

formaldehyde, and laboratory processing was carried out according to methods, which are used in hydrobiological studies of water surface. Permanent preparations were produced for determination of the species composition of diatoms. The Ukrainian and European determinative keys were used for algae identification.

On the basis of field studies microphytobenthos of the Rusanovka channel comprised 131 species (142 species and intraspecific taxa) of 6 types, 9 classes, 20 orders, 34 families and 56 genera. The structure analysis showed, that the most significant role in terms of diversity played the representatives of types *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* and *Cyanoprokaryota*, followed by types *Euglenophyta*, *Chrysophyta* and *Charophyta*, whose share in the total number of species was insignificant. At the level of classes the greatest contribution was made by *Bacillariophyceae*, which belong to the type *Bacillariophyta*; *Chlorophyceae* – type *Chlorophyta*; as well as *Hormogoniophyceae* and *Cyanophyceae*, type *Cyanoprokaryota*. At the level orders domination was allocated as follows: *Naviculales*, *Fragilariales*, *Cymbellales* (class *Bacillariophyceae*) and *Sphaeropleales* (class *Chlorophyceae*); at level of families – *Naviculaceae*, *Surirelataceae*, *Fragilariaceae* (*Bacillariophyta*) and *Scenedesmaceae* (*Chlorophyta*), at level of genera – *Navicula*, *Gomphonema*, *Nitzschia* and *Desmodesmus*, *Scenedesmus* respectively.

The analysis of seasonal aspects of the species richness of microphytobenthos showed, that the number of species was the highest in autumn, and in summer it was the lowest. The taxonomical structure of microphytobenthos in all seasons was formed mainly by diatoms. Types *Euglenophyta*, *Chrysophyta* and *Charophyta* were represented by the lowest number of species.

Keywords: microphybenthos, the taxonomical structure, an artificial watercourse

Рекомендує до друку

Надійшла 05.01.2016

В. В. Грубінко

УДК 582.542.11(581.143.3:632.118.3)(285)

¹А. А. ЯВНЮК, ²Н. Л. ШЕВЦОВА, ²Д. І. ГУДКОВ

¹Національний авіаційний університет
пр-т. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03680

²Інститут гідробіології НАН України
пр-т. Героїв Сталінграду, 12, Київ, 04210

АНОМАЛІ ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ ОЧЕРЕТУ ЗВИЧАЙНОГО З ВОДОЙМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЗА УМОВ ДОДАТКОВОГО ГОСТРОГО ЙОНІЗУВАЛЬНОГО ОПРОМІНЕННЯ

В роботі представлено результати досліджень аномалій розвитку насіннєвого потомства очерету звичайного з водойм Чорнобильської зони відчуження, що отримало дозу додаткового гострого опромінення 25, 75 та 150 Гр. Аналіз показав, що у спектрі аномалій переважають некрози зародкових коренів. Збільшення дози гострого опромінення у градієнті хронічного дозового навантаження на батьківські рослини викликало збільшення загальної кількості аномалій у паростків насіння за рахунок порушень органогенезу. Досліджено кореляційний зв'язок різних груп аномалій з показниками життєздатності паростків насіння.

Ключові слова: аномалії паростків насіння, очерет звичайний, хронічне та гостре йонізувальне випромінювання, Чорнобильська зона відчуження

Дослідження радіобіологічних ефектів у вищих рослин в умовах радіонуклідного забруднення, значною мірою спрямовані на вивчення генетичних [1-7] та цитогенетичних [8-11] аномалій. Їх об'єктом є вплив йонізувального випромінювання на генетичний матеріал дикорослих рослин [12-16] або сільськогосподарських злакових культур [17-20]. Разом з тим, онтогенетичні

порушення на ранніх стадіях життєвого циклу рослин є не менш актуальним питанням у зв'язку з підвищеною радіочутливістю тканин на стадії формування. Особливої уваги заслуговують вищі водні рослини радіоактивно уражених територій, які зазнають значних дозових навантажень та відіграють важливу роль в акумуляції радіонуклідів у водних екосистемах.

Мета роботи – дослідити розвиток насінневого потомства очерету звичайного *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud з водойм Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) при додатковому гострому опроміненні в дозах 25, 75 та 150 Гр.

Матеріал і методи досліджень

При виконанні досліджень використовували метод пророщування насіння в лабораторних умовах та визначення показників аномального розвитку паростків [21], метод розрахунку загальної потужності поглиненої дози (ППД) за рахунок внутрішнього опромінення та з урахуванням даних питомої активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у водному середовищі [22], методи статистичної [23, 24] та математичної обробки отриманих результатів за допомогою програмного забезпечення MS Excel.

Волоті очерету 2012 р. вегетації відбирали з водойм в межах ЧЗВ – оз. Глибоке та водоймі-охолоднику (ВО) ЧАЕС. Контрольною водоймою слугувало оз. Вербне (м. Київ) з фоновим рівнем радіонуклідного забруднення. Насіння пророщували в лабораторних умовах у чашках Петрі на стелажі з освітленням 5-10 кЛк за температури 20-22 °С та з обов'язковим дотриманням умов рандомізації.

Додаткове опромінення зернівок очерету проводили на імпульсному лінійному прискорювачі електронів «ИЛУ-6» (Росія) у діапазоні енергій 1,2–2,5 MeV [25]. Опромінення проводили дозами 25, 75 та 150 Гр з потужністю 0,69 Гр/сек. Для кожної водойми залишали неопромінений власний контроль (ВК).

