

**С. В. Оптасюк**, к.ф.-м.н, доцент,  
**О. М. Оптасюк**, к.б.н, доцент,  
**І. Д. Григорчук**, к.б.н., доцент,  
**Х. В. Савалага**

Кам'янець-Подільський національний  
університет імені Івана Огієнка  
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32301, Україна  
e-mail: linum@ukr.net

## ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ФЕРТИЛЬНІСТЬ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН РОСЛИН

Метою дослідження був аналіз впливу іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен рослин різних таксономічних груп та визначення їх радіочутливості та радіостійкості. В якості модельних обрані культурний і адвентивний види північноамериканського походження *Eschscholzia californica* Cham. (Paraveraceae) та *Symphotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (Asteraceae) відповідно. В якості джерела іонізуючого випромінювання взято радіоізотоп  $^{90}\text{Sr}$ , випромінювання якого являє собою потік швидких електронів ( $\beta$ ). Подана детальна паліноморфологічна характеристика досліджуваних видів.

Аналіз фертильності пилку *S. novae-angliae* показав незначне її зниження після опромінення, що може свідчити про відносну радіостійкість пилку. Близькі відсотки фертильності у контрольного зразка із неопроміненим вказують на відсутність впливів факторів зовнішнього середовища на пилку під час проведення експерименту. Опромінення пилку не привело до суттєвих видимих змін його форми і розміру. Під час аналізу фертильності пилкових зерен *E. californica* встановлено різке зростання кількості стерильних та деформованих пилкових зерен у опроміненого зразка в порівнянні з неопроміненим і контрольним. Після опромінення пилків *E. californica* спостерігалась деформація пилкових зерен (80-85%). Показано, що поглинута доза радіації, ймовірно, призводить до внутрішніх змін, що супроводжуються деградацією та руйнуванням оболонки пилкового зерна, в результаті чого відбувається і деформація шарів екзими.

**Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, фертильність пилку, *Eschscholzia californica* Cham., *Symphotrichum novae-angliae* (L.) Nesom.

**Постановка проблеми.** Сучасною тенденцією розвитку радіобіології та радіоекології є комплексне поєднання двох взаємопов'язаних напрямків, які обумовляють вивчення закономірностей накопичення, міграції і розподілу радіонуклідів в природних екосистемах з одного боку та дослідження впливу іонізуючого випромінювання на популяції і угруповання організмів з іншого [4, 9, 12, 13].

Одним із основних завдань радіобіології рослин є встановлення зв'язків між проявом специфічних променевих відповідей і характером функціонально-структурної організації організму, а також між загальними радіобіологічними реакціями і універсальними біофізичними, біохімічними і молекулярно-біологічними про-

цесами в клітинних системах. Радіобіологія рослин досліджує реакції рослин на дію іонізуючих випромінювань, охоплюючи ефекти в дуже широкому колі рівнів їх прояву від радіаційно-хімічних реакцій і клітинних ефектів до поведінки рослин в опромінених фітоценозах; вивчає як дуже швидкі процеси первинних подій, що відбуваються в моменти опромінення, так і дуже повільні процеси, що призводять до змін популяції [4, 5].

З'ясування специфічних рис радіобіологічних реакцій рослин розкриває широкі можливості в розробці способів використання іонізуючої радіації для індукції у рослин нових властивостей, які можуть виявитися корисними при дослідженні закономірностей і механізмів адаптації та натуралізації занесених адвентивних рослин та прогнозування контролю їх поширення; у селекції і практичному рослинництві; у вивченні загальнобіологічних особливостей розвитку рослин тощо.

**Аналіз досліджень та публікацій за темою.** Загалом радіобіологією накопичений досить великий фактичний матеріал, який свідчить про різноманітність реакцій живих організмів у відповідь на дію іонізуючої радіації; описані найрізноманітніші аномалії росту і розвитку рослинних організмів, морфологічні зміни окремих органів і організму в цілому, порушення різних фізіологічних і біохімічних реакцій, спадкові зміни, загибель та інші [2 -5, 13, 16].

На сьогодні існують відомості про радіочутливість більш як 3000 рослин, що належать до різних родин, родів, видів. Але вони здебільшого стосуються насіння – стадії розвитку рослин, у якій вони перебувають у стані глибокого спокою, тому виявляють високу стійкість як проти іонізуючих випромінювань, так і проти інших шкідливих факторів. Радіочутливість дводенного проростка порівняно з насінням збільшується в десятки разів і, дещо варіюючи в окремі фази розвитку, залишається приблизно на тому ж рівні до кінця вегетації. Проте аналіз літературних даних показав, що загалом інформації про радіочутливість рослин у стадії вегетації є небагато.

Найвища радіочутливість серед рослин у видів роду *Lilium* L.: напівлетальна доза (LD50) становить лише 0,5-1 Гр, а летальна (LD100) – 2 Гр (тоді як для більшості організмів LD100, як правило, в 1,7-2,3 рази вища за LD50). Стійкість насіння лілії проти радіації в 10-20 разів вища [4, 9].

