

И.И. Коршиков¹, Е.В. Лаптева², Ю.С. Литвиненко³

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ КРЫМСКОЙ (*PINUS PALLASIANA* D. DON) В ИНТРОДУКЦИОННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Pinus pallasiana, пыльца, аномалии, техногенное загрязнение

Введение

В озеленении промышленных регионов и городов степной зоны Украины, в подавляющем большинстве, используются древесные растения-интродуценты. Со второй половины XX века в озеленении городов, техногенно загрязненных и нарушенных территорий, в том числе железорудных отвалов Криворожья, массово используется *Pinus pallasiana* D. Don [7].

В ряде публикаций показано, что в условиях техногенного стресса у видов рода *Pinus* L. снижается жизнеспособность пыльцы, увеличивается количество пыльцы с различными аномалиями [1, 13, 17]. Аномалии развития пыльцы и уровень ее тератогенеза рассматривают как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях [19]. Для индикации загрязненности среды аэрополлютантами по изменениям морфопризнаков пыльцы чаще всего используют хвойные [2, 17, 21].

Прежде чем применять показатели качества и аномалий пыльцы *P. pallasiana* насаждений промышленно загрязненных территорий для оценки состояния окружающей среды, необходимо определить и описать ее аномально-тератоморфные формы. В таких исследованиях важно выяснить фоновые изменения пыльцы, которые всегда присутствуют в природных популяциях [3, 4, 10, 15]. Ряд работ посвящено описанию аномалий пыльцы *Pinus sylvestris* L. [11–13]. В классической работе М.Х. Моносзон-Смолиной [9] показано, что большое значение для характеристики пыльцы имеют форма и размер воздушных мешков. Обычно воздушные мешки имеют почти шаровидную форму, когда длина мешка близка к его высоте. Т.А. Мельникова [8] выделила для видов рода *Pinus* восемь морфотипов атипичных пыльцевых зерен, которые отличаются от нормально развитых размерами, формой, количеством и способом соединения воздушных мешков между собой. О.Ф. Дзюбой [2] предложены семь морфотипов пыльцевых зерен в зависимости от количества воздушных мешков и степени их развития. С.С. Тупицын и др. [19] выделяют четыре типа аномально-тератоморфных форм пыльцевых зерен у *P. sylvestris*: 1) пыльцевые зерна с диспропорционально развитым телом или воздушными мешками, асимметрией воздушных мешков; 2) пыльцевые зерна с аномальными размерами, условно названные «карлики» и «гиганты»; 3) пыльцевые зерна с отклонениями в нормальном развитии экзины, которая либо утолщена, либо истончена; 4) пыльцевые зерна с изменениями в морфотипе: отсутствие одного или двух воздушных мешков, недоразвитие воздушных мешков и замена их «бахромой», аномальное количество воздушных мешков (более двух), опухолеподобные новообразования на теле пыльцевого зерна или воздушных мешках. Уровень тератоморфизма пыльцы *P. pallasiana* в насаждениях г. Кривого Рога ранее не изучали.

Цель работы – анализ спектра аномалий пыльцы у *P. pallasiana* в интродукционных насаждениях из техногенно загрязненных районов г. Кривого Рога и биосферного заповедника «Аскания-Нова» им. Ф.Е. Фальц-Фейна.

Объекты и методы исследований

Материалом для исследования послужила свежесобранная пыльца *P. pallasiana* из четырех интродукционных насаждений. Это 25 деревьев 70-летнего возраста из дендропарка биосферного заповедника «Аскания-Нова» им. Ф.Е. Фальц-Фейна, а также по 10 деревьев 30-летнего возраста из трех насаждений г. Кривого Рога. Насаждения *P. pallasiana* в Кривом Роге в большей или меньшей степени подвергаются влиянию аэрополлютантов. Одно из них в дендрарии Криворожского ботанического сада НАН Украины, расположенного в 3 км от Северного горно-обогатительного комбината; второе находится в непосредственной близости от Криворожского металлургического комбината; третье – на Первомайском отвале железорудного карьера. Растения из биосферного заповедника рассматривали как контрольные, так как они испытывают влияние только неблагоприятных природно-климатических факторов степной зоны. Пыльцу собирали в период массового пыления в 2013 г. Погода при сборе пыльцы была теплая, без дождя.

