

УДК [574.63:546.36](282.247.322)

Д. Д. ГАНЖА*

**РЕАКЦІЯ *BETULA PENDULA* В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ
В УРБООКОСИСТЕМАХ ЧОРНОБИЛЯ**

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Радіонуклідне забруднення та процеси демутації урболандшафтів є провідними чинниками, що визначають стан екосистем покинутих населених пунктів зони відчуження Чорнобильської АЕС. Виконано оцінку впливу радіонуклідного забруднення на флуктуючу асиметрію листків *Betula pendula*. Наведені результати свідчать, що перехід радіонуклідів у вегетативну масу активізується на ранніх стадіях фітодемутації. Проведено калібрування методу оцінювання флуктуючої асиметрії листків дерев. Показало зв'язок морфологічних змін листя дерев з рівнем фітодемутації урболандшафтів. Виконано діагностування урбоєкосистеми Чорнобиля за ознакою флуктуючої асиметрії листя *Betula pendula*.

Ключові слова: гамма-радіометрія, ґрунт, екологія, зона відчуження Чорнобильської АЕС, листя дерев, потужність дози, урболандшафт, цезій-137

Радіонуклідне забруднення та процеси демутації урболандшафтів є провідними чинниками, що визначають стан біогеоценозів (БГЦ) покинутих населених пунктів зони відчуження Чорнобильської АЕС (ЗВ ЧАЕС). Демутація урболандшафтів включає процеси комплексного відновлення властивостей довкілля, що існували до урбанізації території. При цьому провідним чинником постає фітодемутація, яка призводить до зволоження мікроклімату урбоєкосистем відновлення структурованого ґрунтового та рослинного покриву в містах ЗВ ЧАЕС [2]. В урболандшафтах Чорнобиля встановлено зв'язок між процесом фітодемутації та латеральним перерозподілом ^{137}Cs у верхньому шарі ґрунту [1].

Об'єктом дослідження є територія (урбоєкосистема) Чорнобиля. Як індикатор властивостей урбоєкосистеми (за аналогією до поняття "індикатор" у техніці [4]) нами обрано дерева *Betula pendula*. Сигналом, що характеризує екологічну якість довкілля, є значення флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* [3]. Необхідною умовою застосування обраного індикатора є його калібрування щодо умов території, тобто встановлення зв'язку між параметрами провідних чинників стану БГЦ та значенням сигналу індикатора. Метою цієї роботи є оцінювання впливу радіонуклідного забруднення на флуктуючу асиметрію листків і діагностування урбоєкосистеми Чорнобиля за ознакою стабільності розвитку дерев *Betula pendula*.

Дослідження проведено на 105-ти пікетах, рівномірно розташованих на території м. Чорнобиля. В місцях спостережень відібрано листя дерев *Betula pendula*. Проводили вимірювання потужності дози гамма-випромінення (ПД) на висоті 1 м над поверхнею з використанням дозиметра-радіометр ДКС-96 із блоком детектування БДМГ-96 та вимірювали географічні координати за допомогою GPS-приймача iFinder Lowrance. На 28-ми ключових ділянках, обраних серед 105-ти обстежених з урахуванням ландшафтної неоднорідності та значення показника радіометричного очікування, відібрали проби верхнього шару ґрунту (з глибини 0 – 5 см) та листя дерев для радіонуклідного аналізу. В пробах вимірювали вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr .

Вимірювання для оцінювання розвитку дерев *Betula pendula* здійснювали за 5-ма параметрами: шириною лівої та правої половинок листка; довжиною жилок другого порядку, відстанню між основами першої та другої жилок другого порядку; відстанню між кінцями цих жилок; кутом між головною жилкою та другою від основи листка жилкою другого порядку [3]. Коефіцієнт флуктуючої асиметрії кожного обстеженого листка вираховували за формулою:

* © Д. Д. Ганжа, 2008

$$K_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n (|L_i - R_i| / |L_i + R_i|)}{n_{оз}}, \quad (1)$$

де L_i – результат вимірювання відповідного параметра лівого боку листка; R_i – те саме щодо правого боку; $n_{оз}$ – кількість параметрів.

Показник розвитку дерев *Betula pendula* в місцях спостережень обчислювали за формулою:

$$П_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\phi}}{n}, \quad (2)$$

де n – кількість вимірних проб.

