

## СТАН СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС У ВІДДАЛЕНИЙ ПЕРІОД

Ю. О. БОНДАР, кандидат біологічних наук

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: bondar\_yuliya@i.ua*

*На матеріалі, отриманому з насіння насаджень сосни, що росли в умовах хронічного опромінення, визначено цитогенетичні ефекти та сформульовано їх кількісні залежності від рівнів радіоактивного забруднення дерев.*

**Ключові слова:** *радіоактивне забруднення, соснові насадження, зона відчуження Чорнобильської АЕС, аберації хромосом*

Щорічне збільшення антропогенного навантаження на лісові екосистеми та прогнозовані кліматичні зміни підвищують актуальність вивчення механізмів адаптації популяцій основних лісоутворювальних порід до змін умов навколишнього середовища. Особливо це важливо для радіоактивно забруднених регіонів, оскільки і до нині спостерігається гострий дефіцит інформації про віддалені наслідки хронічного радіаційного впливу на популяції рослин і тварин [10].

В перші місяці після аварії зовнішнє опромінення біологічних об'єктів складалось з аплікаційного та внутрішнього, яке було зумовлено позакореневим поглинанням численних радіонуклідів, потім виокремилось хронічне опромінення (зовнішнє –  $\gamma$ -випромінювання і внутрішнє –  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ , яке спричиняє більш потужний ефект, ніж гостре) [1, 2, 4, 9].

На забруднених територіях, особливо в ближній 10-кілометровій зоні ЧАЕС, у багатьох видів рослин спостерігали пригнічення росту окремих органів і рослин в цілому. Це супроводжувалось зниженням інтенсивності фотосинтезу, транспірації, синтезу окремих метаболітів, зокрема багатьох білків та інших процесів. Відмічали і пригальмовування розвитку рослин – затримку настання окремих фаз онтогенезу, збільшення тривалості вегетаційного періоду [15].

Пригнічення процесів росту і розвитку рослин помітне й зараз, особливо у хвойних порід, що ростуть на місці похованого «Рудого лісу», де рівні питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в рослинах досягають відповідно сотень і тисяч кБк/кг.

Незважаючи на досягнутий протягом останнього часу прогрес у розумінні механізмів індукованого мутагенезу, дуже мало відомо про те, яким чином підвищений рівень мутацій призводить до появи ефектів на рівні організму та популяції. В останні роки було проведено велика кількість досліджень, результати яких вказують на те, що хронічний техногенний вплив навіть за невеликих доз здатний впливати на такі важливі для існування популяції параметри як стан та репродуктивна здатність окремих особин популяції [5, 6, 12-15].

Небезпека хронічного опромінення також визначається збільшенням негативного генетичного вантажу у видових популяціях і активною реакцією, спрямованою на зменшення частоти появи ушкоджень геному. У рослин спостерігаються як безпосередні стохастичні ефекти дії іонізуючого випромінювання, так і прояви протирадіаційної активності клітин і видових популяцій в цілому [3]. Тому довготривалі дослідження цитогенетичних порушень в мітотичних клітинах рослин є актуальними.

**Мета досліджень** – оцінка стану соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження у віддалений період.

**Матеріали і методи досліджень.** Базовим полігоном для проведення досліджень був пункт тимчасової локалізації радіоактивних відходів «Рудий ліс» (біля 1,5 км на захід від ЧАЕС), де питомі активності  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у деревах істотно варіювали в залежності від конкретних умов проростання. В якості додаткових полігонів були обрані соснові насадження такого ж віку (18-20 років) поблизу с. Копачі (5 км на південь від ЧАЕС) та поблизу м. Іванків (біля 40 км на південь від ЧАЕС), розміщені за межами зони відчуження.

З контрольних дерев періодично відбиралися узагальнені проби хвої 1-го та 2-го років, пагонів, гілок та бруньок з трьох гілок, розміщених у нижній,

середній та верхній частині крони, кора, луб та деревина відбиралися на двох висотах даного дерева. Для проведення цитогенетичних досліджень відбирали шишки з обраних модельних дерев.

