

УДК 582.951.6

В.М. ГРИШКО, Н.В. МАШТАЛЕР

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

ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНОЇ СФЕРИ ДЕЯКИХ ВИДІВ РОДУ *PENSTEMON SCHMIDEL.* В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО МАЙДАНЧИКА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Наведено результати вивчення впливу викидів гірничо-збагачувального підприємства ВАТ "Північний гірничо-збагачувальний комбінат" на розвиток генеративної сфери п'яти видів роду *Penstemon Schmidel.*: *P. arizonicus* A. Heller, *P. cobeia* (Nutt.) Grosswhite, *P. digitalis* Benth., *P. laevigatus* Soland, *P. venustus* Dougl. Досліджено характеристики квітки та суцвіття, особливості ультраструктури поверхні пилкових зерен, їхні розміри та життєздатність пилку.

За даними Національного інституту стратегічних досліджень, Придніпровський регіон, і особливо Дніпропетровська область, займають друге після Чорнобильської зони місце за рівнем екологічної небезпеки [1, 16]. Одним з чинників, що значною мірою сприяють оздоровленню навколишнього середовища промислових зон є озеленення територій підприємств. Актуальним залишається розширення видового та сортового асортименту квітникових культур. Резерви використання квітково-декоративних рослин в озелененні ще не вичерпані [11], але при підборі асортименту видів для вирощування на промислових майданчиках необхідно враховувати стійкість культиварів до дії токсикантів та здатність зберігати декоративні якості в умовах забруднення [6–9]. Якщо для більшості деревних рослин вивчено наслідки впливу забруднення (зміна біологічних ритмів розвитку, пригнічення росту тощо), то для багаторічних квітково-декоративних видів (зокрема, видів роду *Penstemon*) такі дослідження не проводили [5, 22]. Тому метою роботи було

встановлення особливостей впливу викидів гірничо-переробного підприємства на генеративний розвиток деяких видів роду *Penstemon*.

Об'єктами вивчення були *Penstemon arizonicus* A. Heller, *P. cobeia* (Nutt.) Grosswhite, *P. digitalis* Benth., *P. laevigatus* Soland, *P. venustus* Dougl. Дослідні рослини вирощували на моніторингових ділянках промислового майданчика ВАТ "Північний гірничо-збагачувальний комбінат" (ПівнГЗК) з 2004 р. Основними компонентами аерозольних промислових викидів підприємства є пил (зі значним вмістом важких металів) та газоподібні речовини (окиси азоту, сірки, моноокис вуглицю) [2]. За даними Державної екологічної інспекції у Дніпропетровській області, викиди твердих речовин на ПівнГЗК у 2006 р. становили 70% від загального обсягу забруднювачів і за останній рік зросли на 20% за рахунок збільшення обсягів виробництва.

За умовний контроль прийнято рослини колекції Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС НАНУ). Догляд за рослинами був однаковим. Фенологічні спостереження проводили за прийнятою у бота-

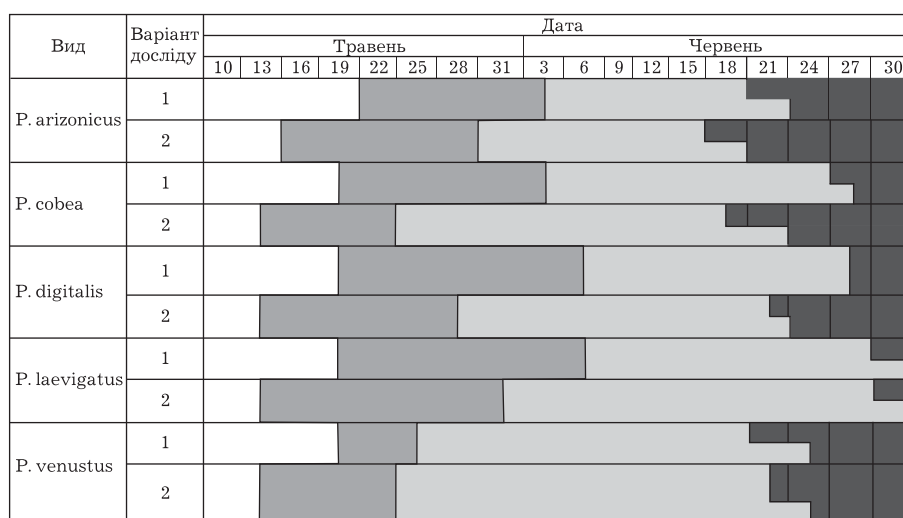


Рис. 1. Феноспектри видів роду *Penstemon* за різних умов вирощування: 1 — колекція КБС НАНУ; 2 — промисловий майданчик ПівнГЗК

