

А.А. ЯВНЮК¹, Н.Л. ШЕВЦОВА², Д.І. ГУДКОВ²

¹ Національний авіаційний університет

пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна

a_yavnyuk@ukr.net

² Інститут гідробіології НАН України

пр. Героїв Сталінграда, 12, м. Київ, 04210, Україна

shevtsovanl@rambler.ru

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДОДАТКОВОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ НАСІННЄВИХ ПАРОСТКІВ *PHRAGMITES AUSTRALIS* ІЗ ВОДОЙМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Явнюк А. А., Шевцова Н. Л., Гудков Д. І. Оцінка впливу додаткового радіаційного опромінення на морфометричні показники насіннєвих паростків *Phragmites australis* із водойм Чорнобильської зони відчуження. — Укр. ботан. журн. — 2015. — 72(5): 446—456.

Викладено результати досліджень впливу додаткового гострого іонізуючого випромінювання дозами 25, 75 та 150 Гр на ростові процеси паростків насіння *Phragmites australis* (Cav.) Trin. & Steud., що росте в умовах хронічного радіаційного забруднення у водоймах Чорнобильської зони відчуження. Проаналізовано лінійні показники паростків — довжина кореня та листка. Показано, що додаткове гостре опромінення пригнічує ріст кореня та листка паростків насіння очерету звичайного, що пов'язується з підвищеною радіочутливістю фізіологічних процесів раннього онтогенезу в рослин, які зазнають впливу малих доз хронічного опромінення.

К л ю ч о в і с л о в а: *Phragmites australis*, насіння, іонізувальне випромінювання, Чорнобильська зона відчуження

Вступ

Вивчення наслідків радіаційного опромінення біологічних систем на різних рівнях організації та пов'язаних із цим екологічних ризиків для живих організмів за подальшого розвитку атомної енергетики не втрачає своєї актуальності. Сучасний екологічний стан територій, які зазнали радіонуклідного забруднення, потребує розробки та запровадження зручних методів виявлення та прогнозування негативного впливу іонізуючого випромінювання на біоту на основі аналізу радіобіологічних ефектів у типових представників флори та фауни. Порушення на ранніх стадіях онтогенезу окремих видів є джерелом важливої інформації про вразливість популяцій в умовах підвищеного антропогенного навантаження. Зручним об'єктом для таких досліджень стали повітряно-водні рослини завдяки прикріпленому способу життя, значному видовому різноманіттю та широкому розповсюдженню, а також достатньо високій прогнозованості відбору проб рослинного походження. Це є важливою складовою моніторингових досліджень з використанням методів біоіндикації та біотесту-

вання. Для вивчення порушень раннього онтогенезу зазвичай об'єктом слугує насіння, оскільки в стані спокою накопичені в ньому відхилення є латентними і проявляються тільки у процесі проростання. Пророщення насіння за стандартизованих лабораторних умов виключає вплив сторонніх факторів та виявляє рівень радіаційних ушкоджень, яких зазнала рослина у природному середовищі (Pozolotina et al., 2008). Порушення ростових процесів у паростків вищих водних рослин, які є невід'ємною ланкою міграції радіонуклідів у водоймах, досліджено ще недостатньо ґрунтовно.

Метою роботи було вивчення лінійних показників паростків насіння *Phragmites australis* (Cav.) Trin. & Steud. (очерету звичайного) з водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), батьківські рослини якого зазнали хронічного опромінення, та контрольної водойми (з фоновим рівнем радіонуклідного забруднення) після додаткового гострого опромінення.

Об'єкт і методи досліджень

За об'єкт досліджень ми взяли насіннєвий матеріал *Phragmites australis*, відібраний в оз. Глибоке (ЧЗВ) та водоймі-охолоднику (ВО) ЧАЕС, де батьківські

рослини отримують підвищені радіаційні дозові навантаження. Результати досліджень порівнювали з показниками паростків насіння очерету з оз. Вербне (м. Київ) із фоновим рівнем радіонуклідного забруднення.

Насіння пророщували в лабораторних умовах у чашках Петрі у трьох повтореннях з розрахунку 30—31 зернівка на чашку за освітлення 5—10 кЛк і температури 20—24° С із дотриманням умов рандомізації. Аналізували лінійні показники паростків насіння до появи першого справжнього листка.

Досліджено лінійні показники росту насінневого потомства очерету звичайного, а саме довжину кореня та листка паростків насіння. Проведено кореляційний аналіз залежностей цих показників від дози додаткового гострого опромінення (Lakin, 1990), а також аналіз за факторами хронічного та гострого опромінення (Rokitskiy, 1973; Zaks, 1976).

Для отримання інформації про приховані фізіологічні порушення в насінневого потомства очерету водойм ЧЗВ було використано метод провокаційного гострого опромінення (Heraskin et al., 2010). Зернівки очерету додатково опромінювали на імпульсному лінійному прискорювачі електронів «ИЛУ-6» (Росія) в діапазоні енергій 1,2—2,5 МеВ. Опромінення проводили дозами 25, 75 та 150 Гр з потужністю поглиненої дози 0,69 Гр/с. Для кожної водойми залишали неопромінений власний контроль (ВК).

