemiological study of the formation of risks of malignant tumors in groups affected by the Chernobyl accident (1990–2019)» [17].

3. Середні обласні поглинуті ЩЗ дози опромінення. Джерело інформації – Національна доповідь. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Київ: КІМ, 2011. 356 с. [18].

4. Обсяги застосування різних груп пестицидів в областях України. Джерело інформації: Національний огляд «Ендокринні руйнівники в Україні: стан проблеми та шляхи її вирішення» / за ред. А. М. Сердюка, Д. А. Базики та ін. Київ: Медінформ, 2018. 156 с. [19].

У поточному дослідженні для виконання розрахунків використані дані про середньообласні дози опромінення ¹³¹I щитоподібної залози (ЩЗ) [18].

Для оцінки зв'язку таких ендокринних руйнівників, як пестициди, з рівнем захворюваності на РЩЗ використані дані [19]. При проведенні розрахунків використані цифрові дані про загальні обсяги застосування пестицидів, посівні площі областей України та чисельність населення у кожній області. Для розрахунків інтенсивності застосування пестицидів застосовані інтенсивні показники, виражені формулою дробу:

$$\text{пестициди (кг)} / \sqrt{\text{люд (n)} \times \text{площа (га)}}$$

Доцільність застосування цієї формули обґрунтовується тим, що вона є похідною двох показників інтенсивності застосування пестицидів: на одиницю існуючої посівної площі (га) та на одного мешканця конкретної області. Потім отримані показники перемножувались та з отриманого добутку вилучався квадратний корінь.

Суттєвою часткою роботи був картографічний аналіз розподілу як факторіальних (радіаційна складова, пестициди) так і результативних показників захворюваності на РЩЗ. Для АР Крим, Донецької та Луганської областей показники захворюваності на РЩЗ у 2001–2019 рр. складались із двох частин: реальних цифрових величин за 2001–2013 рр. та розрахункових оцінок шляхом екстраполяції у 2014–2019 рр.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для візуальної оцінки територіальних особливостей розподілу доз опромінення населення різних регіонів України використано картограму рівня забруднення ¹³¹I внаслідок аварії на ЧАЕС у обласному розрізі України [18] (рис. 1).

Приведена картограма свідчить, що у 5 північних областях України спостерігався найвищий рівень середньообласних поглинених ЩЗ доз опромінення внаслідок забруднення опадами ¹³¹I, який перевищив 35 мГр (Черкаська – 49 мГр, Чернігівська – 50 мГр,

3. Average regional radiation doses absorbed by the thyroid gland. The source of information is the National Report. Twenty-five Years of the Chernobyl Disaster. Safety of the Future. Kyiv: KIM; 2011. 356 p. [18].

4. Volumes of application of different groups of pesticides in the regions of Ukraine. Source: National review «Endocrine disruptors in Ukraine: the state of the problem and ways to solve it» / A. Serdyuk, D. Bazyka et al. Kyiv: Medinform; 2018. 156 p. [19].

Data on average regional doses of ¹³¹I exposure to the thyroid gland were used to perform calculations in the current study [18].

Data from [19] were used to assess the association of such endocrine disruptors as pesticides with the thyroid cancer incidence. The calculations were based on digital data on the total volume of pesticide use, sown areas of Ukrainian regions, and population in each region. To calculate the intensity of pesticide use, intensive indicators expressed by the fraction formula were used:

$$\text{pesticides (kg)} / \sqrt{\text{persons (n)} \times \text{area (ha)}}$$

The expediency of using this formula is justified by the fact that it is the derivative of two indicators of pesticide application intensity: per unit of existing sown area (ha) and per capita in a particular oblast. Then, the obtained indicators were multiplied and the square root was removed from the product.

A significant part of the work was a cartographic analysis of the distribution of both factor (radiation component, pesticides) and outcome indicators of thyroid cancer incidence. For the Autonomous Republic of Crimea, Donetsk and Luhansk oblasts, the incidence rates of thyroid cancer in 2001–2019 consisted of two parts: real digital values for 2001–2013 and calculated estimates by extrapolation in 2014–2019.

RESEARCH RESULTS

For visually assess the territorial features of the distribution of radiation doses to the population of different regions of Ukraine, a cartogram of the level of ¹³¹I contamination due to the Chernobyl accident in the regional context of Ukraine was used [18], (Fig. 1).

This cartogram shows that five northern regions of Ukraine had the highest level of average regional thyroid doses absorbed by ¹³¹I fallout, which exceeded 35 mGy (Cherkasy – 49 mGy, Chernihiv – 50 mGy,



Рисунок 1. Середні обласні поглинені щитоподібною залозою дози опромінення (мГр) населення регіонів України внаслідок аварії на ЧАЕС

Figure 1. Average regional thyroid absorbed radiation doses (mGy) of the population of Ukraine's regions due to the Chernobyl accident



Рисунок 2. Інтенсивність застосування пестицидів (у перерахунку на площу та чисельність населення) в областях України у 2001–2012 рр.

Figure 2. Intensity of pesticide use (in terms of area and population) in the regions of Ukraine in 2001–2012

Рівненська – 62 мГр, Київська – 71 мГр, Житомирська – 81 мГр).

Географічне віддзеркалення територіальних особливостей інтенсивності застосування пестицидів у розрізі областей відображено на картограмі рис. 2.