Значення показника радіометричного очікування в місцях спостережень отримували за запропонованим нами методом [1], оснований на порівнянні очікуваної на заданий момент ПД, розрахованої за результатами раніше виконаних вимірювань, з фактично існуючою ПД. За ретроспективними результатами гамма-зйомки вираховували питому активність відповідного нукліду. За формулою радіоактивного розпаду обчислювали прогнозу активність відповідного нукліду у ґрунті та очікувану на поточний момент ПД. За очікуваним (P_o) та поточним значенням ПД (P_n), вираховували показник радіометричного очікування:

$$K_{PO} = \frac{P_n}{P_o}, \quad (3)$$

Накопичення радіонуклідів листям дерев оцінювали за коефіцієнтом переходу, що вираховували за формулою:

$$K_{PP} = \frac{C_i}{C_j}, \quad (4)$$

де C_i – вміст радіонуклідів у листі дерев; C_j – вміст у верхньому шарі ґрунту.

У верхньому шарі ґрунтового покриву в урболандшафтах Чорнобиля за період, що минув від часу катастрофи на ЧАЕС, накопився вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr одного порядку, причому співвідношення радіонуклідів у верхньому шарі ґрунту змінилося на користь ^{90}Sr . Про це свідчить коефіцієнт дискримінації ($^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$), який станом на 2006 р. втричі перевершує значення первинного викиду 1986 р. (0,21). Листя берези переважно накопичує ^{90}Sr , що відповідає існуючим уявленням про особливості геохімічної міграції зазначених нуклідів у ЗВ ЧАЕС (табл. 1). Відповідно, зі щорічним листяним опадом у верхній шар ґрунту надходить ^{90}Sr , що призводить до переважного накопичення цього нукліду та зміни коефіцієнту дискримінації.

Таблиця 1

Накопичення радіонуклідів листками берези та верхнім шаром ґрунту в урбоєкосистемі Чорнобиля, станом на 2006 р.

Нуклід	Питома активність ґрунту, Бк/кг				Питома активність листя, Бк/кг			
	мінімум	середнє	максимум	V, %	мінімум	середнє	максимум	V, %
^{137}Cs	500	2300	6900	82	14	500	3900	200
^{90}Sr	320	1800	6700	90	370	2300	11500	120

Примітка: V, % – значення коефіцієнта варіації.

Порівняння досліджуваних показників свідчить про наявність позитивної кореляції між вмістом ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунтовому покриві та в листі дерев:

$$y = 130,76x - 1427 \text{ (при } n = 28, R^2 = 0,84 \text{ та } P = 0,95)$$

де y – активність ^{90}Sr в листі, Бк/кг; x – активність ^{137}Cs в листі, Бк/кг.

$$Y = 0,8013x - 1,8239 \text{ (при } n = 28, R^2 = 0,83 \text{ та } P = 0,95)$$

де y – активність ^{90}Sr в ґрунті, Бк/кг; x – активність ^{137}Cs в ґрунті, Бк/кг.

Накопичення ^{137}Cs листям відбувається зі значно більшою варіабельністю порівняно зі ^{90}Sr . Це свідчить про більшу різноманітність чинників, що впливають на перехід ^{137}Cs із ґрунту в рослини. Середнє значення коефіцієнта переходу ^{90}Sr із ґрунту в листя дерев становить 1,2 при коефіцієнті варіації 78 %. Перехід ^{137}Cs відбувається за двома варіантами, з КІР = 0,02 (при коефіцієнті варіації 70 %) та КІР = 0,4 (при – 110 %). В обох випадках кореляція між накопиченими листям ^{137}Cs і ^{90}Sr зберігається. Кореляційного зв'язку між накопиченням ^{137}Cs шаром ґрунту 0 – 5 см та листям берези не виявлено. Перехід ^{90}Sr із ґрунтового пориву в листя берези описує таке рівняння:

$$y = 0,9492x + 394,23 \text{ (при } n = 28, R^2 = 0,34 \text{ та } P = 0,95)$$

де y – активність ^{90}Sr в листі, Бк/кг; x – активність ^{90}Sr в ґрунті, Бк/кг.

За нашими даними, значення коефіцієнта радіометричного очікування в умовах урбоєкосистеми Чорнобиля збігається з рівнем фітодедукції урболандшафту, точніше, високі значення КРО проявляються в місцях, де спостерігаються початкові стадії фітодедукції після звільнення території з-під антропогенного контролю [1]. Порівняння значення питомої активності ^{137}Cs в листі берези зі значенням КРО показало наявність позитивного зв'язку між цими параметрами БГЦ:

$$y = 452,64x - 257,52 \text{ (при } n = 25, R^2 = 0,37 \text{ та } P = 0,95)$$

де y – активність ^{137}Cs в листі, Бк/кг; x – значення КРО.

Проведено порівняння просторового розподілу значень показника радіометричного очікування станом на 2006 р, які показують зони переважного накопичення ^{137}Cs у верхньому шарі ґрунту, зі значенням флюктуючої асиметрії листя дерев. Проведене порівняння показало, що зазначені параметри взаємно корелюють:

$$y = 0,0075x + 0,0434 \text{ (при } n = 55, R^2 = 0,41 \text{ та } P = 0,95)$$

де y – значення флюктуючої асиметрії листя; x – значення КРО.