До рекордсменів за чутливістю до іонізуючих випромінювань належать хвойні рослини, насамперед види родів *Pinus* L. та *Picea* A. Dietr., для яких летальні дози становлять відповідно 4-6 і 5-10 Гр. Серед сільськогосподарських культур найбільшу радіочутливість мають деякі представники родини *Fabaceae* Lindl., а максимальну серед них – кінські боби. Досить чутливі до іонізуючої радіації злаки, тоді як роди більшості овочевих, технічних культур мають порівняно низьку радіочутливість. Максимальна радіостійкість серед вищих рослин у представників родини *Brassicaceae* Burnett (редису, редьки, брукви та ін.) [4].

Надзвичайно висока радіостійкість у грибів, водоростей і лишайників. Так, для окремих видів синьозелених водоростей, напівлетальні дози сягають 12-16 кГр. В цьому відношенні вони поступаються лише бактеріям і вірусам, які належать до найрадіостійкіших організмів (наприклад бактерія *Micrococcus radiodurans*, АД50 – 4000 Гр), а їх спори ще більш стійкі до іонізуючих випромінювань. Всі віруси, навіть у фазі розмноження, мають дуже високу радіостійкість – АД50 для них варіює від 4000 до 7000 Гр.

Дія випромінювання на трав'янисті рослини ілюструється при різних рівнях дози (в процентах від АД100) [5].

Доза	Реакція
1-10	Нормальний зовнішній вигляд
25-35	Нездатність до утворення насіння
35-45	Стерильність пилку
40-45	Відсутність цвітіння
50-60	Різде сповільнення росту
70-75	АД100

Порівняно невеликою є кількість робіт, присвячених аналізу фертильності пилкових зерен внаслідок дії іонізуючого випромінювання, у яких розглядаються питання збільшення різноманіття генеративних нащадків, стимуляції запилення, отримання рідкісних змін, гаплоїдів тощо при опроміненні пилку різних культур перед запиленням, підвищення ефективності селекції не лише за рахунок рекомбінацій хромосом при внутрішньовидовій і віддаленій гібридизації, але і в результаті мутаційних змін під час опромінення [1, 9, 14, 15, 19]. Практично відсутні роботи по визначенню радіочутливості і радіостійкості різних категорій синантропних видів рослин, у т.ч. видів-трансформерів та видів у стані експансії.

Мета дослідження – аналіз впливу іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен рослин різних таксономічних груп та визначення їх радіочутливості та радіостійкості.

**Методи дослідження.** Об'єктом дослідження був пилок видів північноамериканського походження: культурного *Eschscholzia californica* Cham. (*Papaveraceae*) та адвентивного *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (*Asteraceae*), які трапляються переважно в культурі, але інколи дичавіють, фіксуються поодинокі на штучних місцезростаннях та є нестійкими компонентами ценозів.

В якості джерела іонізуючого випромінювання взято радіоіотоп  $^{90}\text{Sr}$ , випромінювання якого являє собою потік швидких електронів ( $\beta^-$ ). Оскільки в роботі використовувався радіоіотоп дуже низької потужності то експозиція випромінювання становила досить тривалий час і змінювалася в межах від 24 до 240 год. Дослідження кількісних та якісних палінологічних ознак та аналіз фертильності пилку здійснювалось за допомогою оптичного мікроскопу Bresser Trino Resercher, що працює в режимі прохідного неполяризованого світла. Вимірювання кількісних параметрів пилкових зерен проводилось за допомогою програми ToupView

при збільшеннях 100Ч і 400Ч. В роботі використана традиційна палінологічна термінологія [8, 18, 20, 21].

Визначення фертильності пилку проводилось йодним методом, що полягає у виявленні вмісту крохмалю у фертильних пилкових зернах за загальноприйнятою методикою [1, 11]. Підрахунки кількісних показників фертильності пилку проводились у 10 полях зору для кожного зразка до опромінення і після нього. Для усіх досліджених видів брався контрольний зразок, який не зазнавав дії іонізуючого випромінювання, але перебував у тих же часових інтервалах та умовах, що і опромінені зразки з метою виключення впливу факторів зовнішнього середовища на пилкові зерна. Обробка експериментальних результатів проводилась за допомогою класичних статистичних методів [10].

**Основні результати та їх аналіз.** Біологічні ефекти радіаційного опромінення можуть бути виявлені в різних частинах генеративної системи рослини. У лабораторних умовах зручним об'єктом для вивчення наслідків опромінення є пилок, оболонки якого – екзина та інтина легко проникні для іонізуючих випромінювань, ядра мають гаплоїдний набір хромосом, що значно полегшує виявлення хромосомних мутацій. Пилок утворюється в результаті поступових мітозів, що призводять до утворення материнських клітин і мейозу, після якого в тичинках з'являються мікроспори – одноядерний пилок. Оскільки і мітоз, і мейоз є радіочутливими процесами, то опромінення квіток або пиляків позначається в кінцевому підсумку на якості пилку.