Досліджені групи аномалій та метод розрахунку порушень представлені у статті [26]. Слід зауважити, що для деяких паростків була характерна наявність декількох аномалій одночасно, наприклад, паростки з безхлорофільним листям могли мати порушення геотропізму зародкового кореня.

Результати досліджень та їх обговорення

Дозові навантаження від хронічного опромінення на очерет звичайний з досліджуваних водойм коливалися в межах середніх значень 0,03-15 мкГр/год (табл. 1).

Таблиця 1

Дозові навантаження на батьківські рослини очерету звичайного, мкГр/год.

Водойма	ППД від зовнішнього γ -фону	ППД від води	ППД від донних відкладів*	ППД внутрішнього опромінення	Загальна ППД
Оз. Глибоке	4,9–20,0	7,9E-03 – 1,1E-02	1,4E-01 – 7,9E-01	1,1E-01 – 1,1	$\frac{5,2-21,9}{15^{**}}$
ВО ЧАЕС	8,7E-01 – 1,0	8,8E-04 – 1,0E-03	4,9 E-02 – 5,0E-01	4,0E-02 – 2,9E-01	$\frac{9,6E-01-1,8}{1,5^{**}}$
Оз. Вербне (м. Київ)	2,8E-02 – 3,3E-02	–	–	1,2E-03 – 1,4E-03	$\frac{2,9E-02-3,4E-02}{0,03^{**}}$

*Потужність поглиненої дози від радіонуклідів, депонованих у донних відкладах, розрахована для придаткових кореневищних ґрунтових коренів, з урахуванням їх частки в біомасі цілої рослини залежно від типу субстрату [27]: Оз. Глибоке – сильно замулені піски (10% від загальної біомаси), ВО ЧАЕС – піски (25%), Оз. Вербне – середньо замулені піски;

** середні зважені значення;

– Вимірювання не проводили

Насіння рослин має фізіологічні та структурні бар'єри, що обмежують накопичення радіонуклідів, але поглинена доза за рахунок інкорпорованих радіонуклідів має вагоме

значення у появі радіобіологічних ефектів. Внутрішня поглинена доза батьківських рослин водойм ЧЗВ на декілька порядків перевищує величини фонових вибірок. Середньо зважена потужність внутрішньої поглиненої дози для очерету звичайного з оз. Глибоке та ВО ЧАЕС відповідно становить $15 \pm 1,2$ та $1,5 \pm 0,07$ мкГр/год, а з оз. Вербного – $0,03 \pm 0,004$ мкГр/год. Потужність сумарної поглиненої дози на очерет звичайний в одному з найбільш забруднених озер ЧЗВ – оз. Глибоке, може сягати 22 мкГр/год, що на чотири порядки перевищує природні фонові значення радіаційного фону. Знаходження вищих водних рослин в умовах довготривалого низькоінтенсивного опромінення від радіонуклідів, що знаходяться в водній екосистемі, призводить до певних відхилень онтогенетичних [29, 26] та цитогенетичних показників [28].

У насіння рослин з водойм ЧЗВ зареєстровано значну кількість різноманітних аномалій розвитку паростків. Спектр аномалій паростків був представлений трьома групами, з яких групи з хлорофільними аномаліями листя та порушеннями геотропізму були найменш чисельними, а домінуючою була група паростків з аномаліями органогенезу, частка яких у схожого насіння в оз. Глибоке сягала майже 60% (рис. 1а, б).

Найменша кількість аномалій паростків усіх типів, що не перевищувала 30% від схожих зернівок, зареєстрована у насіння рослин фонові водойми (рис. 1в). Найбільша – понад 60%, у рослин з водойми ЧЗВ з найбільшою потужністю дози хронічного опромінення – 15 мкГр/год (рис. 1а).

