



**РАДІОБІОЛОГІЧНЕ ТОВАРИСТВО УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ КЛІТИННОЇ БІОЛОГІЇ ТА  
ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ НАН УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

# **ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ БІОТИ У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ**

**КИЇВ · 2026**



**UKRAINIAN RADIOBIOLOGICAL SOCIETY**

**INSTITUTE OF CELL BIOLOGY AND  
GENETIC ENGINEERING OF NAS OF UKRAINE**

**NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND  
ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE**

# **THE IMPACT OF CHRONIC RADIATION ON BIOTA IN THE EXCLUSION ZONE**

**KYIV · 2026**

УДК 577.3

**Ефекти хронічного опромінення біоти у зоні відчуження – 2026 / Радіобіологічне товариство України. – Київ, 2026. – 46 с.**

У збірнику тез розглянуто актуальні проблеми сучасної радіобіології, пов'язані з дією іонізуючої та неіонізуючої радіації на живі організми. Проаналізовано багаторічні дослідження віддалених ефектів, обумовлених радіонуклідним забрудненням після аварії на ЧАЕС, включаючи наслідки російської окупації зони відчуження у 2022 році. Обговорюються наслідки можливості руйнування АЕС в Україні та загрози застосування ядерної зброї в світлі агресії росії проти України. Обмірковуються перспективи та завдання подальших досліджень в галузі.

(Матеріали семінару Радіобіологічного товариства України, Київ, 20–21 травня 2026 р.)

Редактори: к.б.н. Куцоконь Н.К.; д.б.н., проф. Рашидов Н.М.; д.б.н. Кравець О.П.

*Матеріали надруковані в авторській редакції*

*Автори матеріалів несуть відповідальність за достовірність викладеного матеріалу*

Друкується за рішенням Радіобіологічного товариства України від 15.05.2026 р.

До друку підготувала Куцоконь Н.К.

© Радіобіологічне товариство України, 2026

**The impact of chronic radiation on biota in the exclusion zone – 2026 / Ukrainian Radiobiological Society, Kyiv, 2026. – 46 p.**

The abstract book discusses current problems of modern radiobiology related to the effects of ionizing and non-ionizing radiation on living organisms. Long-term studies of aftermath effects caused by radionuclide pollution after the accident at the Chernobyl nuclear power plant had been analyzed, including the consequences of the russian occupation of the exclusion zone in 2022. The effects of the possible destruction of nuclear power plants in Ukraine and the threat of using nuclear weapons in light of russia's aggression against Ukraine are discussed. Prospects and tasks of the further research in this field are considered.

(Materials of the Seminar of Ukrainian Radiobiological Society, Kyiv, May 20 – 21, 2026)

Editors: Dr. Natalya Kutsokon, PhD; Prof. Dr. Namik Rasydov, DrSc; Dr. Oleksandra Kravets, DrSc

*All materials had been published due to the author's editions*

*Authors are responsible for their papers*

Recommended for publication by the Ukrainian Radiobiological Society on 15.05.2026

Printed version prepared by Kutsokon N.K.

© Ukrainian Radiobiological Society, 2026

## **НАУКОВІ НАПРЯМИ СЕМІНАРУ**

- Віддалені та кумулятивні ефекти: 40 років після Чорнобильської катастрофи.
- Радіаційна біохімія та молекулярна радіобіологія.
- Механізми дії малих доз іонізуючої радіації.
- Генетичні та епігенетичні радіобіологічні ефекти.
- Радіаційний захист та модифікація радіобіологічних ефектів.
- Медичне застосування іонізуючого випромінювання.
- Радіобіологічні та радіоекологічні виклики, пов'язані з війною в Україні.
- Нові методи радіобіологічних та радіоекологічних досліджень.

## **SCIENTIFIC TOPICS OF THE SEMINAR**

- Long-term and cumulative consequences: 40 years after the Chernobyl disaster.
- Radiation biochemistry and molecular radiobiology.
- Mechanisms of action of small doses of ionizing radiation.
- Genetic and epigenetic radiobiological effects.
- Radiation protection and modification of radiobiological effects.
- Medical application of ionizing radiation.
- Radiobiological and radioecological challenges in regarding of the war in Ukraine.
- New methods of radiobiological and radioecological research.

## **ВСТУПНЕ СЛОВО**

Будапештський меморандум було підписано 5 грудня 1994 року в Угорщині. Цей міжнародний документ уклали колишні лідери чотирьох держав: України (президент Леонід Кучма), Російської Федерації (президент Борис Єльцин), Сполучених Штатів Америки (президент Білл Клінтон) та Великої Британії (прем'єр-міністр Джон Мейджор). Однак цей документ не врятував Україну від агресії російських військ, які вчиняють воєнні злочини та терористичні акти в Україні, завдають масованих ракетних та артилерійських ударів по цивільних об'єктах, вбивають мирних жителів та руйнують критично важливу цивільну інфраструктуру енерго- та водопостачання.

Обстрілюючи українські ядерні установки, новий саркофаг у зоні Чорнобильської АЕС та захоплюючи Запорізьку АЕС, ставлячи Європу на межу ядерної катастрофи, росія також поширює провокаційну риторику щодо можливого застосування ядерної зброї. Незважаючи на те, що з моменту Чорнобильської катастрофи минуло 40 років, зараз надзвичайно важливо об'єднати спільні дії по всьому світу щодо радіобіологічних уроків Чорнобиля щодо тривалого та глибокого впливу радіації на біоту, включаючи трансгенераційні ефекти, які зберігаються протягом багатьох поколінь. В умовах продовження військових дій ми, тим не менше, спостерігаємо значний інтерес учасників семінару Радіобіологічного товариства України до окресленої проблематики.

Бажаю успіхів та миру всім учасникам!  
Слава Україні!

Голова Радіобіологічного товариства України, проф. Намік Рашидов

## **FOREWORD SPEECH**

The Budapest Memorandum was signed in Hungary on 5 December 1994. This international document was signed by the former leaders of four states: Ukraine (President Leonid Kuchma), the Russian Federation (President Boris Yeltsin), the United States of America (President Bill Clinton), and the United Kingdom (Prime Minister John Major). However, the Memorandum failed to protect Ukraine from Russian aggression, with Russian troops committing war crimes and acts of terrorism in Ukraine by launching massive missile and artillery strikes on civilian targets, killing civilians and destroying critical infrastructure for energy and water supply.

By shelling Ukrainian nuclear facilities and the new sarcophagus at the Chernobyl Nuclear Power Plant, and seizing the Zaporizhzhia Nuclear Power Plant, Russia is bringing Europe to the brink of a nuclear disaster. At the same time, it is spreading provocative rhetoric regarding the possible use of nuclear weapons. Although 40 years have passed since the Chernobyl disaster, it is now more important than ever to coordinate worldwide action on the radiobiological lessons of Chernobyl, particularly with regard to the long-term and profound impact of radiation on biota, including transgenerational effects that persist across many generations. Despite ongoing military hostilities, there is considerable interest in these issues among participants at the Radiobiological Society of Ukraine's seminar.

I wish all participants success and peace!  
Glory to Ukraine!

Chairman of the Ukrainian Radiobiological Society, Prof. Namik Rashidov

**ПРОГРАМА СЕМІНАРУ  
(20 – 21 травня 2026)**

**20 травня 2026**

Адреса проведення: Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, 03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 148

<b>10:00-10:30</b>	<p style="text-align: center;"><b>Відкриття семінару (актова зала ІКБГІ)</b></p> <p>– Вітальне слово директора Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України – академік НАН України <b>Микола КУЧУК</b></p> <p>– Вступне слово Голови Радіобіологічного товариства України – професор <b>Намік РАШИДОВ</b></p> <p>– Вступне слово Співголови семінару – академік НААН України, професор <b>Ігор ГУДКОВ РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ АГРАРНОЇ СФЕРИ ЯК ОДИН З ОСНОВНИХ НАСЛІДКІВ МОЖЛИВИХ РАДІАЦІЙНИХ І ЯДЕРНИХ ІНЦИДЕНТІВ</b></p>
<b>10:30 – 14:20</b>	<p><b>УСНІ ДОПОВІДІ</b> <b>Модератор ОЛЕКСАНДРА КРАВЕЦЬ</b></p>
<b>10:30 – 11:00</b>	<b>КРАВЕЦЬ О.П.</b> РАДІОБІОЛОГІЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ. РОЗШИРЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ОПРОМІНЕННЯ У ДІАПАЗОНІ МАЛИХ ДОЗ
<b>11:00-11:20</b>	<b>СЕНЮК О.Ф.</b> ЕФЕКТ СВІДКА» У МИШЕЙ З РІЗНИМ РІВНЕМ ГЕНЕТИЧНО ДЕТЕРМІНОВАНОЇ РАДІОЧУТЛИВОСТІ
<b>11:20–11:40</b>	<b>ЛИПСЬКА А.І., Родіонова Н.К., Рябченко Н.М., Бурдо О.О., Ганжа О.Б.</b> СТАН КРОВОТВОРНОЇ СИСТЕМИ БІОІНДИКАТОРНИХ ВИДІВ ДРІБНИХ ГРИЗУНІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЗА ХРОНІЧНОЇ ДІЇ МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ
<b>11:40–12:00</b>	<b>Brykov V., Topchiy N., SHEVCHENKO G.</b> TOLERANCE OF ROOT GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC FUNCTION IN CHORNOBYL <i>Arabidopsis thaliana</i> UNDER TOXIC STRESS
<b>12:00 – 12:20</b>	<b>ШЕМЕТУН О.В., Талан О.О.</b> ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ В ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ЛЮДИНИ У ВІДДАЛЕНІ ТЕРМІНИ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС
<b>12:20 – 13:00</b>	<b>Перерва на каву</b>
<b>13:00 – 13:20</b>	<b>Berezhna V.V., Sakada V.I., Kutsokon N.K., Litvinov S.V., Yatsiv V., RASHYDOV N.M.</b> ENVIRONMENTAL POLLUTION RESULTING FROM MILITARY ACTIVITIES DURING THE WAR IN UKRAINE
<b>13:20 – 13:40</b>	<b>ТУКАЛЕНКО Є., Бурдо О., Грибенко М., Лозовицька І., Липська А., Патіюк А.</b> ЗМІНИ МЕТАБОЛІЗМУ РУДИХ НОРИЦЬ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ
<b>13:40 – 14:00</b>	<b>МІХСЄВ О.М.</b> НЕВИРІШЕНІ РАДІОБІОЛОГІЧНІ ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЯ
<b>14:00 – 14:20</b>	<b>LITVINOV S.V., Rashydov N.M., Kutsokon N.K, Sakada V.I., Berezhna V.V.</b> THE USE OF FOURIER TRANSFORM IR SPECTROSCOPY FOR THE ANALYSIS OF SPECTRA OF MAJOR BIOCHEMICAL COMPOUNDS IN PLANT SAMPLES FOLLOWING EXPOSURE TO IONIZING RADIATION

21 травня 2026

10:00-13:50	<b>ОНЛАЙН-ДОПОВІДІ</b> Модератор <b>СЕРГІЙ ЛІТВІНОВ</b>
10:00 – 10:40	<b>ГУДКОВ Д.І.,</b> Поморцева Н.А., Ганжа Х.Д., Потрохов О.С., Кіреєв С.І., Гупало О.О., Худіяш Ю.М., Каглян О.Є., Беляєв В.В. ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ
10:40 – 11:00	<b>ГРИГОР'ЄВА Л.,</b> Григор'єв К. РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ВІЙНИ ЩОДО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
11:00– 11:30	<b>РАКША-СЛЮСАРЕВА О.,</b> Слюсарев О., Рашидов Н.М. МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЛОНГОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПСИХОНЕЙРОІМУННУ РЕГУЛЯЦІЮ ОРГАНІЗМУ
11:30– 11:50	<b>Ракша-Слюсарева О., СЛЮСАРЕВ О.,</b> Коваленко П., Тур Я. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ ПІД ЧАС ВІЙНИ В УКРАЇНІ
11:50 – 12:10	<b>БЕЛЯЄВ В.В.,</b> Волкова О.М., Гудков Д.І. Пришляк С.П., Каглян О.Е. Юрчук Л.П. ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІХТІОФАУНИ ЯНІВСЬКОГО (ПРИП'ЯТЬСЬКОГО) ЗАТОНУ
12:10 – 12:30	<b>SHEVTSOVA N., Gudkov D., Belyaev V., Pryshlyak S.</b> GENETIC INSTABILITY AND REPRODUCTIVE CAPACITY OF <i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE
12:30 – 12:50	<b>МАРУЩАК І.В.,</b> Гудков Д.І., Беляєв В.В., Пришляк С.П. ЗМІНИ РЕПРОДУКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ТРИВАЛОГО РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ: НА ПРИКЛАДІ ФЕРТИЛЬНОСТІ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН
12:50 – 13:10	<b>ЗВАРИЧ Л.М.,</b> Лясківська О.В., Базика Д.А. ЕКСПРЕСІЯ ПРОЗАПАЛЬНИХ ЦИТОКІНІВ ТА NF-κB КЛІТИНАМИ МІЄЛОЇДНОГО РЯДУ У ПЕРИФЕРИЧНІЙ КРОВІ УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС В УМОВАХ ВІЙНИ
13:10 – 13:30	<b>ШИЛІНА Ю.В.,</b> Жук І.В., Моложава О.С., Літвінов С.В., Шевченко Ю.І. ВПЛИВ ХРОНІЧНОГО ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ IN VITRO ТА В УМОВАХ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ЗОНИ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЧАЕС
13:30 – 13:50	<b>Обговорення. Заключне слово</b>

## STUDY OF RADIOPROTECTIVE PROPERTIES OF A COMPLEX OF COPPER (II) CHLORIDE WITH 2-AMINO-3-(1H-INDOL-3-YL) PROPANOIC ACID

Abdullayev A.S., Shamilov E.N., Farajov M.F.

*Institute of Physics of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,  
Baku, Azerbaijan*

Currently, an urgent scientific task is to elucidate the composition and structure of compositions based on macro-, microelements and amino acids at the molecular and supramolecular levels and their mechanism of action, to find ways to increase the effectiveness of these compositions. The complexes of many metals with amino acids serve as a model of processes occurring in living organisms. Besides, many complexes are widely used in medicine as medicines.

The aim of this study was the synthesis of a complex of 2-amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid ( $C_{11}H_{12}N_2O_2$ ) with copper (II) chloride, the study of anti-radiation properties.

The composition and chemical structure of the complex obtained are studied by physical-chemical analysis methods: X-ray phase analysis (diffractometer (Germany) D-2 Phaser firm Bruker); IR spectroscopy ("Specord M-80" brand Carl Zeiss). The UV spectrum of the solution was recorded on an Evolution 60S spectrophotometer from Thermo Scientific Spectronic (USA).

The synthesis of the complex was carried out in a two-necked flask with vigorous stirring of  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  and  $L = C_{11}H_{12}N_2O_2$  in a ratio of 1:2 in 50 ml of methanol at a temperature of 70°C. Heating was carried out for 2 hours, then cooled to room temperature, filtered, and put on crystallization. The blue-colored crystals were filtered, washed several times with the mother liquor, then 15-20 ml with acetone and dried in a desiccator over sulfuric acid until a constant weight was established. The elemental analysis data and the difference between the diffraction pattern of the synthesized complex from the starting compounds allows us to conclude that the resulting complex is individual.

The presence in the IR spectrum of the copper complex 2-amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid of three absorption bands in the spectral region of 3420-3075  $cm^{-1}$  (3420, 3337, 3251, 3075  $cm^{-1}$ ), strong absorption at and weaker when related to stretching vibrations of the  $NH_2$  group, asymmetric and symmetric vibrations of  $COO^-$  indicates that there are chelate bonds between the copper (II) ion and the 2-amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid.