Активності  $^{137}\text{Cs}$  вимірювали на гамма-спектрометрі ADCAM-300, а  $^{90}\text{Sr}$  визначали за стандартною радіохімічною методикою з вимірюванням препаратів на бета-спектрометрі СЕБ-001 (Україна). Для цитогенетичних досліджень використали методику одержання давлених препаратів корневих меристем рослин та їх аналіз анафазо-телофазним методом [8] за допомогою мікроскопу Axioskop 40/40 FL Carl Zeiss (Німеччина).

**Результати досліджень.** Докладна інформація щодо розподілу радіонуклідів у деревах, їх сезонна динаміка та дозиметрична модель для розрахунку дозових навантажень на верхівкову меристему соснових дерев була викладена в попередніх роботах [7,11]. Оскільки періоди напіврозпаду  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  складають відповідно 30 і 29 років, радіоактивне забруднення полігонів залишалось практично постійним впродовж усього періоду досліджень.

Визначення кількості хромосомних аберацій в апікальній меристемі насінневих проростків рослин сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) проводились у два етапи. Перший етап відбувався впродовж 2005–2008 рр., другий етап – 2010–2012 рр.

В насінні рослин сосни, відібраних на трьох полігонах під час обох етапів досліджень було виявлено підвищену кількість клітин з абераціями.

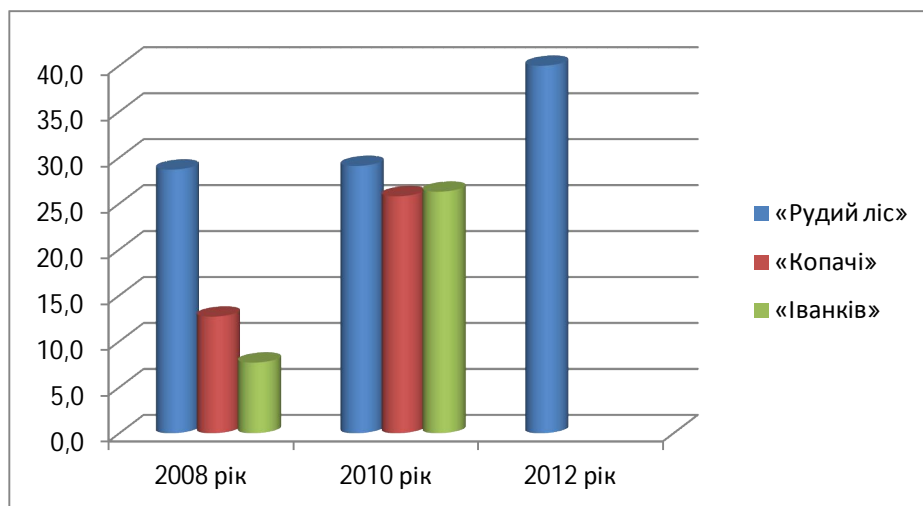
Найбільша кількість абераційних змін (75-95 % від загальної кількості аберацій) у верхівковій меристемі насінневих проростків першого етапу була представлена фрагментами, водночас спостерігалася тенденція до зростання їх внеску в загальну кількість аберацій зі збільшенням дозового навантаження, тоді як внесок інших видів мутацій зменшувався. Відносна кількість аберацій корелювала з рівнями радіоактивного забруднення дерев і її можна ранжирувати так: «Рудий Ліс» > «Копачі» > «Іванків».

В абераційних клітинах другого етапу (2010 рік) розподіл кількості різних видів порушень змістився в бік збільшення внеску містків і подвійних містків, а

саме в порівнянні з 2008 роком (4 %) їх кількість зросла більше ніж удвічі (9,5 %). У дослідних зразках, які були відібрані у 2012 році тенденція попереднього року збереглась, кількість фрагментів складала 85,3 %, містків – 12,7 %, а подвійних містків – 2 %.