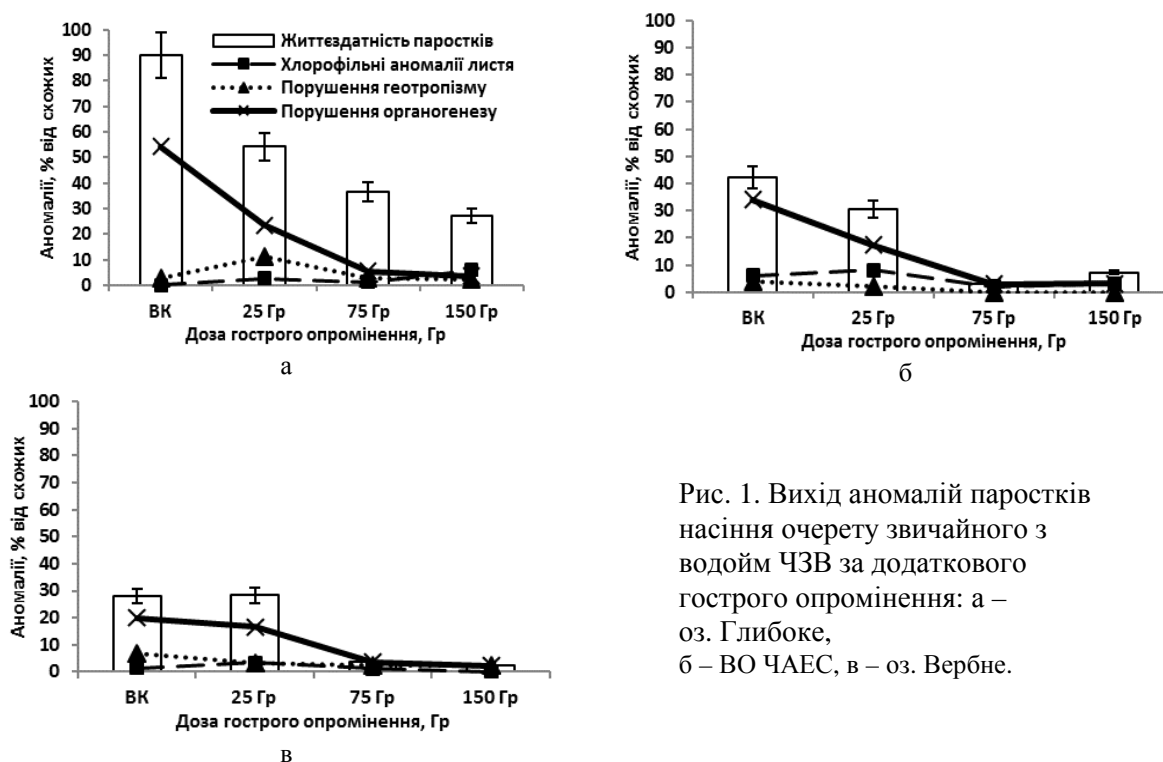


Рис. 1. Вихід аномалій паростків насіння очерету звичайного з водойм ЧЗВ за додаткового гострого опромінення: а – оз. Глибоке, б – ВО ЧАЕС, в – оз. Вербне.

Додаткове гостре опромінення насіння викликало, переважно, зменшення кількості паростків з аномаліями за виключенням групи «хлорофільні порушення» (див. рис 1). Частка хлорофільних аномалій після опромінення у дозі 25 Гр зростала у всіх вибірках. Найбільша кількість паростків з безхлорофільним листям спостерігалася у насіння рослин з ВО ЧАЕС. Показник безхлорофільності листя у схожого насіння рослин з оз. Глибокого збільшувався від 1 до 8% у діапазоні доз гострого опромінення 25-150 Гр. Аналіз співвідношення паростків з подібними аномаліями до життєздатних зернівок рослин з водойм ЧЗВ виявив суттєве зростання у градієнті збільшення дози додаткового гострого опромінення з 0 до 75 Гр у насінневого потомства рослин з ППД 1,5 мкГр/год, та з 25 до 150 Гр у насінневого потомства рослин з ППД 15 мкГр/год. Максимальне значення – 67%, було зареєстровано у насінневого потомства рослин з ВО ЧАЕС (табл. 2). Звертає на себе увагу те, що чверть життєздатних

паростків насіння очерету з оз. Глибоке при додатковому гострому опроміненні у дозі 150 Гр, мала хлорофільні мутації.

Таблиця 2

Аномалії життєздатних паростків насіння очерету звичайного у водоймах з різним рівнем радіонуклідного забруднення при додатковому гострому опроміненні: 1 – хлорофільні аномалії листя, 2 – порушення геотропізму, 3 – порушення органогенезу.

Водойма, середня зважена ППД, мкГр/год	Група аномалій	Доза додаткового гострого опромінення, Гр			
		ВК	25	75	150
		Частка аномальних паростків, %			
Оз. Глибоке, 15,0±1,2	1	0	5	4	22
	2	3	21	7	9
	3	60	44	15	13
ВО ЧАЕС, 1,5±0,07	1	15	27	67	43
	2	10	7	0	0
	3	80	57	100	43
Оз. Вербне, 0,03±0,004	1	5	12	33	0
	2	24	12	67	100
	3	71	59	100	100

Детальний опис хлорофільних мутацій представлено у визначнику [30]. Вплив йонізувального опромінення на появу даного типу аномалій досліджено в небагатьох роботах [31-33]. Вплив гамма-випромінювання на фотосинтетичні пігменти досліджено переважно на бобових, зокрема на паростках квасолі золотистої *Vigna radiata* (L.) Wilczek [34]. Показано, що загальний вміст хлорофілу зі збільшенням дози гострого опромінення знижувався, в основному за рахунок хлорофілу b [34, 32]. У роботі [35] встановлено, що гамма промені призводять до руйнування молекул хлорофілу.

Якщо хлорофільні аномалії трапляються досить рідко, то аномалії, що пов'язані з порушенням геотропізму, є досить поширеними у паростків насіння рослин [21]. Подібні порушення, здебільшого, обумовлені різною швидкістю як поділу ініційних клітин, які формують змінений орган, так і їх подальшого розтягнення, що пов'язують з порушенням процесів регуляції морфогенезу [21]. У схожих паростків насіння рослин з усіх досліджуваних водойм та, не залежно від дози додаткового гострого опромінення, частка аномалій подібного типу була незначною та варіювала від 0 до 7%, за виключенням випадку опромінення насіння з оз. Глибоке дозою 25 Гр (11%). У паростків насіння, що виявилися життєздатними, у рослин з фонові водойми, зареєстровано найбільшу частку даного типу порушень – 24%. У паростків насіння рослин з водойм ЧЗВ цей показник знижувався при збільшенні величини ППД і становив – 10% при ППД 1,5 мкГр/год та 3% – при ППД 15 мкГр/год (табл. 2).

Додаткове гостре опромінення насіння рослин з фонові водойми призводило до збільшення частки життєздатних паростків з подібними аномаліями – до 67% при опроміненні дозою 75 Гр та до 100% – при 150 Гр. У життєздатних паростків насіння рослин з водойм ЧЗВ таку тенденцію не спостерігали.