Для оцінки радіочутливості пилку використовують такі критерії: 1) фертильність або стерильність пилкових зерен; 2) частота хромосомних аберацій в мейозі; 3) проростання пилкових зерен на приймочці маточки, тобто життєздатність пилку; 4) зростання пилкової трубки; 5) здатність пилку до запліднення; 6) формування насіння при заплідненні опроміненим пишком. Серед цих реакцій найбільшою радіостійкістю характеризується проростання пилку на приймочці маточки і ріст пилкової трубки, які гальмуються при дуже високих дозах (1000-5000 Гр). Ці реакції добре вивчені на пилкових зернах рослин родини *Liliaceae*, які мають високу радіостійкість. Опромінення злакових рослин в фазі колосіння дозою ЛД50 знижує фертильність пилку на 10-30%, а в фазі цвітіння – на 50-70%.

Формування стерильного пилку при опроміненні рослин відноситься до загальнобіологічного явища. Пиляки можуть мати менші розміри, меншу кількість пилкових зерен, аномальну форму, нетипове просторове розташування в квітці, короткі тичинкові нитки, щільні покривні оболонки і інші аномалії. При опроміненні в пиляках формуються дрібні пилкові зерна з деформованою оболонкою і низьким вмістом крохмалю і спермійв. Такі пилкові зерна є стерильні – не проростають на приймочці маточки і не здатні до запліднення.

З метою визначення впливу іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен рослин різних таксономічних груп,

в якості модельних видів обрано представників алохтонної фракції спонтанної флори.

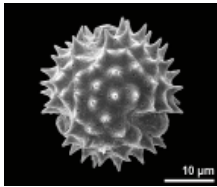
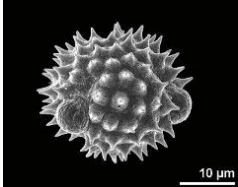
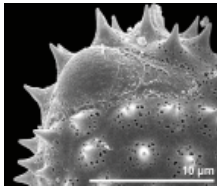
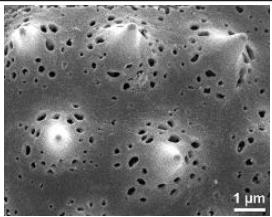
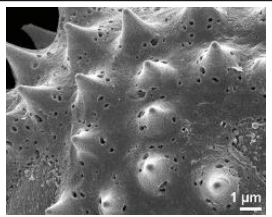
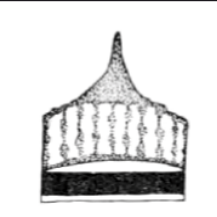
Рід *Symphytotrichum* Nees у сучасному розумінні – найбільший за кількістю видів та найбільш морфологічно різноманітний гібридогенний сегрегативний рід, представники якого природно поширені переважно на північному сході Північної Америки. За даними О. М. Корнієнко, С. Л. Мосякіна [7], рід включає усі північноамериканські культивовані та здичавілі рослини, більшість з яких є міжвидовими гібридами. Досліджуваний вид *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (*Asteraceae*) трапляється в культурі, інколи дичавіє. За часом занесення є кенофітом, за способом занесення – ергазіофітом, за ступенем натуралізації – ергазіофітом [6, 7, 17].

Пилкові зерна *S. novae-angliae* монадні, середнього 26-50 мкм, ізополарні, за формою сфероїдальні, у сухому стані – видовжені, обриси у полярному положенні округлі, у сухому стані – лопатеві, з трьома складними триборозно-поровими апертурами. Екзина товста, скульптура дірчаста, шипувата [20] (табл. 1).

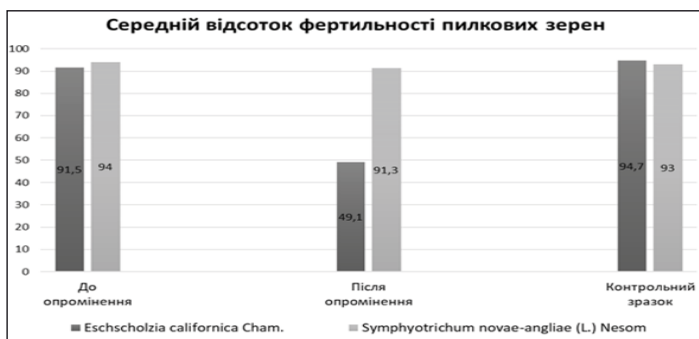
Аналіз фертильності пилкових зерен даного виду показав незначне її зниження до і після опромінення, що може свідчити про відносну радіостійкість пилку.

Таблиця 1

Пилкові зерна *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (*Asteraceae*) (СЕМ, за Halbritter, 19

Вигляд з полюса	Вигляд з екватора	Апертура
		
Поверхня екзини	Полярне положення	Вузлуваті шипики з чітко вираженими головками
		

Близькі відсотки фертильності у контрольного зразка із неопроміненням вказують на відсутність впливів факторів зовнішнього середовища на пилку під час проведення експерименту (зміна форми і розмірів внаслідок висихання, дії світла, вологості, температури тощо) (рис. 1, табл. 2).