■ — фаза бутонізації □ — фаза цвітіння ■ — фаза плодоношення

нічних садах методикою [14]. Особливості ультраструктури поверхні пилкових зерен вивчали за загальноприйнятими методами за допомогою скануючого електронного мікроскопа ("JSM-35С") [18]. Опис морфології пилку проводили за П.І. Токаревим [21]. Життєздатність пилку визначали, фарбуючи пилку йодним розчином, за допомогою світлового мікроскопа ("Мікмед-2") при 160-кратному збільшенні (досліджували не менше 500 пилкових зерен) [17]. Результати досліджень обробляли методами варіаційної статистики [10].

Однією з найважливіших біологічних характеристик виду є сезонний ритм розвитку. Вивчення ритму розвитку досліджуваних видів роду *Penstemon* засвідчило, що строки та тривалість проходження ними фенофаз мало відрізняються. Початок фази вегетації рослин роду *Penstemon* залежить від весняного переходу середньодобових температур повітря до стійких позитивних значень, а закінчення — збігається з настанням осінніх приморозків [12]. Тривалість вегетаційного періоду досліджених видів у кліматичних умовах Криворіжжя становить 190–244 дні. В умовах промислового майданчика у рослин роду

Penstemon формування пуп'янків починається на 4 дні раніше, ніж у контрольних умовах (рис. 1). Відповідно і цвітіння починається раніше на 5–10 днів. Найбільша тривалість цвітіння рослин, як в умовах промислового майданчика, так і в умовах ботанічного саду, зафіксована у рослин *P. venustus* та *P. laevigatus* (25 та 30 днів відповідно), найменша — у рослин *P. arizonicus* та *P. digitalis* — відповідно 18 та 22 дні. Тривалість фази цвітіння в обох варіантах дослідів була однаковою для рослин *P. cobeia* (25 днів).

Фаза плодоношення у рослин, які вирощують на промисловому майданчику, починається на 10 днів раніше і триває до першої декади жовтня, тоді як в особин з колекції ботанічного саду — до третьої декади вересня (див. рис. 1). Отримані результати свідчать, що в усіх видів роду *Penstemon* в умовах промислового майданчика утворюється нормально розвинений плід — двогнізда багатонасіннева коробочка коричневого кольору, з голою, жилкуватою поверхнею. Рослини як у колекціях ботанічного саду, так і на промисловому майданчику, мають високий відсоток плодотворення (від 85 до 90%), що є показни-

Таблиця 1. Розвиток генеративної сфери видів роду *Penstemon* за різних умов вирощування

Моніторингова ділянка	Висота суцвіття, см		Кількість квіток, шт.		Діаметр квітки, см		Висота квітки, см	
	M ± m	% до контролю	M ± m	% до контролю	M ± m	% до контролю	M ± m	% до контролю
<i>P. arizonicus</i>								
КБС НАНУ	4,79 ± 0,3	—	32,72 ± 0,75	—	1,24 ± 0,01	—	2,83 ± 0,01	—
ПівнГЗК	3,23 ± 0,1*	67,5	23,32 ± 0,46*	71,3	1,11 ± 0,01*	89,6	2,67 ± 0,02*	94,3
<i>P. sobea</i>								
КБС НАНУ	12,75 ± 0,74	—	63,24 ± 0,89	—	1,51 ± 0,01	—	2,97 ± 0,01	—
ПівнГЗК	12,07 ± 0,19	94,6	54,08 ± 1,35*	85,5	1,96 ± 0,03*	129,9	3,43 ± 0,03*	115,6
<i>P. digitalis</i>								
КБС НАНУ	10,5 ± 0,34	—	87,1 ± 2,1	—	1,9 ± 0,03	—	2,9 ± 0,02	—
ПівнГЗК	12,8 ± 0,8*	122,2	69,7 ± 1,0*	80,1	2,2*	115,8	3,2 ± 0,01*	109,9
<i>P. laevigatus</i>								
КБС НАНУ	17,08 ± 0,68	—	65,8 ± 1,87	—	1,77 ± 0,03	—	2,87 ± 0,02	—
ПівнГЗК	13,12 ± 0,73*	76,8	50,08 ± 1,20*	76,1	1,80 ± 0,03	102,0	2,76 ± 0,02*	96,2
<i>P. venustus</i>								
КБС НАНУ	10,7 ± 0,43	—	43,8 ± 1,0	—	0,9 ± 0,02	—	2,2 ± 0,01	—
ПівнГЗК	9,4 ± 0,3*	88,0	36,8 ± 0,8*	84,1	0,9	99,6	2,4 ± 0,1	108,7