Лінійні показники росту кореня та листка паростків визначали за допомогою біокуляра МБС-9 зі збільшенням 8 × 2.

У процесі виконання робіт використано методи розрахунку потужності поглиненої дози за рахунок основних дозоутворювальних радіонуклідів (¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr), що були інкорпоровані в тканинах батьківських рослин і містилися в навколишньому водному середовищі (Brown et al., 2003), методи пророщування насіння в лабораторних умовах (Kroger, 1950), модифіковані для зернівок очерету звичайного, і методи математичної обробки отриманих даних (Zaks, 1976).

Результати досліджень та їх обговорення

Ранні етапи індивідуального розвитку вищих рослин, зокрема органогенез і проростання насіння, залежать від багатьох чинників навколишнього середовища (вологості, температури, кисневого режиму, освітлення тощо) та характеризуються підвищеною чутливістю меристематичних тканин

та органів до дії негативних факторів довкілля, в тому числі іонізуючого випромінювання. В умовах радіонуклідного забруднення порушення нормальних процесів проростання насіння проявляються у вигляді різноманітних аномалій розвитку паростків, значної затримки проростання та пригнічення росту вегетативних органів.

Результати аналізу морфологічних показників насіння очерету звичайного з водойм із різним рівнем радіонуклідного забруднення несуттєво відрізнялися від даних попередніх досліджень (Shevtsova et al., 2010).

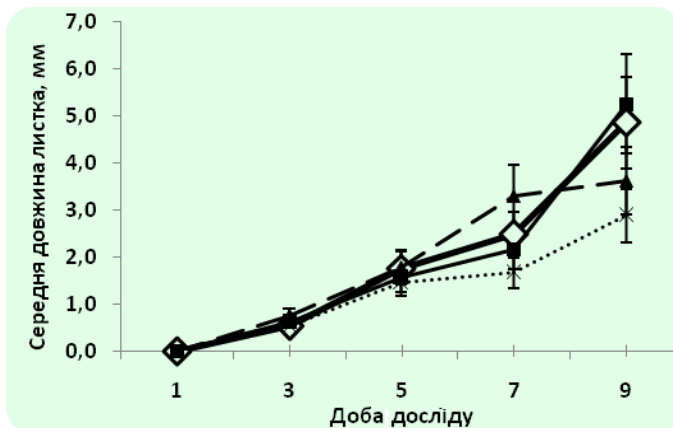
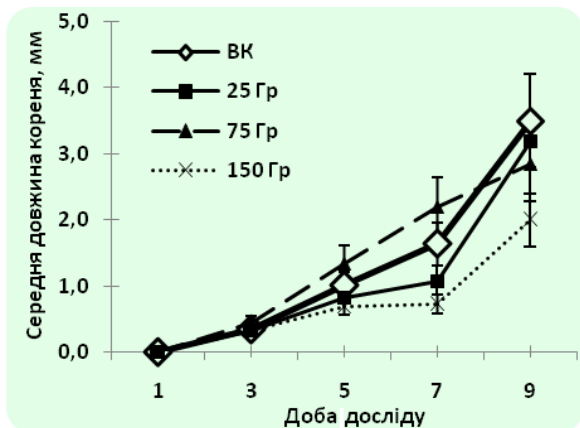
Для зіставлення біологічних ефектів у насінневого потомства вищих рослин з водойм із різним рівнем радіонуклідного забруднення визначали потужність поглиненої дози батьківськими рослинами. Розрахована середня потужність поглиненої рослинами дози в оз. Глибоке, ВО ЧАЕС та оз. Вербне становила 11,9,3,7 і 0,03 сГр/рік відповідно.

Оскільки радіостійкість рослин в умовах тривалого радіаційного стресу може змінюватися (Dineva et al., 1994; Pozolotina, 2003; Hrodzynskiy, 2008, 2013), необхідно було з'ясувати, чи існують такі зміни в насінневого потомства очерету звичайного з водойм ЧЗВ.

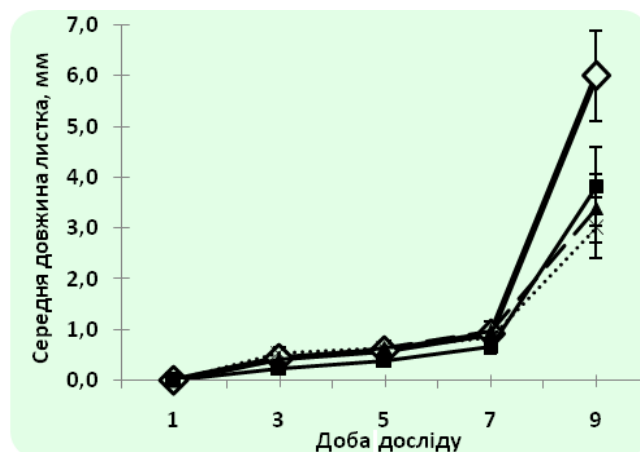
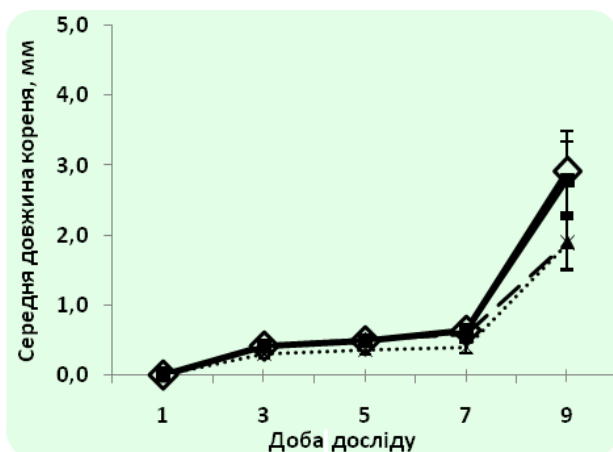
Додаткове гостре опромінення насіння виявило зміни в ростових реакціях паростків насіння рослин із водойм з різним дозовим навантаженням на батьківські рослини (рис. 1, табл. 1).

