



<https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.05.446>

Особливості пилку рослин *Picea abies* та *P. pungens* (*Pinaceae*) в насадженнях на території Криворіжжя

Іван І. КОРШИКОВ^{1,2}, Ельвіра Р. ГУСЕЙНОВА¹

¹Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 50, Кривий Ріг 50089, Україна

²Донецький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 16А, Кривий Ріг 50089, Україна
huseinova93@gmail.com

Korshykov I.I.^{1,2}, Huseynova E.R.¹ **Pollen characteristics of *Picea abies* and *P. pungens* (*Pinaceae*) in the plantations of the Kryvyi Rih area.** Ukr. Bot. J., 2018, 75(5): 446–456.

¹Kryvyi Rih Botanical Garden, National Academy of Science of Ukraine
50 Marshaka Str., Kryvyi Rih 50089, Ukraine

²Donetsk Botanical Garden, National Academy of Science of Ukraine
16A Marshaka Str., Kryvyi Rih 50089, Ukraine

Abstract. An integral analysis of the morphometric rates, viability, and quality of pollen of *Picea abies* and *P. pungens* was conducted in plantations with different levels of aerotechnogenic influence in the conditions of Kryvyi Rih, a large industrial city in steppe zone. Pollen of 30–40-year-old trees of *P. abies* and *P. pungens* (the trees with bluish-green needles classified as varieties) was studied from eight plantations, which were located approximately from the northeast to the southwest throughout the length of Kryvyi Rih city (126 km), with different levels of technogenic pressure. During the research, we demonstrated negative influence of the exhaust gases of motor vehicles and, especially, the emissions of major metallurgical enterprises of Kryvyi Rih on the viability and fertility of pollen and development of its anomalies in *P. abies* and *P. pungens*. The maximum length of pollen grains (113.0 and 118.5 microns), the highest viability (75.3 and 78.6%), fertilising pollen (83.8 and 86.8%), the relative lowest number of its anomalies (9.0 and 9.2%) were noticed, respectively, in plants of *P. abies* and *P. pungens* from plantations of the botanical garden. The minimum dimensions of pollen in both species (respectively, 91.5 and 101.7 μm), the lowest viability (48.3 and 54.3%), fertilising pollen (46.5 and 48.9%) and the largest number of anomalies (35.9 and 33.6%) were observed for the trees under the highest emissions of metallurgical combines. Eight types of pollen anomalies in *P. abies* and *P. pungens* were ascertained in the botanical garden plantations and 13 types of plants of both species growing near metallurgical combines. The exhaust gases of vehicles also negatively affect the quality of pollen of both species; the share of anomalous pollen in *P. abies* was 17.4–24.7%, and *P. pungens* 13.7–25.1% and, even in the park plantations of the city, the level of anomalous pollen was significantly higher than in the arboretum of the botanical garden. Five types of anomalies were also detected in the germination of pollen under laboratory conditions and the relative number of these anomalies was considerably higher in plants of *P. abies* (26.4–29.5%), which were directly exposed to the emissions of metallurgical combines and in those of *P. pungens* (15.4–21.5%), influenced by the exhaust gases. Our investigation confirmed that male generative structures of plants of *P. abies* are more sensitive to influence of urbotechnogenic environment than those of *P. pungens*, which resulted in lower percentage of pollen fertility and viability as well as larger number of its abnormalities.

Keywords: *Picea abies*, *Picea pungens* 'Glauca', pollen viability, abnormalities, pollen tubes, steppe zone, urbotechnogenic environment

Вступ

Останні 30–40 років хвойні дерева досліджуються як можливі біоіндикатори аеротехногенно забрудненого середовища. Особлива увага приділяється їхній генеративній сфері, зокрема пилку, життєздатність та фертильність якого використовується в якості показників реакції

рослин на забруднювачі повітря (Goryachkina, Sedaeva, 2012; Korshykov, Lapyeva, 2014; Tupitsyn, 2015; Huseynova, Korshykov, 2017). У таких дослідженнях перевага зазвичай надається широкоареальному виду – *Pinus sylvestris* L. (Tretyakova, Noskova, 2004; Noskova, Tretyakova, 2006). У Степовій зоні України вивчаються й інтродуценти, наприклад *Picea pungens* Englem. (Makohon, Korshykov, 2010), який досить

© І.І. КОРШИКОВ, Е.Р. ГУСЕЙНОВА, 2018

розповсюджений в насадженнях промислових міст. Види роду *Picea* A.Dietr. не завжди відзначаються високою стійкістю до умов урботехногенного середовища, що, зокрема, проявляється в зниженні життєздатності пилюк та якості насіння (Hjelmroos, 2000; Noskova, Tretyakova, 2006; Makohon, Korshykov, 2010).

Добір хвойних рослин як об'єктів досліджень впливу середовища у великих промислових регіонах Степової зони пов'язаний з обмеженою кількістю аборигенних видів голонасінних рослин при високому рівні забруднення атмосферного повітря в таких місцевостях. Так, наприклад, річний об'єм викидів підприємств у Кривому Розі за 2015 рік склав 327,032 тис. тонн, тоді як у попередні роки він був більшим на 17% (Ekolohichnyi raspport, 2017). Наші дослідження, проведені раніше із *Pinus sylvestris* у насадженнях Криворіжжя, свідчать про те, що аерополітанти суттєво впливають на рослини, призводячи до зниження життєздатності пилюк та збільшення частки пилюкових зерен як з аномаліями розвитку, так і з аномаліями пилюкових трубок, які спостерігаються при пророщуванні пилюк в лабораторних умовах (Korshykov, Laptyeva, 2014). Слід відмітити, що в насадженнях Кривого Рогу *P. sylvestris* розповсюджена значно менше, ніж види роду *Picea* – європейський *P. abies* (L.) H. Karst. та північноамериканський *P. pungens* Engelm. Перший із них рідше використовується в озелененні міст на Південному Сході України та у Лівобережному Придніпров'ї (Polyakov, 2009). На Криворіжжі *P. abies* поширений в штучних насадженнях на різних за призначенням територіях; вік деяких рослин перевищує 30 років. Там, де немає надмірного впливу викидів металургійних комбінатів, рослини добре розвинені та мають гарний життєвий стан (Huseynova, Korshykov, 2017). Теж саме стосується і *P. pungens*. Ці два види цікаві не тільки як перспективні індикатори стану повітряного середовища, а й як такі, що вочевидь відрізняються за проявами реакції на різноякісне аерополітантне забруднення. Зазвичай це може відобразитися на рівні чоловічої генеративної сфери, зокрема на морфо-фізіологічних якостях пилюк.

Мета роботи – проведення порівняльного аналізу морфометричних характеристик та якості пилюк рослин *P. abies* і *P. pungens* у насадженнях із різним рівнем аеротехногенного впливу в умовах великого промислового міста в межах Степової зони.