Найбільш поширеним типом аномалій, що траплявся у паростків насіння очерету звичайного з водойм ЧЗВ та фонові водойми, були порушення органогенезу. При ППД 15 мкГр/год (оз. Глибоке) була зареєстрована найбільша кількість схожих паростків з цими аномаліями – 54%, при ППД 1,5 мкГр/год (ВО ЧАЕС) – 34% та при ППД 0,003 мкГр (оз. Вербне) – 20%. Додаткове гостре опромінення насіння у дозі 75 Гр викликало значне зменшення цієї величин до 5%, 3% та 3,5% відповідно. Подальше двократне збільшення дози додаткового гострого опромінення (до 150 Гр) суттєво не впливало на вихід аномалій органогенезу.

Серед життєздатних аномальних паростків переважна частка (60-80%) також була з аномаліями органогенезу незалежно від ППД (табл. 2). Додаткове гостре опромінення

призводило до зменшення частки цих аномальних паростків до мінімального значення у 13% (при опроміненні в дозі 150 Гр) насіннєвого потомства рослин з максимальною ППД 15 мкГр/год. Насіннєве потомство рослин з фонові водою, додатково опромінене в діапазоні доз 25-150 Гр, було представлено виключно паростками з аномаліями органогенезу.

Якщо під опромінення попадає вегетуюча рослина, то органогенез порушується внаслідок інактивації меристемних клітин [36]. Але виявлення причин відхилень органогенезу від норми в опроміненіх вегетуючих рослинах потребує ґрунтовних досліджень [36]. Тому для вивчення природи порушень органогенезу зазвичай використовують калусні культури, органогенез яких полягає в утворенні диференційованих бруньок та меристемоїдів. На основі результатів досліджень калусних культур [36, 37] зроблено припущення, що в індукції органогенезу беруть участь або продукти радіаційно-хімічних реакцій речовин, які містяться в тканинах, або опромінені клітини продукують речовини, подібні до цитокінінів. Також встановлено, що продукти радіаційно-хімічного перетворення сахарози теж можуть індукувати органогенез [36, 38]. Зазвичай виникнення порушень органогенезу пов'язують з зняттям апікального домінування (порушення регулювання) за участю фізіологічно активних речовин, що виникають в результаті дії йонізуючого випромінювання на біохімічні складові тканини [36].

Аналіз динаміки появи некрозів зародкового кореня (рис. 2) у паростків насіння очерету звичайного виявив досить типове зростання кількості цих аномалій, спричинене додатковим гострим опроміненням.

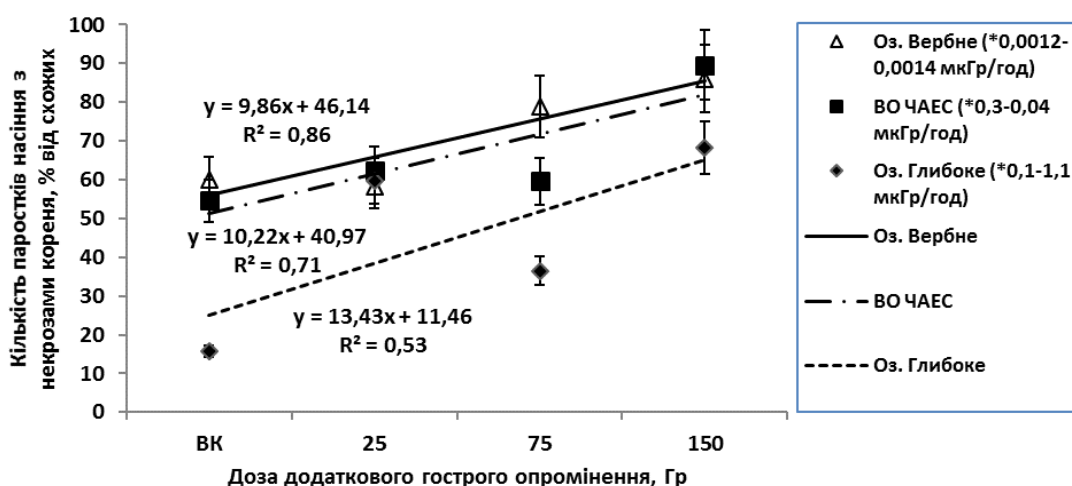


Рис. 2. Дозова залежність виходу некрозів кореня у паростків насіння водою Чорнобильської зони відчуження та фонові водою при додатковому гострому опроміненні. * – діапазон потужності дози внутрішнього опромінення.

У діапазоні підвищення дози додаткового гострого опромінення кількість паростків з некрозами кореня у насіння очерету з оз. Вербне зросла майже на 26%. Подібне спостерігалось і у вибірках насіння рослин з ВО ЧАЕС, де цей показник виріс майже на 35%. У вибірці насіння рослин з оз. Глибоке зареєстровано мінімальну частку паростків з некрозами кореня – 16%, але після додаткового гострого опромінення у дозі 150 Гр цей показник виріс більше ніж у 4 рази (див. рис. 2). Опромінення у дозі 150 Гр призводило до появи максимальної – від 60 до 90%, кількості паростків з некрозами у насіння рослин з усіх досліджуваних вибірок. Необхідно зауважити, що за додаткового гострого опромінення у насіннєвого потомства рослин з оз. Глибоке, де ППД коливається в межах 5,2 – 21,9 мкГр/год, що є одним з найвищих показників для рослин водою ЧЗВ, кількість паростків з некрозами коренів була найменшою порівняно з іншими вибірками.

