

ОЦІНКА ПОСТРАДАЦІЙНОЇ АДАПТАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ РАДІОЄМНОСТІ В МОДЕЛЬНІЙ МОНОЕКОСИСТЕМІ

А. Г. Салівон, Ю. О. Кутлахмедов

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ

Висвітлено результати досліджень явищ адаптації та відновлення рослин при дії іонізуючої радіації. Оцінка проводилась за показниками радіоємності біоти в умовах модельної моноекосистеми – водної культури рослин.

Вступ

Важливим завданням сучасних радіобіологів, радіоекологів є вивчення ефектів, що викликані сумісною дією різних стресових факторів на живі організми, а також процеси відновлення та адаптації до дії іонізуючої радіації та інших стресових впливів. В умовах забруднення навколишнього середовища важливо знати особливості сумісного впливу різних шкідливих факторів на організми, їх взаємодію між собою. Явище синергізму у взаємодії різних за своєю природою стресорів – дуже актуальне питання, що привертає увагу багатьох біологів, радіобіологів, радіоекологів.

Теорія радіоємності

Для оцінки впливу радіаційного опромінення окремо, а також у комбінації із внесенням у поживне середовище солей токсичних металів на стан модельної рослинної моноекосистеми пропонується використовувати чутливий показник – фактор радіоємності. Уявлення про фактор радіоємності було запропоновано Агре та Корогодіним у 1960 р. [1], покладено нами в основу нової радіоекологічної концепції.

Для оцінки стану й благополуччя екосистем використовують до 30 різних показників і параметрів – від різноманітних видів до біомаси, чисельності тощо. Важлива особливість цих показників, що практично всі вони починають суттєво змінюватись лише тоді, коли біота зазнає значних зрушень [2]. Практично дуже важливо мати показники та параметри, які дозволяли б випереджаючим чином оцінювати стан біоти екосистеми й особливості розподілу та перерозподілу полютантів у реальних екосистемах і ландшафтах. На основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень нами запропоновано використовувати радіоємність і/або фактор радіоємності екосистем та її складових. Радіоємність визначається як така критична кількість полютантів (радіонуклідів), яка може накопичуватись у біотичних компонентах екосистем без порушення їх основних функцій (відтворення та кондиціонування середовища існування) [3]. Фактор радіоємності

визначається як доля полютантів, що накопичується в тому чи іншому компоненті екосистеми (або в ландшафті). Нами було запропоновано для оцінки благополуччя біоти в екосистемі використовувати як визначаючі два параметри – біомаса видів в екосистемі та їх здатність очищати/кондиціонувати середовище від відходів життєдіяльності та полютантів, що потрапляють в екосистему.

Припустимо, що в систему в стійкому стані потрапляє деяка кількість радіонуклідів-трасерів (^{137}Cs). Радіонукліди рівномірно розподіляються між компонентами системи й описуються відповідними розподілами факторів радіоємності [1, 4, 5].

Розглянемо проблему радіоємності на прикладі двокамерної моделі екосистеми (водна культура рослин), що складається з води – $Y(x)$ та біоти – $Z(x)$.

Нехай ми маємо дві камери, що містять $Y(x)$ і $Z(x)$ радіонукліди, і час x ; a_{12} – швидкість поглинання радіонуклідів-трасерів, що пропорційно швидкості поглинання поживних речовин, наприклад калію; a_{21} – швидкість відтоку радіонуклідів у воду.

Припустимо, що вихідний запас радіонуклідів у камері $Y(x)$ становить $Y_0 \{Bк (^{137}\text{Cs})\}$. Розв'язком двох диференціальних рівнянь для даної моделі є:

$$Y(x) = \frac{Y_0}{a_{12} + a_{21}(a_{21} + a_{12} \exp[-(a_{12} + a_{21})x])}, \quad (1)$$

$$Z(x) = \frac{Y_0 a_{21}}{a_{12} + a_{21}(\exp[-(a_{12} + a_{21})x])}. \quad (2)$$

Коли час досліджень значний, то можна розрахувати й оцінити фактор радіоємності біоти та води таким чином:

$$F_b = \frac{a_{12}}{a_{21} + a_{12}}; \quad F_w = \frac{a_{21}}{a_{12} + a_{21}}. \quad (3)$$

Порівнюючи ці рівняння, можна отримати

$$\frac{a_{12}}{a_{21}} = \frac{F_b}{F_w} = \frac{1 - F_w}{F_b}. \quad (4)$$

Таким чином, відношення швидкості поглинання та відтоку трасера і, можливо, елемента мінерального живлення калію пропорційне біомасі біоти й коефіцієнту накопичення в системі „вода - біота”. А це означає, що чим більше біомаса біоти та коефіцієнт накопичення трасера біотою, тим більше відношення швидкостей поглинання і відтоку трасера, а значить, і поживних речовин з води в біомасу біоти. Тут видно зв'язок параметра радіємності із швидкостями поглинання та відтоку трасера [6].