Картограма засвідчує існування певних територіальних відмінностей інтенсивності застосування пестицидів на території України, що може бути пов'язано з особливостями сільськогосподарського виробництва відповідно до кліматично-географічних та виробничо-економічних умов господарювання (див. рис. 2). Найбільш інтенсивне застосування пестицидів мало місце у середній географічній полосі України: Хмельницькій, Вінницькій, Черкаській, Кіровоградській, Полтавській, Сумській областях. Коефіцієнт інтенсивності їх застосування становив від 1 до 1,23. Дещо нижчі показники – 0,70–0,99 відмічені у Тернопільській та трьох південних регіонах: Миколаївській, Херсонській областях та АР Крим. У переважній більшості областей півночі: Рівненській, Житомирській, Київській, Чернігівській, у яких спостерігались найвищий рівень забруднення опадами ¹³¹I, коефіцієнт інтенсивності застосування пестицидів склав 0,5–0,69 умовних одиниць. Тобто це відповідає рівню застосування пестицидів, близькому до середнього. Таку саму інтенсивність відмічено в Одеській, Чернівецькій областях та трьох областях сходу та півдня: Харківській, Дніпропетровській та Запорізькій. Найменший коефіцієнт інтенсивності застосування пестицидів – 0,20–0,49 відмічено на крайньому сході та заході країни: Донецькій, Луганській, Волинській, Львівській, Івано-Франківській та Закарпатській областях.

Результативні показники дослідження, якими є рівень та динаміка захворюваності населення України на РЩЗ, представлені на рисунку 1 [17]. Захворюваність на РЩЗ в доаварійний період характеризувалась низькими показниками (1–2 випадки на 100 000 населення) і поступовим зростанням впродовж 1962–1979 рр. (рис. 3). Після аварії на ЧАЕС темпи зростання значно прискорилися. Показники 2012–2019 рр. у жіночої популяції були в 4 рази, а в чоловічої – у 3 рази вищими за очікуваний спонтанний рівень.

Серед можливих причин інтенсивного зростання частоти РЩЗ, перш за все, слід розглядати вплив радіаційної складової. Результати тридцятирічного моніторингу частоти РЩЗ з урахуванням середньообласних доз опромінення ЩЗ ілюструє рисунок 4, де продемонстровано показники рівня та динаміки захворюваності на РЩЗ двох груп населення України: мешканців регіонів з відносно високими середньооб-

Rivne – 62 mGy, Kyiv – 71 mGy, Zhytomyr – 81 mGy).

Cartogram on the Fig. 2 shows the geographical reflection of the territorial features of the intensity of pesticide use in the context of regions.

Cartogram shows that there are certain territorial differences in the intensity of pesticide use in Ukraine, which may be related to the peculiarities of agricultural production in accordance with climatic and geographical, production and economic conditions (see Fig. 2). The most intensive use of pesticides took place in the middle geographical area of Ukraine: Khmelnytskyi, Vinnytsia, Cherkasy, Kirovohrad, Poltava and Sumy regions. The intensity coefficient of their use ranged from 1 to 1.23. Somewhat lower rates of 0.70–0.99 were recorded in Ternopil and three southern regions: Mykolaiv and Kherson regions and the Autonomous Republic of Crimea. In the vast majority of northern regions: Rivne, Zhytomyr, Kyiv, Chernihiv, which had the highest level of ¹³¹I fallout contamination, the intensity coefficient of pesticide use was 0.5–0.69 conventional units. This corresponds to a level of pesticide use close to the average. The same intensity was observed in Odesa and Chernivtsi regions and three regions in the east and south: Kharkiv, Dnipro, and Zaporizhzhia regions. The lowest pesticide application intensity coefficient – 0.20–0.49 – was recorded in the far east and west of the country: Donetsk, Luhansk, Volyn, Lviv, Ivano-Frankivsk, and Zakarpattia regions.

The results of the study, namely the level and dynamics of thyroid cancer incidence in Ukraine, are shown in Figure 3 [17]. The thyroid cancer incidence in the pre-accident period was characterized by low rates (1–2 cases per 100,000 population) and a gradual increase during 1962–1979. After the Chernobyl accident, the growth rate accelerated significantly. The rates in the female population were 4 times and in the male population 3 times higher than the expected spontaneous level in 2012–2019.

To analyze the possible causes of the intensive increase in the thyroid cancer incidence the impact of the radiation component should be considered first. Figure 4 illustrates the results of thirty years monitoring of the thyroid cancer incidence, taking into account the average regional doses of thyroid irradiation. It demonstrates the level and dynamics of thyroid cancer incidence in two groups of the Ukrainian population: residents of regions with rel-