Примітка: * — Різниця статистично достовірна щодо контролю ($p < 0,05$).

ком відповідності сезонного ритму розвитку інтродукованих рослин умовам вирощування [15]. Коробочки всіх видів успішно дозрівають наприкінці вегетації.

Одним із чинників, що свідчать про адаптаційні можливості рослин, є показники продуктивності та розвитку генеративної сфери інтродуцентів. Аналіз отриманих даних засвідчив, що в умовах промислового майданчика у більшості видів спостерігається статистично достовірне зменшення висоти суцвіття (табл. 1). Найбільше його зменшення (на 33%) відзначено у рослин *P. arizonicus*. Дещо менше (на 23%) — у рослин *P. laevigatus*. Найменше (на 12%) пригнічується ріст генеративних пагонів у рослин *P. venustus*, тоді як у *P. sobea* вплив забруднення не призводив до статистично достовірної зміни висоти суцвіття. У рослин *P. digitalis* формувалися на 20% вищі суцвіття, ніж у контролі.

Усі види роду *Penstemon* в умовах промислового майданчика формують нормально розвинені органи, без прояву тератогенезу.

Численні квітки рослин роду *Penstemon* зібрані у верхівкові волотеподібні (*P. sobea*, *P. digitalis* та *P. laevigatus*) або гроноподібні

(*P. arizonicus*, *P. venustus*) суцвіття. В усіх видів в умовах промислового майданчика зафіксоване статистично достовірне зменшення кількості квіток у суцвітті — від 15 (*P. sobea*) до 29% (*P. arizonicus*).

Отримані нами дані свідчать про видоспецифічний вплив умов промислового забруднення на формування квіток у рослин роду *Penstemon*. Зокрема у рослин *P. sobea* та *P. digitalis* утворювалися квітки більші за розміром, ніж у контрольному варіанті. Найістотніше збільшення як висоти, так і діаметра квітки (на 30 і 16% відповідно) спостерігали у рослин *P. sobea* (див. табл. 1), тоді як у *P. arizonicus* формувалися квітки достовірно менші за висотою і діаметром, ніж в умовному контролі.

Доведено, що умови вирощування рослин впливають на стан пилкових зерен та їхню життєздатність [13, 19, 23, 24]. Аналіз результатів вивчення життєздатності пилкових зерен видів роду *Penstemon* засвідчив негативний вплив на рослини промислових викидів. Так, якщо в контролі у рослин роду *Penstemon* пилкові зерна мають високу життєздатність (95%), то в