На експериментальних майданчиках «Копачі» та «Іванків» було виявлено зовсім протилежну тенденцію. На обох полігонах з часом внесок фрагментів у загальну кількість абераційних змін зростав, для полігона «Іванків» цей показник змінився з 85 % до 100 %, а для полігона «Копачі» – з 84 % до 92 %.

В мітотичних клітинах проростків насіння, відібраного на першому етапі, було виявлено, що відсоток абераційних анафаз у 2–3 рази був нижчий, ніж відповідний для абераційних телофаз у зразках із «Рудого лісу». Ці показники для полігону «Копачі» майже не відрізнялися. В контрольного зразка кількість абераційних анафаз була вищою за відповідну величину у телофаз. Слід зазначити, що відсоток абераційних анафаз слабо зростав зі збільшенням забруднення дерев, тоді як для абераційних телофаз і аботелофаз частота на майданчику «Рудий Ліс» у 2-3 рази перевищувала частоту для майданчика «Копачі» й у 4 рази – частоту для майданчика «Іванків» (див. рисунок).



***Середні значення кількості абераційних змін в клітинах апікальної меристеми рослин сосни звичайної (Pinus sylvestris L.) експериментальних полігонів***

На майданчику «Рудий ліс» загальна кількість мітотичних клітин з хромосомними абераціями з 2008 р. по 2010 р. майже не змінилась, проте

збільшився внесок анафазних порушень. У дослідних зразках, які були відібрані у 2012 р., суттєво зріс відсоток клітин з хромосомними перебудовами і досяг 40%, при цьому внесок змін в анафазних клітинах зменшився і досяг рівня 2008 року.

Кількість абераційних клітин на експериментальному майданчику «Копачі» в порівнянні з 2008 роком у 2010 році зростає вдвічі, а на полігоні «Іванків» – втричі. Відсоток абераційних анафаз у 2008 році був нижчий за відповідний для абераційних телофаз у апікальних клітинах рослин сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), ця тенденція збереглась і в 2010 році. Дослідження насіння, відібраного на майданчику «Іванків» показали, що внесок абераційних анафаз із роками зменшився.

### **Висновки**

Репродуктивна здатність рослин прямо пропорційно пов'язана з величиною мутагенезу у їх насінні, тому проведені у 2008–2012 рр. дослідження частоти прояву цитогенетичних порушень у рослин сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) за хронічного зовнішнього і внутрішнього опромінення в зоні відчуження Чорнобильської АЕС, які виявили неухильну динаміку зростання цього показника на експериментальних полігонах із різними рівнями радіоактивного забруднення, довели, що навіть низькі хронічні дози опромінення збільшують накопичення генетичного сміття.

Причиною значного зростання цитогенетичних порушень на експериментальних ділянках може бути зростання внеску  $^{90}\text{Sr}$  в загальне опромінення рослин, який поступово вивільняється з паливних частинок, що потрапили у навколишнє середовище в результаті аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році.