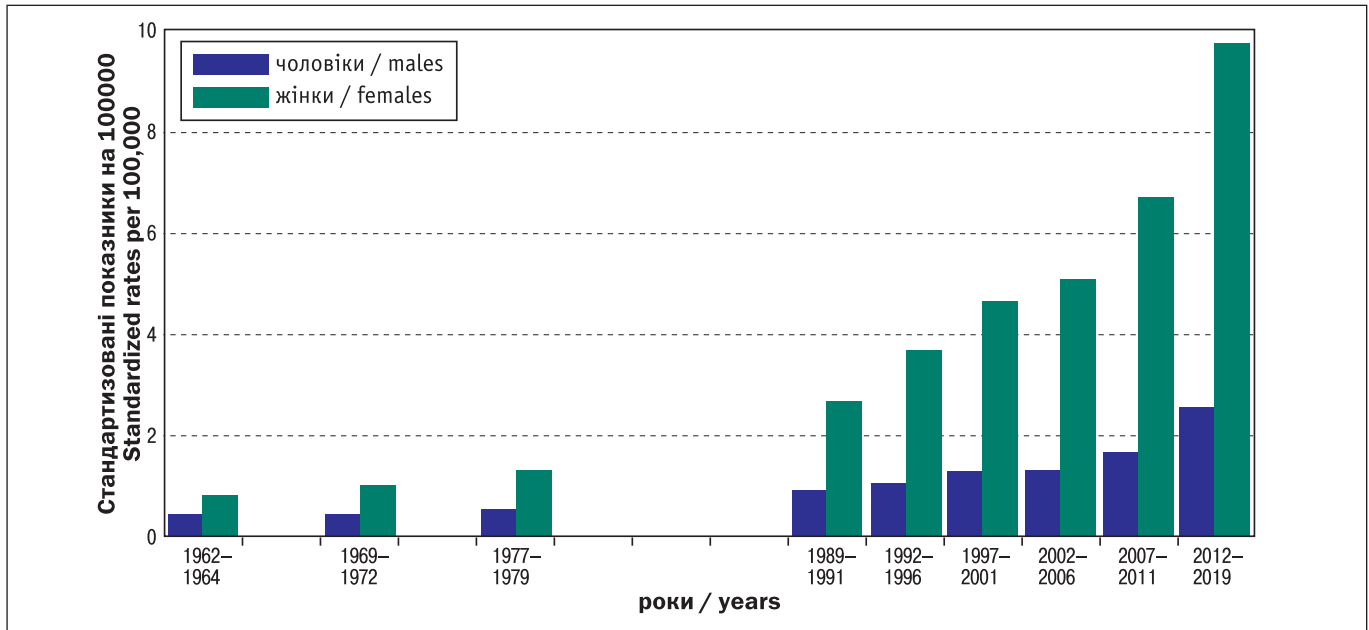


Рисунок 3. Рівень та динаміка захворюваності на РЦЗ чоловічого та жіночого населення України у 1962–2019 рр.

Figure 3. Thyroid cancer incidence and dynamics among males and females in Ukraine in 1962–2019

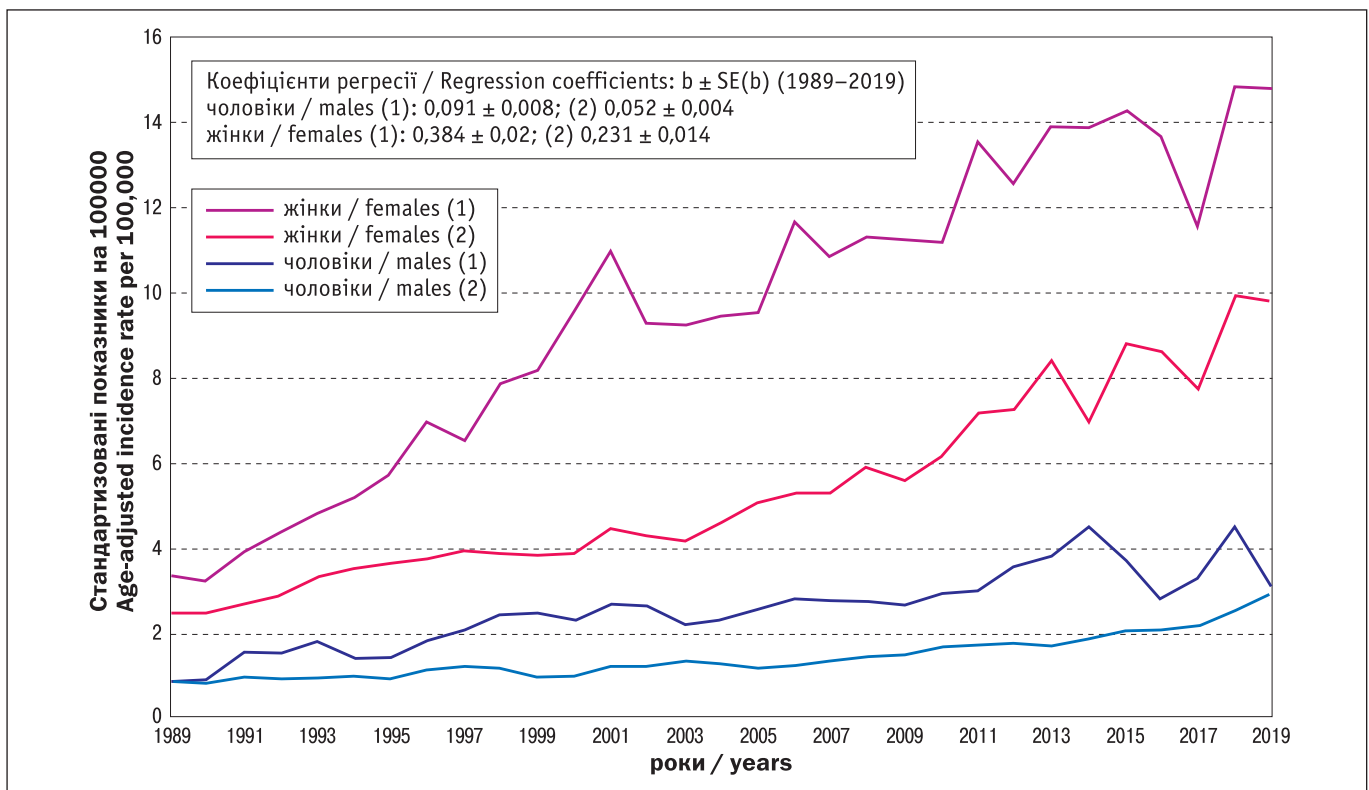


Рисунок 4. Рівень та динаміка захворюваності населення областей України на РЦЗ з урахуванням величини показників середньообласних доз опромінення ЩЗ (> 35 мГр та < 35 мГр)

Figure 4. Thyroid cancer incidence and dynamics in the population of Ukrainian regions, taking into account the value of the average regional doses of thyroid irradiation (> 35 mGy and < 35 mGy)

ласними дозами опромінення ЩЗ радіоактивним йодом (доза > 35 мГр) – Житомирська, Київська, Рівненська, Черкаська, Чернігівська області та м. Київ, і решти областей України (доза < 35 мГр).

atively high average regional doses of thyroid exposure to radioactive iodine (doses > 35 mGy) – Zhytomyr, Kyiv, Rivne, Cherkasy, Chernihiv regions and the city Kyiv, and other regions of Ukraine (doses < 35 mGy).