Результати досліджень

Нами було проведено цикл досліджень на модельній моноекосистемі – водній культурі

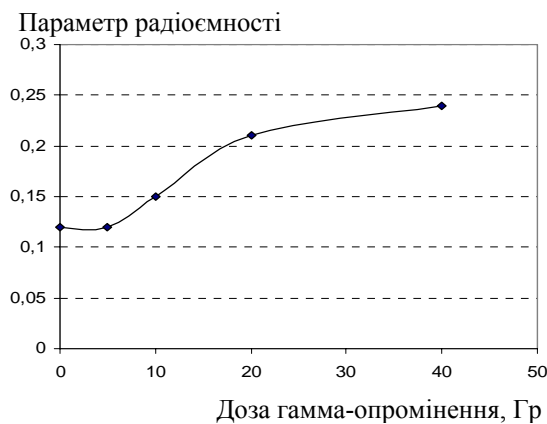


Рис. 1. Залежність параметра радіємності від дози опромінення.

Адаптація і застосування теорії радіємності

Добре відомо, що живі організми дуже чутливі до спотворень зовнішнього середовища незалежно від того, чи є вони змінами фізичних чи біотичних факторів. Пряме погіршення середовища може відображатися на організмах як у зниженні здатності до репродукції, загибелі особин та цілих видів, порушення екологічних ніш, трофічних ланцюгів, так і деградацією всього біоценозу. Ступінь пошкоджень звичайно залежить від сили пошкоджуючого фактора, а також від темпів погіршення середовища. Однак відомо, що живі системи не є пасивними перед різного роду непрямою, вони проявляють значну пластичність, тобто можуть перебудувати свою структуру та метаболізм таким чином, що в кінцевому випадку ці порушення стають частково або повністю нешкідливими для них. У таких випадках говорять про здатність організмів до адаптації або про їх пристосовуваність [8]. Вивчення радіоадаптивної відповіді біологічного об'єкта на опромінення проявляється в експериментах, що здійснюються за схемою: мала доза

рослин кукурудзи. Показано, що фактор радіємності біоти, що є достатньо чутливим показником стану біоти, корелює із змінами ростових показників. Показано, що чим краще проходить ростовий процес, тим вище параметр радіємності біоти модельної моноекосистеми. Показано, що зміна параметра радіємності може слугувати адекватним показником розподілу і перерозподілу радіонуклідів в екосистемі та мірою благополуччя біоти в ній. Таким чином, показано можливість застосовувати цей підхід з позиції теорії та моделей радіємності для аналізу локальних екосистем [7].

На рис. 1 і 2 зображено залежності фактора радіємності модельної моноекосистеми від дози різних стресових факторів.

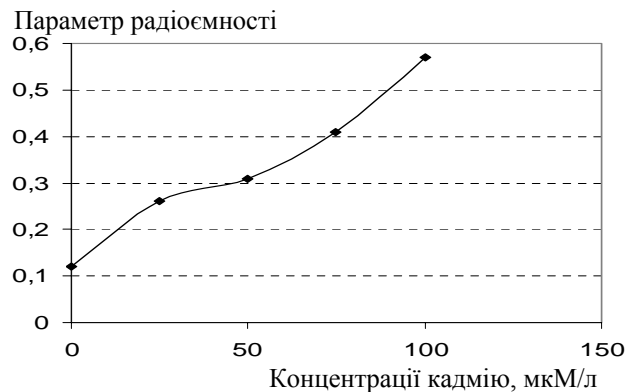


Рис. 2. Залежність параметра радіємності від вмісту кадмію.

+ Δt (фракція) + гостра доза. Мала доза є адаптуючою, гостра доза – тестуючою. Змінюючи часовий проміжок Δt між опроміненням у цих дозах, визначають час, протягом якого формується підвищена радіостійкість (адаптивна відповідь, або радіаційний синдром), а також час, протягом якого зберігається індукована радіостійкість. У своїй роботі по вивченню закономірностей та механізмів адаптації на модельній моноекосистемі для оцінки стану рослин ми використовували параметр радіємності. Експеримент проводився в умовах водної культури рослин кукурудзи: 4-денні проростки висаджувались в ємності 0,5 л, в які додавався ^{137}Cs в якості трасера (рис. 3 та 4).