**Рис. 1.** Середній відсоток фертильності пилоквих зерен *Symphyotrichum novae-angliae* (L.) Nesom та *Eschscholzia californica* Cham. у результаті дії іонізуючого в-випромінювання

Встановлено, що сухі пилові зерна *S. novae-angliae* до опромінення мають переважно видовжено-сфероїдальну форму. Поверхня ектекзини вкрита шипами. Після додавання йодного розчину спостерігається зміна видовженої форми, пилові зерна стають виключно сферичними. Загалом опромінення пилку не приводить до суттєвих видимих його змін, розміри та геометрична форма залишаються практично без змін (табл. 2, 3).

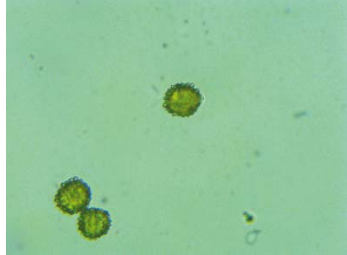
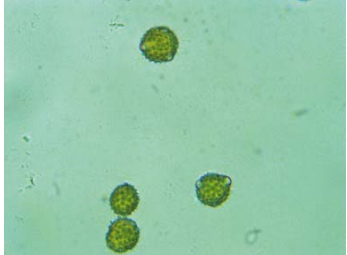
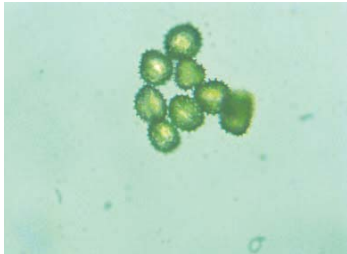
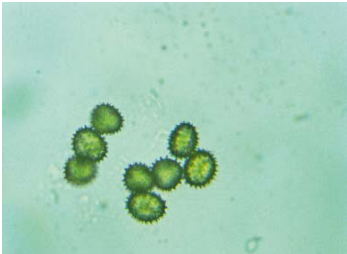

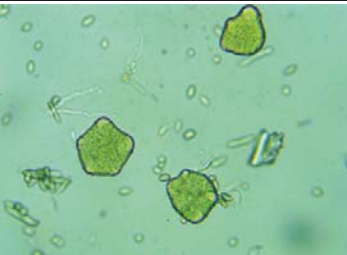
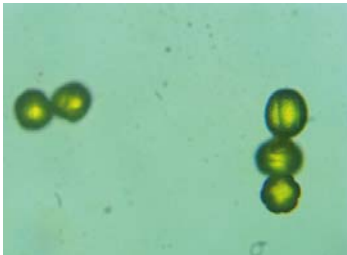
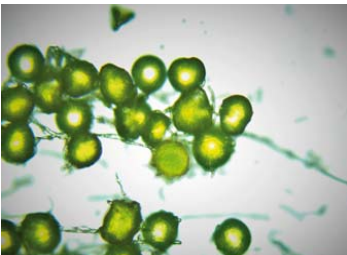
Таблиця 2

Характеристика кількісних та якісних ознак пилоквих зерен та показники фертильності *Symphyotrichum novae-angliae* (L.) Nesom та *Eschscholzia californica* Cham. внаслідок дії іонізуючого в-випромінювання

Ознаки пилоквих зерен		Досліджувані види	<i>Eschscholzia californica</i> Cham.	<i>Symphyotrichum novae-angliae</i> (L.) Nesom
Середній відсоток фертильності пилоквих зерен	До опромінення		91,5	94,0
	Після опромінення		49,1	91,3
	Контрольний зразок		94,7	93,0
Форма / Розмір пилоквих зерен	До опромінення	З йодним розчином	Сфероїдальна / 29,1 мкм	Сфероїдальна / 24,0 мкм
		Сухий пилкок	Видовжено-сфероїдальна / 31,2425,9 мкм	Видовжено-сфероїдальна / 26,0 421,0 мкм
	Після опромінення	З йодним розчином	Неправильна геометрична / 31,7 мкм	Сфероїдальна / 25,5 мкм
		Сухий пилкок	Видовжено-сфероїдальна / 29,4423,0 мкм	Видовжено-сфероїдальна / 25,4420,6 мкм
	Контрольний зразок	З йодним розчином	Сфероїдальна / 32,6 мкм	Сфероїдальна / 23,7 мкм
		Сухий пилкок	Видовжено-сфероїдальна / 37,1426,9 мкм	Видовжено-сфероїдальна / 26,3420,9 мкм

Таблиця 3

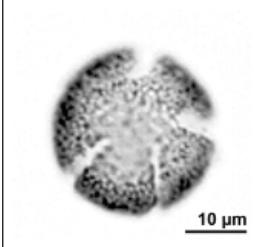
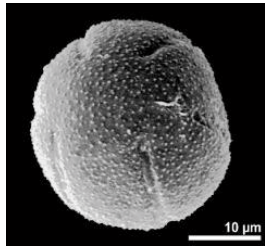
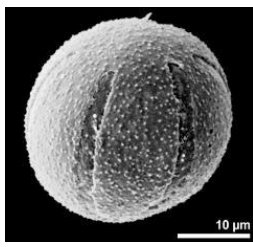
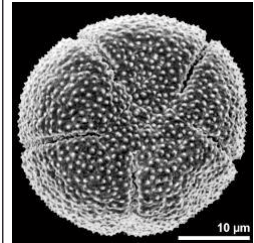
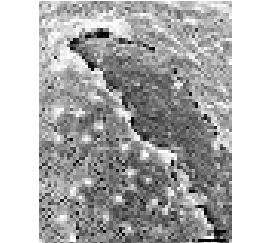
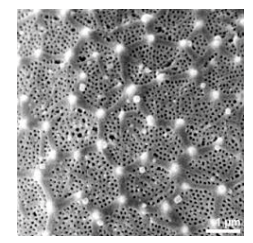
Фотографії пилкових зерен *Symphotrichum novae-angliae* (L.)  
Nesom і *Eschscholzia californica* Cham. внаслідок дії  
іонізуючого в-випромінювання (при збільшенні 400Ч)