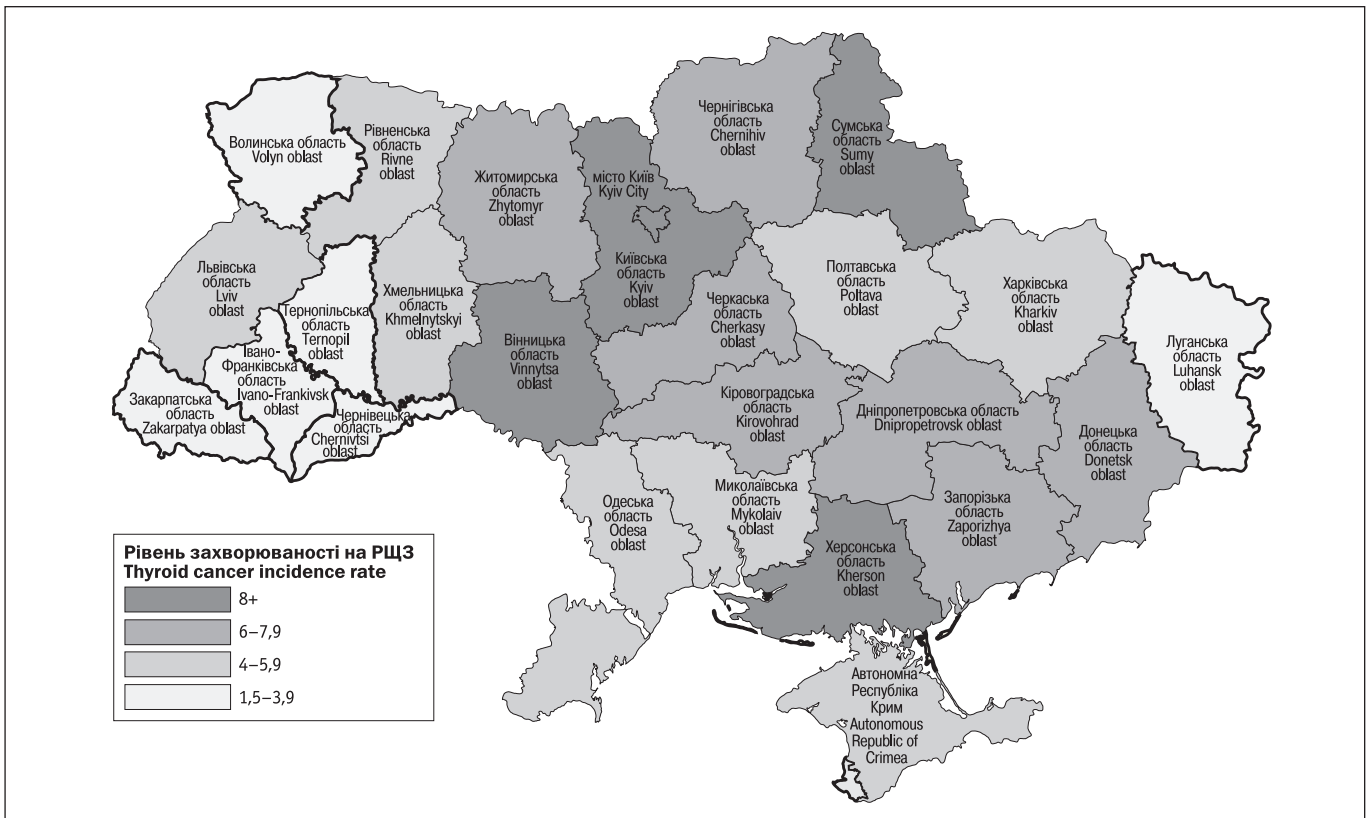


Рисунок 5. Територіальна диференціація захворюваності населення України на РЩЗ у 2001–2019 рр. (стандартизовані за світовим стандартом показники на 100 000 мешканців)

Figure 5. Territorial differentiation of the incidence of thyroid cancer in Ukraine in 2001-2019 (standardized rates per 100,000 inhabitants)

Рисунок 4 свідчить про існування більш високого рівня захворюваності на РЩЗ жіночого та чоловічого населення північних територій України з середньообласними дозами опромінення ЩЗ > 35 мГр порівняно з показниками решти областей з рівними доз, нижчими за 35 мГр. Трендові моделі також констатують більш високі темпи зростання показників у північних областях та статистично значущу різницю ($p < 0,01$) між коефіцієнтами регресії. Аналіз цих показників у розрізі окремих областей виявив особливості динаміки зростання, що засвідчили зростання захворюваності на РЩЗ в усіх областях України, без винятку, хоча при цьому спостерігається суттєва різниця за темпами зростання в окремих регіонах.

Медико-географічну територіальну диференціацію частоти РЩЗ в Україні у 2001–2019 рр. демонструє рис. 5.

Дані картограми свідчать про особливості територіального розподілу областей з високими, середніми і низькими показниками захворюваності на РЩЗ. Середній для всієї країни показник становить $5,10 \times 10^{-5}$.

Високі ($> 8 \times 10^{-5}$) показники захворюваності відмічені у мешканців Вінницької — $8,28 \times 10^{-5}$,

Figure 4 shows that there is a higher thyroid cancer incidence in the female and male population of the northern territories of Ukraine with average regional doses of thyroid irradiation > 35 mGy compared to the rest of the regions with lower dose levels < 35 mGy. Trend models also show higher growth rates in the northern regions and a statistically significant difference ($p < 0.01$) between the regression coefficients. The analysis of these indicators in the context of individual regions revealed peculiarities of the growth dynamics, which showed an increase in the thyroid cancer incidence in all regions of Ukraine, without exception, although there is a significant difference in the growth rate in individual regions.

Figure 5 demonstrates the medico-geographical territorial differentiation of the thyroid cancer incidence in Ukraine in 2001–2019.

The data on the cartogram in Fig. 5 shows the specifics of the territorial distribution of regions with high, medium, and low rates of thyroid cancer incidence. The average rate for the whole country is 5.10×10^{-5} .