Якщо в насінневого потомства з контрольної водойми фаза логарифмічного росту наставала після третьої доби незалежно від отриманої дози гострого опромінення, то для всіх вибірок із водойм ЧЗВ це спостерігалось лише після сьомої доби (рис. 1, *b*, *c*). До сьомої доби, незалежно від отриманої насінням дози хронічного та гострого опромінення, фіксувалася затримка росту кореня та листка паростків насіння з водойм ЧЗВ.

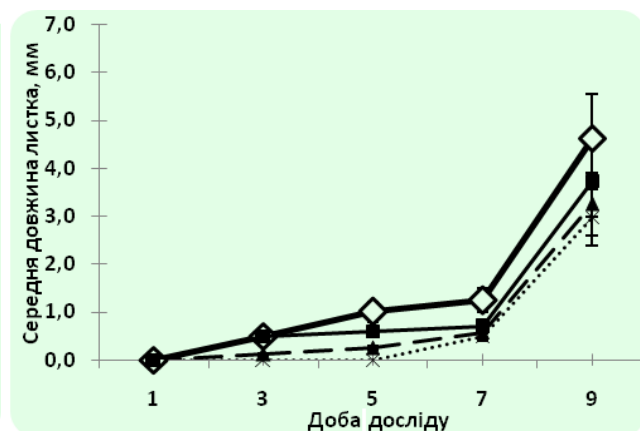
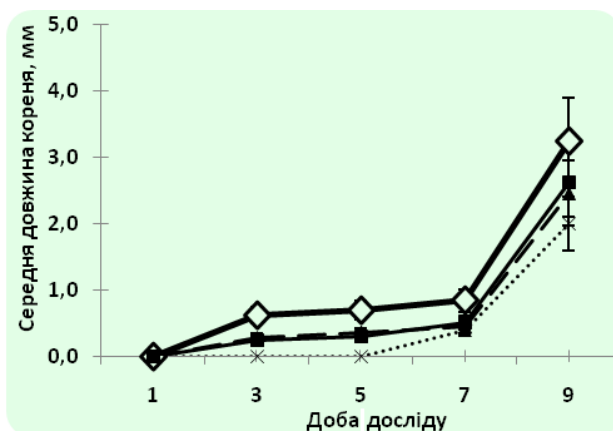
Варіабельність показників довжини кореня та листка паростків насіння рослин, які отримують опромінення потужністю 3,7 сГр/рік (ВО ЧАЕС), до сьомої доби включно не залежала від дози гострого опромінення та була несуттєвою. У паростків насіння рослин із водойми, де потужність поглиненої дози хронічного опромінення становила 11,9 сГр/рік (оз. Глибоке), навпаки, зафіксовано збільшення діапазону варіабельності досліджуваних показників (рис. 1, *c*). При цьому величина показника залежала від дози гострого опромінення.



a)



b)



c)

Рис. 1. Середня довжина кореня та листка в паростків насіння *Phragmites australis*: a) оз. Вербне (контрольна водойма), b) ВО ЧАЕС, c) оз. Глибоке

Fig. 1. Average length of roots and leaves of the *Phragmites australis* seed germs: a) Verbne Lake (reference water body), b) Cooling Pond of Chernobyl NPP, c) Hlyboke Lake

Таблиця 1. Динаміка ростових процесів кореня та листка паростків насіннєвого потомства *Phragmites australis* водойм із різним рівнем радіонуклідного забруднення (ДДГО — доза додаткового гострого опромінення, Гр)

