

Н. Л. Шевцова, А. А. Явнюк, Д. І. Гудков

## Вплив хронічної дії іонізуючої радіації на насіннєве потомство очерету звичайного у водоймах Чорнобильської зони відчуження

(Представлено академіком НАН України В. Д. Романенком)

*Досліджено біологічні характеристики очерету звичайного (*Phragmites australis* (Trin) Ex. Steud.) в умовах хронічної дії іонізуючого опромінення. Проаналізовано показники життєздатності та порушень у насіннєвого потомства рослин. Встановлено низькі показники життєздатності, істотні порушення процесу онтогенезу та високий відсоток аномальні паростків насіння з водойм, де потужність поглиненої дози на рослини літоралі становить від 2 до 12 сГр/рік.*

Природні процеси розпаду радіонуклідів за 25 років, що минули після Чорнобильської аварії, призвели до певного покращення радіоекологічної ситуації на постраждалих територіях. Проте, у зв'язку з наявністю величезних площ високорадіоактивних ґрунтів з підвищеною біологічною доступністю основних дозоутворюючих радіонуклідів, залишається актуальним питання впливу хронічного опромінення на природні екосистеми. Існування живих організмів в умовах довготривалого радіаційного навантаження обумовлює накопичення прихованих генетичних змін, що з часом можуть реалізовуватися на вищих рівнях організації.

Насіння є поширеним та зручним об'єктом для дослідження впливу хронічного опромінення на рослини в природних умовах. Якщо меристемні тканини, з яких розвиваються різноманітні органи рослини, є найбільш радіочутливими, то насіння у стадії спокою може витримувати досить значні дозові навантаження [1]. Під час вегетаційного періоду в клітинах меристемних тканин рослини за умов хронічного опромінення з високою вірогідністю виникають променеві ушкодження молекул, що створює фон для накопичення частини нерепарованих хромосомних порушень. Якість насіння, що формується в умовах хронічного опромінення, визначається як поглиненою дозою, так і радіочутливістю батьківських рослин. У період спокою накопичені у насінні зміни знаходяться в прихованому стані і виявляються тільки при проростанні. Пророщення насіння у стандартизованих лабораторних умовах виключає вплив сторонніх факторів і дає змогу виявити рівень радіаційних ушкоджень, що зазнала рослина у природних умовах.

Для встановлення наслідків хронічної дії іонізуючої радіації на вищі водяні рослини у водоймах зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення (далі зона відчуження) відбирали насіння очерету звичайного *Phragmites australis* (Trin) Ex. Steud. Очерет звичайний — широко розповсюджена повітряно-водяна рослина, яка виступає в ролі домінанту чи субдомінанту в угрупованнях повітряно-водяних рослин літоралі, а також є накопичувачем першого порядку по основних дозоутворюючих радіонуклідах чорнобильського походження —  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  [2]. Насіння очерету — це зернівка еліптичної форми, зазвичай 1–1,5 мм завдовжки, 0,4–0,6 мм завширшки, жовтого або світло-бурого кольору. Маса зернівок коливається від 0,12 до 0,13 г [3].

Зразки насіння очерету звичайного відбирали у рослин із замкнутих та слабопроточних водойм лівобережної заплави р. Прип'ять — озер Глибоке та Далеке, а також правобережної частини заплави — оз. Азбучин, Янівського затону та водойми-охолодника (ВО) Чорнобильської АЕС.

Для порівняння результатів досліджень брали зразки насіння у рослин з оз. Вербне, що знаходиться в межах Оболонського району Києва та Київського водосховища (поблизу с. Лютіж) на ділянках з фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

В умовах хронічного радіонуклідного забруднення водойм зони відчуження рослини зазнають дії опромінення не тільки від фонових джерел, але й від інкорпорованих у тканинах рослини радіонуклідів. Потужність поглиненої рослинами дози розраховували виходячи з потужності дози, що була отримана від фонових джерел, а також від радіонуклідів, що знаходяться у водному середовищі та інкорпоровані в тканинах рослини, за допомогою дозових перерахункових коефіцієнтів для радіоіотопів  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  [4, 5].

Зернівки очерету пророщували в чашках Петрі на стелажі з освітленням 5–10 клк при температурі 20–24 °С та з обов'язковим дотриманням умов рандомізації.