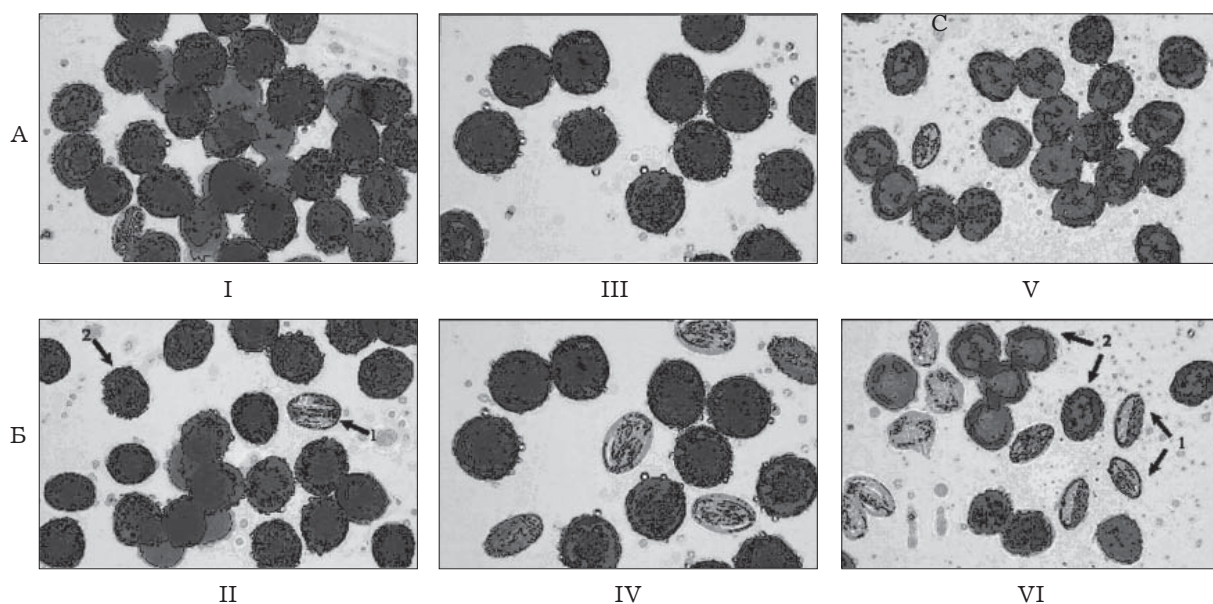


Рис. 2. Стерильність пилку видів роду *Penstemon*: А — колекція КБС НАНУ; Б — промисловий майданчик ПівнГЗК; 1 — стерильний пилкок; 2 — фертильний пилкок; I, II — *P. arizonicus*; III, IV — *P. digitalis*; V, VI — *P. cobeia*

Таблиця 2. Життєздатність та розміри пилку видів роду *Penstemon*

Моніторингова ділянка	Ширина, мкм		Довжина, мкм		Стерильність, %
	М ± m	% до контролю	М ± m	% до контролю	
			<i>P. arizonicus</i>		
КБС НАНУ	11,6 ± 0,31	—	24,9 ± 0,41	—	5,0
ПівнГЗК	12,1 ± 0,28	104,0	23,1 ± 0,35*	92,9	46,3
			<i>P. cobeia</i>		
КБС НАНУ	14,4 ± 0,33	—	28,7 ± 0,52	—	5,0
ПівнГЗК	14,0 ± 0,26	97,4	27,2 ± 0,67	94,5	6,4
			<i>P. digitalis</i>		
КБС НАНУ	13,2 ± 0,28	—	28,4 ± 0,43	—	4,8
ПівнГЗК	13,1 ± 0,29	99,3	27,1 ± 0,49	95,4	8,7
			<i>P. laevigatus</i>		
КБС НАНУ	14,2 ± 0,34	—	29,9 ± 0,34	—	6,0
ПівнГЗК	14,3 ± 0,27	100,7	29,8 ± 0,34	99,4	16,9
			<i>P. venustus</i>		
КБС НАНУ	10,1 ± 0,23	—	20,7 ± 0,49	—	5,2
ПівнГЗК	10,3 ± 0,23	101,8	19,7 ± 0,42	95,1	26,3

Примітка: * — Різниця статистично достовірна щодо контролю (p < 0,05).

умовах промислового забруднення в нормально сформованих пиляках утворюється пилкок зі зниженою фертильністю (рис. 2). Найбільшу втрату життєздатності пил-

ку (майже у 10 разів) зафіксовано у рослин *P. arizonicus* (табл. 2). У *P. venustus*, *P. laevigatus* та *P. digitalis* пилкок, що сформувався в умовах промислового забруднення,