На временных препаратах [14] определяли морфометрические параметры пыльцевых зерен, спектр и количество аномальных пыльцевых зерен. Исследования проводили с использованием микроскопа Carl Zeis Primo Staz (увеличение 40x10).

Результаты исследований и их обсуждение

Во всех исследуемых насаждениях *P. pallasiana* обнаружена незрелая, деформированная и дегенерирующая пыльца (рис. 1, а-д). Подобного рода аномалии пыльцы выявлены у близкородственного вида – *P. sylvestris* [12, 13]. У отдельных деревьев *P. sylvestris*, произрастающих в зоне высокого аэрогенного геохимического загрязнения г. Красноярска, доля недоразвитой пыльцы составила 30,4–41,6 %, а во второй год исследований – 2,6–10,9 % [12, 17].

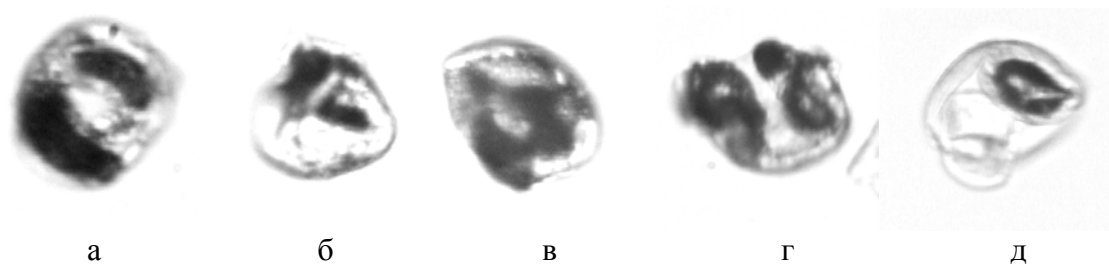


Рис. 1. Аномалии пыльцевых зерен *Pinus pallasiana* D. Don:
а, б, в – незрелая, г – деформированная, д – дегенеративная пыльца (недоразвитые воздушные мешки). Увеличение 40x10

Fig. 1. Pollen grains types of *Pinus pallasiana* D. Don:
а б, в – immature, г – deformed, д – degenerate pollen (immature pollen bags). 40x10 magnification

Также во всех насаждениях *P. pallasiana* с невысокой частотой наблюдали мелкие пыльцевые зерна, условно названные «карлики» (рис. 2, а), крупные, или «гиганты» (рис. 2, б) и мелкие пыльцевые зерна с развитыми воздушными мешками, но истощенным телом, условно названные «истощенными» (рис. 2, в).

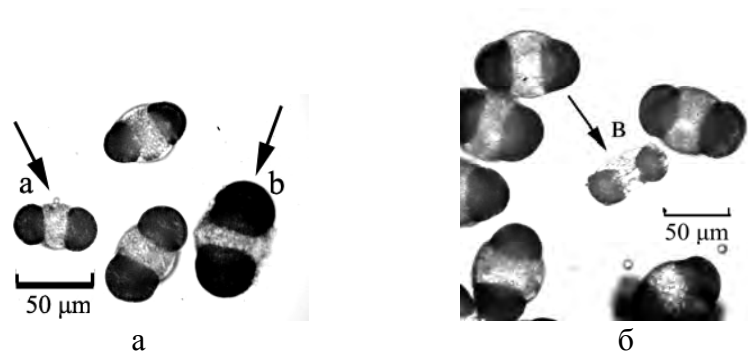


Рис. 2. Пыльцевые зерна *Pinus pallasiana* D. Don с измененными размерами: а – «карлики», б – «гиганты», в – «истощенные». Увеличение 40x10, масштабная линейка 50 мкм

Fig. 2. Pollen *Pinus pallasiana* D. Don with variate size: а – «dwarfs», б – «giants», в – «exhausted». 40x10 magnification, 50 µm scale bar

Аномалии пыльцы у *P. pallasiana* проявляются в деформации тела пыльцевого зерна и воздушных мешков (рис. 3, а, б, в), в нарушении формирования оболочек – появление «бахромы» (рис. 3, г) и формировании линзовидной формы воздушных мешков (рис. 3, д).