Отримані результати демонструють, що реакція дерев на досліджуваній території перебуває в залежності від процесів дедукції урболандшафтів і радіонуклідного забруднення. Урболандшафти Чорнобиля включають такі типи функціональних ландшафтів, що перебувають на різних стадіях дедукції [1]: селітебні котеджевої забудови з присадибними ділянками (ЛСК) – 70 % території; сучасні адміністративно-селітебні, у т. ч. офіси установ і гуртожитки вахтового персоналу (ЛСВ) – 14 %; промислові та складські (ЛП-С) – 16 %. Розподіл значень реакції розвитку дерев в урболандшафтах різного типу (табл. 2) свідчить, що порушення розвитку дерев пов'язане з територіями, де активізовано процеси дедукції, та з сучасними промисловими ландшафтами.

Таблиця 2

Значення флюктуючої асиметрії листків берези в урболандшафтах Чорнобиля, станом на 2006 р.

Урболандшафти	Коефіцієнт флюктуючої асиметрії		
	мінімум	середнє	максимум
Адміністративно-селітебні	0,025	0,045	0,062
Сучасні промислові та складські	0,030	0,057	0,072
Селітебні з котеджевою забудовою та присадибними ділянками в стані дедукції	0,026	0,056	0,094
Приміські агроландшафти в стані дедукції (перелogi)	0,030	0,047	0,060

На рисунку наведено просторовий розподіл значення показника розвитку дерев *Betula pendula* на фоні сучасних функціональних ландшафтів. Ландшафти типу ЛСВ на рисунку виділено штриховою. Порівняння просторового розподілу показника флюктуючої асиметрії

листоків берези зі схемою функціональних ландшафтів свідчить, що переважну частину території міста представлено ландшафтами, що перебувають на різних стадіях демутації, де активізовано процеси геохімічної міграції радіонуклідів і спостерігається порушення розвитку дерев *Betula pendula*.