	До опромінення	Після опромінення
<i>Symphotrichum novae-angliae</i> (L.) Nesom		
3 йодним розчином		
Сухий пилкок		
<i>Eschscholzia californica</i> Cham.		
3 йодним розчином		
Сухий пилкок		

Декоративний культурний вид *Eschscholzia californica* Cham. (*Papaveraceae*) є кенофітом північноамериканського походження. Пилкові зерна монадні, середнього розміру 26-50 мкм, ізоплярні, за формою сфероїдальні, обриси у полярному положенні округлі, з п'ятьма заглибленими апертурами екваторіального положення, мембрана апертур гладенька. Скульптура пилкових зерен проста сітчасто-комірчаста, дірчаста [21] (табл. 4).

Таблиця 4

Пилкові зерна *Eschscholzia californica* Cham. (*Papaveraceae*)  
(за Oberschneider, 1998)

Текстура (СМ)	Вигляд з полюса (СЕМ)	Вигляд з екватора (СЕМ)
		
Вигляд з полюса (сухе пилкове зерно) (СЕМ)	Апертури (СЕМ)	Поверхня екзини (СЕМ)
		

На відміну від *S. novae-angliae*, під час аналізу фертильності пилкових зерен *E. californica* відмічено значне зростання кількості стерильних та деформованих пилкових зерен у опроміненого зразка в порівнянні з неопроміненим і контрольним. Відсотки фертильності у контрольного зразка із неопроміненим виявились як і у *S. novae-angliae* теж близькими, що мінімізує вплив зовнішніх чинників (див. рис. 1, табл. 2).

Аналіз тимчасових палінологічних препаратів *E. californica* та фотографій, отриманих за допомогою мікроскопу при збільшеннях 100x та 400x показує, що сухі пилкові зерна до опромінення мають переважно видовжено-сфероїдальну форму з поздовжніми борознами. Після додавання йодного розчину спостерігається зміна видовженої форми, пилкові зерна стають виключно сферичними. При збільшенні 400x чітко видимою є оболонка зерна, товщина якої становить приблизно 4 мкм.



Після опромінення у деяких сухих пилкових зерен *E. californica* спостерігалась зміна геометричної форми та деформація оболонки. При додаванні йодного розчину суттєво змінювалася їх форма, а також незначно збільшувалися розміри (див. табл. 3). Якщо до опромінення вони мали сферодальну або видовжено-сферодальну форму, то після нього 80-85% пилкових зерен деформувалися і набули різноманітних неправильних геометричних форм. Ймовірно, поглинута доза радіації призводить до внутрішніх змін, що супроводжуються деградацією та руйнуванням оболонки пилкового зерна, в результаті чого відбувається і деформація шарів екзени.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Таким чином, у результаті проведених досліджень здійснено аналіз впливу іонізуючого випромінювання на фертильність пилкових зерен модельних представників алохтонної фракції спонтанної флори, що дало можливість спрогнозувати їх радіочутливість та радіостійкість. Встановлено, що гібридогенний вид *S. novae-angliae* характеризується низькою радіочутливістю, на відміну від культурного *E. californica*, для якого вона є високою. Для *E. californica* властива деформація пилкових зерен та часткова зміна їх розмірів внаслідок опромінення, чого не відмічено у *S. novae-angliae*.

В усьому світі зростає кількість технологій, які використовують іонізуючу радіацію в різних сферах людської діяльності, що неминуче пов'язане з ризиком опромінення біологічних об'єктів і попаданням в біосферу радіоактивних речовин. У зв'язку з підвищенням рівня синантропізації флор, актуальними на сьогодні стають різні напрямки досліджень адвентивних видів, одним з яких є визначення їх радіочутливості і радіостійкості. Тому дослідження такого характеру є перспективними оскільки дозволяють розкривати механізми дії іонізуючих випромінювань на живі клітини, багатоклітинні організми, дозволяють з'ясувати природу явищ, що призводять до формування віддалених біологічних реакцій, знаходити способи і засоби захисту організму від шкідливої дії іонізуючого випромінювання.