Життєздатність насіння оцінювали за показниками технічної схожості, енергії проростання, періоду появи першого–останнього паростка та виживаності. Схожість є важливим показником для характеристики процесу проростання насіння, який визначає здатність насіння до утворення паростків. Показник енергії проростання характеризує одночасність появи сходів. Виживаність паростків визначали на стадії появи справжнього листка. Якщо паросток досягав цієї стадії морфогенезу, це свідчило про його подальшу життєздатність і початок функціонування верхівкової та кореневої меристем [6].

Для оцінки швидкості ростових процесів вимірювали середню довжину коренів та листя протягом перших 12 діб досліду. Тератологічний ефект аналізували за показником частоти аномалії визначеного типу з розрахунку всієї досліджуваної вибірки [7]. Статистичні обчислення проводили за допомогою стандартних методів варіаційної статистики та кореляційного аналізу [8].

Згідно з проведеними розрахунками, найбільша потужність поглиненої дози (5,2–12,0 сГр/рік) притаманна рослинам з водойм лівобережної заплави р. Прип'ять, що є найзабрудненішою територією української частини зони відчуження. Мінімальну поглинену дозу отримують рослини з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

Дослідження показників життєздатності насінневого потомства очерету звичайного з водойм зони відчуження виявило дозозалежну затримку в проростанні зернівок. Якщо у насіння рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення (Київське вдсх. та оз. Вербне) останні паростки з'являлися на 9-ту добу після висіву, то у насіння рослин з Янівського затону та ВО ЧАЕС — на 19-ту, а з озер Глибоке, Далеке та Азбучин — на 26-ту добу (табл. 1). Низькі показники технічної схожості, енергії проростання та виживаності визначено у насіння рослин з водойм зони відчуження: оз. Глибоке — 60, 31, 38%; оз. Далеке — 59, 49, 35%; оз. Азбучин — 67, 47, 42%; Янівського затону — 55, 46, 37%; ВО ЧАЕС — 73, 57, 55% відповідно. Показники життєздатності насіння рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення були значно вищими: у зразках із Київського вдсх. — 83, 87, 49%; з оз. Вербне — 93, 91, 54% відповідно.

Обчислено кореляційну залежність між показниками життєздатності насіння та потужністю поглиненої рослинами дози за методом  $Z$  для малих вибірок [7]. Встановлено обернену залежність між потужністю поглиненої рослиною дози та показниками технічної схожості ( $r = -0,637$ ), енергії проростання ( $r = -0,833$ ) та виживаності ( $r = -0,639$ ).

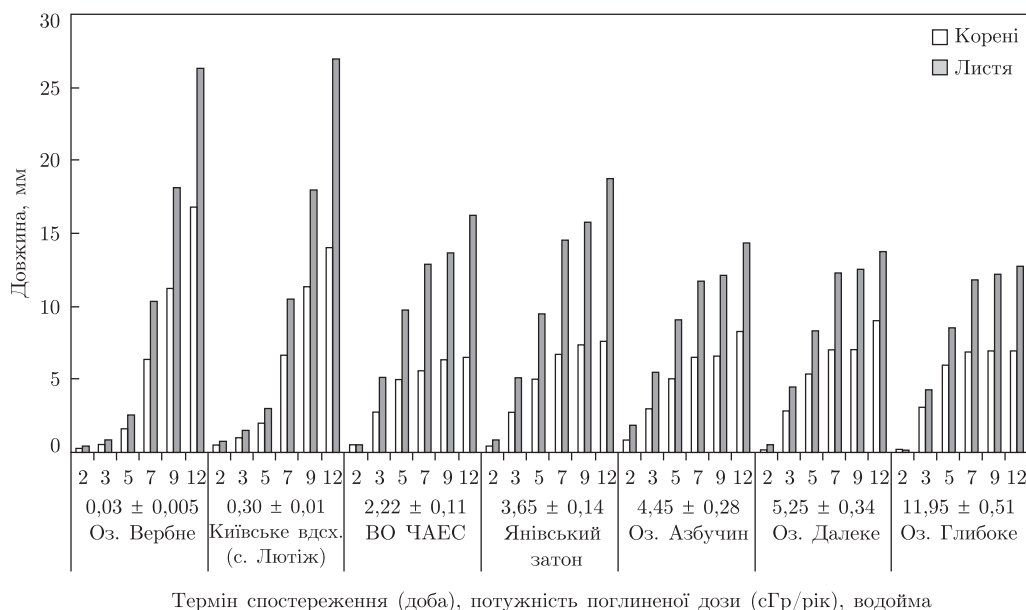


Рис. 1. Довжина коренів та листя паростків очерету звичайного з водойм із різним рівнем радіонуклідного забруднення