The antiradiation activity of the complex was checked on irradiated seeds of wheat. For comparison, the seeds were treated with copper chloride and Cu(II) complex with 2-amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid. The content of photosynthetic pigments was determined in seedlings. The seeds treated with  $CuCl_2 - 2$ -amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid, have a high germination rate and high activity of photosystems.

It was revealed that low concentrations of complex positively affect the synthesis of chlorophyll and carotenoids, increase the functional activity of chloroplasts.

Thus, the 2-amino-3-(1H-indol-3-yl) propionic acid complex with copper chloride accelerated the germination of wheat seeds and increased the chlorophyll content in leaves, and also increased the activity of photosystems of chloroplasts. Treatment of wheat seeds before irradiation (250Gy irradiation dose) with aqueous solutions of the complex (solution concentration 0.001%) leads to normalization of the biosynthesis of photosynthetic pigments, helps to eliminate mitotic division anomalies in root hair cells, stimulates reparative mechanisms.

**Keywords:** complex, copper, synthesis, radioprotective properties

## ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІХТІОФАУНИ ЯНІВСЬКОГО (ПРИПЯТЬСЬКОГО) ЗАТОНУ

### FEATURES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF ICHTHIOFAUNA OF THE YANIVSKY (PRIPYAT) BACKWATER

Беляєв В.В., Волкова О.М., Гудков Д.І. Пришляк С.П., Каглян О.Е. Юрчук Л.П.  
*Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна*  
*e-mail: belyaev-vv@ukr.net*

Belyaev V.V., Volkova O.M., Gudkov D.I., Pryshlyak S.P., Kaglyan A.Ye., Yurchuk L.P.  
*Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Негативним наслідком використання ядерної енергії є радіоактивне забруднення навколишнього середовища, а останнім часом значно збільшилась вірогідність надходження радіонуклідів до біосфери в наслідок військових дій. Накопичення радіонуклідів організмом риб визначається багатьма факторами: рівнем забруднення водойми, проточністю та трофічним статусом водойми, температурою, особливостями екології виду та ін. У радіоекологічних дослідженнях водойм зони відчуження найбільша увага зосереджена на водоймі-охолоджувачі ЧАЕС (ВО ЧАЕС), оз. Глибокому та р. Прип'яті, тоді як рівні вмісту радіонуклідів у риб ВО ЧАЕС менші, ніж у риб Янівського затону, а глибина та площа акваторії водойми значно більша за відповідні показники оз. Глибокого, тому метою роботи було дослідження рівнів радіоактивного забруднення іхтіофауни Янівського затону.

**Матеріали та методи.** У дослідженні використані результати аналізу проб абіотичних та біотичних компонентів водойми, які відбирали у 2023–2025 рр. Вміст радіонуклідів визначали спектрометричними методами. Проби риби вимірювали після озолення, в однаковій геометрії, статистична невизначеність не перевищувала 5 %, загальна 15 %. Невизначеність вимірів об'ємної активності не перевищувала 35 %.

**Результати та висновки.** Об'ємна активність  $^{90}\text{Sr}$  складала 0,4–4,8,  $^{137}\text{Cs}$  – 0,3–1,2 Бк/л. Вміст  $^{90}\text{Sr}$  у мирних риб становив 541–6250 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  – 192–1793 Бк/кг. Найбільшими величинами питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  характеризувалася вибірка краснопірки, найменшими –  $^{90}\text{Sr}$  вибірка верховодки,  $^{137}\text{Cs}$  – у вибірка плітки. У хижих видів риб вміст  $^{90}\text{Sr}$  був у 2 рази меншим, ніж у мирних, а  $^{137}\text{Cs}$  у 2,5 рази вищим. Упродовж періоду досліджень спостерігалось зниження концентрації у  $^{90}\text{Sr}$  воді та тенденція до зниження  $^{137}\text{Cs}$ , а період напівзменшення вмісту радіонуклідів становив близько 2,1 роки. Реакція величин питомої активності у різних видів риб на зміну концентрації радіонуклідів у воді відрізняється. Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  збільшується у часових рядах густери та краснопірки, не змінюються у окуня та плітки, зменшується у верховодки, синця та щуки. Період екологічного напівзменшення для вибірок верховодки, синця та щуки складає 4,7, 9,6 та 1,8 років, відповідно. Питома активність у плітки та густери зменшується з періодом напівзменшення близько 5 років, у інших видів риб зміни питомої активності радіонукліда у часі не зареєстровані.

Роботу виконано за підтримки договору № М/09-2025 «Оцінка впливу радіонуклідного забруднення на геноми окуня та плітки на основі чутливих генетичних маркерів» МОН України, НАН України, у співробітництві з ДСП «Екоцентр».

**Ключові слова:** іхтіофауна, радіонукліди, динаміка активності, водойма.

## **ENVIRONMENTAL POLLUTION RESULTING FROM MILITARY ACTIVITIES DURING THE WAR IN UKRAINE**

Berezhna V.V., Sakada V.I., Kutsokon N.K., Litvinov S.V., Yatsiv V., Rashydov N.M.  
*Laboratory Biophysics of Signal Systems, Institute Cell Biology and Genetic Engineering,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
e-mail: nrashydov@yahoo.com*

**Abstract.** A main goal of this research is the review of the impact of various types of military-related environmental pollution on plants, with a particular focus on their productivity. Assessing the impact of soils contaminated with radionuclides, heavy metals (Cd, Pb, Sr, Cs, etc.), and explosives (RDX, TNT, RDX, HMX, PENT, etc.) on certain physiological, genetic, biochemical, and growth responses of plants. The rate of harmful substance transfer into the soil-plant system will be assessed using several plant species. Based on the results obtained, promising species will be proposed for planting in war zones for soil restoration, and fundamental knowledge in the field of plant stress biology will be gained. The primary goal of this study is to investigate the molecular biological and genetic mechanisms of plant cell function using biotechnology, develop new technologies in cellular and genetic engineering, and study the adaptive response of plants to abiotic stress. Key scientific achievements include the study of the soil-plant system in a military exclusion zone containing explosive chemicals, as well as the impact of radiation from radionuclide-contaminated environments on the assessment of genetic hazard and plant lifespan.

**Keywords:** contaminated environment, assessment, radionuclide, heavy metal, explosive chemicals.

**СТІЙКІСТЬ РОСТУ КОРЕНІВ ТА ФОТОСИНТЕЗУ ЛИСТКІВ РОСЛИН  
*Arabidopsis thaliana* ІЗ ЗОНИ ЧАЕС ДО ТОКСИНІВ**

**TOLERANCE OF ROOT GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC FUNCTION  
IN CHORNOBYL *Arabidopsis thaliana* UNDER TOXIC STRESS**

Бриков В., Топчій Н., Шевченко Г.

*Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ, Україна*

Brykov V., Topchiy N., Shevchenko G.

*M.G.Kholodny Institute of Botany National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

*e-mail: galli.shevchenko@gmail.com*

**Introduction and aim.** The Chernobyl zone, one of the most heavily contaminated regions worldwide, has sustained diverse plant life despite nearly four decades of chronic radiation and heavy metal exposure, indicating the emergence of adaptive strategies. To elucidate the mechanisms underlying this adaptation, we investigated coordinated root and shoot responses in *Arabidopsis thaliana* plants exposed to cadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ) and the radiomimetic zeocin, with particular focus on root viability, development of root growth zones and photosynthetic capacity of leaves.

**Materials and methods.** Seeds of *A.thaliana* were collected within the 10 km Chernobyl Exclusion Zone with the level of air radiation 3–9  $\mu\text{Sv/h}$ . Control samples were collected near City of Kyiv with the natural level of radiation. Seedlings were grown on MS medium supplemented with 200  $\mu\text{M}$   $\text{CdCl}_2$  or 5  $\mu\text{g/mL}$  zeocin, and root growth was assessed after 2–4 days. Photosynthetic performance was analyzed in seedlings treated with 100  $\mu\text{M}$   $\text{CdCl}_2$ , including recovery after transfer to  $\text{Cd}^{2+}$ -free medium for one day. Chlorophyll fluorescence parameters ( $F_v/F_m$ ,  $F'_v/F'_m$ ,  $qP$ ,  $qN$ ,  $\phi\text{PSII}$ ) were measured using an XE-PAM fluorometer, and fluorescein diacetate and propidium iodide staining assessed cell viability.

**Results and conclusion.** Chernobyl-derived accessions exhibited enhanced tolerance at the root level, maintaining higher performance of meristem and elongation zone size, along with higher root cell viability under toxic conditions. This root resilience was coupled with improved photosynthetic performance, reflected by higher  $F_v/F_m$ ,  $qP$ , and  $\phi\text{PSII}$  values and more efficient recovery of the whole seedlings following  $\text{Cd}^{2+}$  exposure. Collectively, these findings demonstrate that adaptation in Chernobyl plants operates at the whole-plant level, integrating root growth maintenance with sustained photosynthetic function. This study provides the first evidence of coordinated root–shoot responses in *A. thaliana* accessions from the Chernobyl zone, highlighting systemic mechanisms underlying plant performance under long-term genotoxic stress.

**Keywords:** radiation, toxic metals, root viability, photosynthesis.

## РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ВІЙНИ ЩОДО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Григор'єва Л., Григор'єв К.

*Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна  
e-mail: ludmila.grygorieva@chmnu.edu.ua*

Grygorieva L., Grygoriev K.

*Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine*

**Вступ.** За час агресії РФ проти України через постійні обстріли територій ракетами та безпілотними апаратами підвищилася увага до радіаційної безпеки на території України і, особливо, поблизу АЕС. Науковці актуалізують питання транскордонного перенесення радіаційного впливу при ймовірнісних надзвичайних ситуаціях на АЕС, а також під час військових дій. Питання ефективності радіаційного моніторингу атмосферного повітря складають одну із цілей сталого розвитку – підвищення безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів.

**Матеріали і методи.** Застосовано методи: статистичного аналізу (під час узагальнення даних моніторингу зі стаціонарних постів державного моніторингу, даних викидів полютантів пересувними джерелами, даних вмісту рутенію-106 у хмарі викиду, даних вмісту цезію-137 в опадах з атмосфери), регресійний аналіз (для отримання функціональних залежностей); метод камерних моделей.

**Результати і висновки.** Показано, що у період воєнних дій у 2022-24 рр. потужність ефективної дози атмосферного повітря у м. Миколаєві складала рівні  $0,12 \pm 0,01$  мкЗв/год; у населених пунктах – постах контролю 30-км зони Південноукраїнської АЕС –  $0,12 \pm 0,02$  мкЗв/год при розкиді від 0,09 до 0,15 мкЗв/год. Цей розкид значень обумовлений геологічними особливостями Миколаївщини з виходом на поверхню у центрі та на півночі області кристалічних порід з підвищеним вмістом продуктів ділення уран-радієвого ряду. У порівнянні з даними моніторингу цих територій під час зняття «нульового» фону району Південноукраїнської АЕС встановлено, що у м. Миколаєві та у населених пунктах Миколаївської області у період воєнних дій величини потужності ефективної дози атмосферного повітря не виходили за межі коливань природного радіаційного фону. Загальна бета-активність опадів з атмосфери у м. Миколаєві у 2023 і 2024 рр. складала в середньому  $12,9 \pm 3,1$  Бк/(місяць\* $m^2$ ). Вміст  $^{137}Cs$  у цих опадах складав, у середньому,  $1,4 \pm 0,3$  Бк/(місяць\* $m^2$ ), що відповідає природним рівням опадів з атмосфери.

Під час пересування в атмосферному просторі України радіоактивної хмари з  $^{106}Ru$  у вересні 2017 р. середнє значення його вмісту у повітрі населених пунктів на півночі Миколаївської області складало  $(2,3 \pm 0,3) * 10^{-2}$  Бк/ $m^3$ . Загальна бета-активність опадів з атмосфери зросла до  $13,9 \pm 1,8$  Бк/(місяць\* $m^2$ ), активність  $^{106}Ru$  складала  $4,1 \pm 0,2$  Бк/(місяць\* $m^2$ ). В пробах атмосферного повітря вміст  $^{106}Ru$  складав  $0,03$  Бк/ $m^3$ . При цьому потужність ефективної дози атмосферного повітря не змінилася. Це вказало, що під час підвищених ризиків виникнення надзвичайної ситуації на АЕС, як це є під час військових дій, радіоекологічний моніторинг атмосферного повітря потрібно розширити до обов'язкової радіометрії проб опадів з атмосфери та, при можливості – радіометрії проб атмосферного повітря. Вимірювання потужності ефективної дози атмосферного повітря разом з радіометрією проб опадів з атмосфери та атмосферного повітря дозволить вчасно реагувати на можливі зміни радіонуклідного складу атмосферного повітря як від гамма-випромінюючих радіонуклідів, так і від чистих бета-випромінюючих радіонуклідів.

Розраховано рівень потужності ефективної дози (2,5 мкЗв/год), який можна рекомендувати як контрольний для початку аспіраційного відбору проб повітря для точної орієнтації у вмісті у повітрі радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС.

Представлено пропозиції щодо розгортання Smart-системи еколого-радіаційного моніторингу атмосферного повітря агломерацій, яка базується на: 1) використанні станцій індикативних вимірювань, для яких визначено значення потужності ефективної дози для початку аспіраційного відбору проб повітря при аварійному викиді радіонуклідів, 2) розміщенні пристроїв відбору проб повітря та опадів з атмосфери, 3) використанні відомих онлайн-платформ екологічного моніторингу. Це надасть можливість громадам і місцевому самоврядуванню оперативно отримувати інформацію про зміну радіонуклідного складу атмосферного повітря для прийняття відповідних рішень. В результаті буде вирішуватися питання стійкості громади до небезпечних поллютантів атмосферного повітря, в т.ч. під час екологічної загрози, спричиненої воєнними діями.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, радіаційна загроза, воєнні дії, радіонуклідний склад, опади з атмосфери, потужність ефективної дози.

# ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

## EFFECTS OF CHRONIC RADIATION EXPOSURE TO FISH IN WATER RESERVOIRS OF THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Гудков Д.І.<sup>1</sup>, Поморцева Н.А.<sup>1</sup>, Ганжа Х.Д.<sup>1</sup>, Потрохов О.С.<sup>1</sup>, Кіреєв С.І.<sup>2</sup>, Гупало О.О.<sup>1</sup>, Худіаш Ю.М.<sup>1</sup>, Каглян О.Є.<sup>1</sup>, Беляєв В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*ДСП «Екоцентр» ДАЗВ України, Чорнобиль, Україна*

*e-mail: digudkov@gmail.com*

Gudkov D.I.<sup>1</sup>, Pomortseva N.A.<sup>1</sup>, Potrokhov O.S.<sup>1</sup>, Ganzha Ch.D.<sup>1</sup>, Kireev S.I.<sup>2</sup>, Gupalo O.O.<sup>1</sup>, Khudiyash Yu.M.<sup>1</sup>, Kaglyan O.Ye.<sup>1</sup>, Belyaev V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*State Specialized Enterprise "Ecocentre" of the SEZMA, Chornobyl, Ukraine*

**Вступ та мета.** Риби є чутливими індикаторами стресових явищ у водоймах, зокрема таких, що зазнали інтенсивного радіонуклідного забруднення, виявляючи, з одного боку, підвищену вразливість до впливу іонізуючого випромінювання, а з іншого – певну резистентність до сублетальних доз радіації. Метою дослідження було проаналізувати фізіолого-біохімічні, гематологічні, репродуктивні та деякі інші показники риб в умовах водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ).