Подібна тенденція у майбутньому, незважаючи на характер опромінення, у сосни звичайної призведе до значного збільшення прояву нестохастичних та стохастичних ефектів, які можуть спричинити пригнічення популяції чи навіть випадіння виду з екосистеми.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гродзинський Д. М. Віддалені радіобіологічні наслідки хронічного опромінення біоти в зоні впливу чорнобильської катастрофи / Д. М. Гродзинський // Чорноб. наук вісник. Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2006. – № 2 (28). – С. 5–12.
2. Гродзинський Д. М. Модифікація віддалених наслідків хронічного опромінення / Д. М. Гродзинський // Чорноб. наук вісник. Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2009. – № 1 (33). – С. 24–32.
3. Радіобіологічні та радіоекологічні дослідження Чорнобильської катастрофи вченими НАН України / [Д. М. Гродзинський, О. Ф. Дембновецький, О. М. Левчук, Ф. Н. Пацюк] // Вісник НАН України. – 2012. – № 2. – С. 30–40.
4. Радіобіологічні ефекти хронічного опромінення рослин у зоні впливу Чорнобильської катастрофи / [Д. М. Гродзинський, М. Т. Гуща, О. Д. Дмитрієв та ін.]. – К. : Наук. думка, 2008. – 373 с.
5. Влияние хронического облучения и погодных условий на популяции сосны обыкновенной Брянской области [Электронный ресурс]/ [Д. В. Васильев, А. Г. Кузьменков, Н. С. Дикарева, С. А. Гераськин.] – Режим доступа: [http://science-bsea.bgita.ru/2015/les\\_2015/vasiliev\\_vl.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2015/les_2015/vasiliev_vl.htm)
6. Влияние хронического облучения на устойчивость растений к биотическому стрессу в 30-километровой зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / А. П. Дмитриев, Д. М. Гродзинский, И. И. Гуща [и др.] // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 922–929.
7. Йощенко В. И. Дозовая зависимость частоты морфологических изменений в насаждениях *Pinus sylvestris* L. в Чернобыльской зоне отчуждения / В. И. Йощенко, Ю. О. Бондарь // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т. 48, № 1. – С. 258–274.
8. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 271 с.

9. Радиационно-генетические последствия облучения популяции сосны обыкновенной в зоне аварии на ЧАЭС / И. С. Федотов, В. А. Кальченко, Е. В. Игоница [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46, вып. 3. – С. 268–278.

10. A multi-criteria weight of evidence approach for deriving ecological benchmarks for radioactive substances / [J. Garnier-Laplace, C. Della-Vedova, P. Andersson et al.] // J. Radiological Protection. – 2010. – V. 30. – P. 215–233.

11. Chronic Irradiation of Scots Pine Trees (*Pinus sylvestris* L.) in the Chernobyl Exclusion Zone: Dosimetry and Radiobiological Effects [Электронный ресурс] / Vasyl I. Yoschenko, Valery A. Kashparov, Maxim D. Melnychuk [et al.] // Health Physics Society Journal. – 2011. – Vol. 101, № 4. – Режим доступа: <http://hps.org/hpspublications/journalarchive/151-2011.html>

12. Geras'kin S. Effects of long-term chronic exposure to radionuclides in plant populations / S. Geras'kin, T. Evseeva, A. Oudalova // J. Environ. Radioactivity. – 2013. – V. 121. – P. 22–32.

13. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill / C. H. Peterson, S. D. Rice, J. W. Short [et al.] // Science. – 2003. – V. 302. – P. 2082–2086.

14. Micieta K. Adaptation to the environmental stress as a result of a long-term mutagenesis in plants / K. Micieta, G. Murin // In: Mutagenesis: exploring novel genes and pathways (Eds. N. B. Tomlekova, M. I. Kozgar, M. R. Wani). – Wageningen Academic Pbl. – P. 379–404.

15. Theodorakis C. W. Integration of genotoxic and population genetic endpoints in biomonitoring and risk assessment / C. W. Theodorakis // Ecotoxicology. – 2001. – V. 10. – P. 245–256.

## **СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД**

**Ю. О. Бондарь**

*На материале, полученном из семян насаждений сосны, произрастающей в условиях хронического облучения, определены цитогенетические эффекты и*

*сформулировано их количественные зависимости от уровней радиоактивного загрязнения деревьев.*

**Ключевые слова:** *радиоактивное загрязнение, сосновые насаждения, зона отчуждения Чернобыльской АЭС, аберрации хромосом*

## **THE CONDITIONS OF PINE PLANTATIONS CHERNOBYL EXCLUSION ZONE IN THE REMOTE PERIOD**

**Yu. O. Bondar**

*Cytogenetic effects have been identified and their quantitative dependencies on the level of the radioactive contamination of the trees have been stated for the material obtained from the seeds of pine plantations growing under the chronic irradiation conditions.*

**Keywords:** *radioactive contamination, pine plantations, Chernobyl exclusion zone, chromosome aberration*