Згідно з результатами аналізу швидкості ростових процесів, у паростків насіння рослин як з полігонних, так і з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення має місце істотне відставання росту коренів від росту листя (рис. 1). Так, на 12-ту добу дослідів довжина коренів та листя у паростків насіння рослин з полігонних водойм становила 6,5–8,2 та 12,7–18,7 мм відповідно, що істотно нижче за відповідний показник у рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення (14,0 та 26,9 мм у зразках з Київського вдсх., 16,8 та 26,8 мм — з оз. Вербне). На 12-ту добу дослідів довжина кореня та листя у рослин з найбільш забруднених полігонних водойм була у 2–2,5 раза меншою за показники паростків насіння рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення. Пригнічення росту коренів та листя паростків очерету звичайного з водойм зони відчуження свідчить про порушення процесу раннього онтогенезу в умовах радіонуклідного забруднення.

Виявлені аномалії паростків розділено на такі групи: хлорофільні аномалії, порушення геотропізму, некрози та порушення органогенезу. До першої групи хлорофільних, або

Таблиця 1. Показники життєздатності насінневого потомства очерету звичайного

Водойма	Середня потужність поглиненої дози, сГр/рік	Період схожості паростка, доба		Технічна схожість, %	Енергія проростання, %	Вживаність, %
		перший	останній			
Оз. Глибоке	11,95 ± 0,51	2	26	60,00 ± 1,41	30,67 ± 1,22	38,00 ± 1,14
Оз. Далеке	5,25 ± 0,34	2	26	59,33 ± 0,62	49,26 ± 0,91	35,29 ± 0,68
Оз. Азбучин	4,45 ± 0,28	2	26	66,67 ± 1,84	46,71 ± 1,23	42,00 ± 1,18
Янівський затон	3,65 ± 0,14	2	19	55,33 ± 0,93	46,00 ± 1,22	46,67 ± 1,21
ВО ЧАЕС	2,22 ± 0,11	2	19	72,67 ± 1,15	57,28 ± 1,43	53,31 ± 1,31
Київське вдсх. (поблизу с. Лютіж)	0,30 ± 0,01	2	9	83,33 ± 7,31	86,67 ± 6,25	48,00 ± 4,37
Оз. Вербне (м. Київ)	0,03 ± 0,005	2	9	92,67 ± 1,63	91,33 ± 3,32	54,00 ± 1,82

пігментних, аномалій віднесли паростки з безхлорофільним білим листям. Для паростків зернівок очерету з порушеннями геотропізму була характерна “скрученість” зародкових коренів та/або зародкового і першого справжнього листка. Інший тип порушень, який часто зустрічався — відмирання кореня та/чи зародкового листка у паростків. До порушень органогенезу віднесли паростки з розвиненим листям без кореня, паростки з кількома коренями, що мали спільну точку росту, та паростки з додатковими коренями, що росли з колеоптилю.

Для паростків очерету звичайного з найбільш забруднених водойм зони відчуження було відмічено високе число аномалій порівняно зі зразками з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення (рис. 2). У паростків рослин з озер Далеке, Азбучин та Глибоке частка аномалій становила 69, 52, 49% відповідно, у паростків рослин з Київського вдсх. та оз. Вербне — 14 та 8% відповідно.

Обчислено кореляційну залежність між потужністю поглиненої рослиною дози та різними групами аномалій. Для оцінки статистичної достовірності коефіцієнта кореляції обчислювали критерій достовірності  $t_Z$ , відповідно до методу, та перевірялася нульова гіпотеза про відсутність кореляції на рівні значущості  $P = 0,05$  при числі степеня свободи  $k = 7 - 2 = 5$ .

Виявлено позитивну кореляцію між порушеннями геотропізму та потужністю поглиненої дози. Для коефіцієнта Стюдента виконується умова  $t_Z > t_{St}$ . При рівні значущості  $P = 0,05$   $t_{St} = 2,57$ , а  $t_Z = 3,06$ . Отже, коефіцієнт кореляції  $r = 0,90$  статистично достовірний та знаходиться в довірчому інтервалі  $0,5 < r < 1,0$ .