**Матеріали та методи.** Основні дослідження виконували впродовж 2016-2025 рр. у найбільш забруднених радіонуклідами водоймах ЧЗВ: озерах Глибоке, Азбучин, Далеке, Вершина, Янівському затоні та залишкових озерах колишньої акваторії водойми-охолоджувача ЧАЕС. Контрольними водоймами слугували декілька озер з низьким фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

**Результати та висновки.** Зареєстровані наслідки тривалого впливу іонізуючого випромінювання у градієнті дози 0,05–84,7 мкГр/год для представників іхтіофауни не є критичними щодо підтримання загального метаболізму, оскільки популяції риб (зокрема, краснопірки та окуня) впродовж тривалого часу зберігають життєздатність і спроможність до відтворення. Виявлені зміни у фізіолого-біохімічному стані можна розглядати як прояви адаптаційних механізмів до негативних умов середовища. Зниження каталітичної активності ферментів і, відповідно, загальної інтенсивності метаболізму сприяє зменшенню енергетичних витрат, що запобігає виснаженню та загибелі організму. Дослідження реакцій кровотворної системи риб у водоймах ЧЗВ виявили, що система крові досліджуваних видів реагує на тривале хронічне опромінення активацією компенсаторно-адаптаційних процесів, які виявляються у зміні кількості лейкоцитів та перерозподілом окремих видів клітин у лейкограмі. Наряду з цим відмічене значне збільшенням патологічних змін структури ядер та цитоплазми еритроцитів. Радіаційне навантаження, вплив якого перевищує допустимі можливості організму, спричиняє значне скорочення абсолютної кількості лейкоцитів, що призводить до погіршення стану імунітету організму і, як наслідок, підвищує ризик гелмінтезації риб, а також бактеріальних і вірусних захворювань. У доповіді будуть також надані дані щодо змін морфометричних і репродуктивних показників риб, а також порушень осевого скелету молоді. Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2023.03/0156).

**Ключові слова:** Чорнобильська зона відчуження, риби, іонізуюче випромінювання, фізіолого-біохімічні, гематологічні, репродуктивні показники.

## IS NEGATIVE RADIOTAXIS POSSIBLE IN ANIMALS IN RADIATION-CONTAMINATED AREAS?

Gunia Nino<sup>1</sup>, Avalishvili Anastasia<sup>1</sup>, Ivanishvili Nazi<sup>1,2</sup>, Kalmakhelidze Sophio<sup>1,3</sup>,  
Gogebashvili Mikheil<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*I. Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Laboratory of Radiation Safety Problems*

<sup>2</sup>*E. Andronikashvili Physics Institute, Tbilisi, Georgia*

<sup>3</sup>*Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia*

*e-mail: gogebashvili@gmail.com*

**Introduction and purpose.** Major man-made accidents such as those at the Chernobyl and Fukushima nuclear power plants have posed numerous challenges, the solution of which will help to fully understand the diversity of processes associated with radiation effects on biota. One unique model for studying the radioecological aspects of radiation disasters is the study of urbanized systems without human presence. With the evacuation of people from the exclusion zone, residential buildings began to be colonized by wild species. Observations of animal presence in abandoned buildings revealed a number of interesting facts, including the selection of locations with minimal dose indicators. Despite the lack of specialized sensory organs, the reliable negative radiotaxis of model animals is of interest.

**Materials and methods.** To experimentally study this effect, we used the gradient gamma field method. The model consisted of three interconnected chambers. To investigate the specificity of radiotaxis, as well as the importance of gamma irradiation level, a three-chamber behavioral test model was employed. Chamber 1: High radiation (approx. 12 mSv/day), containing food, water, and shade; Chamber 2: Moderate radiation (approx. 3.6 mSv/day), containing only sawdust; Chamber 3: Only background radiation. The chambers were connected to each other via passage tubes. To irradiate mice, we used point source of <sup>137</sup>Cs isotope.

**Results and conclusion.** Contrary to expectations, the majority of test animals (white mice) avoided Chamber 1, despite its favorable living conditions, and instead showed a marked preference for Chamber 2. This suggests that the animals prioritize a less stressful radiation environment over immediate access to essential resources. This review proposes a sensory-behavioral framework for studying radiotaxis and emphasizes the need for further investigation into how environmental radiation interacts with sensory systems to guide behavior.

Based on the observations, a tendency for experimental animals to exhibit negative radiotaxis was demonstrated. This effect has been observed by a number of researchers for other types of radiation exposure. Both behavioral parameters and a number of test criteria demonstrating the reliability of the obtained results were described. However, a unified concept of the mechanisms underlying this effect currently does not exist. Nevertheless, when studying behavioral responses in animals in the exclusion zone, further observations under radiation-contaminated conditions and the use of various test experiments are required to develop a unified understanding of the mechanisms of the observed processes.

**Keywords:** Gamma irradiation, white mice, radiotaxis.

## A NEW APPROACH TO IDENTIFYING CANCER PATIENTS AT HIGH RISK OF RADIATION THERAPY COMPLICATIONS

Domina E.A., Dumansky Y.V., Ivankova V.S.

*Institute of Experimental Pathology, Oncology, and Radiobiology  
named after R.E. Kavetsky, National Academy of Sciences of Ukraine*

*National Cancer Institute of Ukraine*

*e-mail: edjomina@ukr.net*

**Introduction.** A key challenge in modern radiation oncology is identifying cancer patients at high risk of developing radiation-induced complications prior to the start of radiation therapy, which should ensure a personalized approach to treatment planning and improve treatment efficacy. Genomic instability, reflected by chromosomal aberrations, plays a decisive role in the development of radiation-induced complications.

**Objective.** To identify predictors of radiosensitivity in non-malignant cells from the tumor microenvironment of cancer patients prior to the start of radiation therapy.

**Materials and methods.** A test system using peripheral blood lymphocyte cultures from oncology patients and healthy donors was employed. Cells were cultured according to the international standard protocol [IAEA, 2011] for 52 hours at 37 °C in aCO<sub>2</sub> incubator. Metaphase analysis of chromosomal aberrations was performed during the first mitosis.

**Results.** The background frequency of chromosomal aberrations in patient cell cultures showed the following: the average frequency of cells with chromosomal aberrations in blood lymphocytes of the examined patients was  $6.98 \pm 0.84\%$  and exceeded the value of this indicator in the control group by nearly 6 times and the upper limit of the population average by more than two times.

The overall frequency of chromosomal aberrations in the patient group was  $7.44 \pm 0.95/100$  cells, which exceeded the value of this indicator in the control group. The ratio of the frequency of chromatid and chromosomal aberrations was 2.2:1. Unlike the control group, a distinctive feature of the spectrum of spontaneous aberrations prior to the start of therapy was the presence of dicentric (0.16/100 cells), ring, and anomalous (0.18/100 cells and 0.26/100 cells, respectively) chromosomes in 55.0% of the examined patients.

**Conclusion.** Laboratory examination of oncology patients using a cytogenetic test will provide the most well-founded conclusion regarding the risk of complications arising from therapeutic radiation prior to their onset and will contribute to increasing its effectiveness and improving the quality of life of treated patients.

**Keywords:** radiosensitivity, radiation complications, chromosomal aberrations.

## **RADIOGENE CYTOGENETIC EFFECTS IN LIQUIDATORS OF THE ACCIDENT AT CHERNOBYL NPP**

Domina E. A., Grynevich Y.A., Ivankova V.S.

*Institute of Experimental Pathology, Oncology, and Radiobiology  
named after R.E. Kavetsky, National Academy of Sciences of Ukraine*

*National Cancer Institute of Ukraine*

*e-mail: edjomina@ukr.net*

The aim of this study is to investigate the correlation between the intensity of the radiation effect and cytogenetic and clinical effects in individuals who participated in the cleanup of the Chernobyl nuclear power plant accident in the early and long-term periods.

Biological (cytogenetic) dosimetry and the assessment of radiation exposure in radiation victims have been improved. A method for approximating the dose-effect relationship has been developed based on chromosome damage values in human lymphocyte cultures and a spline regression model.

The proposed method differs from others based on linear and linear-quadratic models traditionally used in biological dosimetry in that it offers greater approximation accuracy and the ability to predict the effect of the calibration curve's transition to a plane. It has been established that the reconstruction of the absorbed dose and verification of the severity of acute radiation sickness in patients undergoing intensive detoxification therapy should be performed based on the developed optimal set of cytogenetic indicators (frequency of aberrant lymphocytes, chromosome fragments, and abnormal monocentric chromosomes) and multiple linear regression.

It has also been established that in the post-Chernobyl period, diseases of the nervous system, circulatory system, respiratory organs, and malignant neoplasms occupy the top ranks among participants in the cleanup of the Chernobyl NPP accident. Medical history data (onset and duration of stay in the accident zone, nature of work performed) are specific risk factors for the main disease categories. Risk factors for the development of malignant diseases included work at the burial site, decontamination, evacuation, driving vehicles, as well as all dates of entry into the radiation-affected zone.

An inverse relationship between the incidence of malignant neoplasms among accident liquidators: the highest rates are observed at low doses. As radiation doses increase, the incidence of malignant neoplasms decreases. The data obtained provided grounds for the hypothesis that low doses of absorbed radiation are a statistically significant factor in carcinogenic risk. It was concluded that this may be associated with insufficient activation of the human body's antitumor defense mechanisms in the low-dose range. Cytogenetic criteria for identifying groups at increased cancer risk were determined.

**Keywords:** post-Chernobyl period, biological dosimetry, radiation doses, cancer.

## **NEW STRATEGY FOR THE PREVENTION OF RADIATION-INDUCED CANCER AMONG PROFESSIONALS**

Domina E.A., Ivankova V.S., Makovetska L.I.  
*Institute of Experimental Pathology, Oncology, and Radiobiology  
named after R.E. Kavetsky, National Academy of Sciences of Ukraine  
National Cancer Institute of Ukraine  
e-mail: edjomina@ukr.net*

Medical personnel constitute the largest occupational group working in radiation-exposed environments. Over 80% of workers are employed in the field of radiation diagnostics and therapy involving the use of radiation. There remains a risk of developing radiation-associated cancer in the absence of systematic monitoring of individual radiosensitivity among professionals in high-risk groups: radiologists, radiation oncologists, and nuclear industry workers.

The limited nature of approaches to primary prevention of radiation-induced cancer leads to the delayed implementation of preventive measures. The accumulation of chromosomal mutations in a cell population is a potentially oncogenic process, and low doses of ionizing radiation are recognized as carcinogenic hazards. A promising direction in personalized prevention is the determination of an individual's sensitivity to radiation using biodosimeters. A chromosomal test during the resting phase of the lymphocyte cell cycle involves analyzing spontaneous chromosomal aberrations and detecting radiation markers. It is also important to assess the pro-oxidant-antioxidant balance in the blood, as a disruption in this balance indicates the development of oxidative stress. The highest carcinogenic risk should be expected in cases where a high spontaneous level of chromosomal aberrations is combined with increased sensitivity to radiation exposure, i.e., classifying the examined individuals as being at increased risk for radiation-induced tumors.

Our studies can serve as a basis for classifying professionals into a group of individuals at increased carcinogenic risk and for the timely provision of primary prevention measures against radiation-induced tumors.

**Keywords:** radiation-associated cancer, prevention, chromosomes.

# РАДІАЦІЙНИЙ ГОРМЕЗИС У ГОРОХУ: ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА СТІЙКІСТЬ РОСЛИН ДО УФ-С ОПРОМІНЕННЯ

## RADIATION HORMESIS IN PEA PLANTS: EFFECT OF X-RAY SEED IRRADIATION ON PLANTS RESISTANCE TO UV-C

Жук В.В., Міхєєв О.М., Овсяннікова Л.Г.

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна  
e-mail: vzhukv@gmail.com*

Zhuk V.V., Mikheev O.M., Ovsyannikova L.G.

*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Опромінення насіння у біотехнології використовуються для підвищення схожості насіння, стимуляції цвітіння та накопичення вторинних метаболітів у рослин (Zulkifli et al., 2023). УФ-С опромінення вегетуючих рослин використовується для їх знезараження від бактерій і вірусів, однак спричинює дестабілізацію фотосинтезу та пригнічення росту рослин, зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках, зменшує продуктивність (Dawood et al., 2020). Метою нашої роботи було вивчення ефекту радіаційного гормезису у гороху рентгенівською радіацією на стійкість рослин, що з нього вирости до дії УФ-С опромінення.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження був горох посівний (*Pisum sativum* L.) сорту Ароніс. Опромінення насіння здійснювали на рентгенівській установці РУМ-17 Національного інституту раку при дозі 15 Гр, потужності дози 1,42 сГр/с. З опроміненого і неопроміненого насіння вирощували рослини в умовах водної культури. На 14 добу, у фазі трьох листків, було проведено опромінення частини рослин, вирощених з насіння, попередньо опроміненого та неопроміненого рентгенівським випромінюванням, УФ-С у дозі 5 кДж/м<sup>2</sup> потужністю 2,6 Вт/м<sup>2</sup> на установці ОБМ-150М (Україна) з двома лампами Philips Special TUV 30 W 253. Протягом 21 доби після опромінення вимірювали довжину та масу рослин, визначали вміст фотосинтетичних пігментів у листках спектрофотометрично. Повторність дослідів триразова. Результати оброблено з використанням однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA).

**Результати та висновки.** Гостре опромінення УФ-С дозою 5 кДж/м<sup>2</sup> знижувало масу вегетуючих рослин на 15%. Маса рослин, що вирости з опроміненого рентгенівською радіацією насіння дозою 15 Гр, перевищувала рівень контролю на 12%. Сумісна дія рентгенівського і УФ-С опромінення відновлювала масу рослин до контрольного рівня. Було показано, що опромінення УФ-С рослин гороху знижувало вміст хлорофілів у листках на 16% відносно контролю, а у рослин, що вирости з попередньо опроміненого насіння, через 21 добу після опромінення УФ-С вміст хлорофілів відновлювався до значень контрольного варіанту. Таким чином було показано, що попереднє опромінення насіння гороху низькою дозою рентгенівської радіації здатне підвищувати стійкість рослин, що з нього вирости до дії УФ-С опромінення.

**Ключові слова:** горох, рентгенівське опромінення, УФ-С, фотосинтетичні пігменти.

**ЕКСПРЕСІЯ ПРОЗАПАЛЬНИХ ЦИТОКІНІВ ТА NF-κB КЛІТИНАМИ  
МІЄЛОЇДНОГО РЯДУ У ПЕРИФЕРИЧНІЙ КРОВІ УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ  
НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС В УМОВАХ ВІЙНИ**

**EXPRESSION OF PRO-INFLAMMATORY CYTOKINES AND NF-κB BY THE  
PERIPHERAL BLOOD MYELOID LINEAGE CELLS OF CLEAN-UP WORKERS  
OF THE CHORNOBYL ACCIDENT IN WAR CONDITIONS**

Зварич Л.М., Лясківська О.В., Базика Д.А.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна  
e-mail: l.zvarych@ukr.net*

Zvarych L.M., Lyaskivska O.V., Bazyka D.A.

*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Існує взаємозв'язок між хронічним запаленням та станом імунної системи після дії іонізуючого випромінювання (ІВ). Запальні реакції можуть тривати роками після опромінення, що може сприяти розвитку вік-асоційованих захворювань. Війна в Україні стала ще одним джерелом стресорних факторів, що впливають на імунну систему осіб, які зазнали опромінення. Тому мета – оцінити відносні рівні експресії прозапальних цитокінів та транскрипційного ядерного фактора NF-κB у моноцитах і гранулоцитах периферичної крові (ПК) в учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС, які проходили обстеження після початку повномасштабної війни.

**Матеріали та методи.** Основна група – 15 УЛНА на ЧАЕС, віком 58–64 ( $61,87 \pm 1,85$ ) років, які були опромінені в інтервалі доз 8,0-911,0 мЗв. Контрольна група (КГ) – 10 цивільних осіб, віком 58–75 ( $66,63 \pm 6,21$ ) років. Визначення відносних рівнів цитокінів (IL-1α, IL-1β, IL-6, TNF-α, IFN-γ) та NF-κB у моноцитах і гранулоцитах ПК проводили методом проточної цитометрії.