#### **Список використаних джерел:**

1. Алексеева Т. Г. Методичні вказівки до великого спеціального практикуму. Розділ «Визначення життєздатності пилку та зародкового мішка» / Т. Г. Алексеева. – Одеса : Одеський національний університет, 2012. – 18 с.
2. Антюшкина А. И. Совершенствование приемов использования гамма-излучения в мутационной селекции облепихи и черной смородины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А. И. Антюшкина. – М., 1981. – 26 с.
3. Гончарова Н. В. Формирование семян сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) в условиях хронического облучения / Н. В. Гончарова, В. Ф. Ковалев // Экологический вестник. – 2017. – Вып. 39, № 1. – С. 48-52.
4. Гродзинский Д. М. Радиобиология растений / Д. М. Гродзинский. – К. : Наук. думка, 1989. – 384 с.
5. Давыдов М. Г. Биологическое действие ионизирующих излучений : метод. пособие к курсу «Радиоэкология» / М. Г. Давыдов. – Ростов-на-Дону, 2007. – 187 с.
6. Доброчаева Д. М. Триба Astereae Cass / Д. М. Доброчаева // Флора УРСР. – К. : Вид-во АН УРСР, 1962. – Т. XI. – С. 22-77.
7. Корнієнко О. М. Номенклатура культивованих та дичавілих в Україні північноамериканських «айстр», з точки зору делімітації родів у три-

- бі Astereae (Asteraceae) / О. М. Корнієнко, С. А. Мосякін // Укр. ботан. журн. – 2006. – Вип. 63, № 2. – С. 159-165.
8. Куприянова А. А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Руководство в трех томах / А. А. Куприянова, Л. А. Алешина. – М. : Наука, Лешшгр. отд., 1972. – Т. 1. – С. 45-58.
  9. Лазаревич Н. В. Радиобиология. Ч.2. Радиобиология растений: курс лекций / Н. В. Лазаревич, И. И. Сергеева, С. С. Лазаревич. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – 84 с.
  10. Медик В. А. Статистика в медицине и биологии / В. А. Медик, М. С. Токмачев, Б. Б. Фишман. – М. : Медицина, 2000. – Т. 1. – 460 с.
  11. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 271 с.
  12. Позолотина В. Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения / В. Н. Позолотина. – Екатеринбург : Академкнига, 2003. – 244 с.
  13. Равкин А. С. Действие ионизирующих излучений и химических мутагенов на вегетативно размножаемые растения / А. С. Равкин. – М., 1981. – 192 с.
  14. Скок А. В. Влияние радиоактивного загрязнения сосны обыкновенной на жизнеспособность и аномалии пыльцы в Брянском округе зоны широколиственных лесов / А. В. Скок, И. Н. Глазун, Е. Н. Самошкин // Лесной журн. – 2005. – №5. – С. 7-11.
  15. Смыков А. В. Жизнеспособность и фертильность пыльцы у персика после гамма-облучения / А. В. Смыков // Тр. Никит. ботан. сада. – 2008. – Вып. 130. – С. 193-199.
  16. Спорово-пыльцевой анализ при палеогеографических и геоморфологических исследованиях / под ред. Г. С. Ананьева. – М. : Географический фак-т, 1999. – 114 с.
  17. Тамамшян С. Г. Род Астра – Aster L. / С. Г. Тамамшян // Флора СССР. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1959. – Т. XXV. – С. 77-110.
  18. Токарев П. И. Морфология и ультраструктура пыльцевых зерен / П. И. Токарев. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2002. – 51 с.
  19. Яндовка Л. Ф. Фертильность пыльцы у видов *Cerasus* и *Microcerasus* (Rosaceae) / Л. Ф. Яндовка // Аграрный вестник Урала. – 2010. – Вып. 6 (72). – С. 58-61.
  20. Halbritter H. Preparing living pollen material for scanning electron microscopy using 2,2-dimethoxypropane (DMP) and criticalpoint drying / H. Halbritter // Biotechnic Histochem. – 1998. – Vol. 73. – P. 137-143.
  21. Oberschneider D. M. Pollenmorphologie der Ranunculanae. Diplomarbeit / W. Oberschneider. – Universität Wien, 1998. – 125 p.

### References:

1. Aljejsksejeva T. Gh. Metodychni vказivky do velykogho specialjnogho praktykumu. Rozdil «Vyznachennja zhyttjezdатnosti pytku ta zarodkovogho mishka» / T. Gh. Aljejsksejeva. – Odesa : Odeskij nacionalnyj universytet, 2012. – 18 s.
2. Antjushkina A. I. Sovershenstvovanie priemov ispol'zovanija gammaizlucheniya v mutacionnoj selekcii oblepihi i chernoј smorodiny : avtoref. dis. ... kand. s.-h. naud / A. I. Antjushkina. – M., 1981. – 26 s.
3. Goncharova N. V. Formirovanie semjan sosny obyknovennoj (Pinus silvestris) v uslovijah hronicheskogo oblucheniya / N. V. Goncharova, V. F. Kovalev // Jekologicheskij vestnik. – 2017. – Vup. 39, № 1. – S. 48-52.
4. Grodzinskij D. M. Radiobiologija rastenij / D. M. Grodzinskij. – K. : Nauk. dumka, 1989. – 384 s.
5. Davydov M. G. Biologicheskoe dejstvie ionizirujushhих izlucheniј : metod. posobie k kursu «Radiojekologija» / M. G. Davydov. – Rostov-na-Donu, 2007. – 187 s.