Водойма	ДДГО	Рівняння регресії	R ²
Довжина кореня			
Озеро Вербне	ВК	$y = 0,41x - 0,78$	0,87
	25	$y = 0,36x - 0,70$	0,75
	75	$y = 0,37x - 0,50$	0,99
	150	$y = 0,22x - 0,36$	0,78
Водойма-охолоджувач ЧАЕС	ВК	$y = 8,91E-4e^{0,88x} + 0,26$	0,95
	25	$y = 8,05E-4e^{0,89x} + 0,26$	0,95
	75	$y = 6,41E-3e^{0,62x} + 0,21$	0,89
	150	$y = 3,75E-4e^{0,93x} + 0,19$	0,94
Озеро Глибоке	ВК	$y = 2,24E-3e^{0,79x} + 0,36$	0,92
	25	$y = 5,54E-4e^{0,93x} + 0,15$	0,98
	75	$y = 2,37E-4e^{1,02x} + 0,19$	0,97
	150	$y = 1,45E-3e^{0,81x} - 0,03$	0,997
Довжина листка			
Озеро Вербне	ВК	$y = 0,58x - 0,99$	0,91
	25	$y = 0,60x - 1,09$	0,83
	75	$y = 0,49x - 0,55$	0,96
	150	$y = 0,34x - 0,41$	0,95
Водойма-охолоджувач ЧАЕС	ВК	$y = 4,12E-4e^{1,06x} + 0,30$	0,99
	25	$y = 6,43E-4e^{0,96x} + 0,17$	0,99
	75	$y = 0,01e^{0,64x} + 0,21$	0,96
	150	$y = 0,01e^{0,69x} + 0,29$	0,93
Озеро Глибоке	ВК	$y = 0,01e^{0,87x} + 0,30$	0,95
	25	$y = 2,88E-4e^{1,04x} + 0,33$	0,96
	75	$y = 9,78E-4e^{0,91x} + 0,08$	0,995
	150	$y = 1,04E-3e^{0,89x} - 0,03$	0,998

Результати статистичної обробки даних інтервального розподілу ознак «Довжина кореня» та «Довжина листка» наведено в табл. 2. Примітка: Тут і в таблицях 2 і 4 ВК —

На дев'яту добу досліду максимальні величини довжини кореня спостерігали в насіння рослин варіантів ВК усіх досліджуваних водойм, які становили 3,0—3,5 мм, а найбільше значення (3,5 мм) зареєстровано в паростків насіння рослин із контрольної водойми. Максимальні величини довжини листка зафіксовані також у всіх випадках ВК і за гострого опромінення насіння рослин контрольної водойми дозою 25 Гр, а найбільші значення (6,0 мм) — у рослин з ВО ЧАЕС.

Динаміка росту кореня та листка паростків насіння рослин контрольної водойми (оз. Вербне) відповідала лінійній функції у діапазоні вірогідності апроксимації $R^2 = 0,75—0,99$ (табл. 1, рис. 1, а). Динаміка росту кореня та листка в паростків насіння рослин із водойм ЧЗВ суттєво відрізнялася. Ростові процеси тут підпорядковувалися експо-

Таблиця 2. Зміна значень показників довжини кореня та листка паростків насіння *Phragmites australis* залежно від ступеня опромінення

Водойма	Доза додаткового гострого опромінення, Гр	$x_{\text{ср}}, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$	χ^2 розрахований	χ^2 табличний ($P = 0,95$)	Нульова гіпотеза про норм. розподіл (+ прийм., - відхил.)	Коефіцієнт асиметрії варіаційної кривої, А	Вид асиметрії (П — правобічний, Л — лівобічний)	Коефіцієнт ексцесу, Е	Форма кривої розподілу (Гс — гостроверш., Пл — плосроверш.)	
											Довжина кореня
Озеро Вербне	ВК	39,7	31,3	229,2	9,49	-	1,04	П	0,2	Гс	
	25	38,9	28,7	70,9	5,99	-	1,80	П	2,6	Гс	
	75	41,6	26,2	385,6	9,49	-	1,65	П	4,8	Гс	
	150	15,3	9,8	123,4	7,81	-	1,12	П	-0,1	Пл	
Водойма-охолоджувач ЧАЕС	ВК	50,4	23,3	238,3	9,49	-	0,30	П	-0,5	Пл	
	25	39,2	23,4	238,4	9,49	-	1,01	П	0,5	Гс	
	75	23,9	11,4	208,3	9,49	-	0,39	П	-0,7	Пл	
	150	18,5	7,6	250,2	9,49	-	0,67	П	-0,4	Пл	
Озеро Глибоке	ВК	52,3	26,4	98,7	7,81	-	0,39	П	-0,5	Пл	
	25	34,4	21,5	169,4	9,49	-	1,14	П	1,0	Гс	
	75	33,0	17,7	161,5	9,49	-	0,29	П	-0,9	Пл	
	150	18,3	11,0	197,6	9,49	-	0,71	П	-0,8	Пл	
Довжина листка											
Озеро Вербне	ВК	74,5	37,9	214,1	9,49	-	1,2	П	1,0	Гс	
	25	69,4	40,8	48,1	5,99	-	0,7	П	-0,6	Пл	
	75	62,8	23,4	230,6	9,49	-	0,1	П	-3,3	Пл	
	150	42,1	17,3	56,2	7,81	-	-0,3	Л	-0,8	Пл	
Водойма-охолоджувач ЧАЕС	ВК	113,3	45,3	160,2	9,49	-	-0,2	Л	-0,9	Пл	
	25	67,9	20,9	197,4	9,49	-	0,6	П	0,0	Пл	
	75	60,0	10,3	250,2	9,49	-	0,8	П	1,6	Гс	
	150	52,9	13,9	157,9	9,49	-	-0,4	Л	0,0	Гс	
Озеро Глибоке	ВК	84,0	54,1	157,8	7,81	-	1,5	П	3,2	Гс	
	25	59,2	22,2	156,8	9,49	-	0,4	П	-0,1	Пл	
	75	54,1	17,9	123,1	9,49	-	-0,6	Л	1,0	Гс	
	150	49,7	15,2	114,5	9,49	-	-3,0	Л	-0,2	Пл	

ненціальній функції з вірогідністю апроксимації R^2 у діапазоні 0,89—0,997 та 0,93—0,999 (див. табл. 1, рис. 1, b, c).