Розраховано кореляційний зв'язок між життєздатністю насіннєвого потомства очерету звичайного та аномальністю паростків (табл. 3).

Кореляція показників життєздатності схожих паростків насіння очерету звичайного та їх аномальності при додатковому гострому опроміненні в дозах 25, 75 та 150 Гр.

Аномалії	Коефіцієнт кореляції		
	оз. Глибоке	ВО ЧАЕС	оз. Вербне
Хлорофільні аномалії листя	-0,73	-0,94	-0,30
Порушення геотропізму	-0,26	0,995	-0,95
Порушення органогенезу	0,96	-0,05	-0,97
Некрози коренів	-0,77	-0,55	-0,98

Встановлено вірогідну негативну кореляцію між життєздатністю та більшістю типів аномалій для насінневого потомства очерету з фонові водою. Виключення становила група малочисельних хлорофільних аномалій. Кількість аномалій життєздатних паростків у нормі має загальну тенденцію до зменшення. Саме це явище спостерігалось у насінневого потомства з фонові водою – збільшення кількості аномалій пов'язано зі зменшенням життєздатності насіння.

У паростків насінневого потомства, батьківські рослини якого отримують ППД 1,5 мкГр/год (ВО ЧАЕС), додаткове гостре опромінення призводило до значних розбіжностей у виході аномалій паростків. У цій вибірці відсутня кореляція життєздатності насінневого потомства з аномаліями органогенезу. Проте більшість життєздатних паростків рослин з ВО ЧАЕС мали хлорофільні аномалії, що негативно впливало на життєздатність зернівок. Навпаки, підвищення виходу порушень геотропізму паростків пов'язано зі збільшенням життєздатності насінневого потомства рослин з ВО ЧАЕС.

У насінневого потомства рослин з оз. Глибоке (ППД 15 мкГр/рік) встановлено вірогідну позитивну кореляцію життєздатності насіння та порушень органогенезу паростків, що свідчить про те, що паростки з подібними аномаліями є життєздатними. Кореляція життєздатності з іншими типами аномалій була вірогідно негативною. Аномалії геотропізму у даній вибірці не впливали на життєздатність паростків насіння.

Для рослин всіх досліджуваних водойм встановлено вірогідну негативну кореляцію між життєздатністю насінневого потомства та некрозами зародкових коренів паростків насіння, хоча траплялися поодинокі випадки з появою другого зародкового кореня.

Висновки

Досліджено зміни у спектрі аномалій розвитку паростків насіння очерету звичайного з водойм ЧЗВ та водойми з фоновим рівнем радіонуклідного забруднення, що виникли внаслідок додаткового гострого йонізуючого опромінення у діапазоні доз 25-150 Гр.

Виявлені аномалії паростків насіння віднесли до трьох груп: насіння з хлорофільними аномаліями листя; порушеннями геотропізму та аномаліями органогенезу. Найбільш чисельною була група аномалій органогенезу, а групи з хлорофільними аномаліями листя та порушеннями геотропізму – менш чисельними.

Частка кожної групи у спектрі аномалій паростків залежала від дозового навантаження, що отримують батьківські рослини у водою та від дози додаткового гострого опромінення. У насінневого потомства рослин з водою, в яких дозове навантаження на батьківські рослини знаходиться на рівні природного радіаційного фону, була виявлена невелика кількість схожих паростків з аномаліями. У діапазоні доз додаткового гострого опромінення 25-150 Гр чисельність аномальних паростків у схожих зернівок, як і життєздатність насіння, вірогідно знижувалися.

Встановлено вірогідну негативну кореляцію між життєздатністю та більшістю типів аномалій для насінневого потомства очерету з водою з природним радіаційним фоном. Додаткове гостре опромінення призводило до зниження як життєздатності насінневого потомства очерету, так і до зменшення аномалій усіх груп схожих зернівок.

Частка аномалій певної групи у спектрі аномалій паростків насінневого потомства рослин з водою ЧЗВ залежала як від поглиненої дози довготривалого опромінення низької

інтенсивності, так і від дози додаткового гострого опромінення. Насіннєве потомство, батьківські рослини якого отримують нижчу ППД – 1,5 мкГр/год, мало меншу кількість схожих паростків з аномаліями, ніж насіннєве потомство рослин, що отримують ППД 15 мкГр/год. Аномалії у життєздатного насіння цієї вибірки були представлені здебільшого групою з порушеннями органогенезу у діапазоні доз додаткового гострого опромінення 0-15 мкГр/год.

У схожих паростків насіння рослин з водойм, де ППД становить 15 мкГр/год, найчастіше траплялися порушення органогенезу, але й частка інших порушень була досить високою. Додаткове гостре опромінення приводило до вірогідного зниження кількості аномалій у схожих зернівках відповідно до зниження життєздатності паростків. Проте у життєздатних паростків після додаткового опромінення значно підвищилась частка хлорофільних аномалій, а частка аномалій з порушенням органогенезу знизилася.

Отже, додаткове гостре опромінення насіннєвого потомства очерету звичайного виявило значну варіабельність появи різних типів аномалій у паростків насіння рослин в залежності від поглиненої дози довготривалого низькоінтенсивного йонізуючого випромінення. Здебільшого спостерігалася вірогідна обернена кореляція життєздатності паростків та частки аномальних паростків. Виключення становили аномалії геотропізму у насіннєвого потомства рослин з ППД 1,5 мкГр/год та порушення органогенезу – у насіннєвого потомства рослин з ППД 15 мкГр/год.

