

ЯКІСТЬ ПИЛКУ *PINUS PALLASIANA* (*PINACEAE*) З НАСАДЖЕНЬ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ І ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

К л ю ч о в і с л о в а : *Pinus pallasiana*, життєздатність пилку, аномалії, пилкові трубки, Криворіжжя, Асканія-Нова

Вступ

Від життєздатності пилку рослин залежить їхня насіннева продуктивність і якість самого насіння. Особливо це важливо для нечисленних насаджень інтродуцентів, котрі створюють у степовій зоні України. Деревні рослини в цій зоні витримують вплив несприятливих природно-кліматичних умов, а у великих промислових містах ще й зазнають негативної дії аерополітантів. Токсичні викиди промислових підприємств впливають на генеративну сферу рослин, що призводить до зниження життєздатності пилку. Як наслідок — у хвойних у районах гострої дії аерополітантів зменшується кількість повноцінного насіння в шишках (Коршиков, 1996; Третьякова, Носкова, 2004; Носкова, Третьякова, 2006). Хоча деякі дослідники припускають, що несприятливі природно-кліматичні умови є домінуючим чинником і за негативним впливом перебивають дію політантів на процеси розвитку та формування пилку хвойних (Носкова, 2005; Владимирова и др., 2008). Однак здатність пилку проростати й утворювати пилкові трубки у хвойних рослин з насаджень техногенно забруднених територій значно нижча порівняно з рослинами екологічно безпечних місць зростання (Осколков, 1998; Perroni, 2005; Макогон, Коршиков, 2010).

Якісні показники пилку окремих чутливих видів хвойних пропонують використовувати як тест-об'єкти для оцінювання стану забрудненості навколишнього середовища та самих рослин (Рождественский, 1974; Ефремов с соавт., 2010; Тупицин с соавт., 2012). Стосовно сосни кримської — *Pinus pallasiana* D. Don — одного з найпоширеніших ви-

дів-інтродуцентів у степовій зоні України — даних щодо дії несприятливих природно-кліматичних факторів і техногенного забруднення на якість її пилку немає. Докладно описані розмірно-кількісні показники пилку цього виду в природних популяціях Криму (Бобров с соавт., 1983), а також особливості морфогенезу і пророщування пилку (Коба, 2004). Слід зазначити, що в цього виду з інтродукованих районів не досліджена і життєздатність пилку, не описані й аномалії пилкових зерен і трубок, які утворюються під час проростання пилку. Такі дослідження важливі для визначення адаптивних можливостей функціонування статевої репродуктивної сфери, насамперед чоловічої, за несприятливих, а нерідко — екстремальних умов існування виду.

Мета роботи — порівняльний аналіз якості й аномалій пилку *Pinus pallasiana* зі штучних насаджень екологічно безпечних і техногенно забруднених територій степової зони України.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктами досліджень був пилок, зібраний з дерев *P. pallasiana* в чотирьох штучних насадженнях. Це 25 дерев 70-річного віку з дендропарку Біосферного заповідника «Асканія-Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна (БЗ), і по 10 дерев 30-річного віку з трьох насаджень м. Кривого Рогу. Одне з них — з дендрарію Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС), друге досліджуване насадження локалізоване поблизу Криворізького металургійного комбінату (КМК), третє — на Першотравневому відвалі залізрудного кар'єру (ПВЗК). Рослини з біосферного заповідника розглядали як умовно фонові контрольні, оскільки на них позначалися лише несприятливі природно-кліматичні умови

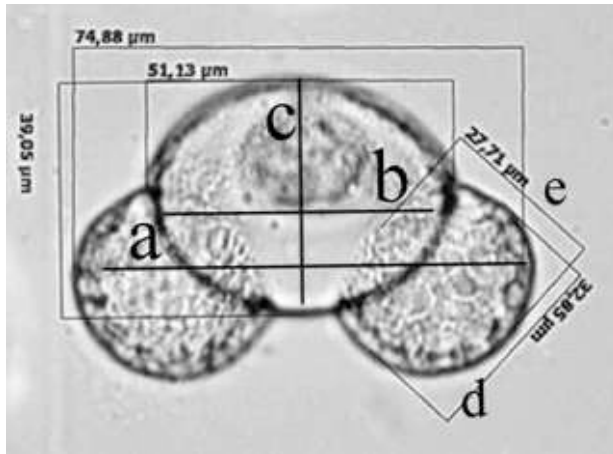


Рис. 1. Схема вимірів пилку і повітряних мішків у нормально розвиненого пилкового зерна (п.з.) *Pinus pallasiana* у боковому положенні: *a* — довжина п.з.; *b* — довжина і *c* — висота тіла п.з.; *d* — довжина і *e* — висота повітряного мішка

Fig. 1. Scheme of measurements of pollen and air bags in normally developed pollen grains (PZ) *Pinus pallasiana* in lateral position: *a* — length PZ; *b* — length and *c* — the height of the body PZ; *d* — the length and *e* — the height of the air bag

степової зони. Насадження *P. pallasiana* у Кривому Розі так чи інакше зазнавали впливу аерополітантів, а найбільшого — те, що знаходиться поблизу металургійного комбінату. Навіть на рослини КБС певною мірою діяли викиди потужного Північного гірничозбагачувального комбінату, адже дендрарій усього лише за три кілометри від цього підприємства. З рослин чотирьох досліджуваних насаджень збирали пилок у період масового цвітіння *P. pallasiana* у 2013 р. Погода в ті дні була теплою, без дощу. Зібраний пилок кожного дерева поміщали в пакети з кальки і зберігали в ексікаторі в холодильнику.