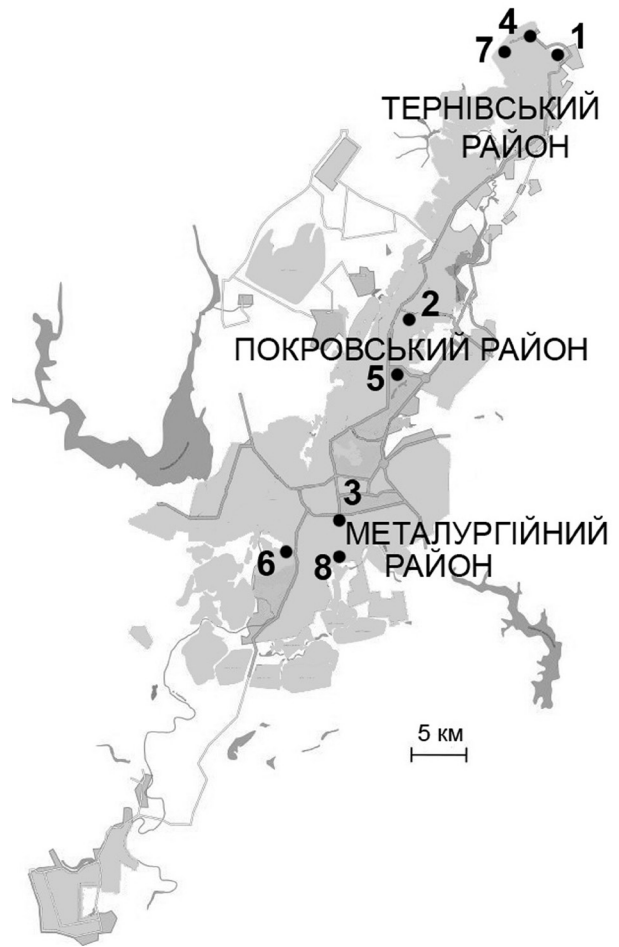


Рис. 1. Картошка розташування досліджених насаджень *Picea abies* і *P. pungens* на території Кривого Рогу

Fig. 1. Schematic map of the investigated plantations of *Picea abies* and *P. pungens* in Kryvyi Rih city

Матеріали та методи

Матеріалом для досліджень слугував свіжозібраний пилюк *P. abies* і *P. pungens* у період масового розкриття стробілів навесні 2016 р. В останнього виду досліджували форму з голубувато-зеленою хвоєю, яку визначають як *P. pungens* 'Glausa', оскільки в насадженнях Кривого Рогу (як і по всій Україні), вона набула значного поширення в озелененні та відзначається високою стійкістю до умов урботехногенного середовища (Черік, 1985; Bilyk, 2006). Пилюк збирали по 3 зразки з 10 дерев 30–40-річного віку кожного з видів. Добір проводили у восьми насадженнях, які розташовані майже по всій довжині Кривого Рогу (126 км) у трьох районах: Тернівському, Покровському й

Таблиця 1. Морфометрична мінливість пилкових зерен та повітряних мішків рослин *Picea abies* та *P. pungens* з насаджень (№ 1–8) Кривого Рогу

Table 1. Morphometric variability of pollen grains and air sacs of *Picea abies* and *P. pungens* from plantations (Nos. 1–8) of Kryvyi Rih city

Насадження рослин	Статистичні показники		Пилок, мкм				Повітряний мішок, мкм					
			загальна довжина		довжина тіла		висота тіла		довжина		висота	
	$M \pm m$	CV %	$M \pm m$	CV %	$M \pm m$	CV %	$M \pm m$	CV %	$M \pm m$	CV %	$M \pm m$	CV %
<i>Picea abies</i>												
№ 1	113,0±0,80	7,1	82,4±0,95	11,5	73,1±0,64	8,7	44,5±0,31	7,0	51,2±0,56	10,8		
№ 2	110,3±0,52*	4,7	81,1±0,78	9,5	72,2±0,54	7,4	42,7±0,34*	8,0	49,5±0,43*	8,6		
№ 3	107,7±0,63*	5,8	78,4±0,85*	10,8	69,1±0,48*	6,9	40,9±0,33*	8,1	47,0±0,42*	8,8		
№ 4	105,8±0,96*	9,1	76,5±1,07*	13,9	67,0±0,96*	14,2	40,0±0,46*	11,5	45,3±0,44*	9,6		
№ 5	103,1±1,11*	10,7	73,5±1,16*	15,7	65,9±0,89*	13,4	38,4±0,38*	9,9	43,6±0,52*	11,8		
№ 6	102,2±0,67*	6,5	67,3±0,85*	12,6	61,5±0,52*	8,3	37,9±0,36*	9,3	42,5±0,39*	9,1		
№ 7	96,7±0,67*	6,9	64,6±0,91*	14,1	59,6±0,76*	12,6	37,5±0,42*	11,2	42,0±0,48*	11,4		
№ 8	91,5±0,77*	8,4	62,5±1,06*	16,8	57,3±0,78*	13,5	35,6±0,32*	8,8	40,8±0,44*	10,7		
<i>Picea pungens</i>												
№ 1	118,5±0,71	6,0	91,0±0,79	8,6	74,3±0,86	11,5	48,6±0,33	6,7	57,4±0,70	12,1		
№ 2	114,5±0,68*	5,9	85,4±0,87*	10,2	73,8±0,61	8,2	48,8±0,49	10,0	55,6±0,55*	9,9		
№ 3	112,9±0,68*	6,0	84,3±0,73*	8,6	73,4±0,65	8,8	46,6±0,44*	9,4	54,4±0,43*	7,9		
№ 4	109,8±0,77*	7,0	82,5±1,00*	12,0	72,4±0,53*	7,3	43,0±0,42*	9,7	49,6±0,47*	9,4		
№ 5	107,5±0,91*	8,4	77,2±1,10*	14,2	68,5±0,79*	11,5	40,8±0,56*	13,7	47,8±0,59*	12,2		
№ 6	106,8±0,80*	7,5	76,8±0,91*	11,8	67,1±0,86*	12,8	40,7±0,47*	11,5	47,4±0,52*	10,9		
№ 7	102,1±0,93*	9,0	71,6±0,95*	13,2	64,2±0,92*	14,3	39,6±0,56*	14,1	45,7±0,44*	9,6		
№ 8	101,7±0,93*	9,1	67,9±0,91*	13,3	63,2±0,68*	10,7	37,4±0,51*	13,5	44,3±0,41*	9,2		

Тут і в табл. 2, 3 відмінності достовірні за t -критерієм Стьюдента при $P < 0,05$; * $M \pm m$ – середнє значення з помилкою.

Металургійному (рис. 1). Серед них насадження, які зазнають надмірного впливу викидів металургійних комбінатів і знаходяться в місцях безпосередньої дії ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" (№ 8) та ПрАТ "Північний гірничо-збагачувальний комбінат" (ПівнГЗК, № 7); біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху по проспекту Металургів (№ 6), по вул. Ватутіна (№ 5) та вул. Черкасова (№ 4); на відносно мало-забруднених аерополітантами ділянках (фоновий рівень) у парках "Героїв АТО" (№ 3), "Шахтарський" (№ 2), в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС, № 1).

У 100 пилкових зерен одного зразка визначали морфометричні параметри тіла й повітряних мішків, вимірювали мікрометром їхні ширину й довжину, виявляли відносну кількість і спектр аномалій пилку. Ці дослідження проводили з використанням мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (збільшення 40×10). Морфометричні показники пилку встановлювали в програмі *AxioVision*.