Визначено кореляцію між частотою некрозів коренів та потужністю поглиненої дози ( $r = 0,54$ ), між частотою порушень органогенезу та потужністю поглиненої дози ( $r = 0,53$ ). Встановлено відсутність кореляції між частотою хлорофільних аномалій та потужністю поглиненої дози ( $r = -0,007$ ). Проте кореляція між некрозами коренів, порушеннями органогенезу та потужністю поглиненої дози носить випадковий характер та не є статистично достовірною, оскільки нульова гіпотеза була прийнята у зв'язку з тим, що для обох випадків  $t_Z < t_{St}$  для рівня значущості  $P = 0,05$  ( $t_Z = 1,18 < 2,57$ ).

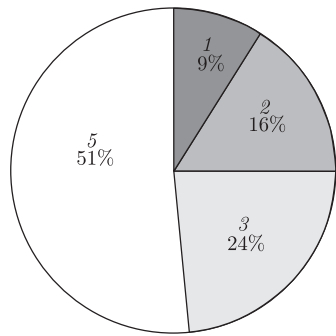
Таким чином, встановлено, що хронічна дія іонізуючого опромінення в умовах забруднення водойм радіонуклідами чорнобильського походження вірогідно впливає на життєздатність та тератологію насінневого потомства очерету звичайного.

Показники життєздатності насінневого потомства очерету звичайного з полігонних водойм зони відчуження коливаються в межах: технічна схожість — 60,0–72,7%, енергія проростання — 30,7–57,3%, виживаність — 38,0–53,3%, що є значно нижчим за показники життєздатності насіння рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

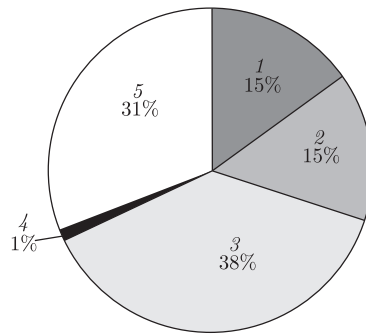
Аналіз швидкості росту коренів та листя паростків очерету звичайного вказує на істотні порушення цього процесу у рослин, що отримують дозове навантаження у діапазоні від 2,2 до 12 сГр/рік. Так, у паростків насіння рослин з полігонних водойм довжина коренів та листя на 12-ту добу досліду становила 6,5–8,2 та 12,7–18,7 мм відповідно, що у 2–2,5 рази нижче за аналогічні показники паростків рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

У паростків рослин з найбільш забруднених радіонуклідами водойм зони відчуження дуже висока частка аномалій розвитку — до 70%. У паростків рослин з водойм із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення даний показник не перевищує 14%.

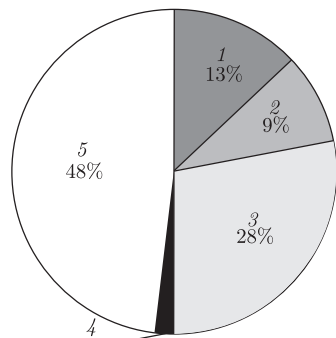
Встановлено позитивну кореляційну залежність між потужністю поглиненої рослиною дози та різними типами аномалій паростків: порушеннями геотропізму, некрозами та порушеннями органогенезу з коефіцієнтом кореляції 0,90, 0,54, 0,53 відповідно.



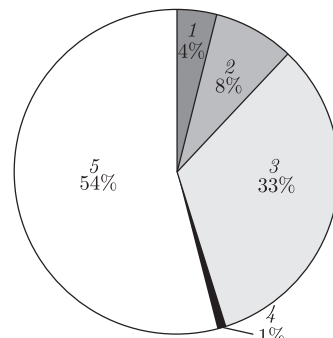
Оз. Глибоке ( $11,95 \pm 0,51$  сГр/рік)



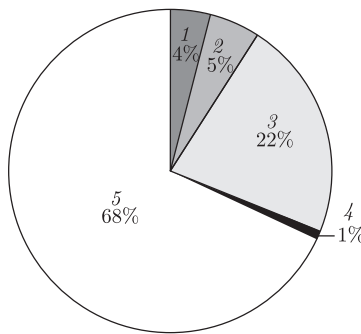
Оз. Далеке ( $5,25 \pm 0,34$  сГр/рік)