Пилок кип'ятили 10 хвилин у 10 % розчині NaOH, відмивали від лугу і готували мікропрепа-

рати (Монозон-Смоліна, 1949), які фарбували ацетокарміном (Паушеува, 1988). Заміри пилкових зерен і їхніх елементів проводили у полярному або боковому положенні за схемою, наведеною у роботі М.Х. Монозон-Смоліної (1949). Визначали параметри пилкового зерна, довжину і ширину його тіла, а також довжину і ширину повітряних мішків (рис. 1).

На мікропрепаратах пилку визначали морфометричні параметри тіла пилкового зерна і повітряного мішка, окуляром-мікрометром вимірювали їхню ширину і довжину, виявляли спектр і кількість аномальних пилкових зерен. Виконали заміри параметрів 100 штук пилкових зерен (далі — п. з.). Вміст крохмалю у пилку і його фертильність визначали в розчині Люголя за інтенсивністю забарвлення. Життєздатність пилку (в трьох повторностях) встановлювали, пророщуючи його в 15 %-вому розчині сахарози за температури 26° С, і через 7 днів підраховували кількість зерен, що утворювали трубки (%). У 100 шт. пророслих п. з. вимірювали довжину пилкових трубок (мкм). Дослідження проводили з використанням мікроскопа Carl Zeiss Primo Staz (збільшення 40 × 10). Фотографували мікропрепарати п. з. і заносили до бази даних у комп'ютер.

Результати досліджень та їх обговорення

Використання гістохімічної реакції Люголя на крохмаль дало змогу виявити у *P. pallasiana* три групи п. з.: ті, що зовсім не забарвлювались (їх відносять до стерильних), і такі, забарвлення яких можна оцінити як середнє або сильне. Частка останніх була найбільшою серед пилку дерев дендропарку БЗ і сягала 57,2 % (табл. 1).

Таблиця 1. Фертильність і життєздатність пилкових зерен *Pinus pallasiana* з дендропарку біосферного заповідника «Асканія-Нова» та трьох насаджень з Кривого Рогу

Місцезростання рослин	Всього переглянуто пилкових зерен, шт.	Кількість стерильних пилкових зерен		Кількість фертильних пилкових зерен за ступенем забарвлення				Кількість життєздатних пилкових зерен		
		шт.	%	Середнє		сильне		всього переглянуто пилкових зерен, шт.	життєздатні пилкові зерна	
				шт.	%	шт.	%		шт.	%
Дендропарк БЗ «Асканія-Нова»	3842	519	13,51	824	21,45	2197	57,18	10077	8784	87,17
Дендрарій Криворізького ботанічного саду	4166	611	14,67	1089	26,14	1918	46,04	11213	9340	83,30
Першотравневий залізорудний відвал	4900	906	18,49	1205	24,59	1985	40,51	11523	9528	82,69
Кривий Ріг, біля КМК	4114	701	17,04	914	22,22	1480	35,97	12669	10339	81,61