Вміст крохмалю в пилку як показник його фертильності визначали в розчині ацетокарміну за інтенсивністю забарвлення (Pausheva, 1988). Життєздатність пилку (у 3-х повторностях) встановлювали шляхом пророщування в 15%-му розчині сахарози при температурі 25 °С, через 2–3 дні підраховуючи кількість зерен (у %), які утворювали трубки. У 100 пророслих пилкових зерен вимірювали довжину (у мкм) пилкових трубок. Типи аномалій пилку та пилкових трубок у рослин *P. abies* і *P. pungens* визначали за класифікаціями, наведеними в роботах (Noskova, Tretyakova, 2006; Kalashnik, 2012; Korshykov, Lapyeva, 2014; Turpitsyn, 2015). Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакету програм MS Excel, істотність різниць було визначено за t -критерієм Стьюдента.

Результати та обговорення

За морфометричними показниками (табл. 1) частка нормально розвиненого пилку без будь-яких аномалій максимальною була в дерев *P. abies*

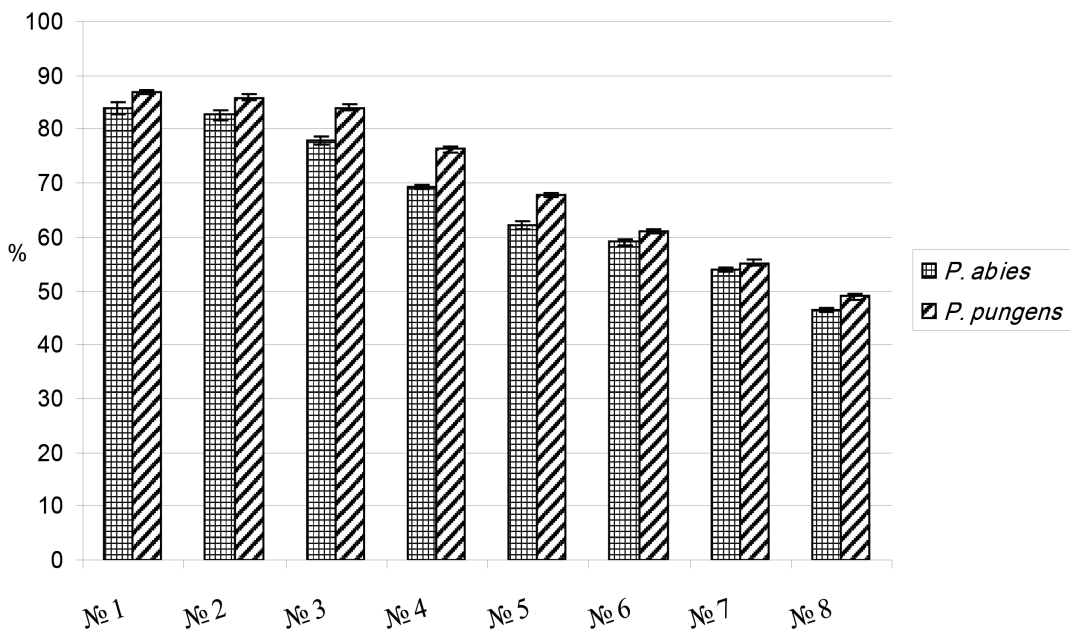


Рис. 2. Фертильність пилку рослин *Picea abies* і *P. pungens* з насаджень (№ 1–8) Кривого Рогу
 Fig. 2. Fertility of pollen of *Picea abies* and *P. pungens* from plantations (Nos. 1–8) of Kryvyi Rih city

і *P. pungens* із дендрарію КБС (табл. 2). Для всіх морфометричних показників пилку в рослин обох видів спостерігався середній рівень мінливості (CV 4,7–16,8%), тобто такий, що в більшості випадків залежав від умов зростання рослин. Найменші за розмірами пилкові зерна були виявлені в рослин обох видів у насадженнях біля металургійного комбінату "АрселорМіттал Кривий Ріг": довжина пилку, довжина та висота тіла були в *P. abies* та *P. pungens* відповідно на 19,0; 24,2; 21,6% та на 14,2; 25,4; 14,9% менші, ніж у дерев, що зростають у КБС. Подібні показники розміру пилку були й у рослин цих видів біля ПівнГЗК. У насадженнях біля міських автошляхів морфометричні показники пилку *P. abies* і *P. pungens* за такими самими параметрами були менші в середньому на 8,2; 12,1; 11,4% та на 8,8; 13,4; 6,7% порівняно із КБС. Це підтверджує отримані раніше відомості про негативний вплив вихлопних газів автотранспорту на генеративну сферу ялин (Huseynova, Korshykov, 2017).

Найбільші розміри повітряних мішків пилкових зерен за довжиною й висотою зафіксовані також у рослин *P. abies* та *P. pungens* із КБС, а найменші – в дерев, що росли біля металургійних комбінатів та автошляхів (табл. 1). Так, середня довжина повітряних мішків пилку в рослин *P. abies* біля металургійних комбінатів та автошляхів менша на

17,9 і 12,8%, а висота – на 19,1 і 14,5% порівняно з пилком рослин з насаджень КБС. У *P. pungens* їхня довжина відповідно менша на 20,8 і 14,6%, а висота – на 21,6 і 15,9% порівняно з рослинами з ботанічного саду. Встановлено, що відношення довжини тіла пилку до його висоти в рослин обох видів завжди було вище одиниці (1,1–1,3), а відношення довжини повітряного мішка до його висоти, навпаки, менше (0,8–0,9). У загальних рисах отримані показники розміру пилку в рослин *P. abies* і *P. pungens* з восьми насаджень Криворіжжя співпадають із отриманими раніше даними І.В. Макогон і І.І. Коршикова (Makohon, Korshykov, 2010, 2012) для дерев відповідно в умовах інтродукції на південному сході України та пилку рослин *P. abies* і *P. pungens* природних популяцій (Zigui et al., 2014; Vağsioğlu et al., 2015). Наші дослідження показали, що на умовно чистих територіях (№ 1–3) розміри пилкових зерен та повітряних мішків у рослин обох видів ялин достовірно відрізнялися порівняно з деревами, що зростають біля проїзної частини, й тих, що зазнають надмірного впливу викидів металургійних комбінатів (№ 4–8).