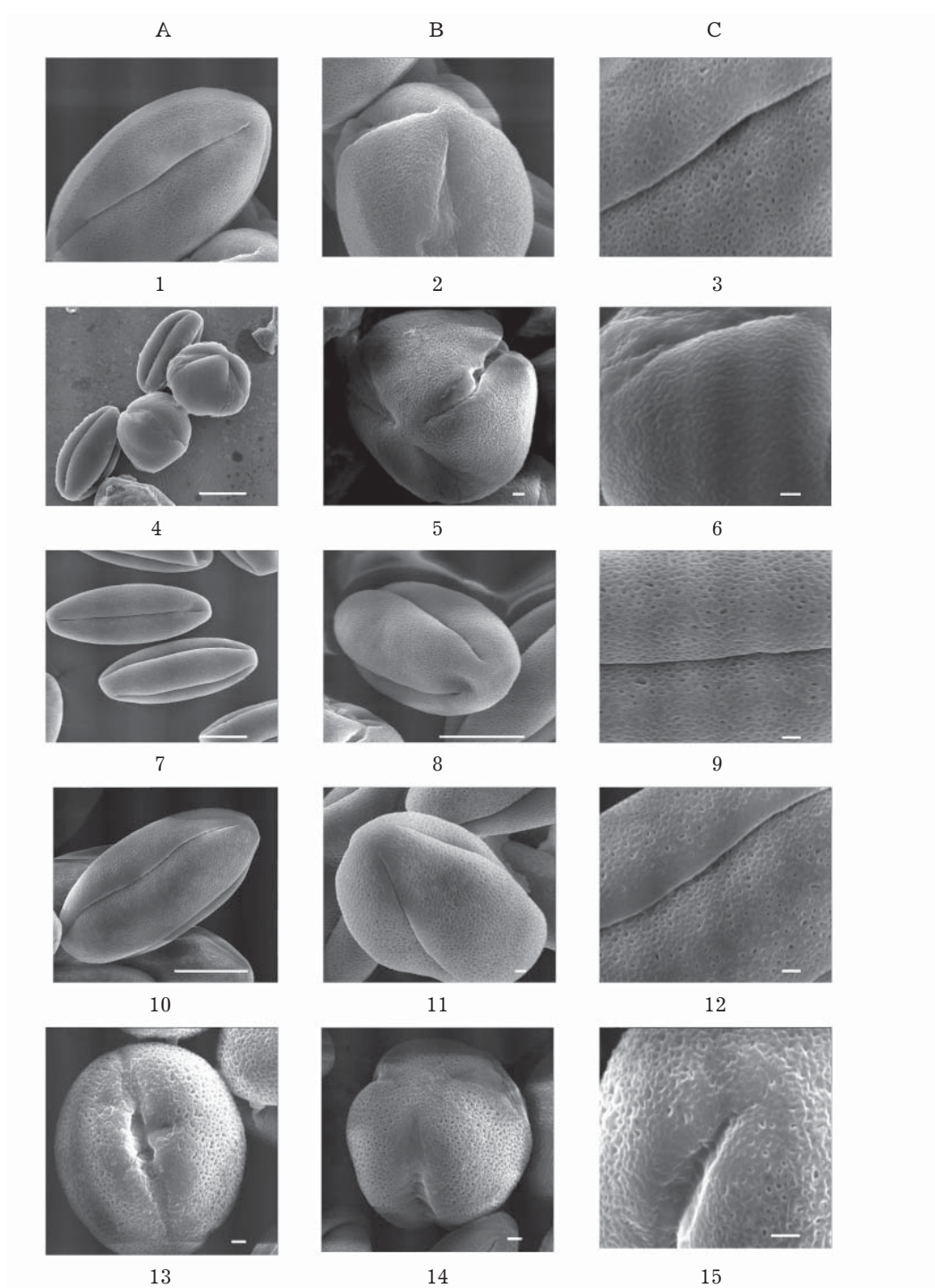


Рис. 3. Ультраструктура пилку видів роду *Penstemon*: А — вид з екватора; В — вид з полюса; С — структура екзини; 1 — *P. arizonicus* ($\times 4000$); 2 — *P. arizonicus* ($\times 4800$); 3 — *P. arizonicus* ($\times 8600$); 4 — *P. cobeae* ($\times 2000$); 5 — *P. cobeae* ($\times 4800$); 6 — *P. cobeae* ($\times 8600$); 7 — *P. digitalis* ($\times 2000$); 8 — *P. digitalis* ($\times 3600$); 9 — *P. digitalis* ($\times 7800$); 10 — *P. laevigatus* ($\times 3200$); 11 — *P. laevigatus* ($\times 4400$); 12 — *P. laevigatus* ($\times 7800$); 13 — *P. venustus* ($\times 6000$); 14 — *P. venustus* ($\times 6000$); 15 — *P. venustus* ($\times 12\ 000$).

мав у 2–5 разів більшу стерильність, ніж у рослин колекції ботанічного саду. Найменшу втрату життєздатності пилку спостерігали у рослин *P. cobeae*.