На рис. 3 представлено дані експеримента за схемою 1 Гр + 4 год фракції + 11 Гр. Ми визначали значення показника радіємності (тобто можливість рослин накопичувати трасер) у модельній екосистемі – водній культурі рослин кукурудзи. Видно, що при опроміненні рослин гострою дозою 11 Гр значення параметра радіємності біоти по відношенню до контроль-

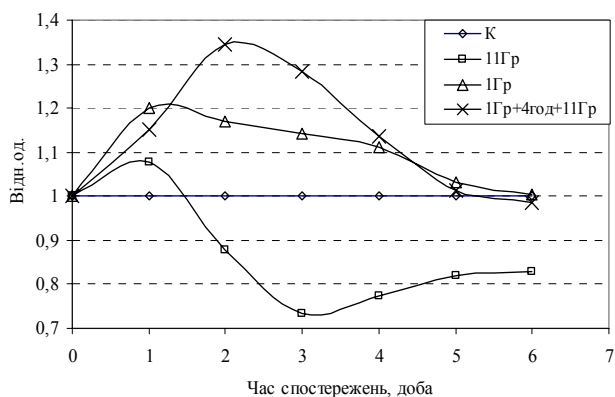


Рис. 3. Залежність фактора радіоємності біоти від часу в умовах опромінення адаптуючою дозою 1 Гр і тест-дозою гамма-опромінення 11 Гр із часовим інтервалом 4 год (відносно неопроміненого контролю).

ного варіанта з часом помітно падає й досягає значень 0,7 - 0,8. З часом відбувається помітне відновлення здатності накопичувати трасер ^{137}Cs і збільшення значення параметра радіоємності.

У варіанті, якщо після адаптуючої дози 1 Гр з часовим інтервалом 4 год рослини опромінені гострою тестуючою дозою 11 Гр, ми отримуємо чіткий ефект адаптації.

Далі ми досліджували залежність адаптації від величини часового інтервалу між адаптуючою та тестуючою дозами гамма-опромінення.

На рис. 4 представлено результати досліді 1 Гр + 48 год + 11 Гр. Видно, що якщо після адаптуючої дози 1 Гр через 48 год рослини опромінені гострою тестуючою дозою 11 Гр, ми також отримуємо ефект адаптації. Максимум ефекту відповідає зростанню фактора радіоємності, що становить до 35 % від контролю. А ефект спостерігався раніше, ніж у попередньому досліді: на 1 - 2-й день росту водної культури рослин.

Таким чином, показано існування ефекту адаптації рослин до гострих тестуючих доз опромінення (11 Гр) при попередньому опроміненні дозою 1 Гр і різних значеннях часу між адаптуючою та тестуючою дозами гамма-опромінення.

Досліджуючи різноманітні ефекти в умовах радіонуклідного забруднення та дії хімічних полютантів, важливо встановити характер відновлювальних процесів у рослин і їх внесок у формування ефектів комбінованої дії стресорів.

Для оцінки внеску процесів відновлення в умовах дії факторів (гамма-радіації та важких металів) застосовується метод фракціонування дози гострого опромінення й внесення в середовище солі важкого металу (кадмію). У попередніх дослідженнях було показано, що ефект фракціонування дози опромінення пози-

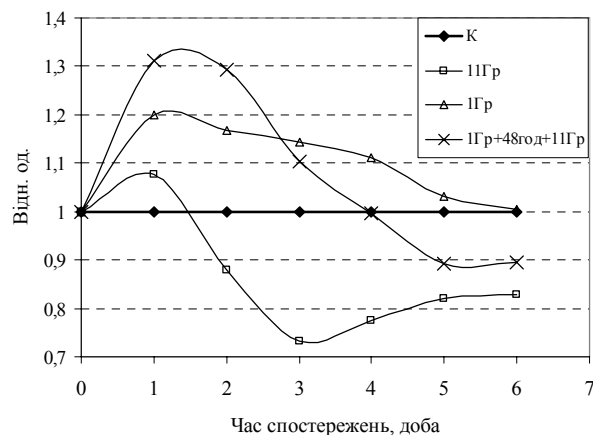


Рис. 4. Залежність фактора радіоємності біоти від часу в умовах опромінення адаптуючою дозою 1 Гр і тест-дозою гамма-опромінення 11 Гр з часовим інтервалом 48 год (відносно неопроміненого контролю).