Для оцінки якості пилку та потенційної врожайності насіння визначали фертильний пилко, здатний до запліднення. З аналізу фертильності

Таблиця 2. Відносна кількість (%) аномального пилку в дерев *Picea abies* і *P. pungens* з насаджень (№ 1–8) Кривого Рогу
 Table 2. Relative abundance (%) of anomalous pollen in trees of *Picea abies* and *P. pungens* from plantations (Nos. 1–8) of Kryvyi Rih city

Насадження рослин	Всього аномалій	Структура типових аномалій												
		недорозвинені, деградовані та деформовані пилкові зерна	Пилкові зерна зі зміненими розмірами		Аномальні за розміром повітряні мішки по відношенню до тіла		Пилкові зерна							
			"карлик"	"гігант"	великі	малі	з різними розмірами мішків	з одним мішком	з 3–4 повітряними мішками	без мішків	з мішками, які зрослися	комірцевої форми	"бахрома" замість тіла і мішків	лінзоподібної форми
<i>Picea abies</i>														
№ 1	9,2	6,4	1,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	–	0,3	–	–	–	–
№ 2	11,0	7,8	1,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,1	0,3	0,1	–	0,1	–	–
№ 3	14,4	10,7	1,0	0,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,3	0,3	–	0,1	–	–
№ 4	17,4	11,4	2,0	1,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	–	0,2	0,1	–
№ 5	23,5	14,2	2,6	1,4	0,7	0,3	1,0	0,6	0,5	0,8	0,2	0,5	0,7	–
№ 6	24,7	15,5	2,5	1,6	0,5	0,3	1,7	0,6	0,4	0,4	0,1	0,3	0,5	0,3
№ 7	30,2	18,3	3,1	1,2	0,9	0,2	2,6	1,2	0,8	0,5	0,3	0,4	0,7	–
№ 8	35,9	21,2	3,2	2,1	2,4	0,6	2,8	0,8	0,5	0,4	0,1	0,5	0,6	0,7
<i>Picea pungens</i>														
№ 1	9,0	7,3	0,4	0,2	0,1	0,3	–	0,2	0,3	0,2	–	–	–	–
№ 2	10,2	6,6	1,6	0,7	0,2	0,3	0,2	–	0,2	0,4	–	–	–	–
№ 3	11,4	7,7	1,8	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	–	0,1	–	–
№ 4	13,7	9,1	1,5	1,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	–	–	0,1	–
№ 5	18,8	11,2	2,1	1,5	0,6	0,3	1,1	0,4	0,5	0,6	–	0,2	0,3	–
№ 6	25,1	15,2	4,5	0,9	0,4	0,3	0,9	0,6	0,6	0,5	0,1	0,1	0,4	0,6
№ 7	29,2	17,5	4,6	1,7	0,7	0,2	1,5	0,5	1,4	0,4	0,2	0,3	0,2	–
№ 8	33,6	20,2	4,1	2,7	1,2	0,2	1,9	0,7	0,9	0,3	0,2	0,4	0,5	0,3

пилку видно, що найвищим цей показник був у рослин із ботанічного саду – *P. pungens* – 86,8%, *P. abies* – 83,8% (рис. 2).

Фертильність пилку в рослин насаджень *P. abies*, що ростуть поблизу "АрселорМіттал Кривий Ріг" (№ 8), становила 46,5%, а у *P. pungens* – 48,9%. Тобто при надмірному впливі аеротехногенних викидів у ялин утворюється вдвічі більше стерильного пилку, ніж у дерев із відносно чистих територій. За дослідженнями І.В. Макогон та І.І. Коршикова (Макогон, Korshykov, 2010) фертильність пилку в насадженнях *P. pungens* біля металургійних підприємств Донбасу становила 71,8–82,3%. Очевидно, що пилок *P. pungens* з насаджень Кривого Рогу більш потерпає від впливу викидів промислових підприємств, що в подальшому може відобразитися на зниженні якості насіння ялин. Така реакція пилку може бути пов'язана з різним кількісно-якісним складом викидів підприємств, що досліджувалися, а також

загальним життєвим станом рослин, які підпадають під вплив цих емісій. Слід зазначити, що викиди аерополітантів біля "АрселорМіттал Кривий Ріг" становлять більше 80%, згідно до публічних даних громадських організацій від загального обсягу емісій і промислових підприємств Кривого Рогу. Високий загальний об'єм викидів, особливо пилу при видобутку й термічній обробці залізної руди створює значний рівень фонового забруднення як ґрунту, так і повітря (Antonik, 2017).

За нашими дослідженнями, у рослин видів роду *Picea*, які зазнають впливу вихлопних газів автотранспорту та викидів металургійних комбінатів, не тільки погіршувалась якість пилку, а й утворювалось значно більше аномальних пилкових зерен (табл. 2) із ширшим спектром аномалій (рис. 3), ніж у дерев із відносно чистих насаджень (Guseynova et al., 2018). Зокрема, кількість незрілого, деформованого й дегенеруючого пилку в рослин *P. abies* зростала у середньому в 1,7 та