У досліджених видів роду *Penstemon* пилкові зерна симетричні, за формою еліпсоїдальні або сплющено-сфероїдальні, в обрисі з полюса — округло-трилопатеві, з екватора — еліптичні, округлі або видовжено-округлі (рис. 3). Пилкові зерна меридіонально триборозні, борозни довгі, різної ширини, глибокі, з гострими кінцями; краї борозен рівні, а скульптура поверхні мембран борозен у деяких випадках відрізняється від скульптури поверхні екзани міжпертурних ділянок меншою кількістю структурних одиниць (*P. laevigatus*, *P. venustus*). У центральній частині мембран борозен пилкових зерен рослин *P. venustus* є булавоподібні вирости, а у *P. cobeae* — трищини різної глибини. Скульптура поверхні пилкових зерен рослин *P. arizonicus*, *P. cobeae* та *P. venustus* різнощотчаста, а у *P. digitalis* та *P. laevigatus* — різноямчаста; за розташуванням скульптурних одиниць поверхня рівномірно або нерівномірно скульптурована. Встановлено, що несприятливі умови промислового майданчика практично не впливають на розміри пилку (див. табл. 2). Лише у рослин *P. arizonicus* в умовах забруднення спостерігали достовірне зменшення довжини пилкового зерна. Отже, розміри пилкових зерен є одним із стабільних показників розвитку генеративної сфери видів роду *Penstemon*.

У результаті вивчення розвитку рослин *P. arizonicus*, *P. cobeae*, *P. digitalis*, *P. laevigatus* та *P. venustus* в умовах промислового майданчика гірничо-збагачувального підприємства встановлено, що всі рослини проходять повний цикл розвитку, хоча настання більшості основних фенологічних фаз відбувається на 4–10 днів раніше. У рослин формуються нормально розвинені органи, без проявів тератогенезу, в період цвітіння зберігаються основні декоративні якості, але утворюються зазвичай менші суцвіття, які складаються з меншої (на 20–30%) кількості квіток. Найсуттєвіше змен-

шення життєздатності пилку (майже в 10 разів) встановлено у рослин *P. arizonicus*, найменше — у рослин *P. cobeae*. Розмір пилкових зерен є одним із стабільних показників формування генеративної сфери у видів роду *Penstemon* в умовах гірничо-збагачувального підприємства.

1. Агаркова Н.В., Качинський А.Б., Степаненко А.С. Регіональний вимір екологічної безпеки України з урахуванням загроз виникнення техногенних і природних катастроф // Екологічна безпека. — 1996. — Вип. 2. — С. 74–80.

2. Багрій І.Д., Білоус Ф.М., Вілкул Ю.Г. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська. — К.: Фенікс, 2000. — 110 с.

3. Бессонова В.П. Цитофизиологические эффекты воздействия тяжелых металлов на рост и развитие растений. — Запорожье: Изд-во ЗГУ, 1999. — 208 с.

4. Бессонова В.П., Фендюр Л.М. Аномалия развития цветков и соцветий декоративных цветочных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Питання біоіндикації та екології. — 2004. — Вип. 9, № 2. — С. 74–96.

5. Бессонова В.М., Фендюр Л.М., Іванченко О.С. Оцінка стану асиміляційної поверхні декоративних квіткових рослин при надлишку заліза та хрому у навколишньому середовищі // Питання біоіндикації та екології. — 2003. — Вип. 8, № 2. — С. 51–73.

6. Бессонова В.П., Яковлева С.О. Интродуцированные декоративные цветочные растения в озеленении промышленных предприятий. Влияние ингредиентов промышленных выбросов на морфолого-анатомические и физиологические показатели // Питання біоіндикації та екології. — 2001. — Вип. 6, № 3. — С. 11–19.

7. Булах П.Е. Фенологические критерии устойчивости в интродукции растений // Интродукція рослин. — 2005. — № 4. — С. 9–19.

8. Влияние загрязнений воздуха на растительность / С. Бертини, Х. Эндерлайн, Ф. Энгманн и др.; Под ред. Х.-Г. Десселера. — М.: Лесн. пром-сть, 1981. — 184 с.

9. Добровольский И.А. Ассортимент древесных растений для озеленения техногенных ландшафтов. — Новосибирск: Наука, 1980. — 48 с.

10. Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Колос, 1973. — 336 с.