**Результати та висновки.** Не виявлено відмінностей між середньогруповими показниками відносних рівнів експресії цитокінів IL-1α, IL-6 та IFN-γ у моноцитах і гранулоцитах ПК осіб груп обстеження. Відмічена тенденція до зниження середньогрупового показника експресії IL-1β у моноцитах ПК УЛНА на ЧАЕС порівняно з показником осіб КГ (1543,00 [1346,00; 1822,00] vs 3091,50 [1989,50; 4028,50]). Натомість показник експресії TNF-α у моноцитах ПК УЛНА на ЧАЕС мав тенденцію до підвищення порівняно з КГ (4092,00 [3866,00; 6899,00] vs 3142,00 [2243,00; 4464,00]). Вміст IL-1β у гранулоцитах ПК УЛНА на ЧАЕС був різко знижений порівняно з показником осіб КГ (617,00 [599,00; 644,00] vs 3576,50 [2740,50; 4428,00],  $p < 0,01$ ), при цьому середньогрупові показники експресії TNF-α у даній субпопуляції лейкоцитів не відрізнялися між групами обстеження. В УЛНА на ЧАЕС встановлено зниження рівня експресії NF-κB у моноцитах (304,00 [247,00; 402,00] vs (659,00 [342,00; 748,00],  $p < 0,01$ ) та гранулоцитах ПК (383,00 [272,00; 477,00] vs 557,50 [458,00; 704,00],  $p < 0,05$ ) порівняно з показниками осіб КГ. Оскільки обидва цитокіни – IL-1β та TNF-α залучені у сигнальний шлях NF-κB, виявлені зміни можуть свідчити про системне пригнічення шляхів запального процесу та зниження реактивності мієлоїдних клітин. Визначені зміни в УЛНА на ЧАЕС потребують детального дослідження.

**Ключові слова:** цитокіни, моноцити, гранулоцити, запалення, іонізуюче випромінювання, Чорнобиль.

**РАДІОБІОЛОГІЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ.  
РОЗШИРЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ  
НАСЛІДКІВ ОПРОМІНЕННЯ У ДІАПАЗОНІ МАЛИХ ДОЗ**

Кравець О.П.

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна*

Чорнобильська катастрофа створила різноманіття сценаріїв опромінення і виявилась однією з рушійних сил розвитку радіобіології останніх десятиліть. Одночасно відбулось збагачення технологічної бази радіобіологічного експерименту, можливість дослідження десятків і сотен біологічних параметрів з допомогою двомірного електрофорезу, місгоагау методу, зворотної транскрипції, різних режимів ПЛР. З'явилась системна радіобіологія. Ці два потужних фактори обумовили еволюцію радіобіологічної парадигми, поступовий відхід від «мішеного» тлумачення радіобіологічних ефектів.

Найбільш гострою, завдяки необхідності прогнозування наслідків аварії для сотен тисяч людей виявилась проблема ефектів дії малих доз. Якою є дозова залежність в царині «малих» доз? Пряма, опукла чи вгнута залежність “ефект/одиниця дози”? Визначення малих доз змінювалось з роками. Спершу “малими” вважали дози, за яких відбувається хоч одне попадання на клітину. З урахуванням середніх розмірів клітин ссавців це відповідало 20сГр. З відкриттям і дослідженням *By stander* – ефекту за малі прийнято дози, що на 1-2 порядку нижчі за LD50. Виявилась принципова відмінність дозових залежностей ефектів великих і малих доз. В той час як найпоширеніший радіобіологічний показник –«виживаність» мав гладку монотонну залежність, що апроксимується розподілом Пуассона (біноміальний розподіл рідких подій); дозові залежності радіобіологічних ефектів в інтервалі малих доз як правило мають немонотонний характер. Таким чином, за певними показниками ефективність малих доз виявляються більшими на один – два порядки ефективності високих доз. На сьогодні підвищена ефективність малих доз пояснюється по- перше, ефектом Петке, по друге, низькою ефективністю включення індукційної компоненти репарації.

Другою, не менш важливою проблемою постчорнобильської радіобіології виявилось визначення факторів індивідуальної радіочутливості та адаптивного потенціалу людини і біоти. На даний час встановлено, що індивідуальна радіочутливість пов'язана з поліморфізмом більше 40 генів, що беруть участь у клітинному гомеостазі та захисті клітин від мутагенів. До цих генів належать гени систем детоксикації ксенобіотиків, антирадикального захисту та репарації ДНК, поліморфізм яких визначає різну ефективність роботи цих систем.

За останні роки встановлено, що існують епігенетичні фактори, зокрема паттерн метилування ДНК, що визначають радіостійкість і адаптивний потенціал організму.

Далі, в радіобіології до чорнобильського періоду добре вивчені «швидкі», порядку наносекунд події, що відбуваються при опроміненні організму або окремих його структур. Виникає питання про механізми формування віддалених наслідків разового опромінення організму при малих дозах. На сьогодні встановлено, що індукована геномна нестабільність є ключовим механізмом у формуванні віддалених наслідків радіаційного ураження за умов разового опромінення в діапазоні малих доз

Дія хронічного опромінення обумовлює нагромадження дози і формування кумулятивних ефектів. Ці вивчають за різними показниками. Встановлено виникнення морфологічної асиметрії та циклічних змін активності мобільних елементів у популяції дрозофіли у зоні впливу підприємств ядерного циклу. На рослинах чорнобильської зони виявлено перебудови метаболізму (зміни 700 ферментів, що об'єднані у 11 метаболічні блоки ) та ознаки геномної нестабільності.

**СТАН КРОВОТВОРНОЇ СИСТЕМИ БІОІНДИКАТОРНИХ ВИДІВ ДРІБНИХ  
ГРИЗУНІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЗА ХРОНІЧНОЇ ДІЇ  
МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ**

**STATUS OF THE HEMOPOIETIC SYSTEM OF SMALL RODENT  
BIOINDICATOR SPECIES AT THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE UNDER  
CHRONIC EXPOSURE TO LOW DOSES OF IONIZING RADIATION**

Липська А.І., Родіонова Н.К., Рябченко Н.М., Бурдо О.О., Ганжа О.Б.  
*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

Lypska A.I., Rodionova N.K., Riabchenko N.M., Burdo O.O., Ganzha O.B.  
*Institute for Nuclear Research of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*  
*e-mail: alla.lypska@gmail.com*

**Introduction and purpose.** The unique radioecological situation that developed in the Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) creates the opportunity to assess the chronic radiation impact on biota in conditions of uneven radionuclide contamination of natural ecosystems after the Chernobyl accident. Despite many years of research, there is no consolidating view on the radiobiological consequences of chronic radiation with a significant contribution of the internal component. Purpose: to assess the status of the hematopoietic system of the reference species of mouse-like rodents from natural populations from the territories with a low level of radionuclide contamination of the ChEZ.

**Materials and methods.** Object of the study: hematopoietic system of a reference species of small rodents – *Myodes glareolus* from the ChEZ. Methods: radiometric,  $\gamma$ - and  $\beta$ -spectrometric, hematological, cytogenetic, statistical.

**Results and conclusions.** Experimental site was located 25 km from the destroyed 4th power unit of the Chernobyl NPP with the density of soil radioactive contamination for  $^{137}\text{Cs}$  – 0.37-0.93 MBq/m<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0.019-0.185 MBq/m<sup>2</sup>. The absorbed dose rate was formed mainly due to the incorporated  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ; the contribution of external radiation did not exceed 5%. The estimated values of the absorbed dose during the animals' lifespan were 1.98–2.64 mGy. In the peripheral blood, compared with the control animals, erythropenia, leukocytosis, an imbalance of individual leukocyte fractions, as well as an increase in the adaptation and immunoreactivity indices were detected. In the bone marrow, an increase in the proportion of blast cells, accelerated maturation of erythroid cells, and an increase in the frequency of cells with abnormalities of nuclear material were noted. Along with pathological changes, compensatory and repair reactions were observed, in particular, the formation of foci of extramedullary hematopoiesis in the spleen in individual animals. In several generations of animals from the radioactively contaminated ChEZ areas, significant interindividual variability of hematological and cytogenetic parameters was recorded, which indicates the heterogeneity of the reactions of the blood system to chronic irradiation. It can be assumed that the significant variability of the blood system parameters reflects the coexistence in the experimental population of different adaptation strategies: from compensatory activation of hematopoiesis to signs of functional depletion of the hematopoietic system. Thus, in animals that have lived in the ChEZ under conditions of low dose rates, both negative reactions and compensatory changes in the blood system were detected. This is probably due to long-term chronic exposure in low doses, as well as transgenerational effects induced by radiation exposure in the early period after the Chernobyl accident.

**Keywords:** radionuclides, chronic radiation, low doses, bank vole (*Myodes glareolus*), Chernobyl Exclusion Zone, hematopoietic system, cytogenetic disorders.

**ВИКОРИСТАННЯ ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЇ З ПЕРЕТВОРЕННЯМ ФУР'Є ДЛЯ  
АНАЛІЗУ СПЕКТРІВ ОСНОВНИХ БІОХІМІЧНИХ СПОЛУК У РОСЛИННИХ  
ВРІЗКАХ ПІСЛЯ ДІЇ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ**

**THE USE OF FOURIER TRANSFORM IR SPECTROSCOPY FOR THE ANALYSIS  
OF SPECTRA OF MAJOR BIOCHEMICAL COMPOUNDS IN PLANT SAMPLES  
FOLLOWING EXPOSURE TO IONIZING RADIATION**

*Літвінов С.В., Рашидов Н.М., Куцоконь Н.К., Сакада В.І., Бережна В.В.  
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна*

*Litvinov S.V., Rashydov N.M., Kutsokon N.K., Sakada V.I., Berezhna V.V.  
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Introduction and aim.** Large-scale screening of changes in plant biochemical profiles requires a significant investment of resources and time. One method that can greatly facilitate a researcher's work is attenuated total reflection Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR), which has recently been used to analyse the biochemical composition of plant tissue samples. Advantages of this method include speed, simplicity, reliable and reproducible results, and the ability to simultaneously measure the content of the most common biochemical compounds while preserving the spatial compartment structure and macromolecules inherent in living systems. Our work aimed to familiarise the scientific community with the fundamentals and advantages of studying biochemical changes induced in plants by ionizing radiation using the promising ATR-FTIR method.

**Materials and methods.** The samples were prepared for analysis using a variety of methods. The most common method involved drying the samples and grinding them into a fine powder using a disruptor. Whole flat sections of leaves, stems and seed coats were used to study the biochemical composition of epidermal structures and the cuticle. In all cases, the final stage involved obtaining infrared spectra of the samples. Mid-infrared absorption spectra ( $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ) were obtained using a Nicolet FTIR IS50 spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA). The spectra were measured with a resolution of  $4\text{ cm}^{-1}$ . Analysis of the IR spectra was carried out using the Thermo Scientific OMNIC software package (Thermo Fisher Scientific, USA). To average the spectra, 32–64 scans of a single field were used, along with background spectrum filtering. The raw spectra were smoothed using the Savitzky–Golay filter to remove spectral noise and were baseline-aligned. The relative concentration of biochemical compounds was estimated based on the area of characteristic peaks (peak centre  $\pm 6\text{--}12\text{ cm}^{-1}$ ) in the smoothed and baseline-aligned absorption spectrum.

**Results and conclusions.** The ATR-FTIR method enables the detection of complex changes in the biochemical composition of plant organs resulting from ionizing radiation. As well as determining the content of major biochemical compounds such as cellulose, hemicelluloses, starch, polysaccharides, proteins, lipids, nucleic acids, lignin and polyphenols, the method enables correlations between the content of different compounds to be studied. It also allows factorial, dispersion and regression analyses to be applied to determine the biochemical signatures that are characteristic of control and experimental samples. FTIR analysis also enables conclusions to be drawn regarding changes in proteome conformation and cuticular layer lipid structure. Overall, the ATR-FTIR method enables the rapid and reliable evaluation of metabolic changes in plants exposed to ionizing radiation, both in the short and long term.

**Keywords:** FTIR, biochemical structure, metabolic changes, ionizing radiation, radiobiological effects.

## ЗМІНИ РЕПРОДУКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ТРИВАЛОГО РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ: НА ПРИКЛАДІ ФЕРТИЛЬНОСТІ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН

Марущак І.В., Гудков Д.І., Беляєв В.В., Пришляк С.П.  
Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна  
e-mail: irunamarushchak29@ukr.net

Marushchak I., Gudkov D., Belyaev V., Pryshlyak S.  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Вступ і мета.** Довготривале радіаційне опромінення гідрофітів у водних екосистемах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) зумовлює вплив на їхні репродуктивні структури. Пилкові зерна розглядаються як високочутливий тест-об'єкт для оцінки функціонального стану репродуктивної системи рослин. Метою дослідження було визначення рівня фертильності та життєздатності пилку вищих водних рослин у водоймах ЧЗВ, що характеризуються різним ступенем радіонуклідного забруднення.

**Матеріали та методи.** Дослідження виконано у липні–серпні 2025 р. у водних екосистемах зони відчуження. Об'єктами дослідження слугували популяції макрофітів (*Nuphar lutea*, *Trapa natans*, *Butomus umbellatus*, *Myriophyllum spicatum*, *Persicaria amphibia*, *Nymphaea alba*, *Sagittaria sagittifolia*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Stratiotes aloides*, *Sparganium erectum*, *Utricularia vulgaris*). Цитологічний аналіз пилку передбачав кількісну оцінку морфометричних показників пилкових зерен, визначення рівня фертильності та життєздатності з використанням стандартних методів диференційного забарвлення.

**Результати та висновки.** Проведені дослідження свідчать про наявність вираженого градієнта радіаційного впливу на репродуктивну сферу гідрофітів. Загальна потужність поглиненої дози варіювала в межах 0,05–18,5 мкГр/год., що дозволило класифікувати водні об'єкти за рівнем радіаційного навантаження: від умовно референтних (р. Прип'ять, оз. Плютовище) до імпактних (оз. Глибоке, оз. Азбучин, Янівський затон, а також остаточні озера колишньої акваторії водойми-охолоджувача (ВО) ЧАЕС). У водоймах із мінімальним фоновим рівнем опромінення показники морфологічної повноцінності пилку *Nuphar lutea* та *Trapa natans* наближалися до біологічного максимуму (95,8–100%). Результати, отримані у ВО ЧАЕС, демонструють високу толерантність *Myriophyllum spicatum* до хронічного опромінення. Фертильність на рівні 83,3–94,6% за високої життєздатності (до 99,2%) може бути інтерпретована як прояв радіоадаптації або ефективності систем репарації ДНК у гідрофітів, що тривалий час перебувають під дією малих та помірних доз. У оз. Глибоке та оз. Азбучин зафіксовано критичні пригнічення чоловічого гаметофіта. Зниження фертильності до екстремально низьких значень (1,27% у *Nymphaea alba*, 1,8% у *Sparganium erectum*) свідчить про порушення процесу мейозу та формування екзини пилкових зерен. Значний відсоток стерильності (до 98,7%) вказує на незворотний характер пошкоджень репродуктивних клітин під впливом хронічного опромінення. Встановлено, що реакція на радіаційний чинник має чітко виражений індивідуально-видовий характер. Такі види, як *Nymphaea alba*, *Stratiotes aloides* та *Sparganium erectum*, виявляють ознаки високої радіочутливості, тоді як *Trapa natans* та *Myriophyllum spicatum* демонструють значно вищу екологічну пластичність.

**Ключові слова:** макрофіти, зона відчуження ЧАЕС, пилкові зерна, фертильність, стерильність, радіонуклідне забруднення.

## НЕВИРШЕНІ РАДІОБІОЛОГІЧНІ ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЯ

Міхєєв О.М.

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна  
e-mail: mikhalex7@yahoo.com*

Спричинила аварія на ЧАЕС нові чи невідомі радіобіологічні та радіоекологічні ефекти? Можна було б згадати про високоактивні гарячі частинки, явище радіаційно індукованого гігантизму хвої, високу вертикальну та горизонтальну гетерогенність радіонуклідного забруднення ґрунтів, старіння радіонуклідів тощо. Проте, все це було відомо практично ще з самого початку наземних випробувань атомної зброї. Хіба що до феноменологічних «новинок» можна віднести гарячі частинки біологічного походження, які досліджені в нашому відділі і можуть, зокрема, пояснити явище радіаційно індукованого радіогормезису, тобто позитивної дії іонізуючої радіації.