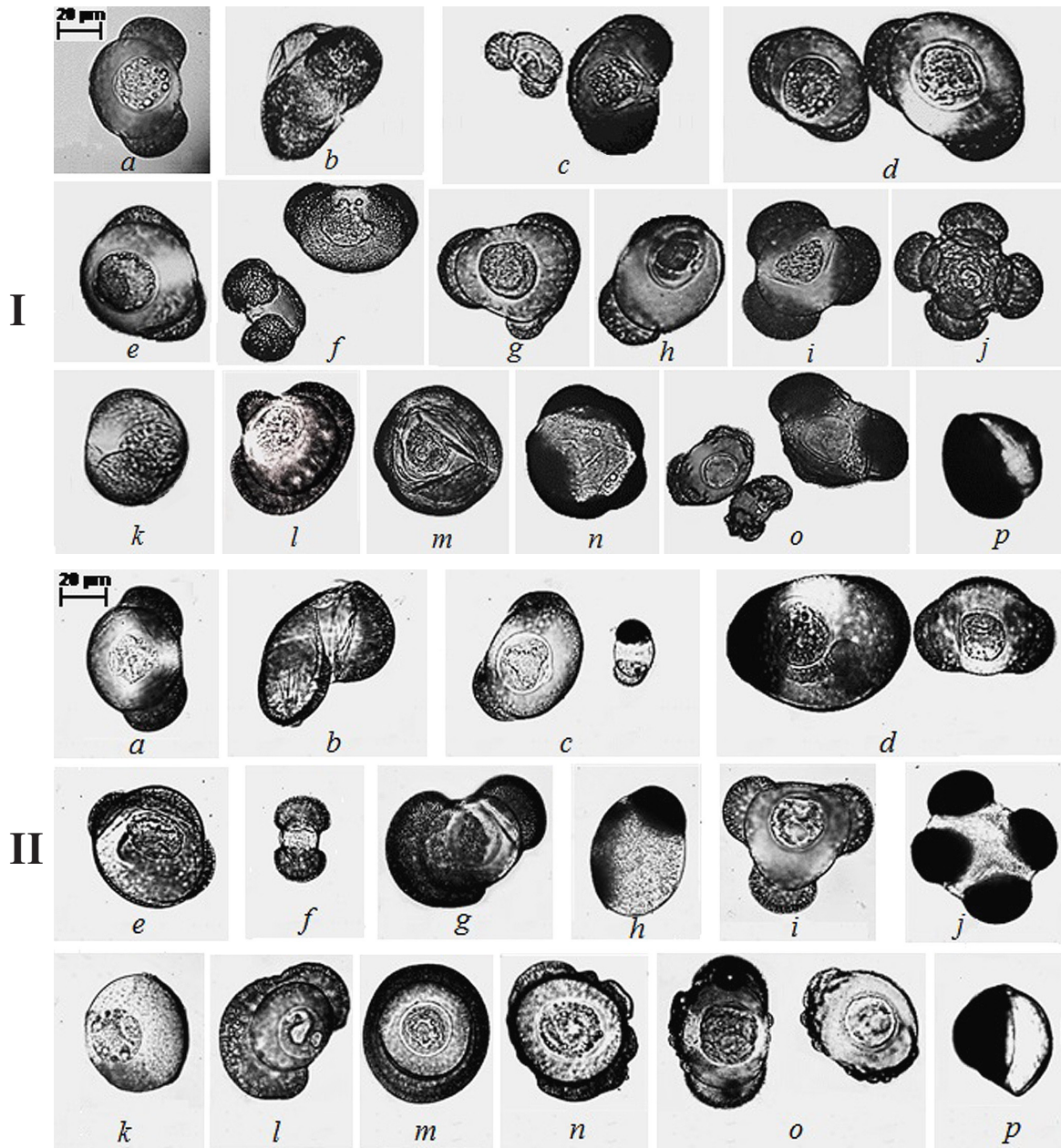


Рис. 3. Пилкові зерна *Picea abies* (I) і *P. pungens* (II) з насаджень із різним рівнем аеротехногенного навантаження в умовах Кривого Рогу: нормальне пилкове зерно (а) і пилкові зерна з аномаліями (b–p): b – недорозвинене, c – "карликове", d – "гігантське", e – з малими повітряними мішками відносно тіла, f – з великими повітряними мішками відносно тіла, g – з різними розмірами мішків, h – з одним мішком, i – з трьома повітряними мішками, j – з чотирма повітряними мішками, k – без мішків, l – з мішками, які зрослися, m – пилкок комірцевої форми, n – пилкок комірцевої форми у вигляді "бахроми", o – "бахрома" замість тіла та повітряних мішків, p – пилкове зерно лінзоподібної форми

Fig. 3. Pollen grains of *Picea abies* (I) and *P. pungens* (II) from plantations with different levels of aerotechnogenic pressure in Kryvyi Rih city: normal pollen grain (a) and pollen grains with abnormalities (b–p): b – underdeveloped, c – "dwarf", d – "giant", e – with air sacs smaller than body, f – with air sacs larger than body, g – with various sizes of sacs, h – with one sac, i – with three air sacs, j – with four air sacs, k – without sacs, l – fused air sacs, m – collar-shaped pollen, n – collar-shaped pollen in the "fringe" form, o – "fringe" instead of body and air sacs, p – pollen grain of lenticular shape

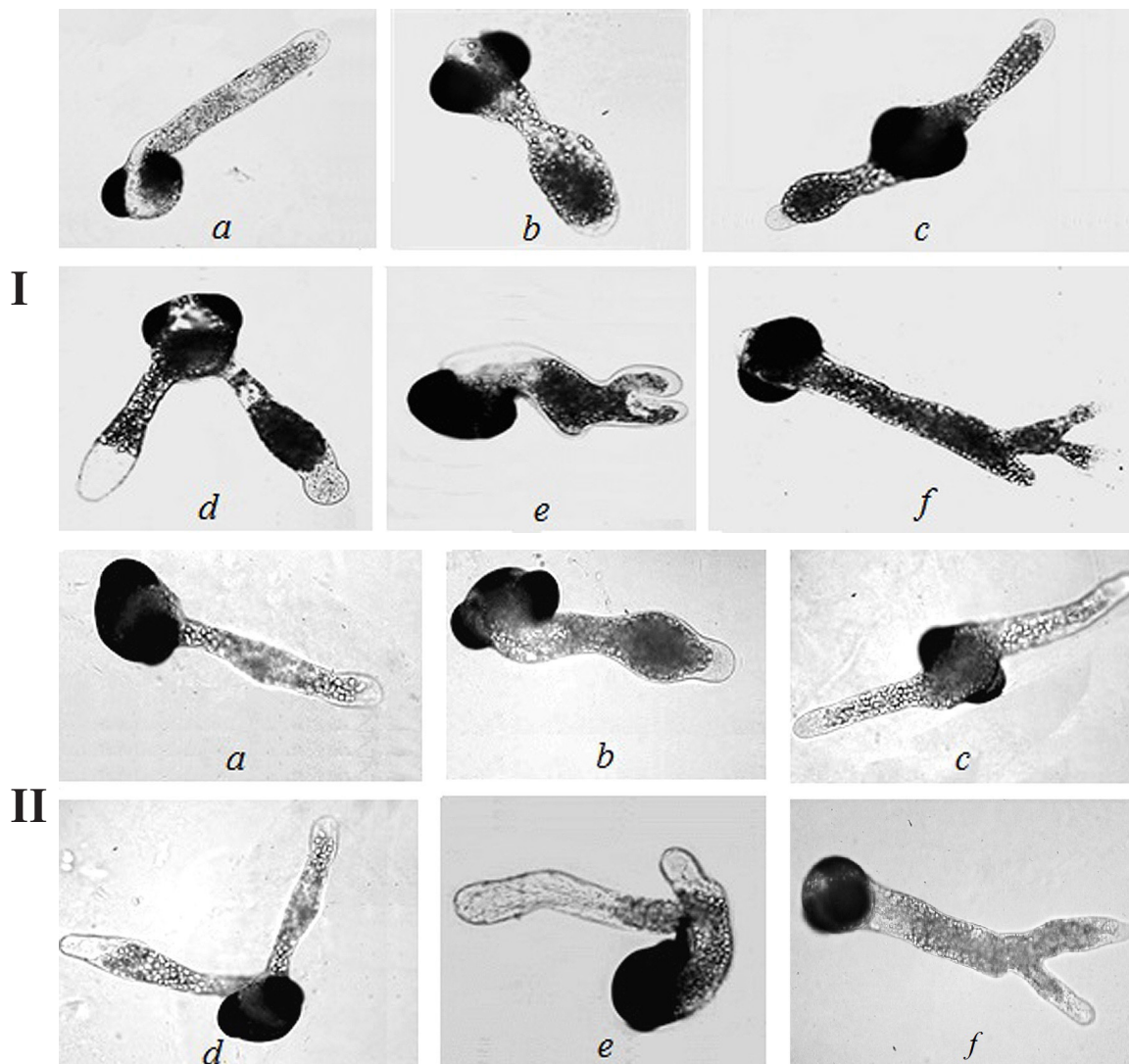


Рис. 4. Вигляд пилоквих трубок при пророщуванні пилку в дерев *Picea abies* (I) і *P. pungens* (II) з насаджень м. Кривий Ріг: *a* – нормальна; аномалії: *b* – потовщення, *c* – дорсовентральне проростання пилку, *d* – утворення двох трубок у дорсальній частині пилку, *e* – викривлення, *f* – розгалуження за типом "оленячі роги"

Fig. 4. Appearance of pollen tubes during pollen germination of *Picea abies* (I) and *P. pungens* (II) from plantations of Kryvyi Rih city: *a* – normal; abnormalities: *b* – thickening, *c* – dorsoventral pollen germination, *d* – formation of two tubes in the dorsal part of pollen, *e* – deformation, *f* – "staghorn" branching type

2,4 разів, а у *P. pungens* відповідно в 1,6 та 2,6 разів порівняно з деревами малозабруднених насаджень. Найменша кількість пилку з аномаліями у *P. pungens* і *P. abies* відмічена у рослин з КБС (№ 1) – 9,0 та 9,2%, що в середньому у 2,2 і 3,5, а також у 2,4 і 3,6 разів менше порівняно з насадженнями, що зростають біля автотранспортних шляхів та металургійних комбінатів.