Розрахований критерій Пірсона істотно перевищував табличні значення для рівня значущості $P = 0,95$, тому нульову гіпотезу про нормальний роз-

Таблиця 3. Двофакторний аналіз ростових процесів паростків насіння *Phragmites australis* залежно від дозового навантаження: А — фактор дози гострого опромінення; В — фактор дози хронічного опромінення

Фактори та їхня взаємодія	Число ступенів свободи	F фактичне	$F_{\text{табл}}$ за $P = 0,95$	$F_{\text{табл}}$ за $P = 0,99$
Довжина кореня				
Фактор А	3	30,29	2,60	3,78
Фактор В	2	8,04	3,00	4,61
Взаємодія факторів А та В	6	10,04	2,10	2,80
Довжина листка				
Фактор А	3	62,46	2,60	3,78
Фактор В	2	89,37	3,00	4,61
Взаємодія факторів А та В	6	7,33	2,10	2,80

поділ даних відкинуто. Правобічний розподіл довжини кореня свідчить про суттєвий вплив додаткового гострого іонізуючого опромінення на ріст коренів паростків через певний час після сходів. У випадку розподілу довжини листка встановлено, що зі збільшенням дози додаткового опромінення правобічний розподіл довжини листків паростків

Таблиця 4. Регресійний аналіз зв'язку показників довжини кореня та листка паростків насіння *Phragmites australis* з дозою додаткового гострого опромінення (ДДГО — доза додаткового гострого опромінення, Гр.)

Водойма	ДДГО	Рівняння регресії	R^2	Кореляція r	$t_{\text{розрах}}$	$t_{\text{табл}}$ за $P = 0,80$
Довжина кореня						
Озеро Вербне	ВК	$y = -9,7E-3x + 3,50$	0,991	-0,995	14,5	1,886
	25					
	75					
Водойма- олоджувач ЧАЕС	ВК	$y = 2,8e^{-0,003x}$	0,798	-0,893	2,8	
	25					
	75					
Озеро Глибоке	ВК	$y = 3,05e^{-0,003x}$	0,915	-0,934	3,7	
	25					
	75					
Довжина листка						
Озеро Вербне	ВК	$y = -1,6E-2x + 5,12$	0,874	-0,935	3,7	
	25					
	75					
Водойма- олоджувач ЧАЕС	ВК	$y = 4,98e^{-0,004x}$	0,718	-0,802	1,9	
	25					
	75					
Озеро Глибоке	ВК	$y = 4,25e^{-0,003x}$	0,839	-0,890	2,8	
	25					
	75					

насіння з усіх досліджуваних водойм поступово переходив у лівобічний. Це характеризує більшу чутливість процесу проростання листка до впливу гострого іонізуючого опромінення.

Двофакторний аналіз за факторами «хронічне опромінення» та «гостре опромінення» показав значущість впливу обох видів опромінення на ростові реакції паростків насіння очерету звичайного (табл. 3).

Величина розрахованого критерію F була більшою порівняно з табличною для всіх вибірок за рівнів значущості $P = 0,95$ і $P = 0,99$. Це вказує на суттєвий вплив хронічного та гострого опромінення та їх сумісної дії на лінійні показники росту паростків насіння очерету.

Встановлено обернену кореляційну залежність між лінійними показниками росту кореня та листка в насінневого потомства очерету та поглиненою дозою гострого опромінення на дев'яту добу досліді: коефіцієнт кореляції для кореня паростків насіння рослин з оз. Вербне становив $-0,99$, для листка $-0,94$; для ВО ЧАЕС $-0,89$ та $-0,80$; для оз. Глибоке $-0,93$ і $-0,89$ відповідно. Результати регресійного аналізу зв'язку величини досліджуваних показників та дози додаткового гострого опромінення наведено в табл. 4.

Вірогідність даного зв'язку у випадку озера Вербного для коренів та листків підтверджується високими значеннями розрахованого критерію Стьюдента t порівняно з табличним значенням, яке становить 1,886 для рівня значущості $P = 0,80$. У зв'язку з цим була прийнята нульова гіпотеза про вірогідність кореляції для даного рівня значущості.