Здається, що аварія на ЧАЕС спричинила лише кількісну зміну спектру радіобіологічних і радіоекологічних проблем. Зсув дослідницьких інтересів відбувся від переважного дослідження детермінованих ефектів типу гострої променевої хвороби в бік дослідження стохастичних ефектів, що були зумовлені підвищеним радіаційним фоном.

До сих пір особлива увага прикута к проблемі так званих «малих доз» іонізуючої радіації, які правильніше було б називати квазіфонові дози, що саме і здатні викликати стохастичні радіобіологічні ефекти, прикладом яких є мутагенез та канцерогенні явища. Вважаємо, що суттєвим доробком в цьому напрямку досліджень є спростування міфу про буцімто високу пошкоджуючу ефективність інкорпорованих радіонуклідів. З'ясувалось, що виникнення вказаного міфу було наслідком некоректно проведеної дозиметрії.

Серед досліджених ефектів квазіфонових доз слід особливо відмітити вже згадане явище радіогормезису. Хоча механізм його залишається нерозкритим, але стало ясно, що саме по собі радіогормезис лежить в основі так званої «адаптивної відповіді», яку ми називаємо гіперрадіоадаптацією. Проте, можна думати, що наявних фактичних даних відносно радіогормезису та радіоадаптації буде достатнім для створення відповідної теорії, що дозволила б більш ефективно здійснювати профілактику та терапію ушкоджень радіаційного походження.

Хотілось би вірити, що постчорнобильська ситуація безпосередньо в зоні впливу ЧАЕС та навкруги дозволить суттєво просунутись у вирішенні проблема порогової дії іонізуючої радіації і нормування її припустимих рівнів для людини та екосистем. Зокрема, актуальною залишається проблема статистики та адекватного контролю для врахування дії іонізуючої радіації в умовах дії інших факторів – фізичних, хімічних та біологічних. Прогрес у цій області зробить більш адекватною оцінку радіогенних канцерогенних ризиків і дозволить оцінити опосередковані наслідки аварії (наприклад, роль радіофобії) на людину.

Недослідженими залишаються мікроеволюційні процеси в зоні впливу аварії на ЧАЕС.

Серед прикладних завдань актуальною є проблема адаптації технологій очищення природних середовищ до реальних рівнів та умов радіонуклідного забруднення.

**Ключові слова:** квазіфонові дози, радіогормезис, радіоадаптація, стохастичні ефекти мікроеволюція.

## КОМЕТНИЙ АНАЛІЗ ЯК МАРКЕР РАДІАЦІЙНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ГЕНОМУ

Неумержицька Л.В., Курінний Д.А.

*ДУ«Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології  
Національної академії медичних наук України», Київ*

Пошук інформативних біомаркерів впливу іонізуючої радіації – це одне з найважливіших завдань сучасної радіобіології. Адже саме вони дозволяють не лише зафіксувати факт пошкодження геному, а й зрозуміти, як клітина реагує на стрес, які механізми включаються для збереження стабільності та чому одні організми виявляються більш вразливими до впливу іонізуючої радіації, ніж інші.

У наших досліджах ми застосовували кілька підходів для оцінки генотоксичної дії іонізуючого випромінювання: цитогенетичний аналіз хромосомних аберацій, оцінку метилювання ДНК та кометний електрофорез. Кожен із них дав важливу інформацію, проте саме кометний метод виявився найбільш результативним. Завдяки цьому ми отримали чітку картину: від розривів ДНК до епігенетичних змін і активації апоптозу. В досліджах на опроміненій *in vitro* (гамма випромінювання 1,0 Гр) культурі лімфоцитів периферичної крові людини було зафіксовано підвищення частки клітин із високим рівнем одно- та дволанцюгових розривів ДНК (оцінені за параметрами % ДНК у хвості та Tail Moment). після опромінення порівняно з контролем; виявлено також зміни у метилюванні ДНК, які підтверджують епігенетичну відповідь на дію ІВ; було встановлено активацію апоптозу: частка клітин із ознаками програмованої смерті зросла більш ніж утричі; за цитогенетичним аналізом виявлено зростання частоти абераційних метафаз та хромосомних аберацій. Важливо, що результати показали міжіндивідуальну варіабельність – кожен організм реагує по-своєму, і саме це відкриває шлях до персоналізованої оцінки радіочутливості.

Таким чином, наші дослідження довели, що кометний аналіз є чутливим і універсальним. Він дозволяє комплексно оцінювати ушкодження ДНК, рівень метилювання та апоптоз, що робить його одним із найперспективніших маркерів радіаційної нестабільності геному. У поєднанні з іншими методами він формує багаторівневу систему оцінки, але саме кометний метод у наших досліджах показав найвиразніші результати й підтвердив свою цінність для фундаментальних і прикладних досліджень

**Висновки.** Кометний аналіз – це не просто ще один метод. Це **універсальний і надзвичайно чутливий інструмент**, який дозволяє побачити геномну нестабільність у всіх її проявах: від розривів ДНК до епігенетичних змін і запуску апоптозу. Він швидкий, інформативний і придатний для різних біологічних систем, що робить його одним із найперспективніших маркерів для оцінки генотоксичності та індивідуальної чутливості до іонізуючої радіації. Саме тому ми розглядаємо його як центральний елемент у системі нових методів радіобіологічних та радіоекологічних досліджень.

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ $^{90}\text{Sr}$ ТІЛА ТА КІСТКОВОГО МОЗКУ МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ

## MODELLING $^{90}\text{Sr}$ INTERNAL IRRADIATION PROCESSES OF MURINE RODENTS' BODY AND BONE MARROW

Павловський В.В., Стрільчук М.В.

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна  
e-mail: vladypav@gmail.com*

Pavlovskiy V.V., Strilchuk M.V.

*Institute for Nuclear Research of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** При проведенні сучасних радіобіологічних та радіоекологічних досліджень активно застосовується комп'ютерне моделювання процесів, пов'язаних із опроміненням живих організмів. Існує перелік наукових праць, присвячених моделюванню опромінення мишоподібних гризунів та складових їх організму, зважаючи на те, що вони часто виступають об'єктами дозиметрії. Більшість таких джерел пов'язана з лабораторним опроміненням тварин та відповідними радіонуклідами. Метою нашого дослідження була розробка моделі, яка відтворює внутрішнє опромінення мишоподібних гризунів  $^{90}\text{Sr}$ , що відображає реальні ситуації опромінення в межах природних екосистем Чорнобильської зони відчуження.

**Матеріали та методи.** Моделювання базувалося на проаналізованій інформації з наукових джерел, присвяченій біології дрібних гризунів. Було визначено характеристики тіла, скелета та кісткового мозку тварин. Згідно з отриманими даними, із використанням програми 3ds Max було створено модель типового мишоподібного гризуна, яку за допомогою додаткового інструментарію було імпортовано у програмне забезпечення Geant4, призначене для моделювання процесів опромінення різноманітних об'єктів у ядерній фізиці. Робота моделі полягала у симуляції ситуацій опромінення, спираючись на бета-спектри  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{90}\text{Y}$ , взяті з відкритих джерел.

**Результати та висновки.** Побудована 3D-модель дозволяє проводити розрахунок інтегральної депонованої енергії та відповідних дозових коефіцієнтів для тіла та кісткового мозку тварин. Отримані коефіцієнти у поєднанні із даними спектрометричних досліджень активності  $^{90}\text{Sr}$  роблять можливою оцінку дозових навантажень та доз, одержаних тваринами за певні періоди часу. Також було проведено попереднє масштабування розробленої моделі для виявлення залежності між дозовими коефіцієнтами (як для кісткового мозку, так і для всього тіла) та розмірами тварин. З метою подальшого вдосконалення моделі наразі аналізується інформація про співвідношення розмірів та маси тіла диких мишоподібних гризунів для визначення алометричних співвідношень, що відображали б зміну маси тварин зі збільшенням довжини тіла. Таким чином, модель зможе достовірно відображати тварин різних розмірів та віку. Результати проведеного дослідження можуть бути використані для дозиметрії мишоподібних гризунів у межах радіобіологічних та радіоекологічних досліджень дрібних тварин Зони відчуження. Моделювання ситуацій опромінення типових мешканців забруднених територій одним із основних радіонуклідів-полютантів дозволить реалістично оцінювати отримані ними дози опромінення, які, в свою чергу, можна буде пов'язувати з тими чи іншими ефектами, що дозволить сформуванню цілісної картини впливу радіоактивного забруднення на біоту.

**Ключові слова:** моделювання, мишоподібні гризуни, стронцій, дозиметрія.

## ГЕМАТОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ТРИВАЛОГО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У РИБ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

### HEMATOLOGICAL EFFECTS OF LONG-TERM RADIATION EXPOSURE IN FISH FROM THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Поморцева Н.А., Гудков Д.І., Каглян О.Є.  
*Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна*  
*e-mail: natapomorцева@gmail.com*

Pomortseva N.A., Gudkov D.I., Kaglyan A.E.  
*Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Хронічне радіонуклідне забруднення водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) формує підвищене дозове навантаження на рибу і може призводити до порушень гемопоезу та змін клітинного складу крові. Гематологічні показники, зокрема лейкоцитарна формула та характеристики еритроцитів, розглядаються як чутливі біомаркери такого впливу. Метою дослідження було оцінити вплив градієнта потужності поглиненої дози (ППД) на гематологічні показники різних видів риби водойм ЧЗВ.

**Матеріали та методи.** Іхтіологічний матеріал і кров відбирали влітку 2019–2025 рр. у водоймах ЧЗВ. Гематологічний аналіз проводили за загальноприйнятими методами.

**Результати та висновки.** Радіаційне навантаження спричиняє додозалежну, але немонотонну перебудову кровотворення з вираженими міжвидовими відмінностями. У більшості видів риби за поточної ППД 5–30 мкГр/год відмічали підвищення кількості лейкоцитів і частки гранулоцитів при одночасному зниженні лімфоцитів, що відображає активацію мієлоїдної ланки гемопоезу. За більш високих ППД 45–50 мкГр/год у карася та окуня спостерігали зниження кількості лейкоцитів у поєднанні з лімфопенією і гранулоцитозом, що може свідчити про пригнічення гемопоезу. У краснопірки підвищений рівень лейкоцитів зберігався навіть за високих значень ППД, що може свідчити про більшу стійкість її кровотворної системи у досліджуваному діапазоні. Кількість еритроцитів залишалася відносно стабільною  $1,2-1,4 \times 10^{12}/л$ . Водночас морфологічні та морфометричні показники еритроцитів були більш чутливими до радіаційного впливу. У водоймах ЧЗВ було зафіксовано зростання частоти морфологічних порушень (у 7,6–17,7 разів) і розширення їх спектра, що може свідчити про дестабілізацію еритропоезу. Переважали мембранні, дегенеративні та генотоксичні ушкодження, причому зі зростанням ППД посилювалися саме порушення генетичної стабільності. Аналіз морфометричних показників показав, що збільшення розмірів і об'єму еритроцитів, найбільш виражене у карася, помірне у краснопірки та плітки і мінімальне у окуня, що супроводжувалося зростанням варіабельності клітин. Таким чином, хронічне іонізуюче випромінювання індукує немонотонну перебудову лейкоцитарної ланки з переходом від активації до пригнічення гемопоезу за високих ППД. Еритроцитарна ланка є стабільною за кількістю, але чутливою за морфологічними та морфометричними показниками. Інтенсивність змін визначається рівнем ППД і видовими особливостями, з максимальною реакцією у карася та мінімальною – у окуня. Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2023.03/0156).

**Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, потужність поглиненої дози, риби, гематологічні показники, лейкоцитарна формула, еритропоез.

## EFFECT OF X-RAY IRRADIATION ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, FLAVONOIDS AND HYPERICIN IN *HYPERICUM PERFORATUM L.* *IN VITRO* PLANTS CULTURE

Pchelovska S.A., Lystvan K.V., Litvinov S.V., Zhuk V.V., Salivon A.G.  
*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine*  
*e-mail: svetapchel@gmail.com*

**Annotation.** It was investigated the changes in the sum of phenols, flavonoids and hypericin, antioxidant activity of plant extracts of *Hypericum perforatum L.*, grown *in vitro*, which were exposed to ionizing irradiation. The stimulating effect of irradiation on the content of phenols and flavonoids in 3-week-old plants and hypericins in 6-week-old plants was shown for all radiation doses.

In continuation of studies of the effect of ionizing radiation (IR) on the processes of secondary metabolism in medicinal plants, it was proposed to investigate the effect of IR on the accumulation of secondary metabolites in medicinal *in vitro* plants culture.

In this work, changes in the sum of phenols, flavonoids and hypericin content in extracts from *Hypericum perforatum L. in vitro* plants exposed to IR were investigated. Studies of previous years have shown the presence of a stimulating effect of pre-sowing irradiation of *Hypericum perforatum L.* seeds on the accumulation of phenolic compounds and flavonoids when IR doses of 20 Gy and 35 Gy used.

Irradiation of *Hypericum perforatum L. in vitro* plants culture at doses of 1 Gy, 5 Gy, 10 Gy, 15 Gy caused an increase in the content of flavonoids in the leaves of 3-week-old plants by 20% - an irradiation dose of 1 Gy, and by 30% - in the leaves of 6-week-old plants, doses of 5 Gy and 10 Gy. An increase in the content of phenolic compounds was noted for 3-week-old plants - for all irradiation doses: by 13-22%. For 6-week-old plants, changes in the content of phenolic compounds for irradiated plants differed little from non-irradiated ones. Three months after irradiation, changes in the content of both phenols and flavonoids were practically not noted for all irradiation doses. Hypericin production was stimulated to some extent three weeks after irradiation at doses of 1, 5 and 15 Gy, while no such effect was observed in plants that received a dose of 10 Gy. After 6 weeks after irradiation, a significant stimulating effect was demonstrated for all doses used - the total content of hypericins increased by approximately 1,5 times regardless of the dose used. Three months after irradiation, the effect of lower doses (1 and 5 Gy) was practically not detected, while higher doses (10 and 15 Gy) significantly suppressed hypericin biosynthesis.

Thus, confirmation of the possibility of using ionizing radiation to modify the accumulation of pharmaceutically valuable substances in *Hypericum perforatum L. in vitro* plants culture was obtained.

# МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЛОНГОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПСИХОНЕЙРОІМУННУ РЕГУЛЯЦІЮ ОРГАНІЗМУ

## MODEL STUDIES OF THE IMPACT OF PROLONGED RADIATION ON PSYCHONEUROIMMUNE REGULATION OF THE BODY

Ракша-Слюсарєва О.<sup>1</sup>, Слюсарєв О.<sup>1</sup>, Рашидов Н.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донецький національний медичний університет, Лиман, Україна

<sup>2</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна  
e-mail: rakshasliusareva@gmail.com

Raksha-Sliusareva O.<sup>1</sup>, Sliusarev O.<sup>1</sup>, Rashydov N.M.<sup>2</sup>

*Donetsk National Medical University, Lyman, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета** Дослідження хронічного (ХО) та пролонгованого іонізуючого опромінення (ПО) є критично важливим напрямком радіобіології та радіаційної медицини. Метою роботи було дослідження впливу ПО на показники психонейроімуноімуноної регуляції в модельних експериментах на тваринах

**Матеріали та методи.** В дослідженнях були використані самці білих безпородних щурів, згруповані у 3 групи по 25 особин. Тварини інтактної групи (ТІГ) не піддавались опроміненню і слугували контролем для груп опромінення. Тварини контрольної групи (ТКГ) одноразово опромінювали в дозі 6,5 Гр, тварини основної групи (ТОГ) опромінення в дозі по 0,44 Гр протягом 30 діб (сумарна доза 6,5 Гр). Опромінення виконувалось на приладі Рокус – М № 126 – гама-терапевтичний апарат. До та після опромінення у тварин визначали показники психонейроімуноної регуляції організму: психоемоційний стан за показниками сенсibilізації до власних тканин організму (СОВТ), грумінгу, рівня гормонів, показниками системи імунітету.

