

# ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
PREFACE	7
ВСТУП	8
1. ОСНОВНІ ЦІЛІ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВПЛИВУ УМОВ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН	11
2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОСЛИННОСТІ НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
3. УМОВИ ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН ІОНІЗУЮЧОЮ РАДІАЦІЄЮ НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ	21
4. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН	27
5. БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН В ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ЕКОСИСТЕМАХ	33
5.1. Соматичні ефекти	34
5.1.1. Ростові процеси	34
5.1.2. Зміни фізіологічних процесів	37
5.1.3. Зміни в анатомічній будові	42
5.1.4. Морфологічні зміни та виникнення радіоморфозів	45
5.1.5. Пухлиноутворення	59
5.2. Генетичні та соматико-генетичні ефекти	61
5.2.1. Молекулярно-генетичні зміни	62
5.2.2. Морфогенетичний потенціал	66
5.2.3. Аберації хромосом	68
5.2.4. Індукція нестабільності геному та мутаційні процеси	76
5.2.5. Хлорофільні мутації	84
5.2.6. Фенотипічна мінливість	88
5.2.7. Зміни у фітоценозах	90

6. СПІЛЬНА ДІЯ НА РОСЛИНИ МАЛИХ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ІОНІЗУЮЧОЮ РАДІАЦІЄЮ ТА ЧИННИКІВ ФІЗИЧНОЇ І ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ . . . . .	98
7. РОСЛИНИ-ІНДИКАТОРИ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ І ДОЗИМЕТРІЇ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ . . . . .	102
8. РОСЛИННІ СИСТЕМИ У РЕТРОСПЕКТИВНІЙ ДОЗИМЕТРІЇ . . . . .	107
9. СТАН ІМУНІТЕТУ РОСЛИН ДО ГРИБНИХ ФІТОПАТОГЕНІВ . . . . .	110
10. МОЖЛИВОСТІ РАДІОАДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЙ . . . . .	112
11. РЕПАРАЦІЯ ДНК В УМОВАХ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН . . . . .	119
12. ВІДНОВЛЕННЯ РОСЛИННОСТІ НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ . . . . .	122
13. ЗАХИСТ РОСЛИН ВІД ДІЇ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ (АНТРОПОГЕННИЙ ШОВІНІЗМ В ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКОЦЕНТРИЧНИЙ ПРИНЦИП В РАДІОЕКОЛОГІЇ) . . . . .	124
ВИСНОВКИ . . . . .	135
CONCLUSIONS . . . . .	138
ЛІТЕРАТУРА . . . . .	140

## ПЕРЕДМОВА

На територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, рослини, як і все живе, от вже понад трьох десятиліть піддається хронічному опроміненню іонізуючою радіацією, у зв'язку з чим у них реєструються різноманітні радіобіологічні реакції. Проявляється пригнічення ростових функцій і, навпаки, їх стимуляція, збільшення частоти виникнення аберацій хромосом у клітинах твірних тканин, точкових мутацій, порушення формоутворення, поява радіоморфозів, гігантизм окремих органів, пригнічення апікального домінування і, зрештою, загибель. Усі ці реакції супроводжуються змінами у біохімічному складі окремих тканин. При цьому ступінь їх прояву, як правило, тим сильніша, чим вища потужність дози опромінення. Ефекти опромінення відрізняються кумулятивністю, що пов'язане з поступовим збільшенням, накопиченням кількості нерепарабельних ушкоджень клітин. Ряд ефектів відображає індукцію опроміненням генетичної нестабільності організму. Деякі ефекти у певних видів рослин можуть використовуватися як зручні тест-системи для моніторингу радіоекологічної ситуації в екосистемах. Опису всіх цих явищ, їх узагальненню, а у деяких випадках і тлумаченню присвячена ця невелика монографія.