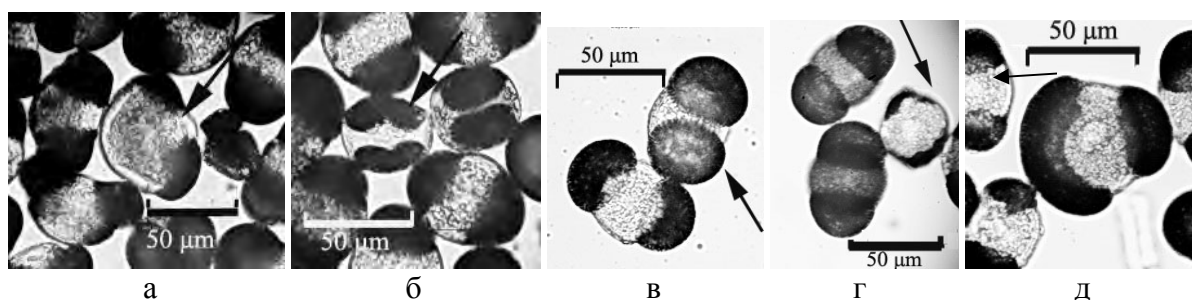


Рис. 3. Деформация тела пыльцевого зерна и воздушных мешков у *Pinus pallasiana* D. Don: а, б, в – изменения формы тела пыльцевого зерна и воздушных мешков; г – образование «бахромы» вместо воздушного мешка; д – воздушный мешок линзовидной формы. Увеличение 40x10, масштабная линейка 50 мкм

Fig. 3. Pollen body and bags deformation *Pinus pallasiana* D. Don: а, б, в – body shape and bags changes; г – education fringe instead of the air bag; д – lenticular body bag. 40x10 magnification, 50 µm scale bar

Атипичные пыльцевые зерна *P. pallasiana* отличались от нормально развитых не только по размеру, форме воздушных мешков, но и по их количеству и расположению.

Обнаружены пыльцевые зерна с одним воздушным мешком (рис. 4, а), с нормальным и недоразвитым воздушными мешками (рис. 4, б, в), с воздушными мешками разного размера и диспропорционально развитым телом (рис. 4, г), с двумя маленькими воздушными мешками (рис. 4, д), с сильно сближенными мешками (рис. 4, е), с двумя недоразвитыми воздушными мешками (рис. 4, ж), с двумя сросшимися

мешками воротничковой формы (рис. 4, з, и), с гипертрофированным телом и двумя воздушными мешками (рис. 4, к).