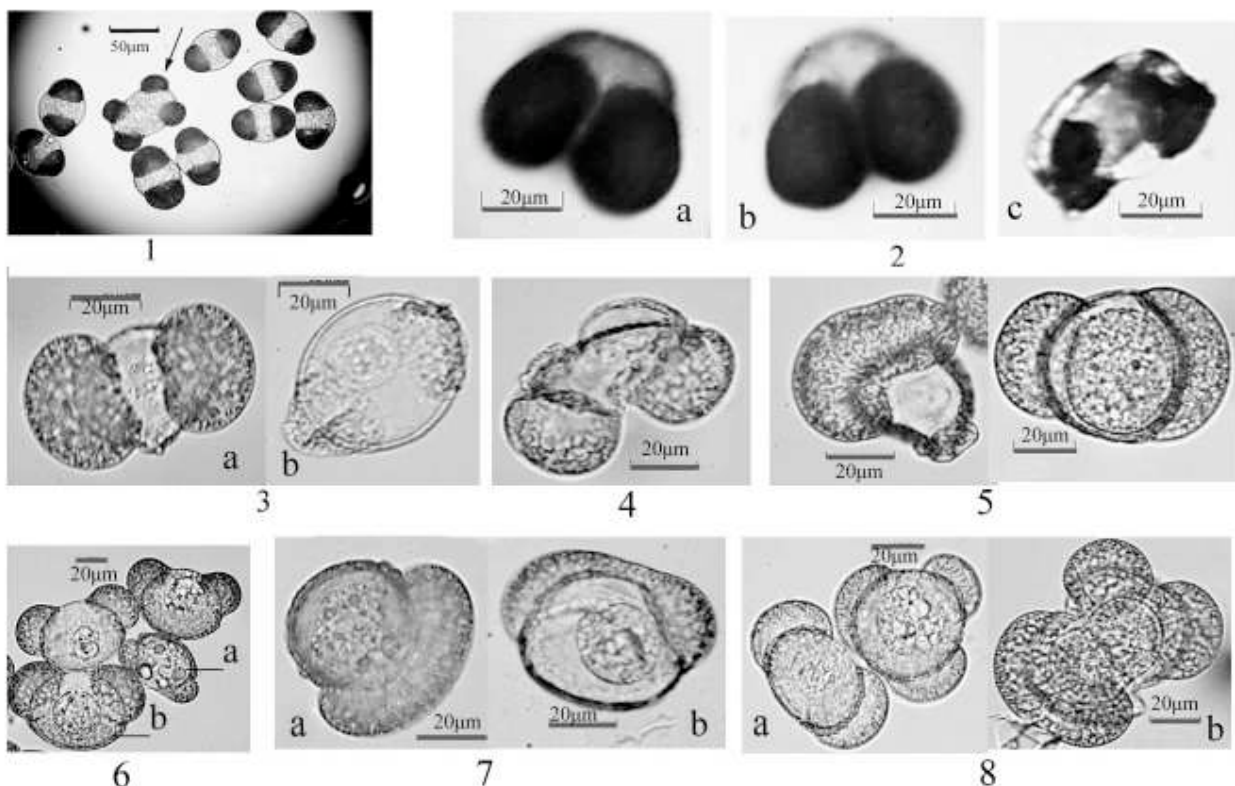


Рис. 2. Нормальний і з аномаліями пилкок *Pinus pallasiana* з дендропарку біосферного заповідника «Асканія-Нова» і трьох насаджень м. Кривий Ріг: 1 — загальний вигляд пилку на дистильованій воді з наявністю аномального пилку з чотирма повітряними мішками; 2, *a* — фертильне п.з., визначене йодним методом, в екваторіальному положенні; 2, *b* — стерильне п.з., 2, *c* — недорозвинене п.з.; 3, *a* — пилкок з аномально великими до тіла та 3, *b* — аномально малими за розміром повітряними мішками; 4 — нерівні краї п.з.; 5 — різні розміри повітряних мішків в одного п.з.; 6, *a* — аномально мале — «карлик» та 6, *b* — аномально велике — «гігант» п.з.; 7, *a* — п.з. з одним та 7, *b* — з двома мішками, що зрослися; 8, *a* — п.з. із трьома повітряними мішками, 8, *b* — два п.з., які зрослися з одним і двома повітряними мішками

Fig. 2. Normal and abnormal pollen of *Pinus pallasiana* from the Arboretum of Biosphere Reserve «Askania-Nova» and three plantings in Kryvyi Rig: 1 — general view of pollen in distilled water with the presence of abnormal pollen with four air sacs; 2, *a* — of fertile pollen grains (PG) is determined by iodine method in the equatorial position, 2, *b* — sterile PG, 2, *c* — underdeveloped PG; 3, *a* — pollen with abnormally large and 3, *b* — abnormally small air sacs, 4 — deformed edges of PG, 5 — differently-sized air sacs in one PG; 6, *a* — abnormally small — «dwarf», and 6, *b* — abnormally large — «giant» PG, 7, *a* — PG with one, and 7, *b* — with two fused sacs, and 8, *a* — PG with three air sacs, 8, *b* — two PG, fused with one and two air sacs

На 11,1–21,2 % таких п. з. було менше в дерев трьох насаджень *P. pallasiana* з м. Кривий Ріг. Древа цих насаджень продукували 14,6–18,5 % стерильних п. з. Життєздатного пилку, що проростав на сахарозі, у дерев дендропарку БЗ було 87,2 %, а в рослин насаджень з Кривого Рогу — на 3,9–5,6 % менше. У подібних дослідженнях з пилком рослин сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), які зазнають різного впливу промислових підприємств у м. Красноярськ, в один із років спостережень крохмаль був відсутнім у 50–80 % п. з., до того ж встановлено повну стерильність чоловічого гаметофіту. В інші роки спостережень у рослин зони високого рівня забруднення повітря частка пилку, що про-

ростав, була суттєво меншою порівняно з пилком рослин фонові зони (Третякова, Носкова, 2004).

За морфометричними показниками частка нормально розвиненого пилку (рис. 2) найбільшою була в дерев *P. pallasiana* з дендропарку БЗ (табл. 2).

Порівняно з пилком рослин дендрарію КБС довжина його, довжина та висота тіла п. з. у середньому були більшими на 2,3 %, 2,3 %, 1,2 % відповідно. Найменшими виявилися п.з. у рослин, що росли недалеко від КМК, у центральній частині м. Кривий Ріг. Зменшення зазначених розмірів пилку в насадженнях поблизу КМК, порівняно з деревами дендропарку БЗ, становило

Таблиця 2. Морфометрична мінливість пилоквих зерен та повітряних мішків *Pinus pallasiana* з дендропарку біосферного заповідника «Асканія-Нова» і трьох насаджень м. Кривий Ріг

Місцезростання рослин	Статистичні показники	Пилок, мкм			Повітряний мішок, мкм	
		довжина п.з.	довжина тіла п.з.	висота тіла п.з.	довжина	висота
Дендропарк БЗ «Асканія-Нова»	Межі	62,4-73,9	39,9-57,0	33,6-46,9	18,6-28,7	26,8-36,7
	$M \pm m$	68,1 \pm 0,3	48,6 \pm 0,3	39,0 \pm 0,3	24,1 \pm 0,2	31,2 \pm 0,2
	CV, %	4,4	6,8	6,9	9,2	7,3
Дендрарій Криворізького ботанічного саду	Межі	56,8-73,3	38,4-55,7	30,3-44,7	16,9-27,5	22,1-34,9
	$M \pm m$	66,6 \pm 0,3	47,5 \pm 0,4	38,6 \pm 0,3	23,0 \pm 0,2	30,8 \pm 0,3
	CV, %	4,7	8,4	8,7	10,4	8,6
Першотравневий залізорудний відвал	Межі	57,4-70,8	37,4-56,1	27,3-50,9	16,0-27,1	24,2-33,9
	$M \pm m$	65,8 \pm 0,3	46,5 \pm 0,3	37,6 \pm 0,4	21,9 \pm 0,2	30,0 \pm 0,2
	CV, %	4,7	7,2	11,4	7,8	8,0
Кривий Ріг, поблизу КМК	Межі	63,8-71,0	36,6-55,3	28,5-42,9	15,5-24,7	22,1-35,2
	$M \pm m$	63,7 \pm 0,3	45,7 \pm 0,4	37,0 \pm 0,3	20,9 \pm 0,2	28,3 \pm 0,3
	CV, %	5,4	8,5	8,8	9,1	9,6

Примітка: $M \pm m$ — середнє значення \pm похибка.