Книга була задумана автором разом з його вчителем, видатним українським радіобіологом і фізіологом рослин академіком Д.М. Гродзинським (1929–2016) ще на початку століття після низки спільних публікацій на цю тему в авторитетних фахових виданнях як в Україні, так і за кордоном [35; 36; 39; 40; 64; 65; 201; 202; 206; 207], котрі отримали певний резонанс і позитивну оцінку колег на низці радіобіологічних конференцій [46; 47; 49; 50; 64; 66; 208]. Був розроблений план книги, підбрані деякі матеріали, навіть підготовлені чорнові варіанти декількох розділів. Але у суєті буденних турбот, більш термінових завдань робота над цією ініціативною позаплановою працею просувалася дуже повільно. І от лише через декілька років після смерті Дмитра Михайловича робота була доведена до певної крапки. Дмитро Михайлович Гродзинський з усіма підставами може вважатися співавтором цієї книги. Його присутність

**Гудков І.М.**

Реакції рослин на опромінення в зоні аварії на Чорнобильській АЕС

---

*відчувається практично в усіх її розділах, вся вона пронизана його ідеями, думками, умовиводами. І тільки деякі етичні моменти, моральні аспекти, певний такт до пам'яті людини, якої вже немає з нами, деякі висловлені авторські міркування, ствердження, узагальнення, до яких невідомо як віднісся би Дмитро Михайлович, не дозволяють винести його ім'я на титул цього видання.*

*І.М. Гудков*

## PREFACE

*Plants growing on the territories, contaminated due to the Chernobyl NPP accident for more than 34 years already, being exposed to chronic irradiation. This led to the emergence of a variety of radiobiological reactions in local phytocoenosis. Among them, there are growth inhibition, stimulation, increase of the frequency of chromosome aberrations point mutations, radiomorphoses, gigantism of separate organs, oppression of apical dominance, and as a result death of the whole organism. All those reactions are caused by biochemical alterations in the individual tissues. The rate of the radiobiological reactions' manifestation shows a strong positive correlation with the absorbed dose. The effects of irradiation are cumulative and their occurrence increases depending on the absorbed dose. Also, it was proven that chronic irradiation causes the gradual increase of irreparable damages of cells. The amount of effects reflects irradiation-induced genetic instability. Effects, observed in certain plant species can be used as test systems for monitoring of the radioecological situation in ecosystems. This monograph is focused on the description of these effects, generalization, and, in some cases, explanation of it.*

*The book was conceived by the author and his teacher, the eminent Ukrainian radiobiologist Dmitry Grodzinsky (1929–2016), after a series of common publications [35; 36; 39; 40; 64; 65; 201; 202; 206; 207] which received the definite resonance and positive estimate of colleagues at number of radiobiological conferences [46; 47; 49; 50; 64; 66; 208]. The book content was decided, materials were chosen, and drafts of several were prepared. But the work on the book was going slow. And only a few years after Dmitry Grodzinsky's death it was finished. But no doubt, he can rightfully be a co-author of this book. The whole book is permeated with his ideas and thoughts. Only the moral and ethical aspects in memory of Dmitry Grodzinsky and the uncertainty of his opinion on some of the author's statements stop us from mentioning his name on the title page.*

Igor Gudkov

## ВСТУП

Серед частини радіобіологів, особливо тієї, котра працює з ссавцями, вже давно склалося стійке упередження про нібито дуже високу радіостійкість рослин, і цьому компоненту забрудненого радіонуклідами біоценозу часто-густо відводилася роль в основному лише як першій ланці трофічного ланцюга на транспортному їх шляху до людини. Можливе безпосереднє, пряме радіаційне ураження рослин, як правило, не бралось до уваги і навіть просто ігнорувалося. А якщо й допускалося певне їх радіаційне ураження, то вважалося, що воно не наносило навколишньому середовищу такої шкоди, як у випадку ураження інших організмів, зокрема тварин, особливо ссавців. Вважалося також, що рослини порівняно легко можуть адаптуватися до підвищених рівнів опромінення іонізуючою радіацією.

Але загибель 600 гектарів соснового лісу під час гострого періоду розвитку аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році [59; 92] спонукала багатьох спеціалістів змінити цю думку.

Дійсно, багато видів рослин, у том у числі й вищих судинних рослин, мають значно більш високу радіостійкість, ніж хребетні тварини, зокрема ссавці. Проте є види (окремі представники родин лілейних, соснових, бобових та деяких інших), для яких півлетальні дози гострого опромінення рідкоіонізуючою радіацією (рентгенівське, електронне,  $\gamma$ -випромінювання) складають лише 3–7 Гр, тобто знаходяться у межах півлетальних доз для більшості видів ссавців – в цілому найрадіочутливішого класу живих організмів, у тому числі й людини (табл. 1). Їх радіаційне ураження може призводити до суттєвих змін у фітоценозах й у біоценозі в цілому.