High ($> 8 \times 10^{-5}$) incidence rates were observed in residents of Vinnytsia — 8.28×10^{-5} , Sumy — 8.36×10^{-5} ,

Сумської – $8,36 \times 10^{-5}$, Херсонської – $9,10 \times 10^{-5}$, Київської – $12,68 \times 10^{-5}$ областей та м. Києва – $13,83 \times 10^{-5}$. Серед перелічених регіонів тільки Київська область та м. Київ відносяться до територій інтенсивного радіаційного забруднення ^{131}I . Усі інші, разом з Чернігівською – $7,36 \times 10^{-5}$ та Черкаською – $7,54 \times 10^{-5}$, у яких відмічено інтенсивне забруднення ^{131}I , належать до регіонів переважно сільськогосподарського профілю народного господарства. Вінницька, Сумська, Херсонська області, де відмічено високий рівень захворюваності на РЩЗ, належать до регіонів переважно сільськогосподарської орієнтації народного господарства та високого рівня застосування пестицидів.

Успереч очікуванню, порівняно невисокі показники захворюваності визначаються у населення Волинської – $2,23 \times 10^{-5}$, Рівненської – $4,25 \times 10^{-5}$ та Житомирської – $6,81 \times 10^{-5}$ областей з підвищеним рівнем опадів ^{131}I , які до того ж належать до йододефіцитних територій.

У високоіндустріалізованих областях з порівняно невеликими середньообласними дозами ^{131}I – 4,5–8,8 мГр захворюваність на РЩЗ реєструється на вищому за середній по країні рівні: у Донецькій – $6,55 \times 10^{-5}$, Дніпропетровській – $6,48 \times 10^{-5}$, Запорізькій – $6,93 \times 10^{-5}$.

У південній групі областей з відносно невеликими середньообласними дозами опромінення (5,1–12 мГр) рівень захворюваності на РЩЗ був близьким до середнього значення по країні: Миколаївській – $5,04 \times 10^{-5}$, Одеській – $5,28 \times 10^{-5}$, АР Крим – $5,87 \times 10^{-5}$.

Низький рівень захворюваності відмічено у західних областях, де показники середньообласних доз опромінення – 2,7–6,7 мГр мають найменше значення: Закарпатській – $1,55 \times 10^{-5}$, Івано-Франківській – $2,39 \times 10^{-5}$, Чернівецькій – $2,68 \times 10^{-5}$, Тернопільській – $3,52 \times 10^{-5}$, а також східній Луганській області – $2,87 \times 10^{-5}$.

Приведені дані, які демонструють величини факторіальних та результативних ознак дають підстави для проведення розрахунків щільності зв'язку поміж ними. Це ілюструється коефіцієнтами кореляції, що характеризують щільність зв'язку між результатом і відповідним діючим фактором. Розрахований коефіцієнт кореляції між середньообласними дозами опромінення та рівнем захворюваності на РЩЗ склав – 0,4187 ($p < 0.05$). Отриманий результат підтверджує існування достовірного зв'язку між середньообласними дозами опромінення ЩЗ та рівнем захворюваності на РЩЗ.

З метою пошуку ймовірної складової у формуванні рівня захворюваності на РЩЗ здійснені розрахунки

Kherson – 9.10×10^{-5} , Kyiv – 12.68×10^{-5} regions and Kyiv – 13.83×10^{-5} . Among these regions, only Kyiv region and the Kyiv city belong to the areas of intensive radiation contamination with ^{131}I . At the same time, in some areas contaminated with ^{131}I radionuclides, there are not such high thyroid cancer incidence (in Chernihiv Oblast – 7.36×10^{-5} and Cherkasy Oblast – 7.54×10^{-5}). The latter are areas of predominantly agricultural economy. Vinnytsia, Sumy, and Kherson oblasts, which have a high thyroid cancer incidence, are regions with a predominantly agricultural economy and a high level of pesticide use.

Contrary to expectations, relatively low incidence rates are found in the population of Volyn (2.23×10^{-5}), Rivne (4.25×10^{-5}), and Zhytomyr (6.81×10^{-5}) regions with high precipitation ^{131}I , which also belong to iodine-deficient areas.

In highly industrialized regions with relatively low average regional doses of ^{131}I (4.5–8.8 mGy), the thyroid cancer incidence is registered at a level higher than the national average: Donetsk – 6.55×10^{-5} , Dnipropetrovsk – 6.48×10^{-5} , Zaporizhzhya – 6.93×10^{-5} .

In the southern group of regions with relatively low average regional doses (5.1–12 mGy), the thyroid cancer incidence was close to the national average: Mykolaiv region – 5.04×10^{-5} , Odesa region – 5.28×10^{-5} , and the Autonomous Republic of Crimea – 5.87×10^{-5} .

A low incidence rate was noted in the western regions, where the average regional doses of 2.7–6.7 mGy are the lowest: Zakarpattia – 1.55×10^{-5} , Ivano-Frankivsk – 2.39×10^{-5} , Chernivtsi – 2.68×10^{-5} , Ternopil – 3.52×10^{-5} , and eastern Luhansk – 2.87×10^{-5} .

The given data, which demonstrate the values of the factorial and effective signs, provide grounds for calculating the density of the connection between them. This is illustrated by correlation coefficients characterizing the density of the connection between the result and the relevant operating factor. The calculated correlation coefficient between the average regional radiation doses and the thyroid cancer incidence was 0.4187 ($p < 0.05$). This result confirms the existence of a significant relationship between the average regional doses of thyroid irradiation and the thyroid cancer incidence.