6,6—5,3 %. Слід зазначити, що за наведеними розмірами пилок чотирьох інтродукційних насаджень *P. pallasiana* у більшості випадків вкладався в межі, раніше визначені А.Е. Бобровим зі співавторами (1983) для пилку рослин природних популяцій Криму. В рослин усіх чотирьох насаджень висота тіла (h) п.з. виявилася меншою від його довжини (l), а тому співвідношення l/h було більшим одиниці і варіювало за насадженнями в дуже близькому діапазоні: 1,23—1,26. У подібних дослідженнях з пилом *P. sylvestris* різних за рівнем забрудненості районів Красноярська за середніми показниками l/h виділено три групи пилку за формою тіла пилкового зерна: $l/h > 1$, $l/h = 1$, $l/h < 1$ (Третякова, Носова, 2004). Найбільші повітряні мішки п. з. у *P. pallasiana* зафіксовані також у рослин з дендропарку БЗ. Довжина і висота мішків, відповідно, були більшими на 4,6—13,1 % і 1,5—9,3 %, порівняно з такими параметрами рослин трьох насаджень Кривого Рогу. Слід підкреслити, що розміри повітряних мішків пилку чотирьох інтродукційних насаджень *P. pallasiana* виявилися значно меншими, ніж в описах пилку природних популяцій Криму (Бобров і др., 1983). Співвідношення довжини до висоти мішків п. з. рослин чотирьох досліджуваних насаджень *P. pallasiana* варіювало від 0,73 до 0,77. У *P. sylvestris* з насаджень Красноярська цей показник не завжди був меншим одиниці. Крім того, для пилку *P. sylvestris* значення CV для довжини тіла і мішка змінювалося, відповідно, в межах 3,7—15,9 % і 4,8—49,2 %, а для висоти тіла і мішка — 3,0—70 % і 3,3—20,1 % (Третякова, Носова,

2004). Такої високої варіабельності морфометричних параметрів пилку *P. pallasiana* в чотирьох досліджуваних насадженнях не виявлено. Значення CV довжини самого пилку не перевищували 4,7 %, довжини тіла — 8,5 % і висоти тіла — 11,4 %. Варіабельність довжини і висоти мішків була також невисокою, змінюючись, відповідно, в межах 7,8—10,4 % і 7,3—9,6 %. Тобто морфометричні параметри пилку і повітряних мішків у *P. pallasiana* мають стабільно низький рівень варіабельності як у рослин з дендропарку БЗ, так і з різних насаджень Кривого Рогу.

Серед пилку *P. pallasiana* з усіх досліджених чотирьох насаджень виявлено дегенеруючий, незрілий і деформований пилок, а також пилок з різними аномаліями. Частка пилку з аномаліями розвитку найменша в рослин дендропарку БЗ — 7,9 % (табл. 3). Це, відповідно, в 1,7, 2,1 і 3,1 раза менше, ніж у дерев насаджень КБС, ПВЗК і поблизу КМК. У рослин дендропарку БЗ і КМК майже на одному високому рівні (36,76—39,16 %) виявлено недорозвинений, деформований і дегенеруючий пилок. Такий пилок у рослин двох інших насаджень *P. pallasiana* в Кривому Розі траплявся у 6,9—9,6 раза рідше. Серед аномалій розвитку п. з. у трьох насадженнях (БЗ, КБС, ПВЗК) домінував «карликовий» пилок (37,24—40,06 %). Розміри «карликових» і «гігантських» п. з. у дерев чотирьох насаджень, які вимірювались окремо, змінювались, відповідно, в таких межах (мкм): довжина п. з. — 41,0—59,4 і 70,0—80,0; довжина тіла — 25,8—43,6 і 45,9—56,5; висота тіла — 25,5—34,3 і

Таблиця 3. Кількість аномального пилку в дерев *Pinus pallasiana* з насаджень екологічно безпечного і техногенно забруднених місць зростання

Місцезростання рослин	Всього аномалій		Структура типових аномалій, % від їхньої загальної кількості								
	шт.	% від переглянутих пилкових зерен	недорозвинені, деградуючі та деформовані пилкові зерна	пилкові зерна зі зміненими розмірами		нерівні краї фертильного пилкового зерна	аномальні за розміром повітряні мішки стосовно тіла		пилкові зерна		
				«карлик»	«гігант»		великі	малі	з різними розмірами мішків	з одним мішком	з трьома і чотирма мішками
Дендропарк БЗ «Асканія-Нова»	302	7,9	36,76	40,06	4,31	0,00	0,37	10,28	5,32	2,28	0,62
Дендрарій Криворізького ботанічного саду	548	13,2	5,30	37,24	9,63	3,49	5,32	14,59	20,44	3,10	0,89
Першотравневий залізрудний відвал	804	16,4	4,09	37,55	9,21	7,98	0,99	15,31	18,54	6,09	0,24
Кривий Ріг, біля КМК	1019	24,8	39,16	18,45	5,09	9,53	4,32	5,09	13,04	3,35	1,97