**Результати та висновки.** Після опромінення у ТКГ і ТОГ були виявлені значні відмінності показників, що вивчались. У ТОГ реєструвалась висока ступінь СОВТ до тканин стовбуру й кори головного мозку, а також до тканин печінки і сім'яників. У ТКГ реєструвалась висока ступінь СОВТ до тканин органів, пов'язаних з системою імунітету (селезінка й наднирники), а також до тканини печінки, нирок і сім'яників. У ТКГ показники грумінгу не мали вірогідних відмінностей від норми, а у ТОГ – були вірогідно вищими, що дотично свідчило про активацію автоімунних процесів і процесів очищення. У ТКГ зареєстровано вірогідне збільшення рівня ТТЗ, Е2, тенденція до підвищення вмісту Тс та до зниження ТТ4. На протипагу цьому, у ТОГ зареєстровано вірогідне збільшення рівня ТТ4, FT4, вірогідне зменшення рівня Е2 та тенденція до зменшення рівня ТТГ, ТТЗ, Тс. Тенденція до збільшення Корт реєструвалась у ТКГ і ТОГ. Після опромінення у ТКГ і ТОГ вірогідно, в порівнянні з нормою і ТІГ, зменшувався вміст лейкоцитів. При цьому у ТОГ реєструвалось значне й вірогідне зниження вмісту лімфоцитів, а у ТКГ їх вміст мав лише тенденції до зниження. На відміну від ТОГ, у ТКГ виявилась більш збереженою проліферативна активність Т-лімфоцитів, а в їх пулі виявлялись незрілі, молоді клітини, природні кілери та їх попередники, тобто клітини імунної системи, які забезпечують протипухлинний і протівірусний захист. Отримані дані свідчать про відмінність патогенезу гострого та пролонгованого опромінення.

**Ключові слова:** пролонговане опромінення, психонейроімунона регуляція, гормони, імунітет.

## РАДИОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ ПІД ЧАС ВІЙНИ В УКРАЇНІ

### RADIOECOLOGICAL STATE OF THE DONETSK REGION DURING THE WAR IN UKRAINE

Ракша-Слюсарєва О., Слюсарєв О., Коваленко П., Тур Я.  
*Донецький національний медичний університет, Лиман, Україна*  
*e-mail: rakshaslusareva@gmail.com*

Raksha-Sliusareva O., Sliusarev O., Kovalenko P., Tur Ya.  
*Donetsk National Medical University, Lyman, Ukraine*

**Вступ та мета.** Донецький регіон, розташований на території з наявністю радіоактивних еманаций, постійно знаходився під впливом комбінованої дії техногенної та природної радіації і комплексу шкідливих факторів: хімічної, металургійної, гірничовидобувної та гірничопереробної промисловості, що віддзеркалювалося негативними змінами в психонейроімунній регуляції організму населення. В результаті війни, розпочатої рф інфраструктура Донеччини широкомасштабно зруйнована й продовжує руйнуватися, поглиблюється екологорадіаційна криза, погіршується стан здоров'я мешканців регіону, як на непідконтрольних, так і на під контрольній Україні територіях. З 2014 р. зафіксовано підвищення рівня  $\gamma$ -випромінювання. Паралельно збільшується забруднення важкими металами. Лише протягом 2017-2018 років в регіоні виявлено перевищення вмісту таких елементів як ртуть, ванадій, кадмій, нерадіоактивний стронцій у 1,1-1,3 рази. У більшості випадків вміст важких металів у зразках ґрунту, відібраних у місцях військових дій, перевищує фонове значення в 1,2-12 раз. В зв'язку з цим, метою роботи було дослідження стану системи імунітету, як ланки психонейроімунної регуляції організму, у мешканців регіону в порівнянні із довоєнним періодом.

**Матеріали та методи.** У 671 умовно здорових осіб, віком 18 – 65 років, з контингенту переселенців з місць непідконтрольних Україні (УЗОП) та осіб – резидентів, що постійно мешкають на території підконтрольній Україні (УЗОР), досліджено та проаналізовано психоемоційний стан та стан системи імунітету. Дослідження проведені в динаміці з 2014 по 2026 рік. Оцінка психоемоційного стану проводилася на базі тесту, розробленого Києво-Могилянською академією на основі включення показників тривоги і депресії (HADS) за Госпітальною Шкалою у власній модифікації. Для оцінки стану імунної системи визначали вміст лейкоцитів, елементів лейкограми та частоту виявлення вмісту змін цитоморфології нейтрофілів та лімфоцитів.

**Результати та висновки.** В умовно здорового населення Донецького регіону спостерігаються негативні зрушення психоемоційного стану з 2014 року, з періодом відновлення протягом з кінця 2020 р. до початку 2022 р., які постійно поглиблюються до 2026 року. Показники лейкограми відображають стан неспецифічної резистентності. З 2015 року (до того часу стабільні) кількісні та якісні показники вмісту елементів лейкограми змінилися і свідчать про напруження системи на рівні зриву адаптації. Зміни вмісту і цитоморфології клітин імунної системи свідчать про дизрегуляцію Т та В ланки, поступово наростаючу тенденцію до розвитку імунної недостатності та зниження контролю, з боку імунної системи, за станом генетичного гомеостазу організму.

**Ключові слова:** Україна, війна, екологорадіаційна криза, система імунітету.

## РАДІОПРОТЕКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕЛЕНОВМІСНОГО КОМПЛЕКСУ ВИНОГРАДНОЇ КІСТОЧКИ ПРИ ГОСТРОМУ ОПРОМІНЕННІ

### RADIOPROTECTIVE PROPERTIES OF SELENIUM-CONTAINING GRAPE SEED COMPLEX DURING ACUTE IRRADIATION

Ракша-Слюсарєва О.<sup>1</sup>, Рашидов Н.М.<sup>2</sup>, Слюсарєв О.<sup>1</sup>, Дьомочка Д.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>*Донецький національний медичний університет, Лиман, Україна*

<sup>2</sup>*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна*  
*e-mail: rakshaslusareva@gmail.com*

Raksha-Sliusareva O.<sup>1</sup>, Rashydov N.M.<sup>2</sup>, Sliusarev O.<sup>1</sup>, Domochka D.<sup>1</sup>.

*Donetsk National Medical University, Lyman, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine,*  
*Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Війна в Україні призводить до руйнування інфраструктури і зниження або відсутності контролю над джерелами іонізуючого випромінювання, як на підконтрольних Україні, так і на окупованих територіях та в зонах бойових дій. В Україні залишаються в небезпеці об'єкти ядерної енергетики та промисловості, на яких використовувались джерела іонізуючого випромінювання та ядерні матеріали. Це створює небезпеку щодо ймовірного опромінення і вимагає розробки радіопротекторів, як у випадку гострого, так і пролонгованого та хронічного опромінення.

**Матеріали та методи.** В дослідженнях були використані самці білих безпородних щурів, згруповані у 3 групи по 25 особин. Тварини інтактної групи (ТІГ) не піддавались опроміненню і слугували контролем для груп опромінення. Тварини контрольної групи (ТКГ) та основної групи (ТОГ) піддавались одноразовому опроміненню в дозі 6,5 Гр. Опромінення виконувалось на приладі Рокус – М № 126 – гама-терапевтичний апарат. ТОГ перед опроміненням отримували екстракти фітокомпозиту виноградної кісточки, збагаченого селеном (ФВК), у дозі 1,0 щодобово протягом 3,5-х тижнів. До та через місяць після опромінення у тварин визначали: показники грумінгу (ПГ), показниками сенсibiliзації до власних тканин організму (СОВТ), показниками системи імунітету.

**Результати та висновки.** Дослідження проведені до опромінення після 3,5 тижнів прийому ФВК зареєстрували відсутність зміни ПГ та СОВТ у ТОГ. На цей же термін у ТОГ вірогідно та майже в 2-1,5 рази, порівняно з показниками норми, вихідними даними так ТКГ, підвищився вміст лейкоцитів, нейтрофілів, моноцитів та лімфоцитів периферичної крові. Хоча цитоморфологічні показники були в межах норми, вони свідчили про зменшення вмісту елементів лейкограми, що віддзеркалюють токсико-запальний процес й напруження імунної системи. Після опромінення у ТКГ вірогідно збільшились ПГ, з'явився високий рівень СОВТ до тканин: наднирників, селезінки, печінки, нирок, легень, сім'яників. Реєструвалась недостатність неспецифічної резистентності та імунної системи, гіпохромна анемія, значний токсико-запальний процес, збільшувались деградація та руйнування лімфоцитів і нейтрофілів. У ТОГ, на відміну від ТКГ, ПГ та СОВТ відповідали показникам норми. У ТОГ також реєструвалась недостатність системи імунітету, але втричі збільшувався вміст паличкоядерних нейтрофілів, не реєструвались ознаки анемії, вірогідно збільшувався вміст природних кілерів та їх попередників був меншим, порівняно з ТКГ розпад клітин.

**Ключові слова:** іонізуюче опромінювання, радіопротектор, фітокомпозит, виноградна кісточка.

**ПОШУК МЕТОДАМИ *IN SILICO* ПОТЕНЦІЙНИХ АМІЛОІДОГЕННИХ І  
ПРІОНОПОДІБНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ У БІЛКІВ РОСЛИН ПІСЛЯ  
РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ**

***IN SILICO* SEARCH FOR POTENTIAL AMYLOIDOGENIC AND PRION-LIKE  
PROPERTIES IN PROTEINS OF X-RAY IRRADIATED PLANTS**

Розенбаум Е.В.<sup>1</sup>, Літвінов С.В.<sup>2</sup>, Рашидов Н.М.

<sup>1</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут високих технологій, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України*

Rozenbaum E.V.<sup>1</sup>, Litvinov S.V.<sup>2</sup>, Rasydov N.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of High Technologies, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*e-mail: emily.rozenbaum@gmail.com*

**Introduction and aim.** Amyloid prion-like proteins were discovered in plants a decade ago. Unlike animal prions, they are not associated with pathogenesis and can perform a variety of useful functions, such as seed storage and protection, maintaining plant homeostasis under stressful conditions, and producing antioxidants. These prions have significant potential applications in agriculture, medicine and the development of new technologies and materials.

We previously hypothesised that radiation-related senescence remodels the plant proteome by triggering the accumulation of amyloidogenic and prion-like proteins in plant tissues. In this context, we studied plants grown from X-ray-irradiated pea seeds and found that some of their proteins were significantly more abundant in the irradiated group than in the control group. Here, we aim to verify, using *in silico* screening of this protein sample, whether irradiation of plant seeds gives rise to amyloidogenesis in plants grown from these seeds and whether the proteins of such plants have prion-like properties.

**Materials and methods.** We applied bioinformatics algorithms implemented in the PLAAC (Prion-Like Amino Acid Composition) application to a sample of 29 proteins which accumulated differently in pea plants stressed by X-ray irradiation compared to the control group.

**Results and conclusions.** The PLAAC algorithm was used to study 29 selected proteins, 4 of which were recognised as potentially amyloid and prone to prionogenesis. These were extensin 2 domain-containing protein, RNA editing factor (MORF), component 1 of Argonaute RISC (AGO1) and Ole e 1-like protein. They belong to the following functional categories: cell wall formation, RNA editing, RNA interference and vesicle transport. Two proteins involved in RNA processing appear to exhibit a more pronounced prion-like nature.

The hypothesis that prion-like properties of proteins are related to their internal structural order/disorder was also confirmed. Prionogenesis has been shown not to be characteristic of proteins with a positive folding index (FI), and vice versa, potential prion-like behaviour is plausible for proteins with  $FI < 0$ .

*In silico* data suggest that the proteins most highly accumulated in plants grown from X-ray irradiated seeds can demonstrate enhanced amyloidogenesis and prion-like behaviour, which can be interpreted in terms of their protective role in response to stress.

**Keywords.** X-ray irradiation, *in silico*, PLAAC, amyloidogenesis, prion-like behaviour, internally ordered/disordered proteins.

**ДОСЛІДЖЕННЯ АБСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКЗОПОЛІМЕРНОГО КОМПЛЕКСУ У КОНТАКТІ З ПАЛИВОВМІСНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» ЧАЕС»**

**INVESTIGATION OF THE ABSORPTION CAPACITY OF THE EXOPOLYMER COMPLEX DURING INTERACTION WITH FUEL-CONTAINING MATERIALS OF THE CHORNOBYL NPP "SHELTER" OBJECT**

Рубан Ю., Торянник А., Паренюк О., Паламар Л., Одінцов О., Шаванова К., Краснов В.  
*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль, Україна*  
*e-mail: yuliyaruban24@gmail.com*

Ruban Y., Toryanik A., Pareniuk O., Palamar L., Odintsov O., Shavanova K., Krasnov V.  
*Institute for Safety Problems of NPP NAS Ukraine, Chornobyl, Ukraine*

**Вступ та мета.** Формування біоплівки є ключовим етапом біокорозії матеріалів під впливом чинників довкілля. Біоплівка - це складний консорціум мікроорганізмів, зокрема бактерій і грибів, занурених у синтезований ними екзополімерний комплекс (матрикс). Цей матрикс бере участь у формуванні органо-мінеральних зв'язків і впливає на міграцію металів, зв'язуючи їх як у розчинних, так і в нерозчинних формах. Паливовмісні матеріали (ПВМ), що утворилися внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, є гетерогенними сплавами дисперсних частинок ядерного палива та конструкційних матеріалів реакторного відділення. З огляду на зростаючий інтерес до мікробних біоплівок як перспективних агентів біоремедіації важких металів і біовилуговування, дослідження ролі бактеріального екзополімерного комплексу в акумуляції радіонуклідів цезію є надзвичайно актуальним. Такі дослідження створюють підґрунтя для розроблення нових методів деконтамінації поверхонь і вдосконалення стратегій безпечного поводження з відпрацьованим ядерним паливом, щоб мінімізувати потрапляння радіонуклідів у довкілля.

**Матеріали та методи.** Для оцінки абсорбційної здатності екзополімерного комплексу щодо радіоактивного ізотопу  $^{137}\text{Cs}$  використовували проби води, відібрані всередині об'єкта «Укриття» ЧАЕС та зі ставка-охолоджувача. Експеримент передбачав культивування мікроорганізмів на поживному середовищі у присутності фрагментів лавоподібних ПВМ (ЛПВМ) протягом 110 діб. Для контролю паралельно інкубували мікрофлору зі ставка-охолоджувача за аналогічних умов. Після завершення терміну культивування визначали сумарну питому активність  $^{137}\text{Cs}$  у середовищі, після чого зразки центрифугували (6000 об/хв) для осадження клітинної маси. З отриманого осаду проводили два види екстракції екзополімерного комплексу: неіонну екстракцію (фізичне відокремлення матриксу від клітин шляхом центрифугування) та іонну екстракцію (відокремлення за допомогою катіонообмінних смол). У результаті було ізольовано чотири аналітичні фракції: неіонний супернатант, неіонну клітинну масу, іонний супернатант та іонну клітинну масу. У кожній фракції методом гамма-спектрометрії вимірювали питому активність  $^{137}\text{Cs}$ .