In order to search for a possible component in the formation of the thyroid cancer incidence, we

Таблиця 1

Кореляційний зв'язок поміж показниками застосування пестицидів та рівнем захворюваності на РЩЗ в Україні

Table 1

Correlation between pesticide use and the rate of the thyroid cancer incidence in Ukraine

Група пестицидів Group of pesticides	Поточні розрахунки r Current calculations r	p	Розрахунки [19] r Calculations [19] r	p
Фунгіциди / Fungicides	-0,0667	> 0,05	0,180	> 0,05
Гербіциди / Herbicides	0,4369	< 0,05	0,512	< 0,05
Інсектициди / Insecticides	0,4244	< 0,05	0,441	< 0,05
Разом / Total	0,4597	< 0,05	0,491	< 0,05

показників кореляції між інтенсивністю застосування пестицидів та рівнем захворюваності на РЩЗ. Цей показник складає – 0,4597 ($p < 0,05$), що свідчить про достовірний зв'язок між аналізованими складовими. Окрім того, виконані розрахунки величини показників кореляції захворюваності на РЩЗ та окремими видами пестицидів, що використовуються у народному господарстві країни. Отримані результати порівнянні з розрахунками, приведеними у публікації [19], (табл. 1).

Привертає увагу подібність отриманих результатів у обох серіях розрахунків. Встановлено відсутність достовірного зв'язку між обсягами застосування фунгіцидів і захворюваністю на РЩЗ. Поміж застосуванням двох інших видів пестицидів – гербіцидів та інсектицидів і захворюваністю на РЩЗ існує достовірний зв'язок ($p < 0,05$). Така сама залежність існує щодо всіх сумарно видів пестицидів і рівнем захворюваності на РЩЗ.

Помітна різниця цифрових показників у наших розрахунках та дослідженні [19] може бути пов'язана з використанням у поточному дослідженні коректних, з нашої точки зору, показників інтенсивності застосування пестицидів на противагу практиці застосування для розрахунків показників валових обсягів.

Щільність спільного впливу аналізованих факторів дає змогу оцінити коефіцієнт множинної кореляції. Коефіцієнт множинної кореляції (або сукупний коефіцієнт кореляції) залежності рівня захворюваності на РЩЗ від середньообласних доз опромінення ЩЗ та інтенсивності застосування пестицидів дорівнює 0,5866 ($p < 0,05$), тобто має місце висока ступінь достовірності отриманих розрахунків.

Частковий (парціальний) коефіцієнт множинної кореляції характеризує щільність зв'язку між результатом і відповідним фактором при усуненні впливу інших факторів. Між показниками захво-

calculated the correlation between the intensity of pesticide use and the thyroid cancer incidence. This indicator is – 0.4597 ($p < 0.05$), which indicates a reliable relationship between the analyzed components. In addition, we calculated the value of the correlation between the thyroid cancer incidence and certain types of pesticides used in the national economy. We compared the results with the calculations presented in publication [19], (Table 1).

The similarity of the results obtained in both series of calculations is noteworthy. There was no significant relationship between the volume of fungicide use and the thyroid cancer incidence. There is a significant relationship between the use of two other types of pesticides – herbicides and insecticides – and the thyroid cancer incidence ($p < 0.05$). The same relationship exists for all types of pesticides in total and the thyroid cancer incidence.

The noticeable difference between the figures in our calculations and the study [19] may be due to the use of intensity indicators of pesticide use, which to some extent individualize exposure to these substances, taking into account the population and the size of the sown area of the studied regions. In contrast, the study [19] provides indicators of gross pesticide use.

The density of the joint influence of the analyzed factors makes it possible to estimate the multiple correlation coefficient. The coefficient of multiple correlation (or total correlation coefficient) of the dependence of the thyroid cancer incidence on the average regional doses of thyroid irradiation and the intensity of pesticide use is 0.5866 ($p < 0.05$), i. e., there is a high degree of reliability of the calculations obtained.

The partial coefficient of multiple correlation characterizes the density of the relationship between the result and the relevant factor when eliminating the influence of other factors. Between the thyroid can-

рюваності на РЩЗ та середньообласними дозами опромінення (при усуненні впливу фактору пестицидів) цей показник становить 0,4502 ($p < 0,05$). Між показниками захворюваності на РЩЗ та інтенсивністю застосування пестицидів (при усуненні впливу фактору опромінення) він становить 0,4761 ($p < 0,05$). Отримані результати свідчать про більшу величину часткового (парціального) коефіцієнта множинної кореляції з кожним з аналізованих складових при умові усунення впливу іншого аналізованого фактору та високу достовірність отриманих значень показників. Слід зважати також на те, що чим ближче сукупний коефіцієнт кореляції до одиниці, тим менша роль не врахованих у моделі факторів і тим більше підстав вважати, що параметри регресійної моделі відображають ступінь ефективності факторів, які в ній укладені.

Проаналізовані фактори не вичерпують можливий комплекс діючих факторів і є всі підстави для пошуку інших, що можуть впливати на формування рівня захворюваності на РЩЗ – природних, генетичних, соціальних і виробничо-економічних.

ВИСНОВКИ

1. Відмічено істотні регіональні відмінності в захворюваності населення України на РЩЗ залози у 2001–2019 рр.
2. Визначено існування достовірного кореляційного зв'язку показників захворюваності на РЩЗ в регіонах країни з величиною радіаційного опромінення ЩЗ, спричиненого аварією на ЧАЕС.
3. Встановлено існування достовірного кореляційного зв'язку показників захворюваності на РЩЗ зі ступенем інтенсивності використання пестицидів у сільському господарстві областей України.
4. Встановлено достовірне значення показників сукупної та часткової множинної кореляції між рівнями захворюваності населення України на РЩЗ та середньообласними дозами опромінення і показниками інтенсивності застосування пестицидів в сільськогосподарському виробництві країни. Сукупний коефіцієнт кореляції склав $r = 0,5866$ ($p < 0,05$).
5. Широкомасштабна агресія Росії із застосуванням артилерії, ракетних технологій та винищення промислової інфраструктури неминуче веде до підвищення рівня перхлоратів та інших ендокринних дизрапторів у довкіллі. Існує нагальна необхідність дослідження впливу цих та інших не врахованих факторів – природних, генетичних, соціальних і виробничо-економічних чинників, які можуть відігравати істотну роль у формуванні рівня захворюваності на РЩЗ.

cer incidence and the average regional doses of radiation (when eliminating the influence of the pesticide factor), this indicator is 0.4502 ($p < 0.05$). Between the thyroid cancer incidence and the intensity of pesticide use (when eliminating the influence of the exposure factor), it is 0.4761 ($p < 0.05$). The obtained results indicate a higher value of the partial coefficient of multiple correlation with each of the analyzed components, provided that the influence of the other analyzed factor is eliminated, and the high reliability of the obtained values of the indicators. It should be borne in mind that the closer the aggregate correlation coefficient is to one, the lesser the role of the factors not taken into account in the model and the more reason to believe that the parameters of the regression model reflect the degree of efficiency of the factors included in it.