Аномалії відмічені не лише в будові пилку, а й при пророщуванні візуально нормальних пилоквих зерен у рослин обох видів роду *Picea* (табл. 3). Усі виявлені типи аномалій пилоквих трубок, описані раніше для *Pinus sylvestris* (Korshykov, Laptuyeva, 2014), із різною частотою трапляються в усіх насадженнях Криворіжжя. Частка аномалій росту пилоквих трубок, серед яких потовщення (рис. 4, *b*), дорсовентральне проростання пилку (рис. 4, *c*),

Таблиця 3. Кількість та структура аномалій пилоквих трубок при пророщуванні пилку *Picea abies* і *P. pungens*, зібраного в насадженнях (№ 1–8) Кривого Рогу

Table 3. Quantity and structure of abnormalities in pollen tubes during pollen germination of *Picea abies* and *P. pungens* collected in the plantations (Nos. 1–8) of Kryvyi Rih city

Насадження рослин	Кількість переглянутих пророщених (5,6 день) пилоквих зерен шт.	Довжина пилоквих трубок (мкм)			Частка пилоквих зерен з аномальними трубками, %	Структура аномалій (% загальної кількості)				
		min–max	$M \pm m$	CV %		потовщення пилоквих трубок	дорсовентральне проростання пилоквих зерен	викривлення пилоквих трубок	розгалуження за типом "оленячі роги"	утворення двох трубок у дорсальній частині пилоквого зерна
<i>Picea abies</i>										
№ 1	1284	89,7–229,4	150,7±3,64	25,0	9,5	2,9	0,8	2,6	1,6	1,6
№ 2	1294	78,4–225,7	127,4±3,49*	27,3	10,9	5,1	1,2	1,9	1,0	1,6
№ 3	1348	67,0–218,3	119,4±3,48*	29,0	13,4	3,8	1,3	1,7	2,6	4,0
№ 4	1278	60,8–191,6	100,4±2,78*	27,6	16,9	4,3	1,6	3,2	3,4	4,4
№ 5	1222	57,0–186,4	94,7±3,47*	36,6	19,4	4,7	2,0	3,1	4,4	5,2
№ 6	1243	55,2–177,6	87,6±2,14*	24,3	20,0	5,6	2,7	3,3	3,1	5,3
№ 7	1255	50,1–162,2	85,2±2,16*	25,2	26,4	6,0	2,9	3,6	8,4	5,5
№ 8	1273	47,7–159,5	71,2±1,94*	27,1	29,5	7,6	4,6	6,1	5,7	5,5
<i>Picea pungens</i>										
№ 1	1245	113,3–228,4	151,8±2,43	15,9	8,8	2,1	2,7	0,3	2,2	1,5
№ 2	1234	95,1–224,0	142,9±3,13*	21,8	10,2	3,3	2,6	1,2	1,4	1,7
№ 3	1239	61,3–195,0	123,9±2,64*	21,2	12,4	3,1	1,7	1,3	2,3	4,0
№ 4	1314	49,4–205,2	122,1±4,53*	36,9	15,4	4,4	3,3	1,4	2,4	4,0
№ 5	1375	54,0–198,2	120,7±3,29*	27,1	18,5	4,1	3,6	1,2	5,2	4,4
№ 6	1301	61,2–196,4	99,2±2,92*	29,3	21,5	7,1	4,7	1,6	3,3	4,8
№ 7	1378	47,4–179,7	95,0±2,39*	25,0	24,7	6,5	3,9	2,2	7,3	4,7
№ 8	1429	44,6–165,1	81,2±2,32*	28,4	27,4	10,6	3,8	2,6	6,2	4,3

утворення двох трубок у дорсальній частині пилку (рис. 4, *d*) та викривлення (рис. 4, *e*) в дерев *P. abies* у насадженнях біля "АрселорМіттал Кривий Ріг" була більшою ніж в рослин з КБС в 2,6; 5,8; 3,4; 2,3 разів. А у *P. pungens* за тими ж типами аномалій пилку частка збільшувалась у 5,0; 1,4; 2,9; 8,7 разів відповідно (табл. 4). Найбільший рівень аномалій пилоквих трубок із розгалуженням типу "оленячі роги" (рис. 4, *f*) встановлено в рослин *P. abies* біля ПівнГЗК – 8,4%, що у 5,3 разів більше, ніж у рослин з насаджень КБС.

Сукупна максимальна частка аномальних пилоквих трубок виявлена при пророщуванні пилку, зібраного з дерев *P. abies* та *P. pungens* у насадженнях біля дороги з інтенсивним автотранспортним рухом по проспекту Металургів та поблизу "АрселорМіттал Кривий Ріг" відповідно більша в 2,4 та 3,1 разів, порівняно з пишком рослин із ботанічного саду.

Життєздатність прощеного в лабораторних умовах пилку за показником наявності пилоквих трубок у рослин *P. abies* коливалась в межах 48,3–75,3%, а у *P. pungens* 54,3–78,6%. За літературними даними, у дерев природних популяцій *P. abies* із Фінляндії життєздатність пилку була 62–98%, а довжина пилоквих трубок становила 37,0–252,0 мкм (Nikkanen et al., 2000), тоді як в умовах Криворіжжя – 47,7–229,4 мкм. У інтродукційних насадженнях *P. pungens* Центрального Сибіру життєздатність пилку була 71,6%, а довжина пилоквих трубок 96,9–242,2 мкм (Goryachkina, Sedaeva, 2012), в той час, як у регіоні наших досліджень вона становила 44,6–228,4 мкм. Чим швидше росте пилоква трубка, більша її довжина, тим вища її конкурентна спроможність при заплідненні сім'язчатків. Очевидно, зі збільшенням впливу аеротехногенного забруднення, особливо в умовах міського середовища, у дерев *P. abies* і *P. pungens* зростає відносна кількість пилку, який

при пророщуванні в лабораторних умовах має достовірно меншу довжину пилоквих трубок, навіть при порівнянні з деревами з насаджень КБС. Фактично це призводить до зменшення рівня запліднення насінневих зачатків і кількості повноцінного насіння в рослин, які зазнають суттєвого впливу викидів металургійних комбінатів і вихлопних газів автотранспорту (Huseynova, Korshykov, 2017).

Вищі показники фертильності й життєздатності пилку та дещо менша кількість його аномалій в *Picea pungens* (порівняно з *P. abies*) свідчать про її більш високу стресотолерантність до впливу урботехногенного середовища Кривого Рогу.

Слід відмітити, що обидва види роду *Picea* з насаджень біля металургійних комбінатів мали пилоквих зерен з аномальним розвитком трубок удвічі менше, ніж рослини *Pinus sylvestris*, які раніше досліджували на цій території (Korshikov et al., 2014).