Абсолютно всі типи радіобіологічних ефектів, як соматичних – радіаційна стимуляція, морфологічні зміни, променева хвороба, прискорення старіння й скорочення тривалості життя (онтогенезу), загибель, так і генетичних, чітко проявилися у багатьох видів вищих рослин внаслідок аварії, особливо протягом перших років після неї. Ретельно описані чисельні різноманітні морфологічні порушення, які проявлялися

у зміні розмірів окремих органів, їх форми, порушення порядку розташування листків на пагонах, кольору листків, появи на них некротичних плям і багато інших, чому рослини, на відміну від тварин, завдячені великій кількості таких, що постійно діляться і оновлюються, тканин, що мають найвищу радіочутливість, – меристем.

Таблиця 1

**Порівняльна радіочутливість вищих рослин і ссавців  
(гостре  $\gamma$ - або рентгенівське опромінення)**

Рослини		Тварини	
Рід	ЛД <sub>50</sub> , Гр	Рід	ЛД <sub>50</sub> , Гр
Триліум	0,5–1	Морська свинка	1,5–3
Лілія	1,5–2	Вівця	1,3–4
Сосна	1–3	Корова	1,5–5,5
Ялина	3–5	Коза	2–5,5
Береза	3–5	Осел	2–2,5
Боби	3–5	Людина	2,5–4
Горох, горошок	7–9	Верблюд	2,5–5
Цибуля	9–11	Мавпа	2,5–5,5
Квасоля	10–13	Свиня	2,5–6
Ячмінь	13–17	Кінь	2,5–6
Пшениця	13–18	Собака	3,5–4
Помідор	15–18	Миша, пацюк	4,5–7
Кукурудза	18–22	Кішка	5–7
Огірок	20–24	Бабак	6–9,5
Конюшина	25–30	Кролик	8–10
Капуста, ріпак, редис	45–50	Монгольська піщанка	10–13

*Джерело: [59]*

До теперішнього часу багато з цих змін проявляються у рослин, що ростуть в умовах особливо високого радіоактивного забруднення на деяких ділянках поблизу АЕС по слідам перших аварійних викидів. При цьому на забруднених радіонуклідами ділянках нерідко спостерігається, здавалося б, парадоксальне явище, суть якого полягає у тому, що ступінь прояву радіаційного ураження (певного радіобіологічного ефекту) відповідає дозам опромінення значно, часом на порядок більш

високим, ніж ті, які вдається оцінити за допомогою звичайних методів дозиметрії. У цьому, втім, немає нічого дивного, так як усі типи дозиметричних приладів і пристроїв, заснованих на фізичних, хімічних чи фізико-хімічних методах реєстрації іонізуючих випромінювань, оцінюють лише компонент дози, зумовлений зовнішнім опроміненням. Його ж внесок у дозу загального опромінення всіх живих організмів, у тому числі й рослин, на забруднених радіонуклідами територіях у теперішній час не перевищує 5–25 %. Решта приходить на дозу внутрішнього опромінення, яка у рослин в основному формується за рахунок радіонуклідів, що надходять з ґрунту через корені та інші підземні органи. З одного боку вона залежить від типу ґрунту, і її внесок вагомий на ґрунтах більш легкого гранулометричного складу (піщаних, супіщаних), ніж важких; на торф'яно-болотних ґрунтах, сформованих з нерозкладеної органічної речовини, які мають низький ґрунтово-вбирний комплекс і, відповідно, низьку здатність до утримування радіонуклідів в ґрунті.

З іншого боку, що більш важливе, вона визначається біологічними особливостями видів рослин, їх здатністю по-різному, у різних кількостях накопичувати певні радіонукліди. Так, рослини-калієфіли можуть накопичувати споріднений калію цезій, у тому числі, і його радіоактивні ізотопи, у кількостях в десятки разів більших, ніж інші види, формуючі, відповідно, значно більші дози внутрішнього опромінення. Рослини-кальцефіли, у свою чергу, можуть у великих кількостях накопичувати споріднений кальцію стронцій, у тому числі і його радіоактивні ізотопи. Саме тому у деяких радіостійких видів рослин можуть формуватися величезні дози опромінення, які призводять до їх ураження на тлі відносно процвітаючих радіочутливих видів. Це явище по аналогії з «радіобіологічним парадоксом» ми назвали «радіоекологічним парадоксом» [48].

Саме тому оцінка справжніх, істинних доз загального опромінення іонізуючою радіацією не тільки рослин, а й усіх живих організмів, що мешкають на забруднених радіонуклідами територіях, на тлі прояву різноманітних радіобіологічних реакцій є однією з найважливіших проблем так званої кількісної радіобіології.