The analyzed factors do not exhaust the possible set of factors and there is every reason to search for others that may influence the formation of the thyroid cancer incidence – natural, genetic, social, industrial and economic factors.

CONCLUSIONS

1. There are significant regional differences in the thyroid cancer incidence in Ukraine in 2001–2019.
2. The existence of a reliable correlation between the thyroid cancer incidence in the regions of the country and the amount of radiation exposure to the thyroid caused by the Chernobyl accident was determined.
3. The existence of a reliable correlation between the thyroid cancer incidence and the degree of intensity of pesticide use in agriculture in the regions of Ukraine was established.
4. A reliable value of the multiple correlation $r = 0.5866$ ($p < 0.05$) and partial coefficients between the incidence rates of the Ukrainian population with thyroid cancer and the average regional doses of radiation and indicators of the intensity of pesticide use in agricultural production of the country were established.
5. Russia's large-scale aggression with the use of artillery, missiles and destruction of industrial infrastructure inevitably leads to increase in the level of perchlorates and other endocrine disruptors in environment. There is an urgent need to study the influence of these and other factors not taken into account i.e. natural, genetic, social and production-economic ones, which can play a significant role in formation of the incidence rate of thyroid cancer.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries / H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel et al. *CA Cancer J. Clin.* 2021. Vol. 71, no. 3. P. 209-249. doi: 10.3322/caac.21660.
2. Базика Д. А., Присяжнюк А. Є. Онкологічні ефекти Чорнобильської катастрофи у віддаленому 35-річному після аварійному періоді. *Журнал Національної академії медичних наук України.* 2021. Т. 27(2). С. 133-139. doi: 10.37621/JNAMSU-2021-2-7.
3. Richardson D. B. Exposure to ionizing radiation in adulthood and thyroid cancer incidence. *Epidemiology (Cambridge, Mass).* 2009. Vol. 20, no. 2. P. 181-187. doi: 10.1097/EDE.0b013e318196ac1c.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Atomic Radiation / *UNSCEAR 2006 Report. Vol. I, Effects. Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer.* New York: United Nations, 2008. P. 13-323.
5. Thyroid cancer incidence in Chernobyl liquidators in Ukraine: SIR analysis, 1986-2010 / E. Ostroumova, N. Gudzenko, A. Brenner et al. *Eur. J. Epidemiol.* 2014. Vol. 29, no. 5. P. 337-342. doi: 10.1007/s10654-014-9896-1.
6. Радіаційні ризики раку щитоподібної залози в учасників ліквідації аварії на ЧАЕС з урахуванням альтернативних оцінок доз зовнішнього опромінення / А. Є. Присяжнюк, Н. К. Троцюк, Н. А. Гудзенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2018. Вип. 23. С. 200-215. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-200-215.
7. Risk of thyroid cancer in Ukrainian cleanup workers following the Chernobyl accident / N. Gudzenko, K. Mabuchi, A. V. Brenner et al. *Eur. J. Epidemiol.* 2022. Vol. 37, no. 1. P. 67-77. doi: 10.1007/s10654-021-00822-9.
8. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998 / D. L. Preston, E. Ron, S. Tokuoka et al. *Radiat. Res.* 2007. Vol. 168, no. 1. P. 1-64. doi: 10.1667/RR0763.1
9. Kitahara C. M., Schneider A. B., Brenner A. V. Thyroid cancer. In: *Cancer Epidemiology and Prevention.* 4th ed. Oxford University Press, 2018. P. 839-860.
10. Thyroid cancer «epidemic» also occurs in low- and middle-income countries / J. Lortet-Tieulent, S. Franceschi, L. Dal Maso, S. Vaccarella. *Int. J. Cancer.* 2019. Vol. 144. P. 2082-2087. doi: 10.1002/ijc.31884.
11. Udelsman R., Zhang Y. The epidemic of thyroid cancer in the United States: the role of endocrinologists and ultrasounds. *Thyroid.* 2014. Vol. 24, P. 472-479. doi: 10.1089/thy.2013.0257.
12. Brito J. P., Morris J. C., Montori V. M. Thyroid cancer: zealous imaging has increased detection and treatment of low risk tumours. *BMJ.* 2013. Vol. 347. P.f 4706. doi: 10.1136/bmj.f4706.
13. Prevalence of differentiated thyroid cancer in autopsy studies over six decades: a meta-analysis / L. Furuya-Kanamori, K. J. L. Bell, J. Clark, P. Glasziou, S. A. R. Doi. *J. Clin. Oncol.* 2016. Vol. 34. P. 3672-3679. doi: 10.1200/JCO.2016.67.7419.