**Результати та висновки.** За отриманими експериментальними даними, частка акумульованого  $^{137}\text{Cs}$  в екстрагованому екзополімерному комплексі становила 99,72% для проб зі ставка-охолоджувача та 99,81% для проб із саркофага (відносно сумарної активності клітинного осаду). Це переконливо підтверджує висунуту гіпотезу про те, що первинна акумуляція та зв'язування радіонуклідів мікрофлорою об'єкта «Укриття» відбувається саме в екзополімерному матриксі, а не всередині мікробних клітин. Основним бар'єром на шляху до промислового впровадження та масштабування біотехнологій на основі екзополімерів є брак даних про фундаментальні механізми

сорбції та їхні регуляторні процеси. Для розширення областей практичного застосування екзополімерних комплексів у сфері ядерної безпеки необхідне подальше вивчення видової специфічності мікроорганізмів щодо конкретних радіонуклідів, а також детальне дослідження метаболічних шляхів синтезу екзополімерів та молекулярних механізмів абсорбції.

**Ключові слова:** об'єкт «Укриття» ЧАЕС, паливовмісні матеріали (ПВМ), екзополімерний комплекс, біоплівка, біосорбція,  $^{137}\text{Cs}$ .

## «ЕФЕКТ СВИДКА» В УМОВАХ ГОСТОГО ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ МИШЕЙ З РІЗНИМ РІВНЕМ ГЕНЕТИЧНО ДЕТЕРМІНОВАНОЇ РАДІОЧУТЛИВОСТІ

Сенюк О.Ф., Жидков О.В., Горювий Л.Ф.

ТОВ «Мікотон-Оріджінал», Тел. 38(067504) 1375, e-mail olga.seniuk@ yahoo.com

Під «ефектом свідка» (ЕфСв) розуміють здатність опромінених іонізуючою радіацією клітин (ОК), викликати «променеві» ушкодження в неопромінених клітинах-сусідах (НОК). Опосередкований вплив ОК на НОК-свідки реалізується такими незалежними способами: 1) радіаційно індукованими активними формами кисню, окислів азоту і т. інш, а також через токсини, що продукують в живильне середовище ОК; 2) через тісні контакти між ОК і НОК.

Мета роботи — відтворення ЕфСв у опромінених мишей Balb/c – відносно чутливих до ізуючих випромінювань (ЛД 50/30 5,85 Зв) і С57В1/6 – більш стійких до дії ІВ (ЛД 50/30 6,73в).

В досліді самиць обох ліній у віці від 4 до 6 місяців опромінювали: 1) впродовж 16 годин на рівномірно розподілених під клітками дрібних зразках ядерного палива, модифікованого у гострий період Чорнобильської аварії 1986 р з досягненням загальної дози опромінення біля 5 Зв; 2) впродовж 231 доби на плоских бетонних плитках з ґрунтом Рудого лісу з питомою активністю біля 30 кБк/кг, які створювали ПЕД ~52,2 мкЗв/год; 3) інкорпорацією з розчину *per os* 137Cs впродовж 74 діб і накопиченням в тілах мишей радіоактивності  $17,0 \pm 1,0$  кБк.

Здатність клітин різного походження (з периферійної крові, селезінки, печінки і головного мозку), отриманих від опромінених тварин (ОК) викликати підвищення рівнів однострункових розривів ДНК (ОНР ДНК) в таких же клітинах, отриманих від неопромінених тварин (НОК), досліджували у першу добу, через один і чотири тижні після опромінення. Рівень ОНР ДНК визначали за методикою мічення ДНК флюоресцентним барвником пікогрін, за допомогою спеціального рідера (Fluoroskan Tescan, Austria). Результати надавали у вигляді коефіцієнта розкручування спіралі (КРС) на 20 хвилині експозиції подвійної спіралі ДНК (дсДНК) з розплітаючим буфером за формулою:

$$КРС = \log (\% \text{ дсДНК у пробі} / \% \text{ дс ДНК у контролі})$$

Ушкоджуючий вплив ОК на НОК досліджували після перенесення НОК у живильне середовище (RPMI 1640 с 5 % ембріональної телячої сироватки, інкубація 3 години) ОК. Одночасно досліджували можливість впливу ОК на НОК за умов відсутності контакту через біологічні рідини, виставляючи три 96-гніздних мікропланшета з культурами клітин один над другим таким чином, що гнізда з ОК з усіх сторін оточували гнізда з НОК, і витримували при + 37°C впродовж шести годин

В усіх видах досліджуваних клітин утримання НОК в живильному середовищі ОК асоціювалась з суттєвим зростанням ОНР ДНК у першу добу після опромінення. Найбільш виражений приріст ОНР ДНК спостерігали у лімфоцитах периферичної крові – до 70 %, у гепатоцитах цей показник збільшувався на ~ 50 %, та на ~ 20 % – у спленоцитах.

Ефект збільшення кількості ОНР ДНК в інтактних клітинах після їх 3-годинної витримки в культуральному середовищі клітин, отриманих від опромінених мишей, протягом місяця плавно знижувався до 3% у лімфоцитів, і до 10% в інших клітинах, він також модифікувався хітин/хітозан-глюкан-меланінлвним комплексом з трутовика *Fomes fomentarius*.

В середовищі культивування неопромінених клітин була виявлена тенденція до зниження рівня ОНР ДНК у клітинах, отриманих від опромінених тварин.

Визнання існування і безумовний облік феномена передачі інформаційних імпульсів з уражених П клітин на інтактні клітини-сусіди істотно змінює погляди, що встановилися, на події пострадіаційного періоду в опроміненій живій тканині.

## ЗМІНИ МЕТАБОЛІЗМУ РУДИХ НОРИЦЬ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

### METABOLIC CHANGES IN BANK VOLES OF THE EXCLUSION ZONE

Тукаленко Є.<sup>1</sup>, Бурдо О.<sup>1</sup>, Грибенко М.<sup>1</sup>, Лозовицька І.<sup>1</sup>, Липська А.<sup>1</sup>, Патіюк А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

e-mail: etukalenko@gmail.com

Tukalenko E.<sup>1</sup>, Burdo O.<sup>1</sup>, Grybenko M.<sup>1</sup>, Lozovytska I.<sup>1</sup>, Lypska A.<sup>1</sup>, Patiuk A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Вступ та мета.** Розуміння біологічних ефектів низькодозового хронічного іонізуючого випромінювання є необхідним для оцінки ризиків для здоров'я людини, захисту екосистем та розробки ефективних стандартів радіаційної безпеки. Оскільки лабораторні експерименти часто не відображають складності впливу низьких доз у природних умовах довкілля, додаткові підходи з використанням екологічно релевантних моделей є критично важливими. Метою дослідження було оцінити гомеостаз глюкози та попередні дані щодо метаболічної відповіді печінки на вплив іонізуючого випромінювання у рудих нориць.

**Матеріали та методи.** Модельною твариною була руда нориця (*Clethrionomys glareolus*). Гомеостаз глюкози оцінювався за базальним рівнем глюкози в периферичній крові у нориць, які були відловлені на контрольних (незабруднених) ділянках та у Рудому лісі (45 та 68 тварин, відповідно). Також проводили глюкозотолерантний тест (40 тварин з контрольних локацій та 36 з забруднених, навантаження глюкозою 1 г/кг), адаптований для модельних тварин. У окремому експерименті за нового методологічного підходу (інтродукція тварин з незабруднених територій на два з половиною тижні у відкриті вольєри, що розташовані у контрольних незабруднених ділянках та у Рудому лісі) визначали метаболом печінки рудих нориць (5 контрольних та 4 опромінені тварини, LC-MS, 204 метаболіти).

**Результати та висновки.** У рудих нориць рівень глюкози (середнє±стандартне відхилення) становив 5,9±1,5 ммоль/л на контрольних ділянках і 7,0±2,5 ммоль/л у забруднених районах ( $p<0,01$ ). Множинною регресією показано значущі ефекти опромінення ( $p<0,01$ ), статі та наявності ектопаразитів (*Ixodes ricinus*) ( $p<0,05$ ). Глікемічна відповідь на навантаження глюкозою у опромінені тварин була знижена у порівнянні з контрольними (AUC 1068,2 ± 349,7 проти 1339,8 ± 381,7 відповідно;  $p<0,01$ ), так само, як і пікові рівні глюкози (15,06±4,60 ммоль/л проти 17,34±3,85 ммоль/л, відповідно;  $p<0,01$ ), що корелювало з оціненою індивідуальною дозою тварин ( $r = -0.31$ ;  $p<0,01$ ). Аналіз метаболому виявив зміни 20 метаболітів, що відрізнялися між опроміненіми та контрольними тваринами, що наводить на думку про радіаційно-обумовлений катаболічний зсув з адаптацією до стресу (підвищена мобілізація субстратів та зміни взаємодій організм-мікробіом). Незважаючи на малий розмір вибірки та обмежену кількість метаболітів, значущих після FDR-корекції (виключно рамноза), функціональне групування метаболітів та узгодженість результатів, отриманих незалежними методами аналізу (Манн-Уїтні та t-тести, кореляційний аналіз), свідчать про координовані метаболічні зміни. Загалом ці результати відображають адаптивне метаболічне пере програмування опроміненіх тварин, яке може покращувати короткострокову фізіологічну ефективність, але потенційно має довгострокові наслідки для стабільності обміну речовин та здоров'я організму.

**Ключові слова:** зона відчуження, радіоізотопи, руда нориця, глюкоза, метаболом.

## ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ В ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ЛЮДИНИ У ВІДДАЛЕНІ ТЕРМІНИ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

### CYTOGENETIC EFFECTS IN HUMAN BLOOD LYMPHOCYTES IN THE LONG TERM AFTER THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Шеметун О.В., Талан О.О.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини,  
гематології та онкології НАМН України», Київ, Україна  
e-mail: shemetun@ukr.net*

Shemetun O.V., Talan O.O.

*State Institution "National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and  
Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine*

**Вступ та мета.** Згідно з класичною парадигмою радіобіології, пошкоджуюча дія іонізуючого випромінювання на організм людини виникає внаслідок безпосереднього впливу на ДНК клітин-мішеней. Вона проявляється підвищенням частоти аберацій хромосомного типу, які є маркерами дії радіації. З часом після опромінення відбувається елімінація індукованих опроміненням пошкоджень хромосом. Чи вказує це на стабілізацію геному опромінених осіб у віддалені терміни після опромінення, адже на сьогодні відомо про дисгеномні ефекти дії радіації, зокрема, радіаційно-індукований ефект свідка? **Метою** представлених досліджень було встановлення цитогенетичного ефекту в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС у віддалені терміни після дії радіації та визначення внеску радіаційно-індукованого ефекту свідка у його формування.

**Матеріали та методи.** Проведено цитогенетичне обстеження учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС у віддалені терміни після опромінення. Визначено частоту всіх типів аберацій хромосом в культурі лімфоцитів периферичної крові з використанням G-диференційного/рівномірного забарвлень метафазних хромосом.

**Результати та висновки.** У осіб, які зазнали дії чинників аварії на Чорнобильській АЕС, протягом двох наступних десятиліть зберігався підвищений рівень цитогенетичних маркерів опромінення. Він залежав від характеру, тривалості радіаційного впливу і часу, що минув після аварії. Надспонтанний цитогенетичний ефект не корелював з вихідним рівнем аберацій. Після радіаційного впливу частота нестабільних аберацій хромосом зменшувалась з часом, тоді як рівень стабільних маркерів опромінення спочатку дещо знижувався (зумовлено частковою елімінацією клітин, які містили стабільні хромосомні перебудови разом з нестабільними), проте потім лишався незмінним. Зареєстровано збільшення частоти аберацій хроматидного типу, що могло бути наслідком радіаційно-індукованого ефекту свідка.

Таким чином, у віддалені терміни після аварії на Чорнобильській АЕС встановлено підвищену хромосомну нестабільність соматичних клітин осіб, які зазнали впливу її чинників. Динаміка хромосомного мутагенезу характеризувалась зменшенням частоти нестабільних маркерів опромінення та підвищеною частотою маркерів хромосомної нестабільності, ймовірно індукованих ефектом свідка. Це вказує на вплив віддаленого у часі опромінення на дестабілізацію геному людини, що може стати тригером розвитку онкологічної патології.

**Ключові слова:** аберації хромосом, аварія на ЧАЕС, хромосомна нестабільність.

**ГЕНЕТИЧНА НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ТА РЕПРОДУКТИВНА ЗДАТНІСТЬ  
*PHRAGMITES AUSTRALIS* У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ  
ВІДЧУЖЕННЯ**

**GENETIC INSTABILITY AND REPRODUCTIVE CAPACITY OF *PHRAGMITES  
AUSTRALIS* IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE**

Шевцова Н., Гудков Д., Беляєв В., Пришляк С.  
*Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна*

Shevtsova N., Gudkov D., Belyaev V., Pryshlyak S.  
*Institute of Hydrobiology, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*  
*e-mail: shevtsovanl245@gmail.com*

**Introduction and aim.** Studying the consequences of chronic exposure on aquatic organisms in the Chernobyl Exclusion Zone (CEZ) is very important for understanding the risks and threats to aquatic ecosystems associated with their wide spectrum radionuclides' long-term contamination. The aim of this investigation is to analyze and assess possible threats to the biological diversity of the plant component of the aquatic ecosystem, arising from wide spectrum radionuclides' long-term contamination.

**Materials and methods.** Our studies on cytogenetic disorders of the reference species of helophytes of the CEZ water bodies - common reed *Phragmites australis* on cells of root meristem by ana-, telophase cells chromosome aberration (CA) express test, also as on reproductive indicators, based on panicle size and fertility have been carried out since 2006 and up to now. Samples were taken in water bodies of three ranges of dose rate on helophytes: the first range is the floodplain lakes Vershyna and Azbuchyn where absorbed doses almost five times exceed the safety threshold for biota of 10  $\mu\text{Gy/h}$ ; the second one is also lentic ecosystems, floodplain lakes of the left bank of the Pripjat River - Glyboke and Daleke, where the dose rate is in the range of 1-5  $\mu\text{Gy/h}$ , and the third one - which includes four residual parts of the Chernobyl NPP cooling pond, the right-bank floodplain lake Plyutovyshche and lotic aquatic ecosystems, such as the Pripjat River and others, where the dose rate varies from 0.14 to 0.47  $\mu\text{Gy/h}$ , which is almost two orders of magnitude lower than the accepted threshold value for biota.

**Results and conclusion.** During the research period, the average annual frequency of cytogenetic disorders in the cells of root meristem of reed significantly exceeds the corresponding indicators for plants from water bodies with background levels of radionuclide contamination by 1.5-5.5 times. The appearance of the CA directly logarithmically correlates with the dose rate, and their spectrum linearly depends on the dose to plants. At the present stage, a stable increase in the proportion of multiple CA in the cells of the root meristem of this helophyte in the water bodies of the CEZ, among which disorders associated with a violation of the mitotic apparatus, linked to mitotic spindle disruption, was identified. A significant decrease in the size of one of the reproductive organs of the reed - the panicle, was detected, on average by 1.5 times; also we continue to observe its almost complete sterility. The average actual productivity as of 2023 practically did not exceed 11%, even in plants of water bodies, where the dose rate for the plant is two orders of magnitude lower than the threshold value for biota. So, the findings indicate both persistent genomic instability and the threat of loss of genetic diversity for reed, which is the dominant species of helophyte plant communities of the CEZ water bodies.

**Keywords:** Chernobyl exclusion zone, common reed, radionuclide contamination, chromosomal aberrations, reproduction capacity, absorbed dose rate.

**КУЛЬТУРАЛЬНО-МОРФОЛОГІЧНІ, БІОХІМІЧНІ ТА ФІТОПАТОГЕННІ  
ВЛАСТИВОСТІ БАКТЕРІЙ, ВИДІЛЕНИХ З РОСЛИН ЗОНИ  
РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

**CULTURAL-MORPHOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND PHYTOPATHOGENIC  
PROPERTIES OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA ISOLATED FROM PLANTS  
IN THE AREA OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION**

Шиліна Ю.В.<sup>1</sup>, Жук І.В.<sup>1</sup>, Моложава О.С.<sup>2</sup>, Літвінов С.В.<sup>1</sup>, Шевченко Ю.І.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>ННЦ "Інститут біології та медицини" Київського національного університету ім.  
Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>3</sup>Syngenta GA, Switzerland

Shylyna J.V.<sup>1</sup>, Zhuk I.V.<sup>1</sup>, Molozhava O.S.<sup>2</sup>, Litvinov S.V.<sup>1</sup>, Shevchenko J.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Educational and Scientific Centre "Institute of Biology and Medicine" of Taras Shevchenko  
National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Syngenta GA, Switzerland

**Вступ та мета.** Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС значні території зазнали радіонуклідного забруднення, зокрема й мікрофлора. Метою нашого дослідження було виділення та ідентифікація доміантних форм бактерій з рослинних зразків, зібраних в зоні радіонуклідного забруднення та порівняння їх з бактеріями зі зразків поза зоною.