35,7—54,1; повітряні мішки: довжина —13,2—19,2 і 20,1—29,1; висота — 17,7—25,6 і 26,2—44,3. За цими показниками обидва типи п. з. відрізняються від середніх значень нормального пилку контрольного насадження БЗ (див. табл. 2). Серед порушень, пов'язаних із розвитком повітряних мішків, домінували аномалії з малими повітряними мішками стосовно тіла — 5,09—15,31 % і п.з. із різними розмірами мішків — 5,32—20,44 %. Як правило, значно рідше в рослин більшості насаджень траплялися п.з. із аномально великими повітряними мішками або з одним, трьома і чотирма мішками. Пилок, який має чотири повітряних мішки, належить до диплоїдного. Утворення гіпертрофованого пилку з нередукованим набором хромосом виявлено у *P. sylvestris* з насаджень м. Красноярська в один із років спостережень (Носкова, Третякова, 2006). У рослин *P. pallasiana* природних популяцій Гірського Криму знайдено подвійні п.з. із внутрішньою перегородкою, а також пилок з наростами на екзині (Коба, 2004). Значно більший рівень аномалій пилку в рослин *P. pallasiana* насаджень Кривого Рогу пов'язаний із загальним несприятливим впливом техногенно забрудненого середовища.

Причому це спричинюють як забруднювачі повітря, так і комплекс несприятливих едафічних умов зростання рослин, що спостерігаємо, наприклад, на залізрудному відвалі. Тобто екологічні умови зростання *P. pallasiana* в різних районах Кривого Рогу значно «напруженіші», ніж у дендропарку БЗ, через високий рівень забрудненості навколишнього середовища.

Отже, дослідження життєвості і морфологічних особливостей пилкових зерен *P. pallasiana* в насадженнях промислових регіонів степової зони України дають можливість визначити наявність гаметопатогенних сполук й оцінити ступінь забрудненості довкілля. Для моніторингу екологічно неблагополучних регіонів О.Ф. Дзюба (2007) пропонує використовувати пилок 40 видів деревних і кущових рослин. У всіх видів рослин за дії промислових емісій змінюються розміри і форми пилкових зерен, тип апертур, їхні розміри і розміщення стосовно один одного. Пропонують використовувати навіть ознаки найбільш стабільних структур пилкових зерен — скульптура поверхні спородерми, а також кількість і товщина її шарів.

Аномалії проявляються в разі пророщування пилку *P. pallasiana* на 15 % розчині сахарози. Виявлено п'ять типів аномалій росту пилкових трубок: це їхнє потовщення (рис. 2, а), викривлення та розгалуження (рис. 2, б—г), за типом «оленячі роги» (рис. 2, д, е), утворення двох трубок у дорсальній частині пилку (рис. 2, ж, з), дорсовентральне проростання пилку (рис. 2, и, к). Проростає також пилок, що мав три повітряні мішки (рис. 2, л). Пилкове зерно вважається пророслим, якщо довжина пилкової трубки відповідає висоті пилку або перевищує її (Розмологів, 1964). Чотири з п'яти аномалій, за винятком утворення двох трубок у дорсальній частині пилкового зерна, знайдено в пилку рослин дендропарку БЗ і дендрарію КБС. Усі описані аномалії виявлено у пилку рослин, що зростали на залізрудному відвалі та поблизу КМК.