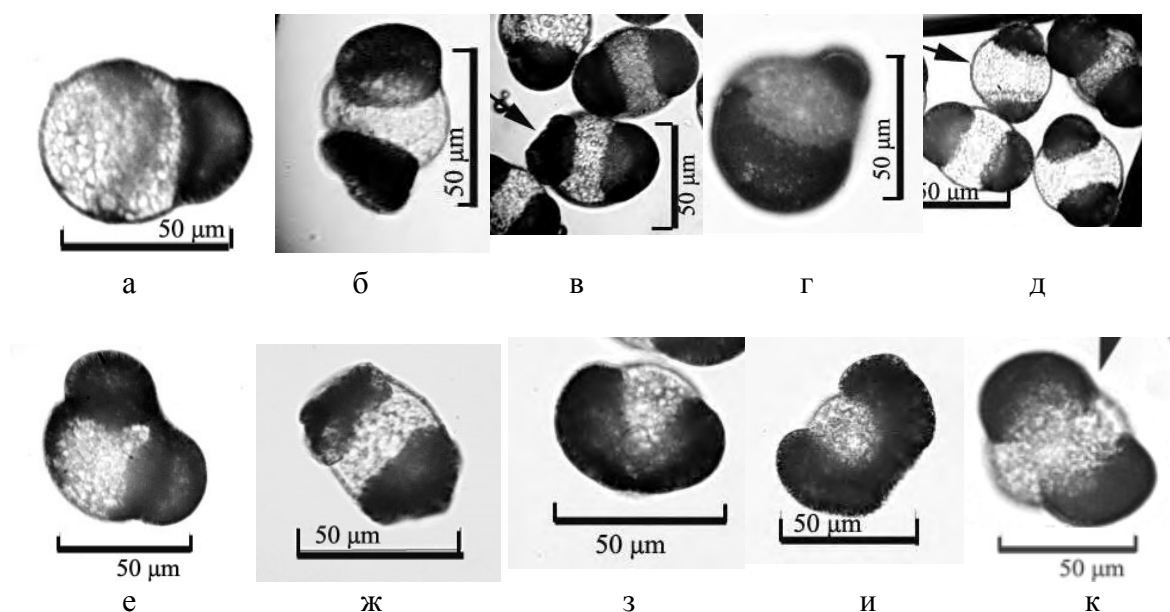


Рис. 4. Пыльцевые зерна *Pinus pallasiana* D. Don с разными размерами, формой и расположением воздушных мешков:

а – с одним воздушным мешком; б, в – с нормальным и недоразвитым воздушными мешками; г – с воздушными мешками разных размеров и диспропорционально развитым телом; д – с двумя маленькими воздушными мешками; е – с сильно сближенными мешками; ж – с двумя недоразвитыми мешками; з, и – сросшиеся, воротничковой формы воздушные мешки; к – гипертрофированное тело пыльцевого зерна с двумя воздушными мешками. Увеличение 40x10, масштабная линейка 50 мкм

Fig. 4. Pollen *Pinus pallasiana* D. Don with different size, shape and location of the air bags:

а – with one bag; б, в - with normal and underdeveloped bags; г – with different sizes of bags and disproportionately developed body; д – with two small bags; е – with strongly pulled together bags; ж - with two underdeveloped bags; з, и - with fused, for collar shape bags; к - with hypertrophied body. 40x10 magnification, scale bar 50 µm

Встречается пыльца с тремя нормально развитыми воздушными мешками (рис. 5, а), с тремя воздушными мешками, один из которых недоразвитый (рис. 5, б). Наблюдается пыльца с четырьмя воздушными мешками (рис. 5, в). Пыльцу с четырьмя воздушными мешками у *P. sylvestris* относят к категории диплоидной [11].

У *P. pallasiana* из насаждения дендропарка «Аскания-Нова» встречались практически все описанные аномалии пыльцы, и их доля была 4,7 %, а в трех насаждениях г. Кривого Рога аномальная пыльца составила 13,2–24,8 %. Следовательно, в условиях техногенного загрязнения у *P. pallasiana* количество аномальных пыльцевых зерен увеличивается в 2,8–5,3 раза по сравнению с дендрарием «Аскания-Нова».

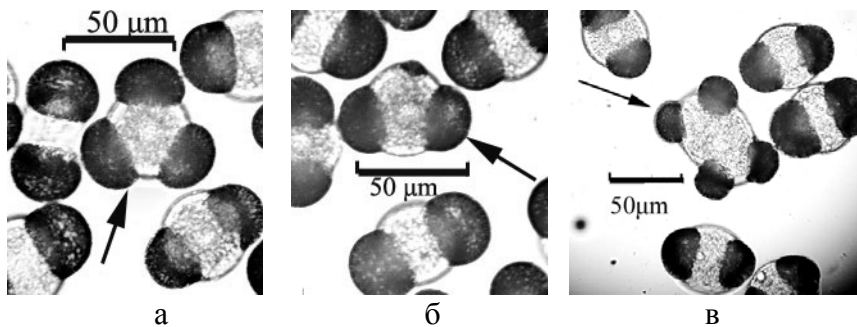


Рис. 5. Пыльца *Pinus pallasiana* D. Don с разным количеством воздушных мешков: а – с тремя нормально развитыми воздушными мешками; б – с тремя мешками, один из которых недоразвитый, в – с четырьмя воздушными мешками. Увеличение 40x10, масштабная линейка 50 мкм

Fig. 5. Pollen *P. pallasiana* D. Don with more than two bags pollen: а – with three normally developed bags; б – with three bags, one of which is underdeveloped, в – with four bags. 40x10 magnification, 50 µm scale bar

При исследовании морфопризнаков пыльцы *P. sylvestris* в степях Хакасии высокие значения индивидуальной и эндогенной изменчивости морфопризнаков пыльцы предлагается использовать как предварительный тест-индикатор «напряженности» естественных условий произрастания. Ухудшение жизненного состояния деревьев проявляется через высокую изменчивость размеров воздушных мешков и нарушения структуры пыльцы в ее общем пуле [16]. Техногенное загрязнение, выступая как стрессовый фактор, влияет на процессы микроспрогеноза, что приводит к повышению количества пыльцы с различными аномальными нарушениями и, в целом, к снижению качества пыльцы [11, 17].