Висновки

Таким чином, нами встановлено, що на якість пилку рослин *P. abies* і *P. pungens* суттєво впливає сукупність факторів промислового міста: надмірна дія вихлопних газів автотранспорту та викидів металургійних підприємств.

Загалом на чоловічу генеративну сферу обох видів роду *Picea* найнегативніше впливають викиди металургійних комбінатів і менше – вихлопні гази автотранспорту. У насадженнях біля підприємств та автошляхів із інтенсивним рухом помітно збільшується кількість недорозвиненого пилку, а його життєздатність та фертильність знижуються, при цьому частка аномального пилку збільшується. Найбільші його частка і спектр, виявлені в дерев *P. abies* і *P. pungens* біля металургійних комбінатів, у 3,6 раза більше ніж у рослин з насаджень КБС. Такий самий рівень відмінностей між пилом цих насаджень (у вигляді патологій пилоквих трубок) встановлений при пророщуванні пилку в лабораторних умовах. За надмірної дії аерополітантів металургійних комбінатів вміст крохмалю в пилку обох видів зменшується майже вдвічі, порівняно з пилом дерев з насаджень ботанічного саду.

Таким чином, показники відносної частки аномального пилку в рослин *P. abies* і *P. pungens* 'Glausa' та патологій розвитку пилоквих трубок при його пророщуванні свідчать про суттєвий негативний вплив забрудненого середовища

на чоловічу генеративну сферу обох видів. Ці показники можна використовувати як доповнення до інструментальних методів в практиці контролю якості міського середовища.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Antonik V.I. In: *Suchasni tekhnologii rozrobky rudnykh rodovyshch. Ekologo-ekonomichni naslidky diyalnosti pidpryyemstv HMK*. Kryvyi Rih, 2017, pp. 180–182. [Антонік В.І. Новий підхід до оцінки рівня шкідливості пилу хвостосховищ та відвалів ГЗК півдня Кривбасу. В зб.: *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: зб. наук. IV Міжнар. наук.-техн. конф. (Кривий Ріг, 24 листопада 2017 р.)*. Кривий Ріг, 2017, с. 180–182].
- Bağcıoğlu M., Zimmermann B., Kohler A. A multiscale vibrational spectroscopic approach for identification and biochemical characterization of pollen. *PLoS One*, 2015, 10(9): 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137899>
- Bilyk O.V., Hrabovyi V.M. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 2006, 16(1): 44–48. [Білик О.В., Грабовий В.М. Ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.) у насадженнях Національного дендропарку "Софіївка" НАН України (інтродукція, розмноження, культивування). *Наук. вісник НЛТУ України*, 2006, 16(1): 44–48].
- Chepik F.A. *Opredelitel derevov i kustarnikov*. Moscow: Agropromizdat, 1985, 232 pp. [Чепик Ф.А. *Определитель деревьев и кустарников*. М.: Агропромиздат, 1985, 232 с.].
- Ekolohichniy pasport mista Kryvoho Rohu*. Kryvyi Rih, 2017, 56 pp. Available at: https://kr.gov.ua/ua/news/pg/190117418982655_n/ (accessed 19 January 2017). [Екологічний паспорт міста Кривого Рогу. Кривий Ріг, 2017, 56 с.].
- Goryachkina O.V., Sedaeva M.I. *Rastitelnyi mir Aziatskoy Rossii*, 2012, 2(10): 27–32. [Горячкина О.В., Седаева М.И. Морфология и качество пыльцы у видов рода *Picea* (Pinaceae) из коллекции дендрария В.Н. Сукачева СО РАН. *Раст. мир Азиат. России*, 2012, 2(10): 27–32].
- Guseynova E.R., Petrushkevich Yu.M., Korshikov I.I. *Nauka i mir*, 2018, 2(54): 8–10. [Гусейнова Э.Р., Петрушкевич Ю.М., Коршиков И.И. Особенности патологий пыльцы у хвойных и лиственных видов растений в условиях Кривбасса. *Наука и мир*, 2018, 2(54): 8–10].
- Hjelmroos M. Interactions between *Betula* spp. pollen and air pollutants. In: *Proceedings of the 2nd European Symposium on Aerobiology (Vienna, Austria, 5–9 Sept. 2000)*. Vienna, 2000, p. 703.
- Huseynova E.R., Korshykov Y.Y. *Introduktsiya roslyn*, 2017, 4(76): 56–62. [Гусейнова Е.Р., Коршиков И.И. Характеристика пилку *Picea abies* в насадженнях Криворіжжя. *Інтродукція рослин*, 2017, 4(76): 56–62].
- Kalashnik N.A. *Byulleten bot. sada Saratov. Gosudarst. un-ta*, 2012, 10(1): 46–52. [Калашник Н.А. Аномалии пыльцы у сосны обыкновенной в различных эколо-

- гических условиях. *Бюл. бот. сада Саратов. гос. ун-та*, 2012, 10(1): 46–52].
- Korshikov I.I., Lapteva E.V., Lisnichuk A.N., Litvinenko Yu.S. *Introduktsiya roslin*, 2014, 3(63): 38–45. [Коршиков И.И., Лаптева Е.В., Лисничук А.Н., Литвиненко Ю.С. Качество пыльцы сосны крымской и с. обыкновенной из насаждений техногенно загрязненных территорий Криворожья. *Интродукція рослин*, 2014, 3(63): 38–45].
- Korshikov I.I., Lapteva O.V. *Ukr. Bot. J.*, 2014, 71(5): 590–598. [Коршиков И.И., Лаптева О.В. Якість пилку *Pinus pallasiana* (Pinaceae) з насаджень екологічно безпечних і техногенно забруднених територій степової зони України. *Укр. бот. журн.*, 2014, 71(5): 590–598]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.05.590>.
- Maqogon I.V., Korshikov I.I. *Byulleten Gosudarst. Nikitskogo bot. sada*, 2012, 105: 107–112. [Макогон И.В., Коршиков И.И. Качество пыльцы в связи с генетическими особенностями *P. abies* (L.) Karst. в интродукционном насаждении. *Бюл. гос. Никит. бот. сада*, 2012, 105: 107–112].
- Maqohon I.V., Korshikov I.I. *Ukr. Bot. J.*, 2010, 67(5): 736–745. [Макогон И.В., Коршиков И.И. Якість пилку та насіннева продуктивність *Picea pungens* Engelm. у зоні викидів металургійних підприємств Донбасу. *Укр. бот. журн.*, 2010, 67(5): 736–745].
- Nikkanen T.O., Aronen T.S., Häggman H.M., Venäläinen M.O. Variation in pollen viability among *Picea abies* genotypes – potential for unequal paternal success. *Theor. and Appl. Genetics*, 2000, 101(4): 511–518.
- Noskova N.E., Tret'yakova I.N. *Khvoynye borealnoy zony*, 2006, 23(3): 54–63. [Носкова Н.Е., Третьякова И.Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной. *Хвойные бореальной зоны*, 2006, 23(3): 54–63].
- Pausheva Z.P. *Praktikum po tsitologii rasteniy*. Moscow: Agropromizdat, 1988, 256 pp. [Паушева З.П. *Практикум по цитологии растений*. М.: Агропромиздат, 1988, 256 с.].
- Polyakov A.K. *Introduktsiya drevesnykh rasteniy v usloviyakh tekhnogennoy sredy*. Donetsk: Noulidzh, 2009, 268 pp. [Поляков А.К. *Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды*. Донецк: Ноулидж, 2009, 268 с.].
- Tret'yakova I.N., Noskova N.E. *Ekologiya*, 2004, 1: 26–33. [Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса. *Экология*, 2004, 1: 26–33].
- Turpitsyn S.S. *AgroEkoInfo*, 2015, 6: 1–11. [Тупицын С.С. Мужская генеративная сфера сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных экологических условиях. *АгроЭкоИнфо*, 2015, 6: 1–11].
- Zirui J., Junhui W., Shougong Z. Pollen morphology of 20 species in *Picea* by scanning electron microscope. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(5): 49–61.