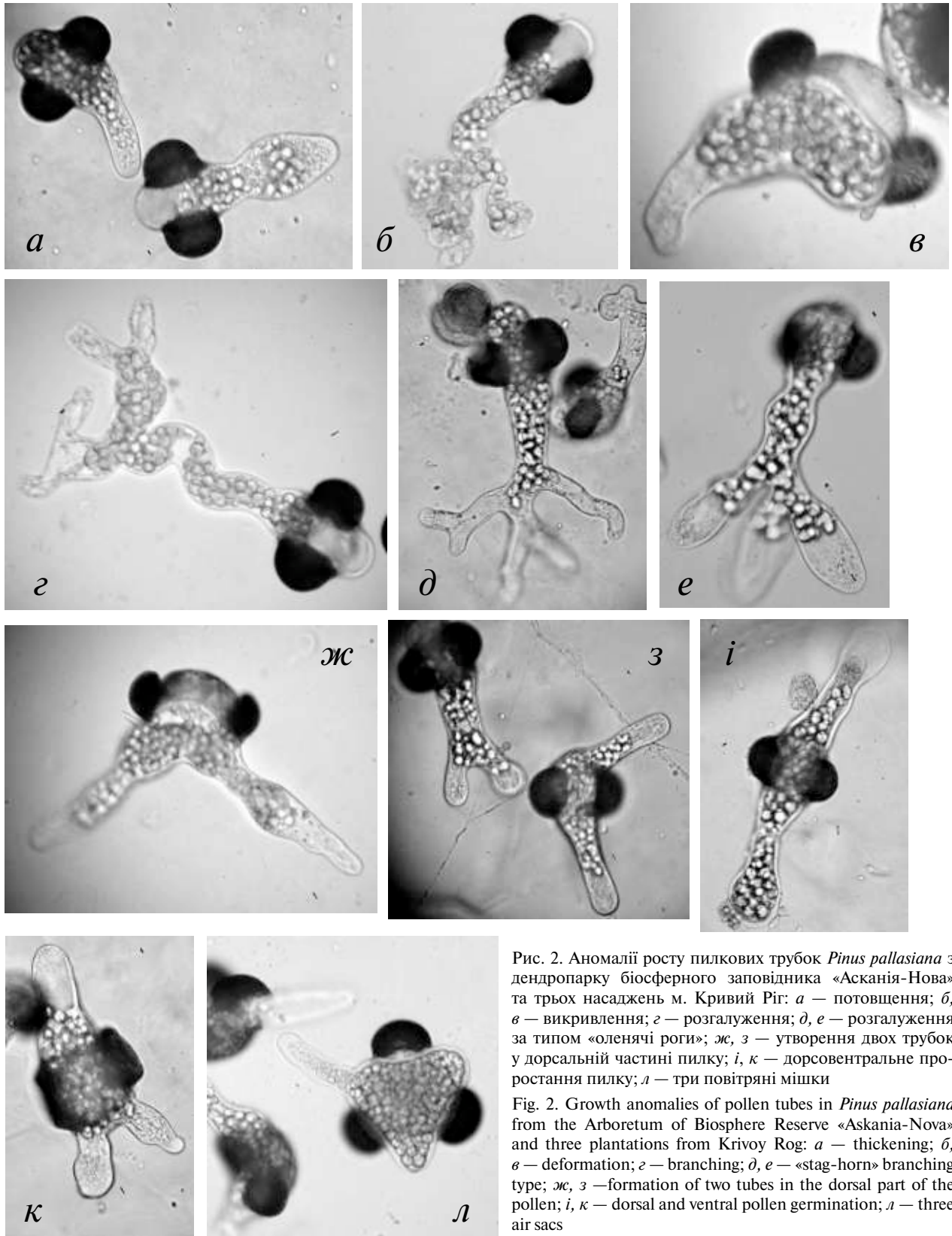


Рис. 2. Аномалії росту пилкових трубок *Pinus pallasiana* з дендропарку біосферного заповідника «Асканія-Нова» та трьох насаджень м. Кривий Ріг: *a* — потовщення; *б, в* — викривлення; *з* — розгалуження; *д, е* — розгалуження за типом «оленячі роги»; *ж, з* — утворення двох трубок у дорсальній частині пилку; *і, к* — дорсовентральне проростання пилку; *л* — три повітряні мішки

Fig. 2. Growth anomalies of pollen tubes in *Pinus pallasiana* from the Arboretum of Biosphere Reserve «Askania-Nova» and three plantations from Krivoy Rog: *a* — thickening; *б, в* — deformation; *з* — branching; *д, е* — «stag-horn» branching type; *ж, з* — formation of two tubes in the dorsal part of the pollen; *і, к* — dorsal and ventral pollen germination; *л* — three air sacs

Таблиця 4. Кількість аномалій пилоквих трубок життєздатного пилку *Pinus pallasiana* з насаджень екологічно безпечного і техногенно забруднених місць зростання

Місцезростання рослин	Всього переглянуто пророщених пилоквих зерен	Частка пилоквих зерен з аномальними трубками, %	Структура аномалій (% від їхньої загальної кількості)									
			потовщення пилоквих трубок		дорсовентральне проростання пилоквих зерен		викривлення пилоквих трубок		розгалуження, зокрема за типом «оленячі роги»		утворення двох трубок у дорсальній частині пилоквого зерна	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Дендропарк БЗ «Асканія-Нова»	1470	3,19	8	0,54	18	1,22	4	0,27	17	1,16	-	-
Дендрарій Криворізького ботанічного саду	1869	9,07	13	0,69	75	4,01	6	0,3	76	4,07	-	-
Першотравневий залізорудний відвал	1416	26,96	15	1,06	179	12,64	9	0,63	177	12,5	2	0,14
Кривий Ріг, поблизу КМК	1033	47,13	21	2,03	203	19,65	11	1,06	246	23,81	6	0,58

Найчастіше аномалії пилоквих трубок відзначені саме в пилку рослин біля КМК — 47,13 % (табл. 4). Це в 14,3 раза більше порівняно з пилком рослин дендропарку БЗ. Разом з тим пилок рослин цього дендропарку в процесі пророщування мав у 2,8 раза менше аномалій пилоквих трубок, порівняно з пилком рослин дендрарію КБС. Високим рівнем аномалій трубок вирізнявся також пилок рослин із залізорудного відвалу.

Найпоширенішими аномаліями пилоквих трубок є розгалуження за типом «оленячі роги» та дорсовентральне проростання. Частка аномалій першого типу варіювала від 1,16 % пилку рослин дендропарку БЗ до 23,81 % — у рослин поблизу КМК, що в 20,5 раза більше. Дорсовентральне проростання пилку в рослин дендропарку БЗ становило 1,22 %, дендрарію КБС — 4,01 % (> 3,3 раза), залізорудного відвалу — 12,64 % (> 10,4 раза) і біля КМК — 19,65 % (> 16,1 раза). «Карликовий» пилок, як правило, не утворював двох пилоквих трубок. Рівень інших аномалій пилоквих трубок становив для пилку рослин з дендропарку БЗ 0,27–0,54 %, а в рослин, що зростали поблизу КМК, — 0,58–2,03 %. Наявність трубок із двох боків, формування аномалій типу «оленячі роги» — не рідкісні для пилку *P. pallasiana* природних популяцій Криму, пророщеного на 10 %-вій сахарозі та дистильованій воді (Коба, 2004). Дорсальний ріст пилоквих трубок може пояснюватися впливом культурального середовища (Котелкова, 1956; Третьякова, 1990). Проте, як би там не було, негативний вплив техногенно забрудненого довкілля Криворіжжя на пилок рослин *P. pallasiana* очевидний, що простежується в суттєво більшій частоті аномалій пилоквих трубок.