Представлення лінійних показників паростків у відносних одиницях (% від власного неопроміненого контролю) на дев'яту добу досліді допомогло чітко виявити вплив додаткового опромінення на

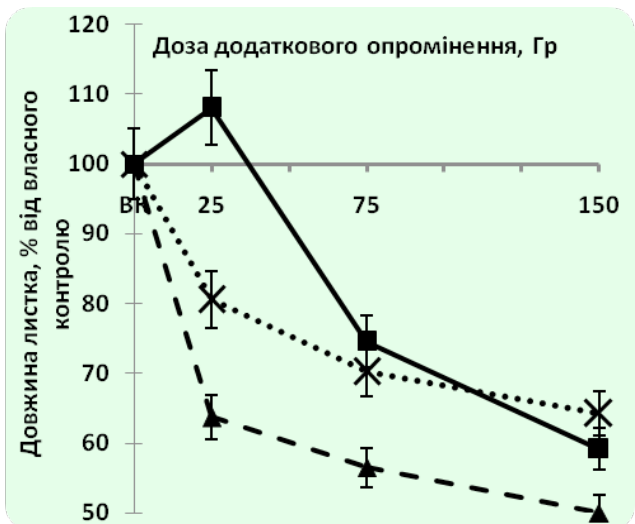
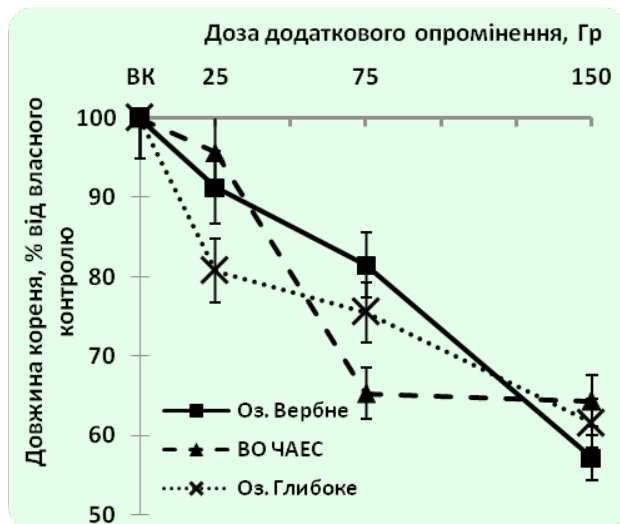


Рис. 2. Вплив додаткового гострого опромінення на довжину кореня та листка паростків насіння *Phragmites australis*, % від ВК

Fig. 2. Impact of additional acute ionizing radiation on length of roots and leaves of the *Phragmites australis* seed germs, % from own control

розвиток паростка і порівняти криві «доза—ефект» для різних вибірок (рис. 2).

Залежність «доза—ефект» за показниками довжини кореня та листка паростків насінневого потомства рослин із водойм ЧЗВ і контрольної водойми (озеро Вербне) відображена класичними кривими низхідного характеру (Yarmonenko et al., 1984; Hrodzinskiy, 1989).

На кривих «доза—ефект» у паростків насіння рослин із контрольної водойми спостерігалось радіостійке «плече» для обох досліджуваних лінійних показників. Ми припускаємо, що насінневе потомство рослин з озера Вербне більш радіостійке за досліджуваними показниками порівняно з іншими.

Відсутність подібного «плеча» свідчить про підвищену чутливість об'єкта до впливу іонізувального випромінювання (Hrodzinskiy, 1989). Динаміка росту кореня та листка в паростків насінневого потомства з озера Глибоке (11,9 сГр/рік) вказує на зміни в його радіоадаптивному потенціалі. За опромінення дозою 25 Гр лінійні показники паростків порівняно з неопроміненим власним контролем знизилися в середньому на 20 %. Але з подальшим підвищенням дози до 75 і 150 Гр, що в 3 та 6 разів більша від попередньої дози, відставання в рості уповільнилося. Порівняння кривих «доза—ефект» показало, що ростові реакції на опромінення кореня та листка паростка помітно відрізнялися. Найбільші розбіж-

ності в реакції кореня та листка на додаткове гостре опромінення виявилися в паростків насінневого потомства рослин, що отримують дозу хронічного опромінення 3,7 сГр/рік (ВО ЧАЕС). Зафіксовані розбіжності в ростових реакціях кореня та листка паростка насіння очерету звичайного можуть свідчити про більшу вразливість біохімічних процесів, що відповідають за ріст саме листка.

Висновки

Зареєстровано вірогідний вплив додаткового гострого іонізувального опромінення дозами 25, 75 та 150 Гр з потужністю 0,69 Гр/с і хронічного — з потужністю 0,03, 3,7 і 12 сГр/рік, а також їхня сумісна дія на динаміку лінійних показників очерету звичайного, що підтверджується результатами кореляційного та двофакторного аналізів за рівнів значущості $P = 0,80$ і $P = 0,95-0,99$ відповідно.

Паростки насіння очерету з водойм ЧЗВ характеризувалися значною затримкою проростання та повільним ростом, що посилювався за додаткового гострого опромінення порівняно з показниками насіння з контрольної водойми. Ймовірно, це свідчить про їхню змінену радіаційну стійкість, що пов'язано з тривалим перебуванням рослин в умовах хронічного радіаційного опромінення.

Динаміка ростових процесів кореня та листка паростків насіння рослин із водойм ЧЗВ підпо-

рядковувалася експоненціальній залежності ($R^2 = 0,89-0,997$ і $0,93-0,999$ відповідно). Ріст кореня та листка паростків рослин, які зазнають фонових дозових навантажень, підпорядковувався лінійній залежності ($R^2 = 0,75-0,99$ і $0,83-0,96$ відповідно).