Рекомендує до друку
Г.В. Бойко

Надійшла 28.02.2018

Коршиков І.І.^{1,2}, Гусейнова Е.Р.¹ **Особливості пилку рослин *Picea abies* та *P. pungens* (Pinaceae) в насадженнях на території Криворіжжя.** Укр. бот. журн., 2018, 75(5): 446–456.

¹Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 50, Кривий Ріг 50089, Україна

²Донецький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака, 16А, Кривий Ріг 50089, Україна

Проведено комплексний аналіз морфометричних показників життєздатності та якості пилку дерев *Picea abies* і *P. pungens* у насадженнях з різним рівнем аеротехногенного навантаження в умовах Кривого Рогу – великого промислового міста Степової зони України. Об'єктом вивчення був пилок 30–40-річних дерев *P. abies* і *P. pungens* (досліджували дерева з голубовато-зеленою хвоею сорту 'Glausa') з восьми насаджень, які були розташовані з північного сходу на південний захід (протяжністю 126 км) з різним рівнем техногенного навантаження. У ході досліджень показано негативний вплив вихлопних газів автотранспорту і, особливо, викидів великих металургійних підприємств Криворіжжя на життєздатність та фертильність пилку та розвиток його аномалій у рослин *P. abies* і *P. pungens*. Максимальні показники довжини пилкових зерен (113,0 та 118,5 мкм), найвища життєздатність (75,3 та 78,6%), фертильність пилку (83,8 та 86,8%) і низька відносна кількість його аномалій (9,0 та 9,2%) відмічені відповідно в рослин *P. abies* і *P. pungens* з насаджень Криворізького ботанічного саду НАН України. Мінімальні показники довжини пилку в обох видів (відповідно 91,5 та 101,7 мкм), найнижча життєздатність (48,3 та 54,3%), фертильність пилку (46,5 та 48,9%) та найбільша кількість аномалій (35,9 та 33,6%) встановлені для дерев, що підпадають під надмірний вплив викидів металургійних комбінатів. Встановлено 8 типів аномалій пилку в рослин обох видів з насаджень ботанічного саду і 13 типів у рослин, що зростали біля металургійних комбінатів. Вихлопні гази автотранспорту також негативно впливають на якість пилку обох видів. Так, частка аномального пилку в *P. abies* становила 17,4–24,7%, у *P. pungens* 13,7–25,1%. П'ять типів аномалій виявлено і при пророщуванні пилку в лабораторних умовах. Відносна кількість цих аномалій суттєво більшою була в дерев *P. abies* (26,4–29,5%), що знаходяться під прямим впливом викидів металургійних комбінатів, і меншою – в *P. pungens* (15,4–21,5%), на які впливають вихлопні гази автотранспорту. Дослідженнями підтверджено, що чоловіча генеративна сфера *P. abies* чутливіша до впливу урботехногенного середовища, ніж така у *P. pungens*, що проявляється у більш низькій фертильності й життєздатності пилку та утворенні більшої кількості його аномалій.

Ключові слова: *Picea abies*, *Picea pungens* 'Glausa', життєздатність пилку, аномалії, пилкові трубки, степова зона, урботехногенне середовище

Коршиков И.И.^{1,2}, Гусейнова Э.Р.¹ **Особенности пыльцы растений *Picea abies* и *P. pungens* (Pinaceae) в насаждениях на территории Криворожья.** Укр. бот. журн., 2018, 75(5): 446–456.

¹Криворожский ботанический сад НАН Украины
ул. Маршака, 50, Кривой Рог 50089, Украина

²Донецкий ботанический сад НАН Украины
ул. Маршака, 16А, Кривой Рог 50089, Украина

Проведен комплексний аналіз морфометричних показателів, життєспособності і якості пилку *Picea abies* і *P. pungens* в насадженнях з різним рівнем аеротехногенного впливу в умовах Кривого Рогу – крупного промислового міста Степової зони України. Об'єктом вивчення була пыльца 30–40-річних дерев *P. abies* і *P. pungens* (визучали дерева з голубовато-зеленою хвоею сорта 'Glausa') з восьми насаджень, розположених с северо-востока на юго-запад (протяженностью 126 км) с различным уровнем техногенной нагрузки. В ходе исследований показано негативное влияние выхлопных газов автотранспорта и, особенно, выбросов крупных металлургических предприятий Криворожья на жизнеспособность и фертильность пыльцы и развитие ее аномалий у растений *P. abies* и *P. pungens*. Максимальные показатели длины пыльцевых зерен (113,0 и 118,5 мкм), наибольшая жизнеспособность (75,3 и 78,6%), фертильность пыльцы (83,8 и 86,8%), относительное низкое количество ее аномалий (9,0 и 9,2%) отмечены соответственно у растений *P. abies* и *P. pungens* из насаждений Криворожского ботанического сада НАН Украины. Минимальные показатели длины пыльцы у двух видов (соответственно 91,5 и 101,7 мкм), самая низкая жизнеспособность (48,3 и 54,3%), фертильность пыльцы (46,5 и 48,9%) и большое количество аномалий (35,9 и 33,6%) отмечены для деревьев, находящихся под прямым влиянием выбросов металлургических комбинатов. Установлено 8 типов аномалий пыльцы у растений обоих видов из насаждений ботанического сада и 13 типов у растений, произрастающих возле металлургических комбинатов. Выхлопные газы автотранспорта также негативно влияют на качество пыльцы обоих видов. Так, доля аномальной пыльцы у *P. abies* составляла 17,4–24,7%, у *P. pungens* 13,7–25,1%. Пять типов аномалий обнаружено при прорастивании пыльцы в лабораторных условиях. Относительное количество этих аномалий значительно большим было у растений *P. abies* (26,4–29,5%), которые находятся под прямым воздействием выбросов металлургических комбинатов, и меньшим у *P. pungens* (15,4–21,5%), на которые влияют выхлопные газы автотранспорта. Исследованиями подтверждено, что мужская генеративная сфера у растений *P. abies* более чувствительна к воздействию урботехногенной среды, чем у *P. pungens*, что проявляется в более низкой фертильности и жизнеспособности пыльцы и образовании большего количества ее аномалий.

Ключевые слова: *Picea abies*, *Picea pungens* 'Glausa', жизнеспособность пыльцы, аномалии, пыльцевые трубки, степная зона, урботехногенная среда