Пилкова трубка утворюється з вегетативної клітини пилоквого зерна (Розмоогов, 1964). Під час проростання пилку на насінневоу зачатку формується тільки одна пилкова трубка, а на штучноу живильноу середовищі можуть утворюватися дві трубки. Проте кожне пилкове зерно значно частіше формує тільки одну пилкову трубку, яка росте у протилежноу напрямку дистального боку цього зерна. Для *P. sylvestris* характерною особливістю є розгалуження пилоквих трубок, яке відбувається не тільки на живильноу середовищі, а й у природних умовах (Котелкова, 1956).

Пилок у дерев *P. pallasiana* дендропарку БЗ, що пророщували на штучноу середовищі, мав у середньоу найбільшу довжину пилоквих трубок — 132,3 мкм. Цей показник для пилку дерев КБС, відповідно, становив 123,3 мкм, залізорудного відвалу — 115,2 мкм і КМК — 111,0 мкм. У десятирічних дослідженнях пилку з чотирьох насаджень *P. sylvestris* м. Красноярська показано, що в окремі роки пилок з усіх деревостанів не проростав. В інші роки, коли пилок був життєздатним, довжина пилоквих трубок значно варіювала — від 21,5 мкм до 294,2 мкм. Короткі пилкові трубки, які не перевищували 1,0–1,5 діаметра пилоквого зерна, нерідко були забиті калюсними пробками, що є перепорою для переміщення ядра вегетативної та генеративної клітин до трубки. Такі трубки формують п. з., які на момент вильоту зі спорангію не завершили гаметогенез. Одноклітинний пилок не може утворювати пилкові трубки (Носкова, Третьякова, 2011). Довжина і швидкість росту пилоквої трубки значною мірою зумовлюють запліднювальну здатність пилку (Николаева, 1974).

Таким чином, на процеси формування і розвитку пилку *P. pallasiana* негативно впливають екологічні фактори несприятливих умов інтродукції у степовій зоні України. Це проявляється в зменшенні розмірів повітряних мішків, кількості фертильних п.з., збільшенні тератоморфних форм пилку і пилкових трубок у процесі його пророщування. Найбільший рівень цих змін виявлено в рослин, що зазнають прямого впливу промислових емісій або зростають на залізорудному відвалі кар'єру з видобутку руди.

Висновки

Отже, *P. pallasiana* має достатньо необхідних пристосувальних механізмів, які забезпечують функціонування чоловічих репродуктивних органів з проходженням мейозу з формуванням життєздатного пилку і, відповідно, насіння в умовах техногенно забрудненого навколишнього середовища Криворіжжя. Для оцінювання негативного впливу факторів довкілля, особливо його забруднення, інформативним є не стільки рівень фертильності і життєздатності пилку, скільки частота прояву аномалій у загальному пулі пилкових зерен і пилкових трубок під час проростання пилку. Саме ці показники мають реальну перспективу використання для оцінки якості середовища у промислово розвинутих регіонах степової зони України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. — Л.: Наука, 1983. — 208 с.
- Владимирова О.С., Муратов Е.Н., Седаева М.И. Пыльца ели сибирской, произрастающей в различных экологических условиях // Хвойные бореальной зоны. — 2008. — 25, № 1–2. — С. 98–102.
- Дзюба О.Ф. Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии // Нефтегаз. геол. Теория и практика. — 2007. — № 2. — С. 1–22. — <http://www.ngtp.ru/rub/authors/OFDzuba.html> (07/10/09 г.)
- Ефремов С.П., Пименов А.В., Седельникова Т.С., Петрова И.В., Санников С.Н. Морфология и жизнеспособность пыльцы желто- и краснопыльничковой форм сосны обыкновенной на болотах и суходолах Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. — 2010. — 28, № 1–2. — С. 126–129.
- Коба В.П. Исследование некоторых особенностей морфогенеза и прорастания пыльцы *Pinus pallasiana* D. Don. // Цитология и генетика. — 2004. — № 3. — С. 38–45.

- Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. — Киев: Наук. думка, 1996. — 238 с.
- Котелкова Н.В. К вопросу о биологии оплодотворения сосны обыкновенной // Науч.-тех. информ. Моск. лесотех. ин-та. — 1956. — № 23. — С. 5–28.
- Макогон І.В., Коршиков І.І. Якість пилку та насіннева продуктивність *Picea pungens* Engelm. // Укр. ботан. журн. — 2010. — 67, № 5. — С. 736–745.
- Моносзон-Смолина М.Х. К вопросу о морфологии пыльцы некоторых видов рода *Pinus* // Ботан. журн.— 1949.— № 4.— С. 352–380.
- Николаева А.Н. Жизнеспособность пыльцы кедр сибирского в условиях Западного Саяна // Лесоведение. — 1974. — № 3. — С. 59–63.
- Носкова М.Е. Половая репродукция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях экологического стресса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Красноярск, 2005. — 20 с.
- Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные бореальной зоны. — 2006. — 23, № 3. — С. 54–63.
- Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — 28, № 1. — С. 41–46.
- Осколков В.А. Качество пыльцы сосны обыкновенной в дровостоях Приангарья при разном уровне загрязнения // Лесоведение. — 1988. — № 2. — С. 16–21.
- Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. — М.: Агропромиздат, 1988. — 271 с.
- Рождественский Ю.Ф. Особенности микроспорогенеза сосны обыкновенной на Урале и его зависимость от экологических факторов // Экология. — 1974. — № 1. — С. 49–53.
- Розмолов В.П. О прорастивании и хранении пыльцы некоторых голосеменных растений // Бюл. Главн. ботан. сада АН СССР. — 1964. — Вып. 52. — С. 79–87.
- Третьякова И.Н. Эмбриология хвойных. — Новосибирск: Наука, 1990. — 157 с.
- Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. — 2004. — № 1. — С. 26–33.
- Тулицина С.С., Рябогина Н.Е., Тулицина С.С. Уровень техногенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях // Изв. Самарского науч. центра РАН. — 2012. — 14, № 1(3). — С. 822–828.
- Perponi G. Investigation of the correlation between pollen viability and its elemental composition // XII Hungarian-Italian Sympos. on Spectrochemistry: Environmental Pollution and Human Health (Pécs, 23–27 October 2005) / Ed. V.G. Mihucz, G. Záray. — Budapest, 2005. — P. 46. — <http://www.speciation-analysis.net/Public/Events/2005/02/14/1320.html>