Встановлено вірогідну обернену кореляційну залежність між дозою додаткового гострого опромінення і довжиною кореня та листка паростків насіння за рівня значущості $P = 0,8$. Коефіцієнт кореляції відповідно становив: для оз. Вербне: $-0,99$ та $-0,94$; для ВО ЧАЕС: $-0,89$ та $-0,80$; для оз. Глибоке: $-0,93$ та $-0,89$. Регресійний аналіз виявив експоненційну залежність між дозою додаткового гострого опромінення та показниками довжини кореня та листка паростків насіння з водою ЧЗВ ($R^2 = 0,80-0,92$ і $0,72-0,84$ відповідно). У випадку оз. Вербне така залежність була лінійною ($R^2 = 0,99$ та $0,87$ відповідно). Результати досліджень динаміки проростання насінневого потомства очерету звичайного спонукають до припущення про значну вразливість фізіологічних процесів у ранньому онтогенезі насінневого потомства рослин водою ЧЗВ, де хронічне дозове навантаження на батьківські рослини становить $4-12$ сГр/рік.

Аналіз динаміки лінійних показників росту паростків насіння домінуючих видів рослинних угруповань може розглядатися як важлива складова комплексного радіоекологічного моніторингу та підстава для розробки заходів запобігання негативним наслідкам іонізуючого випромінювання щодо біоти водних екосистем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Brown J. Brown, Strand P. Strand, Hosseini A. Hosseini, Børretzen P. Børretzen. *Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment*. Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102, 2003, Stockholm, Framework for Assessment of Environmental Impact, 395 p.
- Dineva S.B., Abramov V.I., Shevchenko V.A. *Radiatsionnaya biolohiya. Radioekolohiya*, 1994, **34**(2), pp. 177–181 [Динева С.Б., Абрамов В.И., Шевченко В.А. Сравнительная радиоустойчивость хронически облучаемых популяций арабидопсиса // *Радиационная биология. Радиоэкология*. — 1994. — **34**(2). — С. 177–181].
- Heraskin S.A., Udalova A.A., Dikareva N.S., Mozolin E.M., Chernonoh E.V., Prytkova Yu.S., Dikarev V.H., Novikova T.A. *Radiatsionnaya biolohiya. Radioekolohiya*, 2010, **50**(4), pp. 374–382 [Гераськин С.А., Удалова А.А., Дикарева Н.С., Мозолин Е.М., Черноног Е.В., Прыткова Ю.С., Дикарев В.Г., Новикова Т.А. Биологические эффекты хронического облучения в популяциях растений // *Радиационная биология. Радиоэкология*. — 2010. — **50**(4). — С. 374–382].

- Hrodzinskiy D.M. *Adaptivnaya stratehiya fiziologicheskikh protsessov rasteniy*, Kiev: Naukova Dumka, 2013, 301 p. [Гродзинский Д.М. *Адаптивная стратегия физиологических процессов растений*. — Киев: Наук. думка, 2013. — 301 с.].
- Hrodzinskiy D.M. *Radiobiolohiya rasteniy*, Kiev: Naukova Dumka, 1989, 384 p. [Гродзинский Д.М. *Радиобиология растений*. — Киев: Наук. думка, 1989. — 384 с.].
- Hrodzinskiy D.M. *Radiobiologichni efekty khronichnoho oprominennya roslin v zoni vplyvu Chornobylskoi katastrofy*, Kyiv: Naukova Dumka, 2008, 378 p. [Гродзинський Д.М. *Радіобіологічні ефекти хронічного опромінення рослин в зоні впливу Чорнобильської катастрофи*. — К.: Наук. думка, 2008. — 378 с.].
- Hudkov D.I., Kuzmenko M.I., Shevtsova N.L., Dzyubenko O.V., Mardarevych M.H. Porushennya v biosystemakh za intensyvnogo radionuklidnoho zabrudnennya vodoym. In: *Tekhnohenni radionuklidy u prisnovodnykh ekosystemakh. IHB NANU*, Kyiv: Naukova Dumka, 2010, pp. 213–225 [Гудков Д.И., Кузьменко М.И., Шевцова Н.Л., Дзюбенко О.В., Мардаревич М.Г. Порухення в біосистемах за інтенсивного радіонуклідного забруднення водою // *Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах. ІГБ НАНУ*. — К.: Наук. думка, 2010. — С. 213–225].
- Kroker V. *Rost rasteniy*, Moscow: Izd-vo inostrannoy literatury, 1950, 359 p. [Крокер В. *Рост растений*. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1950. — 359 с.].
- Lakin H.F. *Biometriya*, Moscow: Vysshaya Shkola, 1990, 352 p. [Лакин Г.Ф. *Биометрия*. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.].
- Pozolotina V.N. *Otdalennye posledstviya deystviya radiatsii na rasteniya*, Ekaterinburh: Akademkniha, 2003, 244 p. [Позолотина В.Н. *Отдаленные последствия действия радиации на растения*. — Екатеринбург: Академкнига, 2003. — 244 с.].
- Pozolotina V.N., Molchanova I.V., Karavayeva E.N., Mikhaylovskaya L.N., Antonova E.V. *Sovremennoe sostoyanie nazemnykh ekosistem Vostochno-Uralskoho radioaktivnoho sleda: urovni zahryazneniya, biologicheskie efekty*, Ekaterinburh: Izd-vo Hoshchinskiy, 2008, 204 p. [Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н., Антонова Е.В. *Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты*. — Екатеринбург: Изд-во «Гошинский», 2008. — 204 с.].
- Rokitskiy P.F. *Biologicheskaya statistika*, Moscow: Vysshaya Shkola, 1973, 320 p. [Рокицкий П.Ф. *Биологическая статистика*. — М.: Высш. шк., 1973. — 320 с.].
- Yarmonenko S.P. *Radiobiolohiya cheloveka i zhyvotnykh*, Moscow: Vysshaya Shkola, 1984, 375 p. [Ярмоненко С.П. *Радиобиология человека и животных*. — М.: Высш. шк., 1984. — 375 с.].
- Zaks L. *Statisticheskoe otsenivanie*, Moscow: Statistika, 1976, 530 p. [Закс Л. *Статистическое оценивание*. — М.: Статистика, 1976. — 530 с.].