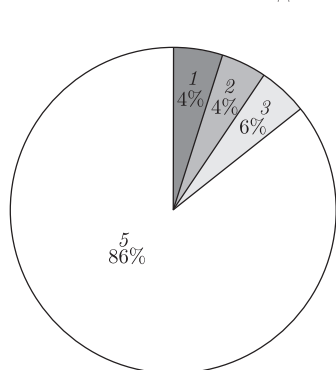
Оз. Азбучин ( $4,45 \pm 0,28$  сГр/рік)



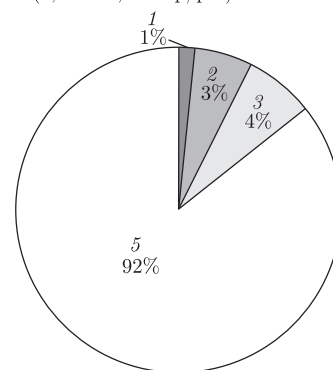
Янівський затон ( $3,65 \pm 0,14$  сГр/рік)



Водойма-охолодник ЧАЕС ( $2,22 \pm 0,11$  сГр/рік)



Київське вдсх. поблизу с. Лютиж ( $0,30 \pm 0,01$  сГр/рік)



Оз. Вербне ( $0,03 \pm 0,005$  сГр/рік)

Рис. 2. Аномалії паростків зернівок очерету звичайного з водойм із різним рівнем дозового навантаження на рослини: 1 — некрози коренів; 2 — порушення геотропізму; 3 — порушення органогенезу; 4 — хлорофільні аномалії листя; 5 — норма

Результати досліджень показників життєздатності, порушень ростового процесу та тератологічного ефекту у насінневого потомства одного з видів-домінантів угруповань літоральних екотонів — очерету звичайного, можуть бути рекомендованими до використання при радіоекологічному моніторингу радіоактивно забруднених водних екосистем.

1. Сарпульцев Б. И., Гераськин С. А., Иванова Г. А. Видовая радиорезистентность растений в фазах вегетации и покоящихся семян // Радиобиология. – 1989. – **29**, № 4. – С. 506–510.
2. Гудков Д. И., Деревец В. В., Кузьменко М. И., Назаров А. Б. Гидробионты в радиоэкологическом мониторинге водоемов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Гигиена населенных мест. – 2000. – Вып. 36, ч. 1. – С. 404–414.
3. Демидовская Л. Ф., Кириченко Р. А. Морфологические особенности тростника // Тр. Ин-та ботаники АН КазССР. – 1964. – Вып. 19. – С. 109–135.
4. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment / Eds. J. Brown, P. Strand, A. Hosseini, P. Børretzen // Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. – Stockholm: Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003. – 395 p.
5. Amiro B. D. Radiological dose conversion factors for generic non-human biota used for screening potential ecological impacts // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – **35**, No 1. – P. 37–51.
6. Позолотина В. Н., Молчанова И. В., Караваева Е. Н. и др. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. – Екатеринбург: Гоцинский, 2008. – 204 с.
7. Иванов В. И. Радиобиология и генетика арабидопсиса. – Москва: Наука, 1974. – 191 с. – (Проблемы космической биологии. Т. 27).
8. Закс Л. Статистическое оценивание. – Москва: Статистика, 1976. – 530 с.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Надійшло до редакції 06.07.2011

**Н. Л. Шевцова, А. А. Явнюк, Д. И. Гудков**

### **Влияние хронического воздействия ионизирующей радиации на семенное потомство тростника обыкновенного в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения**

*Исследованы биологические характеристики тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Trin) Ex. Steud.) в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения. Проанализированы показатели жизнеспособности и нарушений у семенного потомства растений. Отмечены низкие показатели жизнеспособности, существенные нарушения процесса онтогенеза и высокий процент аномалий у проростков семян из водоемов, где мощность поглощенной дозы на растения литорали составляет от 2 до 12 cГр/год.*

**N. L. Shevtsova, A. A. Yavnyuk, D. I. Gudkov**

### **Long-term ionizing radiation impact on seed progeny of common reed in water bodies of the Chernobyl exclusive zone**

*Results of the investigation of common reed's (*Phragmites australis* (Trin) Ex. Steud.) biological characteristics under conditions of long-term ionizing radiation impact are represented. Indices of seeds' vitality and disorders are analyzed. Low vitality indices, significant ontogenesis disorders, and high percent of abnormalities of germs are determined in water bodies, where littoral plants receive the absorbed dose in a low-dose range of 1–12 cGy year<sup>-1</sup>.*