Аналіз появи не сумісних з життям аномалій паростків, а саме – некрозу зародкового кореня, довів, що насіннєве потомство рослин, які отримують довготривале опромінення з потужністю дози – 15 мкГр/год, є більш радіостійким у порівнянні з насіннєвим потомством рослин, що зростають при природному радіаційному фоні та довготривалому опроміненні з потужністю 1,5 мкГр/год.

Зроблено припущення щодо певної радіоадаптації рослин очерету звичайного, популяція якого майже 30 років зазнає хронічного низькоінтенсивного опромінення у водоймах ЧЗВ у градієнті ППД від 5 до 22 мкГр/год.

1. Карпинская Л. И. Генетический контроль признака «Изгибы побегов» у редиса *Rephanus sativus* L. / Л. И. Карпинская, И. С. Бузовкина // Генетика. — 2005. — Т. 41, № 9. — С. 1251—1258.
2. Лысенко А. К. Влияние хронического облучения на генетическую структуру природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. / Е. А. Лысенко, В. И. Абрамов, В. А. Шевченко // Генетика. — 2000. — Т. 36, № 9. — С. 1241—1250.
3. Моргунов В. В. Скрининг генетичної післядії радіонуклідних забруднень через 13 років з часу аварії на Чорнобильській АЕС / В. В. Моргунов, В. Ф. Логвиненко, Р. А. Якимчук // Доповіді Національної академії наук України. — 2001. — № 2. — С. 183—185.
4. Кальченко А. В. Генетические процессы в хронически облучаемых природных популяциях *Centaurea scabiosa* L., произрастающих на Восточно-уральском радиоактивном следе / В. А. Кальченко, А. В. Рубанович, В. А. Шевченко // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1995. — Т. 35, № 5. — С. 708—719.
5. Jin-Hong Kim, Ji Eun Kim, Min Hee Lee, Sun Woo Lee, Eun Ju Cho, Byung Yeoup Chung. 2013. Integrated analysis of diverse transcriptomic data from *Arabidopsis* reveals genetic markers that reliably and reproducibly respond to ionizing radiation. *Gene*. Volume 518, No 2: 273—279.
6. Geert Biermans, Nele Horemans, Nathalie Vanhoudt, Hildegard Vandenhove, Eline Saenen, May Van Hees, Jean Wannijn, Jaco Vangronsveld, Ann Cuypers. 2015. *Arabidopsis thaliana* seedlings show an age-dependent response on growth and DNA repair after exposure to chronic γ -radiation. *Environmental and Experimental Botany*. Volume 109: 122—130.
7. Stanislav A. Geras'kin, Polina Yu. Volkova. 2014. Genetic diversity in Scots pine populations along a radiation exposure gradient. *Science of the Total Environment*. Volume 496, No 15: 317—327.
8. Evseeva T., T. Majstrenko, S. Geras'kin, J. E. Brown, E. Belykha. 2009. Estimation of ionizing radiation impact on natural *Vicia cracca* populations inhabiting areas contaminated with uranium mill tailings and radium production wastes. *Science of the Total Environment*. Volume 407, N 20: 5335—5343.
9. Шевченко В. А. Цитогенетические эффекты в популяции *Crepis Tectorium*, произрастающих в брянской области, наблюдавшиеся на 7-й год после аварии на Чернобыльской АЭС / В. В. Шевченко, Л. И. Гриних // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1995. — Т. 35, № 5. — С. 720—725.