тивно відображається на характері динаміки як ростових показників, так і в динаміці параметра радіоємності [9].

В експерименті було проведено фракціонування радіаційного й хімічного факторів. При цьому сіль хлориду кадмію вносили двома порціями з відповідним часовим інтервалом між ними. Як і у випадку опромінення, фракціонування хімічного фактора значним чином впливало на ефект взаємодії досліджуваних факторів.

Для дослідження ролей процесів відновлення при комбінованому впливі радіаційного й хімічного фактора було проведено кількісний аналіз ролі систем відновлення в ефектах взаємодії різних факторів через їх вплив на параметри радіоємності. На основі запропонованої теоретичної моделі проведено кількісну оцінку взаємодії радіаційного та хімічного факторів за допомогою коефіцієнта синергізму. Його оцінку, на основі моделі, провели через відношення параметрів радіоємності [9]

$$P = \frac{Z_{Cd+\gamma}}{Z_{Cd} \cdot Z_{\gamma}} \cdot Z_0, \quad (5)$$

де Z_0 - відношення F_{δ}/F_{ϵ} контрольного варіанта; $Z_{Cd+\gamma}$ - це відношення для варіанта комбінованого впливу гамма-опромінення та хлориду кадмію; Z_{Cd} і Z_{γ} - відношення для незалежних впливів кожного з факторів.

Коли $P < 1$, спостерігається синергізм у взаємодії факторів, тобто фактори посилюють негативний вплив один одного (незалежну дію кожного з факторів); при $P > 1$ - антагонізм, тобто негативна дія одного фактора зменшується під дією іншого. При $P = 1$, слід очікувати просте сумування дії різних факторів.

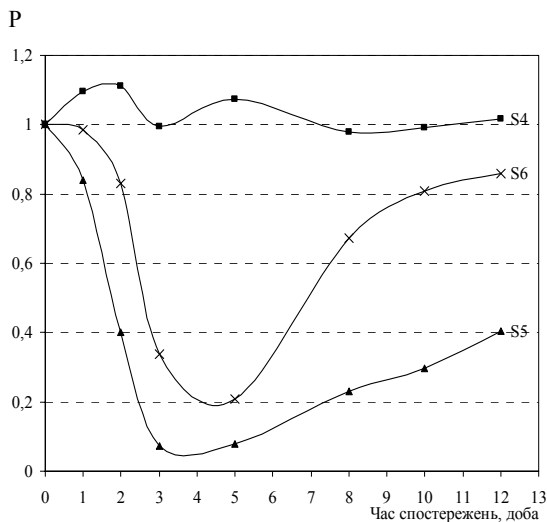


Рис. 5. Динаміка коефіцієнта синергізму для різних режимів комбінованого впливу радіації та внесення важкого металу (кадмію): S4 - фракціонування кадмію і гостре опромінення; S5 - фракціонування опромінення в дозі 20 Гр і гостре внесення кадмію; S6 - використано гостре опромінення та гостре внесення хлориду кадмію.

Таким, чином, в експерименті було показано, що процеси відновлення можуть зменшувати ефект синергізму при комбінованій дії опромінення і внесення важкого металу (рис. 5).

Динаміку цього показника при різних режимах фракціонування зображено на рис. 6.

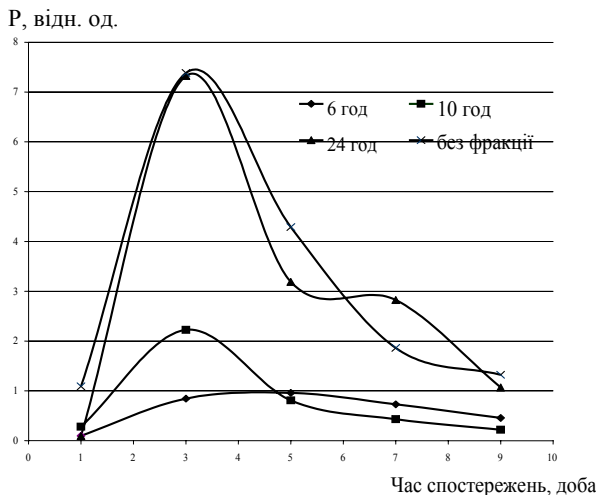


Рис. 6. Динаміка коефіцієнта синергізму для різних режимів комбінованих впливів факторів в умовах фракціонування з різними часовими проміжками.