6. Dobrochaeva D. M. Triba Astereae Cass / D. M. Dobrochajeva // Flora URSS. – K. : Vid-vo AN URSS, 1962. – T. XI. – S. 22-77.
7. Kornijenko O. M. Nomenklatura kuljtyvovanykh ta zdychavilykh v Ukrajinu pivnichnoamerykanskykh «ajstr», z tochky zoru delimitaciji rodov u trybi Astereae (Asteraceae) / O. M. Kornijenko, S. L. Mosjakin // Ukr. botan. zhurn. – 2006. – Vup. 63, №2. – S. 159-165.
8. Kuprijanova L. A. Pyl'ca i spory rastenij flory evropejskoj chasti SSSR. Rukovodstvo v treh tomah / L. A. Kuprijanova, L. A. Aleshina. – L. : Nauka. Leshshgr. otd., 1972. – T. 1. – S. 45-58.
9. Lazarevich N. V. Radiobiologija. Ch.2. Radiobiologija rastenij: kurs lekcij / N. V. Lazarevich, I. I. Sergeeva, S. S. Lazarevich. – Gorki : Belorusskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija, 2011. – 84 s.
10. Medik V. A. Statistika v medicine i biologii / V. A. Medik, M. S. Tokmachev, B. B. Fishman. – M. : Medicina, 2000. – T. 1. – 460 s.
11. Pausheva Z. P. Praktikum po citologii rastenij / Z. P. Pausheva. – M. : Agropromizdat, 1988. – 271 s.
12. Pozolotina V. N. Otdalennye posledstvija dejstvija radiacii na rastenija / V. N. Pozolotina. – Ekaterinburg : Akademkniga, 2003. – 244 s.
13. Ravkin A. S. Dejstvie ionizirujushchih izluchenij i himicheskikh mutagenov na vegetativno razmnozhaemye rastenija / A. S. Ravkin. – M., 1981. – 192 s.
14. Skok A. V. Vlijanie radioaktivnogo zagrjaznenija sosny obyknovnoj na zhiznesposobnost' i anomalii pyl'cy v Brjanskom okruze zony shirokolistvennyh lesov / A. V. Skok, I. N. Glazun, E. N. Samoshkin // Lesnoj zhurn. – 2005. – №5. – S. 7-11.
15. Smykov A. V. Zhiznesposobnost' i fertil'nost' pyl'cy u persika posle gamma-obluchenija / A. V. Smykov // Tr. Nikit. botan. sada. – 2008. – Vup. 130. – S. 193-199.
16. Sporovo-pyl'cevoj analiz pri paleogeograficheskikh i geomorfologicheskikh issledovanijah / pod red. G. S. Anan'eva. – M. : Geograficheskij fak-t, 1999. – 114 s.
17. Tamamshjan S. G. Rod Astra – Aster L. / S. G. Tamamshjan // Flora SSSR. – M. ; L. : Izd-vo AN SSSR, 1959. – T. XXV. – S. 77-110.
18. Tokarev P. I. Morfologija i ul'trastruktura pyl'cevyh zeren / P. I. Tokarev. – M. : Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2002. – 51 s.
19. Jandovka L. F. Fertil'nost' pyl'cy u vidov Cerasus i Microcerasus (Rosaceae) / L. F. Jandovka // Agrarnyj vestnik Urala. – 2010. – Vup. 6 (72). – S. 58-61.
20. Halbritter H. Preparing living pollen material for scanning electron microscopy using 2,2-dimethoxypropane (DMP) and criticalpoint drying / H. Halbritter // Biotechnic Histochem. – 1998. – Vol. 73. – P. 137-143.
21. Oberschneider W. Pollenmorphologie der *Ranunculanae*. Diplomarbeit / W. Oberschneider. – Universitat Wien, 1998. – 125 p.

**S. V. Optasyuk**, Ph.D., Associate Professor,  
**O. M. Optasyuk**, Ph.D., Associate Professor,  
**I. D. Hrygorchuk**, Ph.D., Associate Professor,  
**K. V. Savalaga**

*Kamyanets-Podilsky Ivan Ohienko National University  
 Ogienska str. 61, Kamyanets-Podilsky, Ukraine, 32301*

#### **INFLUENCE OF RADIATION ON FERTILITY OF THE POLLEN OF PLANTS**

**Purpose.** The analysis of the influence of ionizing radiation on the fertility of pollen grains of adventitious plants of various taxonomic groups and the determination of their radiosensitivity and radiostability were the purpose of the research. **Methodology.** The synanthropic adventitious species *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (Asteraceae) and cultural *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae) of the North