REFERENCES

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021;71(3):209-249. doi: 10.3322/caac.21660.
2. Bazyka DA, Prysiazniuk AE. [Oncological effects of the Chernobyl disaster in the remote 35-year post-accident period]. *Journal of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine.* 2021;27(2):133-139. doi: 10.37621/JNAMSU-2021-2-7. Ukrainian.
3. Richardson DB. Exposure to ionizing radiation in adulthood and thyroid cancer incidence. *Epidemiology (Cambridge, Mass).* 2009; 20(2):181-187. doi: 10.1097/EDE.0b013e318196ac1c.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Atomic Radiation. In: *UNSCEAR 2006 Report. Vol. I, Effects. Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer.* New York: United Nations, 2008. p. 13-323
5. Ostroumova E, Gudzenko N, Brenner A, Gorokh Y, Hatch M, Prysyazhnyuk A, et al. Thyroid cancer incidence in Chernobyl liquidators in Ukraine: SIR analysis, 1986-2010. *Eur J Epidemiol.* 2014;29(5):337-342. doi: 10.1007/s10654-014-9896-1.
6. Prysyazhnyuk AY, Trotsyuk NK, Gudzenko NA, Chumak WV, Bakhanova OV, Fuzik MM, et al. Radiation risks of thyroid cancer in Chernobyl clean-up workers using the alternative estimates of doses of external exposure. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2018;23: 200-215. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-200-215.
7. Gudzenko N, Mabuchi K, Brenner AV, Little MP, Hatch M, Drozdovitch V, et al. Risk of thyroid cancer in Ukrainian cleanup workers following the Chernobyl accident. *Eur J Epidemiol.* 2022;37(1):67-77. doi: 10.1007/s10654-021-00822-9.
8. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat Res.* 2007;168(1):1-64. doi: 10.1667/RR0763.1.
9. Kitahara CM, Schneider AB, Brenner AV. Thyroid cancer. In: *Cancer Epidemiology and Prevention.* 4th ed. Oxford University Press; 2018. p. 839-860.
10. Lortet-Tieulent J, Franceschi S, Dal Maso L, Vaccarella S. Thyroid cancer «epidemic» also occurs in low- and middle-income countries. *Int J Cancer.* 2019;144(9):2082-2087. doi: 10.1002/ijc.31884.
11. Udelsman R, Zhang Y. The epidemic of thyroid cancer in the United States: the role of endocrinologists and ultrasounds. *Thyroid.* 2014;24(3):472-479. doi: 10.1089/thy.2013.0257.
12. Brito J P, Morris JC, Montori VM. Thyroid cancer: zealous imaging has increased detection and treatment of low risk tumours. *BMJ.* 2013;347:f4706. doi: 10.1136/bmj.f4706.
13. Furuya-Kanamori L, Bell KJL, Clark J, Glasziou P, Doi SAR. Prevalence of differentiated thyroid cancer in autopsy studies over six decades: a meta-analysis. *J Clin Oncol.* 2016;34(30):3672-3679. doi: 10.1200/JCO.2016.67.7419.

14. Li M., Dal Maso L., Vaccarella S. Global trends in thyroid cancer incidence and the impact of overdiagnosis. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020. Vol. 8. P. 468-470. doi: 10.1016/S2213-8587(20)30115-7.
15. Craig Z. R., Wang W., Flaws J. A. Endocrine-disrupting chemicals in ovarian function: effects on steroidogenesis, metabolism and nuclear receptor signaling. *Reproduction.* 2011. Vol. 142, no. 5. P. 633-646. doi: 10.1530/REP-11-0136
16. Boon W. C., Chow J. D., Simpson E. R. The multiple roles of estrogens and the enzyme aromatase. *Prog. Brain Res.* 2010. Vol. 181. P. 209-232. doi: 10.1016/S0079-6123(08)81012-6.
17. Епідеміологічне дослідження формування ризиків злоякісних новоутворень у групах постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС (1990–2019 рр.) / № держреєстрації 0119U100525, 2019-2021 рр.; А.Є.Присяжнюк, Н.А.Гудзенко, М.М.Фузік та ін.
18. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Київ : КІМ, 2011. 356 с.
19. Національний огляд. Ендокринні руйнівники в Україні: стан проблеми та шляхи її вирішення / за ред. А. М. Сердюка, Д. А. Базики та ін. Київ : Медінформ, 2018. 156 с.
20. Ефимова М. Р., Рязцев В. М. Общая теория статистики. М. : Финансы и статистика, 1991. 304 с.
14. Li M, Dal Maso L, Vaccarella S. Global trends in thyroid cancer incidence and the impact of overdiagnosis. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020;8(6):468-470. doi: 10.1016/S2213-8587(20)30115-7.
15. Craig ZR, Wang W, Flaws JA. Endocrine-disrupting chemicals in ovarian function: effects on steroidogenesis, metabolism and nuclear receptor signaling. *Reproduction.* 2011;142(5):633-646. doi: 10.1530/REP-11-0136.
16. Boon WC, Chow JD, Simpson ER. The multiple roles of estrogens and the enzyme aromatase. *Prog Brain Res.* 2010;181:209-232. doi: 10.1016/S0079-6123(08)81012-6.
17. [Epidemiological study of the formation of risks of malignant tumors in groups of victims of the Chernobyl accident (1990–2019)]: State registration number 0119U100525, 2019-2021; Prisyazhnyuk AE, Gudzenko NA, Fuzik MM, et al. Ukrainian.
18. [Twenty-five years of the Chernobyl disaster. Security of the Future]. Kyiv: KIM; 2011. 356 p. Ukrainian.
19. Serdyuk A, Bazyka D, et al., editors. [Endocrine disruptors in Ukraine: the state of the problem and ways to solve it]. Kyiv: Medinform; 2018. 156 p. Ukrainian.
20. Efimova MR, Ryabtsev VM. [General theory of statistics]. Moscow: Finance and Statistics; 1991. 304 p. Russian.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

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

Базика Дмитрій Анатолійович – доктор медичних наук, професор, академік Національної академії медичних наук України, генеральний директор ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-9982-5990

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

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

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

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

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

INFORMATION ABOUT AUTHORS

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

Dimitry A. Dazyka – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Director General of the SI NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-9982-5990

Natalia A. Gudzenko – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the laboratory of cancer epidemiology, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, ORCID ID: 0000-0003-2987-2382

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

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

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

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