Рекомендує до друку
Д.В. Дубина

Надійшла 07.04.2015 р.

Явнюк А.А.¹, Шевцова Н.Л.², Гудков Д.И.² **Оценка влияния дополнительного радиационного облучения на морфометрические показатели семенных проростков *Phragmites australis* из водоемов Чернобыльской зоны отчуждения.** — Укр. ботан. журн. — 2015. — 72(5): 446—456.

¹Национальный авиационный университет
пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина

²Институт гидробиологии НАН Украины
пр. Героев Сталинграда, 12, г. Киев, 04210, Украина

Представлены результаты исследований влияния дополнительного острого ионизирующего излучения в дозах 25, 75 и 150 Гр на ростовые процессы проростков семян *Phragmites australis* (Cav.) Trin. & Steud, произрастающего в условиях хронического радиационного воздействия в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения. Проанализированы линейные показатели проростков — длина корня и листка. Показано, что дополнительное острое облучение действует угнетающе на рост корня и листка проростков семян тростника обыкновенного, что связывается с повышенной радиочувствительностью физиологических процессов раннего онтогенеза у хронически облучаемых малыми дозами растений.

Ключевые слова: *Phragmites australis*, семена, ионизирующее излучение, Чернобыльская зона отчуждения.

Yavnyuk A.A.¹, Shevtsova N.L.², Hudkov D.Y.² **Assessment of additional ionizing radiation impact on morphometric indices of seed germs of *Phragmites australis* from water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone.** — Ukr. Bot. J. — 2015. — 72(5): 446—456.

¹National Aviation University
1, Cosmonaut Komarov Prosp., Kyiv, 03680, Ukraine

²Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine
12, Heroes of Stalingrad Prosp., Kyiv, 04210, Ukraine

The present paper deals with the research results of 25, 75 and 150 Gy additional acute ionizing radiation impact on growth processes of seed germs of the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. & Steud, in conditions of long-term ionizing radiation impact in water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone. Linear indexes of leaf and root length of the germs were analyzed. It is shown that additional acute irradiation leads to inhibition of leaf and root growth of the common reed seed germs. It is probably connected with high radiosensitivity of physiological processes during early ontogenesis of acutely low-dose irradiated plants.

Key words: *Phragmites australis*, seeds, ionizing radiation, Chernobyl Exclusion Zone.

НОВІ ВИДАННЯ

Чопик В.І., Федорончук М.М. Флора Українських Карпат. — Тернопіль: ТзОВ «Тернограф», 2015. — 712 с.

«Флора Українських Карпат» є повним зведенням видового складу судинних рослин цієї території, що за суттю і формою можна розглядати як друге видання «Визначника рослин Українських Карпат» (1977). Новим у цій праці є збільшення видового складу на 520 таксономічних найменувань. Таким чином, флора Українських Карпат нараховує 2532 види спонтанної флори, а також найважливіші культивовані види. Наведено їхню географічну, екологічну, фітосозологічну характеристики та сучасну номенклатуру. Подасться латинська абетка, а також транслітерація українських і латинських вимовлень. Це важливо, оскільки нині у вишах не викладають основи латинської мови, і студенти вимовляють латинські назви на англійський манер, що утруднює розуміння, про яку саме рослину йдеться. Вперше в українській і колишній союзній (за деякими винятками) науковій ботанічній літературі подано наголоси на назвах усіх таксонів, що уніфікує та стандартизує їх з європейськими мовами. Необхідність видання «Флори...» на сучасному рівні диктується ще й тим, що наявні сьогодні «Флора України» (1937—1964), «Определитель высших растений Украины» (1987), «Визначник рослин Українських Карпат» (1977) фахово та морально застаріли і стали бібліографічними раритетами. Праця ілюстрована габітуальними й аналітичними малюнками.

Для науковців (систематиків, флористів, екологів, спеціалістів з охорони природи), працівників лісового та сільського господарств, викладачів вишів, фармацевтів, туристів, студентів біологічних, сільськогосподарських і лісівничих спеціальностей.