Рекомендує до друку
Є.Л. Кордюм

Надійшла 25.04.2014 р.

И.И. Коршиков¹, Е.В. Лантеева²

¹Донецкий ботанический сад НАН Украины

²Криворожский ботанический сад НАН Украины

КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ *PINUS PALLASIANA* (*PINACEAE*)
ИЗ НАСАЖДЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
И ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

Изучены фертильность, жизнеспособность, морфометрическая вариабельность пыльцы, встречаемость ее аномалий и отклонений в росте пыльцевых трубок у деревьев *Pinus pallasiana* D. Don из биосферного заповедника «Аскания-Нова» и трех насаждений г. Кривого Рога, произрастающих в зонах выбросов металлургических производств, а также на железорудном отвале. Жизнеспособность пыльцы во всех насаждениях была высокой, изменяясь в пределах 81,6–87,2 %. Более всего растения насаждений отличались по доле аномальной пыльцы и отклонениям в росте пыльцевых трубок при прорастивании ее на 15 %-ной сахарозе. У деревьев заповедника этих аномалий было, соответственно, 7,9 % и 3,2 %, а у растений трех насаждений г. Кривого Рога — 13,2–24,8 % и 9,1–47,1 %.

Ключевые слова: *Pinus pallasiana*, жизнеспособность пыльцы, аномалии, пыльцевые трубки, Криворожье, Аскания-Нова.

I.I. Korshikov¹, E.V. Lapteva²

¹Donetsk Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine

²Kryvyi Rih Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine

POLLEN OF *PINUS PALLASIANA* (*PINACEAE*) FROM
PLANTINGS OF ENVIRONMENTALLY SAFE AND
TECHNOGENICALLY CONTAMINATED LANDS OF
THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

Fertility, viability, morphometric variability of pollen, occurrence of its anomalies and growth deviations of pollen tubes were studied in *Pinus pallasiana* D. Don of Biosphere Reserve «Askania-Nova» and three plantings from Kryvyi Rig, growing within the areas of emissions of metallurgical works (smelters), and also on the iron ore dump. The pollen viability was high in all of the plantations, being ranged from 81.6 to 87.2%. Trees from the plantations were mostly distinguished by their abnormal pollen percentages and deviating pollen tubes growth when germinated on 15 % saccharose. The rates of these anomalies were, respectively, 7.9 % and 3.2% in trees from the reserve, whereas they made 13.2 to 24.8 % and 9.1 to 47.1 % in trees from three Kryvyi Rig plantations.

Key words: *Pinus pallasiana*, viable pollen, anomalies, pollen tube, Kryvyi Rig, Askania-Nova.

НОВІ ВИДАННЯ

З.М. Цимбалюк, С.Л. Мосякін. Атлас пилкових зерен представників родин *Plantaginaceae* та *Scrophulariaceae*. — К., 2013. — 276 с.

Наводяться результати дослідження морфологічних особливостей пилкових зерен 52 родів, 195 видів (більше 300 зразків) родин *Plantaginaceae* і *Scrophulariaceae* (*Lamiales* s.l.): *Gratiola*, *Scoparia*, *Ourisia*, *Chelone*, *Collinsia*, *Penstemon*, *Uroskinnera*, *Russelia*, *Antirrhinum*, *Chaenorhinum*, *Cymbalaria*, *Kickxia*, *Misopates*, *Linaria*, *Callitriche*, *Hippuris*, *Ellisiophyllum*, *Sibthorpia*, *Globularia*, *Campylanthus*, *Hemiphragma*, *Digitalis*, *Erinus*, *Hebe*, *Lagotis*, *Veronica*, *Wulfenia*, *Plantago*, *Alonsoa*, *Colpias*, *Diascia*, *Diclis*, *Hemimeris*, *Nemesia*, *Anthicharis*, *Aptosimum*, *Peliostomum*, *Eremophila*, *Myoporium*, *Scrophularia*, *Verbascum*, *Celsia*, *Limosella*, *Sutera*, *Zaluzianskya*, *Freylinia*, *Oftia*, *Phygellus*, *Teedia*, *Buddleja*, *Emorya*, *Gomphostigma*.

Паліноморфологічні характеристики складені з використанням світлової та сканувальної електронної мікроскопії. Кожний опис супроводжується оригіналами етикеток досліджених зразків. Атлас містить більше 1000 авторських мікрофотографій пилкових зерен і являє собою довідниковий посібник для вивчення морфології пилкових зерен сучасних рослин і їх визначення у викопному стані.

Атлас призначений для паліноморфологів, палеопалінологів, систематиків рослин, викладачів та студентів біологічних, екологічних і геологічних факультетів вищих навчальних закладів.