Ранее нами было показано снижение семенной продуктивности, формирование в женских шишках повышенного количества пустых и недоразвитых семян у растений *P. pallasiana* из насаждений промышленных городов степной зоны Украины [5, 6]. Очевидно, это связано со снижением жизнеспособности пыльцы при действии аэрополлютантов. Особенно их отрицательное влияние проявляется во время пыления растений, когда выпадают обильные осадки. Показано, что влажная пыльца *P. sylvestris* при попадании в микропиле семяпочек теряет способность к прорастанию, что приводит к их деградации через месяц после опыления [18].

Выводы

Описаны аномалии пыльцы *P. pallasiana* у растений из насаждения дендропарка «Аскания-Нова» и из трех насаждений г. Кривой Рог. На основе анализа собственных и литературных данных показано, что у *P. pallasiana* встречаются сходные тератоморфные изменения пыльцы, что и у широкоареальной *P. sylvestris*. У растений *P. pallasiana*, подверженных воздействию выбросов промышленных производств и произрастающих на железорудном отвале, количество аномальной пыльцы увеличивается в 2,8–5,3 раза по сравнению с растениями биосферного заповедника «Аскания-Нова». Показатель аномальности пыльцы *P. pallasiana* можно использовать для биоиндикаторной оценки загрязненности среды в промышленных регионах степной зоны Украины.

1. **Бессонова В.П.** Влияние загрязнения среды на прорастание и физиологическое состояние пыльцы некоторых древесных растений / В.П. Бессонова, И.И. Лыженко // Ботан. журн. – 1991. – Т. 76, № 3. – С. 422–426.
Bessonova, V.P., and Lyzhenko, I.I., Effect of pollution on the germination of pollen and physiological state of some trees, *Bot. zh. (Bot. J.)*, 1991, vol. 76, no. 3, pp. 422–426.
2. **Дзюба О.Ф.** Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии / О.Ф. Дзюба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. – № 2. – С. 1–22. <http://www.ngtp.ru/rub/2/035.pdf>.
Dzyuba, O.F., Teratomorphic pollen grains in modern and paleopalynological spectra and some problems of Palynostratigraphy, *Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika (Petroleum Geology. Theory and practice)*, 2007, no. 2, pp. 1–22. <http://www.ngtp.ru/rub/2/035.pdf>.
3. **Ефремов С.П.** Морфология и жизнеспособность пыльцы желто- и краснопыльниковой форм сосны обыкновенной на болотах и суходолах Западной Сибири / С.П. Ефремов, А.В. Пименов, Т.С. Седелникова, И.В. Петрова, С.Н. Санников // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVIII, № 1–2. – С. 126–129.
Yefremov, S.P., Pimenov, A.V., Sedelnikova, T.S., Petrova, I.V., and Sannikov, S.N., Morphology and viability of pollen yellow and red anther forms of Scots pine in the swamps and dry lands of Western Siberia, *Khvoynye borealnoy zony (Coniferous of the Boreal zone)*, 2010, vol. XXVIII (1–2), pp. 126–129.
4. **Козубов Г.Н.** Цитоземриологические исследования и ультраструктура репродуктивных органов сосны обыкновенной / Г.Н. Козубов, М.А. Тихонова, Г.М. Сулимова // Лесоведение. – 1970. – № 2. – С. 85–93.
Kozubov, G.N., Tikhonov, M.A., and Sulimova, G.M., Cytoembryological research and ultrastructure of reproductive organs in Scots pine, *Lesovedenie (Forestry)*, 1970, vol. 2, pp. 85–93.
5. **Коршиков И.И.** Изменчивость относительных показателей урожая семян сосен в степной зоне Украины / И.И. Коршиков // Интродукция и акклиматизация растений. – 1998. – Вып. 30. – С. 169–173.
Korshikov, I.I., Variability of the relative performance of the seed yield of pines in the steppe zone of Ukraine, *Introduktsiya i akklimatizatsiya rasteniy (Introduction and acclimatization of plants)*, 1998, vol. 30, pp. 169–173.
6. **Коршиков И.И.** Популяционно-генетические проблемы дендротехногенной интродукции / И.И. Коршиков, Н.С. Терлыга, С.А. Бычков. – Донецк: «Лебедь», 2002. – 328 с.
Korshikov, I.I., Terlyga, N.S., and Bychkov, S.A., *Populyuatsionno-geneticheskie problemy dendroteknogennoy introduktsii (Population genetic problems of tree introductions in industrial regions)*, Donetsk: Lebed, 2002.
7. **Коршиков И.И.** Естественное возобновление сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) на железорудном отвале Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, Н.С. Терлыга, А.Е. Мазур // Интродукция растений. – 2005. – № 4. – С. 46–51.
Korshikov, I.I., Krasnoshtan, O.V., Terlyga, N.S., and Mazur, A.E., *Estestvennoe vozobnovlenie sosny krymskoy na zhelezorudnom otvale Krivorozhiya (Natural regeneration of Crimean pine (Pinus pallasiana D. Don) on iron ore heap in Kryvorizhzhya)*, *Introduktsiya roslyn (Plant introduction)*, 2005, vol. 4, pp. 46–51.
8. **Мельникова Т.А.** Аномальная пыльца рода *Pinus* как индикатор палеоклиматических флуктуаций в голоцене / Т.А. Мельникова // Вестник ДВО РАН. – 2004. – № 3. – С. 178–182.
Melnikova, T.A., Abnormal pollen in the genus *Pinus* as an indicator of paleoclimatic fluctuations during the Holocene, *Vestnik DVO RAN (Bulletin of the Far East Department of the RAS)*, 2004, vol. 3, pp. 178–182.
9. **Моносзон-Смолина М.Х.** К вопросу о морфологии пыльцы некоторых видов рода *Pinus* / М.Х. Моносзон-Смолина // Ботан. журн. – 1949. – № 4. – С. 352–380.