10. Scaldaferrero M. A., R. Prina, E. A. Moscone, J. Kwasniewska. 2013. *Effects of ionizing radiation on Capsicum baccatum var. pendulum (Solanaceae)*. Applied Radiation and Isotopes. Volume 79: 103—108.
11. Кальченко В. А. Цитогенетические эффекты в популяциях растений, произрастающих на Восточно-уральском радиоактивном следе / [В. А. Кальченко, В. И. Абрамов, А. В. Рубанович та ін.] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2002. — Т. 42, № 6. — С. 745—749.
12. Абрамов В. И. Генетические последствия радиоактивного загрязнения популяций *Arabidopsis thaliana*, произрастающих в 30-километровой зоне аварии на ЧАЭС / [В. И. Абрамов, С. В. Динева, А. В. Рубанович, В. А. Шевченко] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1995. — Т. 35, № 5. — С. 670—689.
13. Динева С. Б. Сравнительная радиостойчивость хронически облучаемых популяций арабидопсиса / С. Б. Динева, В. И. Абрамов, Шевченко В. А. // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1994. — Т. 34, № 2. — С. 177—181.
14. Шевченко В. А. Генетические последствия для популяций растений радиоактивного загрязнения окружающей среды в связи с Чернобыльской аварией / [В. А. Шевченко, В. И. Абрамов, В. А. Кальченко та ін.] — Радиационная биология. Радиоэкология. — 1996. — Т. 36, № 4. — С. 531—545.
15. Гродзинский Д. М. Радиационное поражение растений в зоне влияния аварии на чернобыльской АЭС / Д. М. Гродзинский, И. Н. Гудков // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2006. — Т. 46, № 2. — С. 189—199.
16. Гераськин С. А. Биологические эффекты хронического облучения в популяциях растений / [С. А. Гераськин, А. А. Удалова, Н. С. Дикарева та ін.] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2010. — Т. 50, № 4. — С. 374—382.
17. Зяблицкая Е. Я. Анализ генетических последствий загрязнения посевов озимой ржи радиоактивными выпадениями Чернобыльской АЭС / [Е. А. Зяблицкая, С. А. Гераськин, А. А. Удалова, Е. В. Спирин] // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1999. — Т. 36, № 4. — С. 498—505.
18. Моргун В. В. Генетические последствия аварии на Чернобыльской АЭС на примере озимой мягкой пшеницы / В. В. Моргун, В. Ф. Логвиненко, А. И. Тютюн // Физиология и биохимия культурных растений. — 1993. — Т. 25, № 4. — С. 315—322.
19. Моргун В. В. Мутации озимой пшеницы, индуцированные радионуклидными загрязнениями в результате аварии на Чернобыльской АЭС / В. В. Моргун, В. Ф. Логвиненко, В. Н. Торяник // Физиология и биохимия культурных растений. — 1996. — Т. 28, № 5-6. — С. 291—296.
20. Аретмчук І. П. Індукування мутацій у потомствах колосів різних порядків розташування в озимій пшениці / І. П. Аретмчук, В. Ф. Логвиненко // Физиология и биохимия культурных растений. — 2004. — Т. 36, № 2. — С. 116—123.
21. Позолотина В. Н. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты / [В. Н. Позолотина, И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева та ін.] — Екатеринбург: «Гощинский», 2008. — 204 с.
22. Brown J., P. Strand, A. Hosseini, P. Vørretzen. 2003. *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. Stockholm, Framework for Assessment of Environmental Impact. 395 p.
23. Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. — М: Статистика, 1976. — 530 с.
24. Лакин Г. Ф. Биометрия. Учеб. пособ. для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.
25. Ауслендер В. Л. Импульсные линейные ускорители электронов серии ИЛУ производства института ядерной физики им. Будкера / [В. Л. Ауслендер, В. В. Безуглов, А. А. Брызгин та ін.] — Вестник Новосибирского государственного университета. — 2006. — Т. 1, № 2. — С. 89—97.
26. Явнюк А. А. Аномалії паростків очерету звичайного у водоймах з різним рівнем радіонуклідного забруднення / А. А. Явнюк, Н. Л. Шевцова, Д. І. Гудков // Вісник Тернопільського педагогічного університету ім. В. Гнатюка. — 2014. — Т. 58, № 1. — С. 71—76.
27. Лукина Л. Ф. Физиология высших водных растений / Л. Ф. Лукина, Н. Н. Смирнова — К: Наук. думка, 1988. — 188 с.
28. Шевцова Н. Л. Цитогенетические нарушения у тростника обыкновенного *Phragmites australis* в водоёмах Чернобыльской зоны отчуждения / Н. Л. Шевцова, Д. И. Гудков // Гидробиологический журнал. — 2012. — Т. 48, № 6. — С. 99—113.
29. Шевцова Н. Л. Эффект «периода покоя» при прорастании семян тростника обыкновенного из водоёмов Чернобыльской зоны отчуждения / Н. Л. Шевцова, А. А. Явнюк, Д. И. Гудков // Гидробиологический журн. — 2014. — Т. 50, № 3. — С. 85—96.
30. Калам Ю. Хлорофильная мутация / Ю. Калам, Т. Орав. — Таллин: Валгус, 1974. — 60 с.

31. E. M. Abdelrazek, G. El. Damrawi, I. S. Elashmawi, A. El-Shahawy. 2010. *The influence of γ -irradiation on some physical properties of chlorophyll/PMMA films* Applied Surface Science. Volume 256, No 9: 2711—2718.
32. P. K. Ling, J. Y. Chia, S. Hussein, A. R. Harun. 2008. *Physiological responses of Citrus sinensis to gamma irradiation* World. Appl. Sci. J. Volume 5, No 1: 12—19.
33. A. Marwood, B. M. Greenberg, 1996. *Effect of supplementary gamma irradiation on chlorophyll synthesis and accumulation of photosystems during chloroplast development in Spirodela oligorrhiza*. Photochem. Photobiol. Volume 64, No 4: 664—670.
34. Mandar Sengupta, Anindita Chakraborty, Sarmistha Sen Raychaudhuri. 2013. *Ionizing radiation induced changes in phenotype, photosynthetic pigments and free polyamine levels in Vigna radiata (L.) Wilczek*. Applied Radiation and Isotopes. No 75: 44—49.
35. M.-W. Jo. C. Byun, K.-H. Lee, K.-S. Kim. 2002. *Chlorophyll breakdown by gamma irradiation in a model system containing linoleic acid*. J. Am. Chem. Soc. No 79: 145—150.
36. Гродзинский Д. М. Радиобиология растений: моногр./Д. М. Гродзинський; Отв. ред. И. Н. Гудков. — К: Наук. думка, 1989. — 384 с.
37. G. S. King 1949. *Direct and transmitted X-ray effects on growth of tobacco callus in vitro*. Amer J. Bot. Volume 36, No 3: 265—270.
38. Ammirato P. V., F. C. Steward. 1969. *Indirect effects of irradiation: morphogenetic effect of irradiated sucrose*. Develop. Biol. Volume 19, No 1: 87—106.