American origin were selected as models. Radioisotope  $^{90}\text{Sr}$ , whose radiation is a stream of fast electrons ( $\beta^-$ ) was taken as a source of ionizing radiation. Detailed palynomorphological characteristic of the researched species is presented. **Results.** The analysis of the fertility of the *S. novae-angliae* pollen showed a slight decrease before and after its irradiation, which may indicate a relative radiostability of pollen. Close fertility percentages in the control sample with non-irradiated indicate that there was no influence of pollutant environmental factors during the experiment. Irradiation of the *S. novae-angliae* pollen did not lead to significant visible changes in shape and size. The sharp increase in the number of sterile and deformed pollen grains in the irradiated sample in comparison with non-irradiated and control has been established during the analysis of fertility of *E. californica* pollen grains. Deformation in 80-85% was observed in *E. californica* pollen grains after irradiation. **Originality and practical value.** For the first time, an attempt was made to study the sensitivity and radioactivity of adventitious plants. The analysis of fertility of pollen grains, their qualitative and quantitative characteristics showed a change in the shape of pollen grains and reduced fertility under the influence of ionizing radiation. The analysis of radiobiological reactions of plants reveals wide possibilities for studying the patterns and mechanisms of adaptation and naturalization of the introduced adventitious plants and predicting the control of their distribution. **Conclusion.** Thus, it has been shown that absorbed radiation dose leads to internal changes accompanied by degradation and destruction of the pollen grain shell, resulting in deformation of exine layers.

**Key words:** ionizing radiation, fertility of the pollen, *Eschscholzia californica* Cham., *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom.

**С. В. Оптасюк**, к.ф.м.н, доцент;

**О. М. Оптасюк**, к.б.н, доцент;

**И. Д. Григорчук**, к.б.н., доцент;

**К. В. Савалага**

Каменец-Подольский национальный университет имени Ивана Огиенко

ул. Огиенко, 61, г. Каменец-Подольский, 32301, Украина

e-mail: linum@ukr.net

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФЕРТИЛЬНОСТЬ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН РАСТЕНИЙ**

Целью исследования был анализ влияния ионизирующего излучения на фертильность пыльцевых зерен растений разных таксономических групп, а также определение их радиочувствительности и радиорезистентности. В качестве модельных вы brano культурный и адвентивный виды североамериканского происхождения *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae) и *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom (Asteraceae), соответственно. В качестве источника ионизирующего излучения избран радиоизотоп  $^{90}\text{Sr}$ , излучение которого представляет собой поток быстрых электронов ( $\beta^-$ ). Представлена подробная палиноморфологическая характеристика исследуемых видов.

Анализ фертильности пыльцы *S. novae-angliae* показал незначительное снижение жизнеспособных пыльцевых зерен после облучения, что может свидетельствовать об относительной радиорезистентности пыльцы. Близкие показатели фертильности у контрольного и необлученного образцов указывают на отсутствие влияния факторов внешней среды на пыльцу во время проведения экспе-

римента. Облучение пыльцы не привело к существенным видимым изменениям формы и размера. При анализе фертильности пыльцы *E. californica* установлено увеличение количества стерильной и деформированной пыльцы в облученного образца по сравнению с необлученным и контрольным. После облучения *E. californica* наблюдалась деформация пыльцы (80-85%). Показано, что поглощенная доза радиации, вероятно, приводит к внутренним изменениям, что сопровождается деградацией и разрушением оболочки пыльцы, в результате чего происходит и деформация слоев экзины.

**Ключевые слова:** ионизирующее излучение, фертильность пыльцы, *Eschscholzia californica* Cham., *Symphytotrichum novae-angliae* (L.) Nesom.

Отримано: 19.10.2017

УДК 504.03

**В. В. Рибак**, к. с.-г. н. доцент  
Хмельницький національний університет  
вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна  
e-mail: ribakvv@ukr.net

## **МІСЦЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ НА ШЛЯХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ, НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

Для України забезпечення сталого розвитку є умовою життєдіяльності суспільства, його стабільності та услаженості, стрижнем формування національної безпеки держави, тому нами у статті було розглянуто актуальні питання переходу України до сталого розвитку, що включає державний, регіональний та місцевий рівні. Основним завданням досліджень було визначення екологічного, соціального та економічного рівня розвитку на місцевому рівні, а зокрема на прикладі міста Хмельницького. Досліджено основні показники, які впливають на екологічну, соціальну та економічну підсистеми за останні 7 років, встановлено пріоритетні проблеми соціо-економічного та екологічного характеру та надано пропозиції, для розроблення стратегії, щодо збалансованого розвитку міста. Для досягнення поставленої мети нами було досліджено інтегрований показник соціального розвитку, інтегрований показник екологічного розвитку, інтегрований показник економічного розвитку та розрахований індекс соціо-економіко-екологічного розвитку території ІСЕЕПТ. На основі розрахунку індексу соціо-економіко-екологічного розвитку міста Хмельницького нами були запропоновані основні рекомендації для покращення екологічного стану, підвищення соціального і економічного благополуччя населення та реалізації стратегії місцевого сталого розвитку.

**Ключові слова:** сталий розвиток, індекс соціо-економіко-екологічного розвитку території, якість життя.

**Постановка проблеми.** Сталий розвиток суспільства – проблема неординарна, суперечлива. Про такий розвиток можна говорити лише тоді, коли економічне зростання, матеріальне виробництво та споживання, інші види суспільної діяльності відбуваються