11. Левон Ф.М., Кузнецов С.І. Концептуальні аспекти формування міських зелених насаджень у сучасних умовах // Інтродукція рослин. — 2006. — № 4. — С. 53—57.

12. Машталер Н.В. Особливості розвитку видів роду *Penstemon* Schmidel. в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України // Матеріали між-нар. наук. конф. "Проблеми збереження, відновлення та збагачення біорізноманітності в умовах антропогенно зміненого середовища". — Дніпропетровськ: Проспект, 2005. — С. 257—259.

13. Машталер Н.В., Гришко В.Н. Формування пилку деяких видів пенстемон в умовах техногенного забруднення // Екологічні дослідження у промислових регіонах України. — Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. — С. 57—58.

14. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. — М.: ГБС, 1975. — 27 с.

15. Мишкина М.И. Накопление меди в листьях декоративных цветочных растений в условиях техногенеза // Матер. междунар. конф. "Проблемы дендрологии, цветоводства, плодоводства, виноградарства". — Ялта, 1996. — С. 107—109.

16. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 р. — К.: Мін-во екології та природних ресурсів України, 2001. — 184 с.

17. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. — М.: Колос, 1970. — 255 с.

18. Савицкий В.Д. К методике исследования пыльцы под сканирующим микроскопом // VI конференция молодых ученых-ботаников. — К.: Наук. думка, 1979. — С. 47—48.

19. Севастьянов В.Е., Захаренко Г.С. Цитоморфологическая характеристика пыльцы кипариса аризонского (*Cupressus arisonica* Greene) в Крыму // Інтродукція рослин. — 2007. — № 2. — С. 39—48.

20. Терактогенез рослин на південному сході України / О.З. Глухов, Г.І. Хархота, Г.С. Назаренко, А.Ф. Ліханов. — Донецьк: Норд-прес, 2005. — 179 с.

21. Токарев П.И. Морфология и ультраструктура пыльцевых зерен. — М.: Изд-во товарищества научных изданий КМК, 2002. — 51 с.

22. Фендюр Л.М. Биологическая оценка декоративных однолетних растений в условиях электрометаллургического завода и фитоиндикация загрязнения среды железом и хромом: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / ННЦ—НБС. — Ялта, 2006. — 24 с.

23. Cox R.M. Sensitivity of forest plant reproduction to long-range transported air pollutants: the effects of wet deposited acidity and copper on repro-

duction of *Populus tremunloides* // New Phytol. — 1988. — Vol. 110, N 1. — P. 33—38.

24. Dhingern H.R., Vargnese T.M. Effect of growth regulators on the in vitro germination an tube growth of maize (*Zea mays* L.) pollen from plants raised under sodium chloride salinity // New Phytol. — 1985. — Vol. 100, N 4. — P. 563—569.

Рекомендував до друку Ф.М. Левон

В.Н. Гришко, Н.В. Машталер

Криворожский ботанический сад НАН Украины, Украина, г. Кривой Рог

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНОЙ СФЕРЫ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА PENSTEMON SCHMIDEL. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Приведены результаты изучения влияния выбросов горно-обогатительного предприятия ОАО "Северный горно-обогатительный комбинат" на развитие генеративной сферы пяти видов рода *Penstemon* Schmidel.: *P. arizonicus* A. Heller, *P. cobeia* (Nutt.) Grosswhite, *P. digitalis* Benth., *P. laevigatus* Soland, *P. venustus* Dougl. Исследованы характеристики цветка и соцветий, особенности ультраструктуры поверхности пыльцевых зерен, их размеры и жизнеспособность пыльцы.

V.M. Gryshko, N.V. Mashtaler

Kryvyi Rig Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kryvyi Rig

INFLUENCE OF CONTAMINATION ON GENERIC SPHERE FORMING OF SOME SPECIES OF PENSTEMON SCHMIDEL. GENUS IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL GROUND OF ORE MINING AND PROCESSING ENTERPRISE

The results of study of ore mining and processing enterprise "North ore mining and processing combine" Ltd influencing on generic development of five species of *Penstemon* Schmidel. genus: *P. arizonicus* A. Heller, *P. cobeia* (Nutt.) Grosswhite, *P. digitalis* Benth., *P. laevigatus* Soland, *P. venustus* Dougl are presented. Characteristics of flowers and souvetye the features of surface ultrastructure of antheriferous corns, their sizes and pollen viability are investigated.