**Матеріали та методи.** Виділення ізолятів бактерій проводили із зразків рослин, зібраних в 10-кілометровій зоні відчуження ЧАЕС (полігон Чистоголівка, рівень забруднення ґрунту  $20650 \pm 1050$  Бк/м<sup>2</sup> по 137 Cs та  $5180 \pm 550$  Бк/м<sup>2</sup> по 90 Sr), та на території без радіонуклідного забруднення (70 км від ЧАЕС, рівень забруднення ґрунту  $1414 \pm 71$  Бк/м<sup>2</sup> по 137 Cs та  $550 \pm 55$  Бк/м<sup>2</sup> по 90 Sr). Виділення чистих культур та дослідження ізолятів бактерій проводили загальноприйнятими методами (Радченко, 2012, Whitman, 2015–present) з використанням мікробіологічного аналізатора VITEC 2 compact (bioMérieux, Inc., Франція). Статистичну обробку даних проводили з використанням пакету MS Office та Statistica.

**Результати та висновки.** Виділено 9 чистих ізолятів бактерій, з насіння льону, вирощеного на чистій території, ідентифіковані *Pseudomonas fluorescens* та грам-варіабельна *Paeni bacillus sp.*, а в умовах радіонуклідного забруднення – *Enterobacter spp.* та *Cupriavidus pauculus*, з суцвіття енотери – *Pantoea spp.* та *Acinetobacter baumannii*. Показана висока біохімічна активність бактеріальних ізолятів, виділених з рослин з території, забрудненої радіонуклідами – наявність каталази, утворення великої кількості слизу та розвинуті капсули, також домінують бактерії з ентерогрупи, близькі до умовно-патогенних форм та полібіотрофів. Відомі аналогічні ефекти іонізуючого випромінювання – у досліді з виділенням з асептичної культури *Nicotiana tabacum* штамом *Aeromonas salmonicida* рентгенівське опромінення (10-30 Гр) значно збільшувало частоту патогенної трансформації, яка мала транзитивний характер, (Litvinov, Potrohov, 2018). Подальше дослідження дозволить прогнозувати наслідки впливу на мікробіоту радіаційного забруднення та розробити ефективні методи захисту рослин від патогенів.

**Ключові слова:** фітопатогенні бактерії, іонізуюче опромінення, радіонуклідне забруднення

## ВПЛИВ ХРОНІЧНОГО ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ НА ФІТОПАТОГЕННІ БАКТЕРІЇ *PSEUDOMONASAERUGINOSA* IN VITRO

### EFFECT OF CHRONIC GAMMA IRRADIATION ON PHYTOPATHOGENIC *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* IN VITRO

Шиліна Ю.В.<sup>1</sup>, Жук І.В.<sup>1</sup>, Шевченко Ю.І.<sup>3</sup>, Моложава О.С.<sup>2</sup>, Літвінов С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>ННЦ "Інститут біології та медицини" Київського національного університету ім.  
Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>3</sup>Syngenta Group AG, Базель, Швейцарія

Shylyna J.V.<sup>1</sup>, Zhuk I.V.<sup>1</sup>, Shevchenko J.I.<sup>3</sup>, Molozhava O.S.<sup>2</sup>, Litvinov S.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Educational and Scientific Centre "Institute of Biology and Medicine" of Taras Shevchenko  
National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Syngenta Group AG, Basel, Switzerland

**Вступ та мета.** Зараз в Україні війна додає ризиків радіоактивного забруднення середовища до тих, що були раніше – зокрема, аварії на ЧАЕС. Показано, що тривала дія малих доз радіації може призводити до перебудови структури мікробіоценозів (Zeng et al., 2024). Метою роботи було вивчення впливу хронічного гамма-опромінення на фітопатогенні бактерії *Pseudomonas aeruginosa*.

**Матеріали та методи.** В досліджах використані бактерії *P. aeruginosa* фітопатогенних штамів УКМ-В-1 = ATCC 10145 = NCIB 8295=ВКМ В889=ІМВ 9024, УКМ- В-1107 = ІМВ 9095, УКМ- В-1108 = ІМВ 9096 з колекції відділу фітопатогенних бактерій Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Суспензії бактерій *P. aeruginosa* в рідкому поживному середовищі опромінювали в дозовому полі <sup>137</sup>CsCl протягом 8 діб. Визначена поглинута доза гамма-випромінювання при потужності дози  $1,2 \cdot 10^{-7}$  Гр/с за 8 діб становила  $8,29 \cdot 10^{-2}$  Гр (8,29 сГр). Контрольну культуру утримували за тих же умов без опромінення. Вміст піоціаніну, піомеланіну та концентрацію бактеріальних клітин вимірювали спектрофотометрично (Abdelaziz et al., 2023). Фітотоксичну активність бактерій визначали на проростках кукурудзи за методом Берестецького (Берестецький, 1972). Результати оброблені статистично.

**Результати та висновки.** Хронічне гамма-опромінення стимулювало утворення піоціаніну у всіх досліджуваних фітопатогенних штамів *P. aeruginosa*, найбільше – у штаму ІМВ 9024 (більше 200 % порівняно з контролем), та піомеланіну – найбільше у штаму ІМВ 9024, менше – у ІМВ 9096. За цих умов проліферативна активність ІМВ 9024 зростала у 1,5 рази, а у ІМВ 9095 та ІМВ 9096 – до 20 %. Фітотоксична активність також підвищувалась у ІМВ 9024 і ІМВ 9096 при опроміненні, а у штаму ІМВ 9095 фітотоксичний вплив змінювався на рістстимуляторний. Таким чином, низькоінтенсивне хронічне опромінення бактерій *P. aeruginosa* здатне приводити до значних модифікацій взаємин у системі «рослина-фітопатогенні бактерії», і це необхідно враховувати для моніторингу територій, яким загрожує або вже постраждали від радіоактивного забруднення.

**Ключові слова:** хронічне гамма опромінення, *Pseudomonas aeruginosa* штами ІМВ 9024, ІМВ 9095, ІМВ 9096, піоціанін, піомеланін, проліферація, фітотоксична активність.

## ЗМІСТ / CONTENT

НАУКОВІ НАПРЯМИ / SCIENTIFIC TOPICS	4
ВСТУПНЕ СЛОВО / OPENING SPEECH	5
ПРОГРАМА СЕМІНАРУ	6
STUDY OF RADIOPROTECTIVE PROPERTIES OF A COMPLEX OF COPPER (II) CHLORIDE WITH 2-AMINO-3-(1H-INDOL-3-YL) PROPANOIC ACID <b>Abdullayev A.S., Shamilov E.N., Farajov M.F.</b>	8
ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІХТІОФАУНИ ЯНІВСЬКОГО (ПРИПЯТЬСЬКОГО) ЗАТОНУ <b>Беляєв В.В., Волкова О.М., Гудков Д.І. Пришляк С.П., Каглян О.Е. Юрчук Л.П.</b>	9
ENVIRONMENTAL POLLUTION RESULTING FROM MILITARY ACTIVITIES DURING THE WAR IN UKRAINE <b>Berezhna V.V., Sakada V.I., Kutsokon N.K., Litvinov S.V., Yatsiv V., Rashydov N.M.</b>	10
TOLERANCE OF ROOT GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC FUNCTION IN CHORNOBYL <i>Arabidopsis thaliana</i> UNDER TOXIC STRESS <b>Врюков В., Топчий Н., Шевченко Г.</b>	11
РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ВІЙНИ ЩОДО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ <b>Григор'єва Л., Григор'єв К.</b>	12
ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ РИБ У ВОДОЙМАХ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ <b>Гудков Д.І., Поморцева Н.А., Ганжа Х.Д., Потрохов О.С., Кірсєв С.І., Гупало О.О., Худіяш Ю.М., Каглян О.Є., Беляєв В.В.</b>	14
IS NEGATIVE RADIOTAXIS POSSIBLE IN ANIMALS IN RADIATION-CONTAMINATED AREAS? <b>Gunia N., Avalishvili A., Ivanishvili N., Kalmakhelidze S., Gogebashvili M.</b>	15
A NEW APPROACH TO IDENTIFYING CANCER PATIENTS AT HIGH RISK OF RADIATION THERAPY COMPLICATIONS <b>Domina E.A., Dumansky Y.V., Ivankova V.S.</b>	16
RADIOGENE CYTOGENETIC EFFECTS IN LIQUIDATORS OF THE ACCIDENT AT CHERNOBYL NPP <b>Domina E. A., Grynevich Y.A., Ivankova V.S.</b>	17
NEW STRATEGY FOR THE PREVENTION OF RADIATION-INDUCED CANCER AMONG PROFESSIONALS <b>Domina E.A., Ivankova V.S., Makovetska L.I.</b>	18
РАДІАЦІЙНИЙ ГОРМЕЗИС У ГОРОХУ: ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА СТІЙКІСТЬ РОСЛИН ДО УФ-С ОПРОМІНЕННЯ <b>Жук В.В., Міхєєв О.М., Овсяннікова Л.Г.</b>	19
ЕКСПРЕСІЯ ПРОЗАПАЛЬНИХ ЦИТОКІНІВ ТА NF-κB КЛІТИНАМИ МІСЛОЇДНОГО РЯДУ У ПЕРИФЕРИЧНІЙ КРОВІ УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС В УМОВАХ ВІЙНИ <b>Зварич Л.М., Лясківська О.В., Базика Д.А.</b>	20

РАДІОБІОЛОГІЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ. РОЗШИРЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ОПРОМІНЕННЯ У ДІАПАЗОНІ МАЛИХ ДОЗ <b>Кравець О.П.</b>	21
СТАН КРОВОТВОРНОЇ СИСТЕМИ БІОІНДИКАТОРНИХ ВИДІВ ДРІБНИХ ГРИЗУНІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЗА ХРОНІЧНОЇ ДІЇ МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ <b>Липська А.І., Родіонова Н.К., Рябченко Н.М., Бурдо О.О., Ганжа О.Б.</b>	22
THE USE OF FOURIER TRANSFORM IR SPECTROSCOPY FOR THE ANALYSIS OF SPECTRA OF MAJOR BIOCHEMICAL COMPOUNDS IN PLANT SAMPLES FOLLOWING EXPOSURE TO IONIZING RADIATION <b>Litvinov S.V., Rashydov N.M., Kutsokon N.K, Sakada V.I., Berezha V.V.</b>	23
ЗМІНИ РЕПРОДУКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ТРИВАЛОГО РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ: НА ПРИКЛАДІ ФЕРТИЛЬНОСТІ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН <b>Марущак І.В., Гудков Д.І., Беляєв В.В., Пришляк С.П.</b>	24
НЕВИРШЕНІ РАДІОБІОЛОГІЧНІ ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЯ <b>Міхєєв О.М.</b>	25
КОМЕТНИЙ АНАЛІЗ ЯК МАРКЕР РАДІАЦІЙНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ГЕНОМУ <b>Неумержицька Л.В., Курінний Д.А.</b>	26
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ <sup>90</sup> Sr ТІЛА ТА КІСТКОВОГО МОЗКУ МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ <b>Павловський В.В., Стрільчук М.В.</b>	27
ГЕМАТОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ТРИВАЛОГО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У РИБ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ <b>Поморцева Н.А., Гудков Д.І., Каглян О.Є.</b>	28
EFFECT OF X-RAY IRRADIATION ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, FLAVONOIDS AND HYPERICIN IN HYPERICUM PERFORATUM L. IN VITRO PLANTS CULTURE <b>Pchelovska S.A., Lystvan K.V., Litvinov S.V., Zhuk V.V., Salivon A.G.</b>	29
МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЛОНГОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПСИХОНЕЙРОІМУННУ РЕГУЛЯЦІЮ ОРГАНІЗМУ <b>Ракша-Слюсарєва О., Слюсарєв О., Рашидов Н.М.</b>	30
РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ ПІД ЧАС ВІЙНИ В УКРАЇНІ <b>Ракша-Слюсарєва О., Слюсарєв О., Коваленко П., Тур Я.</b>	31
РАДІОПРОТЕКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕЛЕНОВМІСНОГО КОМПЛЕКСУ ВИНОГРАДНОЇ КІСТОЧКИ ПРИ ГОСТРОМУ ОПРОМІНЕННІ <b>Ракша-Слюсарєва О., Рашидов Н.М., Слюсарєв О., Дьомочка Д.</b>	32
IN SILICO SEARCH FOR POTENTIAL AMYLOIDOGENIC AND PRION-LIKE PROPERTIES IN PROTEINS OF X-RAY IRRADIATED PLANTS <b>Rozenbaum E.V., Litvinov S.V., Rashydov N.M.</b>	33
ДОСЛІДЖЕННЯ АБСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКЗОПОЛІМЕРНОГО КОМПЛЕКСУ У КОНТАКТІ З ПАЛИВОВМІСНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» ЧАЕС» <b>Рубан Ю., Торянік А., Паренюк О., Паламар Л., Одінцов О., Шаванова К., Краснов В.</b>	34

«ЕФЕКТ СВИДКА» В УМОВАХ ГОСТОГО ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ МИШЕЙ З РІЗНИМ РІВНЕМ ГЕНЕТИЧНО ДЕТЕРМІНОВАНОЇ РАДІОЧУТЛИВОСТІ <b>Сенюк О.Ф., Жидков О.В., Горовий Л.Ф.</b>	36
ЗМІНИ МЕТАБОЛІЗМУ РУДИХ НОРИЦЬ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ <b>Тукаленко Є., Бурдо О., Грибенко М., Лозовицька І., Липська А., Патіюк А.</b>	38
ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ В ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ЛЮДИНИ У ВІДДАЛЕНІ ТЕРМІНИ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС <b>Шеметун О.В., Талан О.О.</b>	39
GENETIC INSTABILITY AND REPRODUCTIVE CAPACITY OF <i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE <b>Shevtsova N., Gudkov D., Belyaev V., Pryshlyak S.</b>	40
КУЛЬТУРАЛЬНО-МОРФОЛОГІЧНІ, БІОХІМІЧНІ ТА ФІТОПАТОГЕННІ ВЛАСТИВОСТІ БАКТЕРІЙ, ВИДІЛЕНИХ З РОСЛИН ЗОНИ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ <b>Шиліна Ю.В., Жук І.В., Моложава О.С., Літвінов С.В., Шевченко Ю.І.</b>	41
ВПЛИВ ХРОНІЧНОГО ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ НА ФІТОПАТОГЕННІ БАКТЕРІЇ <i>PSEUDOMONASAERUGINOSA</i> IN VITRO <b>Шиліна Ю.В., Жук І.В., Шевченко Ю.І., Моложава О.С., Літвінов С.В.</b>	42

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ БІОТИ У  
ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ**

**THE IMPACT OF CHRONIC RADIATION ON BIOTA  
IN THE EXCLUSION ZONE**

Редакція: Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Кравець О.П.

Editors: Kutsokon N.K., Rashydov N.M., Kravets O.P.

*Верстка: Куцоконь Н.К.*

*Typesetting by: Kutsokon N.K.*

*Матеріали надруковані в авторській редакції  
All materials had been published due to the author's editions*

Друкується за рішенням Радіобіологічного товариства України від  
15.05.2026 р.

Recommended for publication by the Ukrainian Radiobiological Society  
on 15.05.2026