Найбільш чіткий ефект синергізму спостерігався протягом усього часу досліджень і відмічався для комбінованої дії фракціонованої радіації та внесення важкого металу з часовим інтервалом між фракціями 6 год. Коли час фракціонування становить 10 і 24 год, спостерігався антогонізм у дії радіації та внесення важкого металу.

Таким чином, нами було проведено аналіз ролі систем відновлення в ефектах взаємодії різних факторів через їх вплив на параметри радіємності. Виявлено ефекти синергізму для різних режимів комбінованої дії стресорів.

Висновки

1. Установлено, що фактор радіємності відображає зміну стану модельної моноекосистеми як до, так і після дії гамма-опромінення та токсичного металу.

2. Установлено можливість випереджаючої оцінки стану модельної моноекосистеми за допомогою фактора радіємності.

3. Виявлено позитивний вплив на параметр радіємності модельної моноекосистеми фракціонування токсичного фактора, що може свідчити про відновлення рослинної компоненти системи від токсичного впливу.

4. Показано, що параметр радіємності по трасеру (¹³⁷Cs) адекватно відображає зміну стану модельної моноекосистеми й дозволяє виявити відновлювальні процеси при фракціонуванні факторів впливу.

5. Показано існування ефекту адаптації рослин до дії значної дози опромінення в дозі 11 Гр при попередньому опроміненні адаптувальною дозою 1 Гр для різних часових інтервалів між адаптувальною та тестуючою дозами гамма-опромінення.

6. Розроблені й реалізовані в роботі теорія та моделі радіємності створюють перспективний новий напрямок у сучасній радіоекології.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агре А.Л., Корогодін В.И. О распределении радиоактивных загрязнений в медленнообмениваемом водоеме // Мед. радиология. - 1960. - № 1. - С. 67 - 73.
2. Кутлахмедов Ю.А., Поликарпов Г.Г., Корогодін В.И., Кутлахмедова-Вишнякова В.Ю. Методология и методы исследования радионуклидов и других техногенных загрязнителей в наземных и водных экосистемах (пособие). - К.: Медэкол, 1997.
3. Kutlakhmedov Y., Polikarpov G., Kutlakhmedova-Vyshnyakova V.Yu. Radiocapacity of Different Types of Natural Ecosystems (without man) and their Ecological Standardization Principles // J. Radioecol. - 1997. - Vol. 6 (2). - P. 15 - 21.

4. Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Кутлахмедова-Вишнякова В.Ю. Радиоэкология и проблемы радиоемкости наземных экосистем // Науч. тр. Полесской АЛНИС. - 2003. - Вып 4. - С. 44 - 50.
5. Пчеловская С.А., Кутлахмедов Ю.А. Исследование комбинированного влияния гамма-облучения и фракционированного внесения соли токсического металла $CdCl_2$ на состояние модельной растительной экосистемы // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2004. - № 1 (12). - С. 88 - 95.
6. Пчеловская С.А., Кутлахмедов Ю.А. Оценка неадекватности совместного действия химического и физического факторов окружающей среды на примере модели растительной экосистемы // Актуальні проблеми ботаніки та екології. - 2005. - Вип. 10 (1). - С. 255 - 263.
7. Пчеловська С.А., Балан П.П., Кутлахмедов Ю.О. Аналіз та моделювання радіоемності екосистем за трасером як показника благополуччя // Вісник КНУ, фізика. - 2004. - № 6. - С. 19 - 21.
8. Пчеловская С.А., Кольцова Е.Ю., Кутлахмедов Ю.А. Исследование и моделирование радиоемкости экосистем // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2004. - № 2 (13). - С. 96 - 104.

ОЦЕНКА ПОСТРАДИАЦИОННОЙ АДАПТАЦИИ И ВОСТАНОВЛЕНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАДИОЕМКОСТИ В МОДЕЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

А. Г. Саливон, Ю. А. Кутлахмедов

Представлены результаты исследований явления адаптации и восстановления растений в условиях действия ионизирующей радиации. Оценка проводилась по показателям радиоемкости биоты модельной моноэкосистемы водной культуры растений.

THE ESTIMATION POSTRADIATIONAL ADAPTATION AND THE RECOVERING PROCESSES USING PARAMETERS OF RADIOCAPACITY ON MODEL ECOSYSTEM

A. G. Salivon, Yu. A. Kutlakhmedov

The results of investigations of effect of adaptation and the recovering processes of plants in condition of the ionizing radiation on model ecosystem are shown in this article. The estimation using the parameter of radiocapacity biotic component in water culture of plants of maize on model monoecosystem was conducted.

Надійшла до редакції 23.04.08,
після доопрацювання – 14.07.08.