- Monoszon-Smolina, M.H.**, On the pollen morphology of some species of the genus *Pinus*, *Botan. journal* (Botanical Journal), 1949, vol. 4, pp. 352–380.
10. **Некрасова Т.П.** Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири / Т.П. Некрасова // Новосибирск: Наука, 1983. – 169 с.
Nekrasova, T.P., *Pylytsa i pyltsevoy rezhim khvoynykh Sibiri* (Pollen and pollen mode coniferous in the Siberia, Novosibirsk: Nauka, 1983.
 11. **Носкова Н.Е.** Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной / Н.Е. Носкова, И.Н. Третьякова // Хвойные бореальной зоны. – 2006. – Т. XXIII, № 3. – С. 54–63.
Noskova, N.E., and Tretyakova, I.N., Stress effects on the reproductive ability of Scots pine, *Khvoynye borealnoy zony* (Coniferous of the Boreal zone), 2006, vol. XXIII (3), pp. 54–63.
 12. **Носкова Н.Е.** Репродукция сосны обыкновенной в условиях глобального изменения климата и стратегические пути сохранения вида / Н.Е. Носкова, И.Н. Третьякова // Хвойные бореальной зоны. – 2011. – Т. 28, № 1. – С. 41–46.
Noskova, N.E., and Tretyakova, I.N., Scotch pine reproduction in terms of global climate change and policy conservation of the species, *Khvoynye borealnoy zony* (Coniferous of the Boreal zone), 2011, vol. 28 (1), pp. 41–46.
 13. **Осколков В.А.** Качество пыльцы сосны обыкновенной в древостоях Приангарья при разном уровне загрязнения / В.А. Осколков // Лесоведение. – 1999. – № 2. – С. 16–21.
Oskolkov, V.A., Quality of Scots pine pollen in Priangarye stands at different levels of pollution, *Lesovedenie* (Forestry), 1999, vol. 2, pp. 16–21.
 14. **Паушева З.П.** Практикум по цитологии растений / Зоя Петровна Паушева; [4-е изд.]. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
Pausheva, Z.P., *Praktikum po tsytologii rasteniy* (Workshop on Plant Cytology), Moscow: Agropromizdat, 1988.
 15. **Рождественский Ю.Ф.** Особенности микроспорогенеза сосны обыкновенной на Урале и его зависимость от экологических факторов / Ю.Ф. Рождественский // Экология. – 1974. – №1. – С. 49–53.
Rozdestvenskiy, Y.F., Features of microsporogenesis in Scots pine from the Urals and its correlation with environmental factors, *Ekologiya* (Ecology), 1974, vol. 1, pp. 49–53.
 16. **Тихонова И.В.** Морфологические признаки пыльцы в связи с состоянием деревьев сосны в сухой степи / И.В. Тихонова // Лесоведение. – 2005. – № 1. – С. 63–69.
Tikhonova, I.V., Morphological features of pollen associated with health condition of pine trees in the dry steppe, *Lesovedenie* (Forestry), 2005, vol. 1, pp. 63–69.
 17. **Третьякова И.Н.** Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И.Н. Третьякова, Н.Е. Носкова // Экология. – 2004. – № 1. – С. 26–33.
Tretyakova, I.N., and Noskova, N.E., Scots pine pollen under environmental stress, *Ekologiya* (Ecology), 2004, vol. 1, pp. 26–33.
 18. **Третьякова И.Н.** Эмбриология хвойных / И.Н. Третьякова. Новосибирск: Наука, 1990. – 157 с.
Tretyakova, I.N., *Emryologiya khvoynykh* (Embryology of conifers), Novosibirsk: Nauka, 1990.
 19. **Тупицын С.С.** Уровень тератогенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях / С.С. Тупицын, Н.Е. Рябогина, Л.С. Тупицына // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 1 (3). – С. 822–828.
Tupitsyn, S.S., Ryabogina, N.E., and Tupitsyna L.S., Teratogenesis level as an indicator of the state of the bio-object under different environmental conditions, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* (Bulletin of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences), 2012, vol. 14, 1(3), pp. 822–828.
 20. **Iannotti, O.**, Mincigrucci, G., Bricchi, E., and Frenguelli, G., Pollen viability as a bio-indicator of air quality, *Aerobiologia*, 2000, vol. 16 (3–4), pp. 361–365.
 21. **Pepponi, G.**, Investigation of the correlation between pollen viability and its elemental composition, in XII Hungarian-Italian symposium on Spectrochemistry: environmental