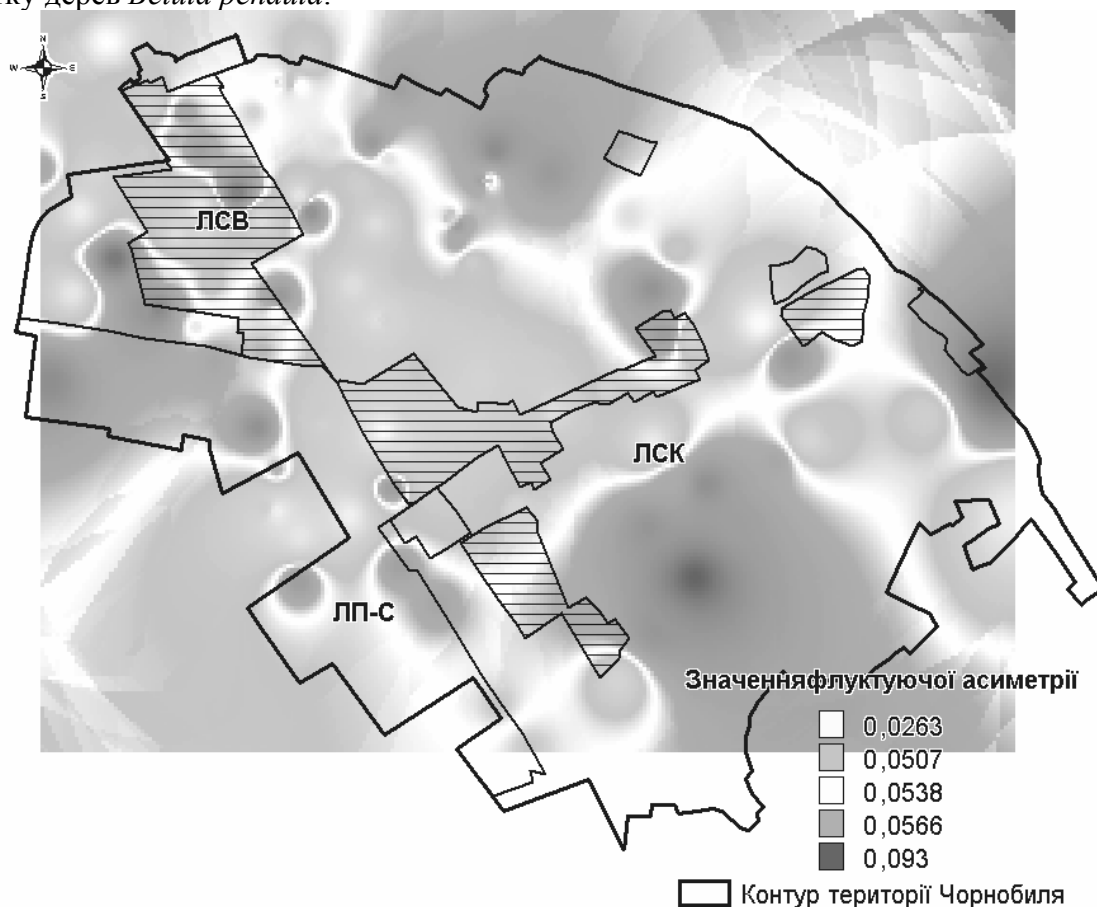


Рис. – Просторовий розподіл значення показника стабільності розвитку дерев *Betula pendula* на фоні схеми урболандшафтів Чорнобиля (пояснення у тексті)

Висновки. На значення коефіцієнта переходу ^{90}Sr меншою мірою впливає різноманітність урболандшафтних умов. Натомість, перехід ^{137}Cs в деревну рослинність активізується на початкових стадіях фітодемутації, коли цей нуклід виноситься кореневою системою із глибших шарів ґрунтового профілю, накопичується зі щорічним листяним опадом на поверхні та, у міру деструкції мортмас, закріплюється в гумусовому шарі ювенільних ґрунтів. У міру стабілізації ростових процесів у дерев кількість винесеного на поверхню ^{137}Cs значно зменшується, тому кореляції між вмістом цього нукліду в ґрунтовому покриві та в листі дерев на території Чорнобиля в цілому не знайдено. Отримані результати демонструють зв'язок стабільності розвитку дерев на досліджуваній території з процесами демутації урболандшафтів і радіонуклідним забрудненням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ганжа Д. Д. Вплив фітодемутації на перерозподіл ^{137}Cs в урболандшафтах Чорнобиля // Проблеми безпеки атомних електростанцій. — Чорнобиль : Інститут безпеки атомних електростанцій НАН України, 2008. — Вип. 10. — С. 165 – 173.
2. Изменения растительного и почвенного покрова в урбанизированных ландшафтах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / Тютюник Ю. Г., Бедная С. М. – Чернобыль, 1998. – 40 с.
3. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) //

Росэкология Министерство природных ресурсов Российской Федерации Государственная служба охраны окружающей природной среды. – М., 2003. – 25 с.

4. Метрологія. Терміни та визначення : ДСТУ 2681-94. — К. : Держстандарт України 1994. (Національний стандарт України).

Ganzha D. D.

REACTION OF *BETULA PENDULA* IN CONDITIONS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN CHORNOBYL URBAN ECOSYSTEMS

Precarpathian National University named after V. Stefanyk, Institute of Natural Sciences

Radioactive contamination and processes of urban landscapes demutation are leading factors which determine the condition of ecosystems of the abandoned settlements of Chornobyl NPP exclusive zone. Estimation of radionuclide contamination influence on fluctuation asymmetry of *Betula pendula* leaves is carried out. Presented results show that passing the radionuclides to vegetative mass is activated in the initial stages of phytodemutation. Calibration of fluctuation asymmetry method for tree foliage was executed. Relation between morphological variation of leaves and the level of urban landscape phytodemutation was found. Diagnosing of Chornobyl urban ecosystem by *Betula pendula* fluctuation asymmetry has been executed.

К e y w o r d s : cesium-137, Chornobyl NPP exclusive zone, dose rate, ecology, gamma-radiometry, leaves, soil urban landscapes

Ганжа Д. Д.

РЕАКЦИЯ *BETULA PENDULA* В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УРОБОЭКОСИСТЕМАХ ЧЕРНОБЫЛЯ

Радионуклидное загрязнение и процессы демутации урболандшафтов – ведущие явления, определяющие состояние экосистем покинутых населённых пунктов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Выполнена оценка влияния загрязнения радионуклидами на флуктуирующую асимметрию листьев *Betula pendula*. Представленные результаты демонстрируют, что переход радионуклидов в вегетативную массу активизируется на ранних стадиях фитодемутации. Проведена калибровка метода оценки флуктуирующей асимметрии листьев деревьев. Показана связь морфологических изменений листьев деревьев с уровнем фитодемутации урболандшафтов. Выполнена диагностика урбоэкосистемы Чернобыля по признаку флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula*.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гамма-радиометрия, зона отчуждения Чернобыльской АЭС, листья деревьев, мощность дозы, почва, урболандшафт, цезий-137, экология

dmgan@rambler.ru

Одержано редколегією 2.09.2008 р.