A. A. Явнюк, Н. Л. Шевцова, Д. И. Гудков

Национальный авиационный университет
Институт гидробиологии НАН Украины

АНОМАЛИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ТРОСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО С ВОДОЕМОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОСТРОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований аномалий семенного потомства тростника обыкновенного с водоемов Чернобыльской зоны отчуждения после дополнительного острого облучения в дозах 25, 75 и 150 Гр. При увеличении дополнительной дозы острого облучения установлено существенное повышение аномальности жизнеспособных семян растений с водоема-охладителя ЧАЭС и оз. Вербного, где мощность дозы, полученной родительскими растениями соответственно составляет 1,5 и 0,03 мкГр/час, что в 10 и 1000 раз меньше в сравнении с мощностью дозы на семенное потомство растений оз. Глубокого (15 мкГр/час). Наблюдалась достоверная обратная корреляция жизнеспособности проростков зерновок тростника и доли аномальных проростков семян. Обнаруженные аномалии отнесли к трем группам: семена с хлорофильными аномалиями листьев, нарушениями геотропизма и аномалиями органогенеза. Наиболее многочисленной была группа аномалий органогенеза. Доля каждой группы в спектре аномалий проростков зависела от дозовой нагрузки, получаемой родительскими растениями в водоеме и от дозы дополнительного острого облучения.

Ключевые слова: аномалии проростков семян, тростник обыкновенный, хроническое и острое ионизирующее излучение, Чернобыльская зона отчуждения

A. A. Iavniuk, N. L. Shevtsova, D. I. Gudkov

National Aviation University, Ukraine
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine

ANOMALIES OF GERMINATION OF THE COMMON REED SEEDS FROM WATER BODIES OF THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE IN CONDITIONS OF ADDITIONAL ACUTE IONIZING RADIATION EXPOSURE

The paper deals with the investigation of anomalies of the common reed (*Phragmites australis*) seed progeny from the water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) after receiving additional acute ionizing radiation dose of 25, 75 and 150 Gy. The range of seedling abnormalities included three groups: chlorophyll leaf anomalies, organogenesis disturbances, geotropism disorders and root necroses. The ratio of each group in the range of seedling abnormalities depended on the dose received by the parent plant in the water body, as well as on the additional acute irradiation exposure.

High number of various seedling anomalies was detected in case of the ChEZ water bodies. The group of germs with the organogenesis disturbances was predominating, its ratio reached up to 60 and 34% in case of seedlings from the Glyboke Lake and the Cooling Pond of the Chernobyl NPP respectively, where the average dose rate, absorbed by parent plants, is about 15 and 1.5 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$. Less number of chlorophyll abnormalities and geotropism disorders of germinated seeds was indicated – not more than 6%. The number of seedling abnormalities decreased from 30 to 3-6% in conditions of 25-, 75- and 150-Gy additional acute irradiation.

Insignificant ratios of organogenesis disturbances, geotropism disorders and chlorophyll anomalies of leafs – 20, up to 6.7 and 2% respectively, were indicated for seedlings from the water body with about 0.03 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$ background absorbed dose rate (Verbne Lake). Additional acute irradiation caused the reliable reduce of seedling abnormalities – up to 2%, as well as to vitality loss.

With the increase of additional acute irradiation dose, root necroses of seedlings from the Verbne Lake increased in up to 26%. In case of the Cooling Pond of the Chernobyl NPP, investigated index increased in up to 35%, like the Verbne Lake. The minimal number of seedling root necroses was indicated in sampling from the Glyboke Lake – 16%, however after additional acute irradiation increase up to 150 Gy, their number increased in more than 4 times.

The reliable negative correlation between the vitality and majority of seedling abnormalities was detected in background sampling ($r = -0,95 - -0,98$), except of insignificant chlorophyll anomalies ($r = -0,30$). In normal conditions, the general tendency of vital seedling abnormalities increase took place, when the additional irradiation dose increased, as in case of background sampling.

Additional acute irradiation caused significant discrepancies of occurrence of seedling abnormalities of plants from the water body, where the parent plants receive 1.5 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$ total absorbed dose rate (the Cooling Pond of the Chernobyl NPP). Vitality did not correlated with organogenesis disturbances in this sampling ($r = -0,05$). However, the most of the vital germs had chlorophyll anomalies, which affected the vitality. Conversely, the increase of the geotropism disorders, is connected with the growth of vitality of seedlings from the Cooling Pond of the Chernobyl NPP.

Vitality of seedlings of plants from the Glyboke Lake (1.5 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$ total absorbed dose rate) reliably correlated with organogenesis disturbances ($r = 0,96$), it confirms that germs with similar disorders were vital. Correlation between vitality and chlorophyll anomalies of leaf and root necroses, was reliably negative ($r = -0,73$ and $-0,77$ respectively). Geotropism disorders in given sampling did not effect the vitality of seedlings ($r = -0,26$).

Thus, additional acute irradiation of seed progeny of the common reed *Phragmites australis*, indicated significant variability in the occurrence of various types of seedling anomalies depending on the absorbed dose of long-term low-intensity ionizing radiation.

Analysis of the occurrence of incompatible with life seedling anomalies –embryonic root necroses, proved that the seed progeny of plants that are exposed to long-term irradiation of absorbed dose rate of 15 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$, is more resistant to radiation in comparison to seedlings of plants that grow in conditions of natural background radiation exposure and long-term exposure of 1.5 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$.

It is made up an assumption about radioadaptation of the plants of the common reed *Phragmites australis*, populations of which are exposed to 30-years long-term low-intensity irradiation in water bodies of ChEZ in the gradient of the total absorbed dose rate of 5-22 $\mu\text{Gy hour}^{-1}$.

Keywords: seedling anomalies, common reed, long-term and acute ionizing radiation, the Chernobyl Exclusion Zone

Рекомендує до друку

Надійшла 28.10.2015

В. В. Грубінко