pollution and human health (Pécs, October 23–27, 2005), Mihucz, V.G., and Záray, G., Eds., Budapest, 2005, P. 46. <http://www.speciation.net/Public/Events/pdf>

¹Донецкий ботанический сад НАН Украины

²Криворожский ботанический сад НАН Украины

³Біосферний заповідник «Асканія-Нова» ім. Ф.Е. Фальц-Фейна

Получено 19.03.2014

УДК 581.4:582.475.4(477.62)

МОРФОЛОГІЧНІ ЗМІНИ ПИЛКУ СОСНИ КРИМСЬКОЇ (*PINUS PALLASIANA* D. DON) В ІНТРОДУКЦІЙНИХ НАСАДЖЕННЯХ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

І.І. Коршиков¹, О.В. Лаптева², Ю.С. Літвіненко³

¹Донецький ботанічний сад НАН України

²Криворізький ботанічний сад НАН України

³Біосферний заповідник «Асканія-Нова» ім. Ф.Е. Фальц-Фейна

Описано морфоструктурні аномальні зміни у пилку рослин *Pinus pallasiana* чотирьох інтродукційних насаджень у степовій зоні: у дендропарку біосферного заповідника «Асканія Нова» та трьох насаджень у м. Кривий Ріг. Встановлено, що аномальні зміни у пилку рослин цих чотирьох насаджень пов'язані з різною кількістю і розвиненістю повітряних мішків. Частка аномального пилку у рослин заповідника була 4,7 %, у рослин трьох насаджень м. Криві Ріг варіювала від 13,2 % до 24,8%.

Pinus pallasiana, пилок, аномалії, техногенне забруднення

UDC 581.4:582.475.4(477.62)

POLLEN MORPHOLOGY CHANGES IN *PINUS PALLASIANA* D. DON INTRODUCED STANDS FROM TECHNOGENIC POLLUTED AREAS

I.I. Korshikov¹, Ye.V. Lapteva², Yu.S. Litvinenko³

¹Donetsk Botanical Garden of the NAS of Ukraine

²Krivy Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine

³F.E. Pfalz-Fein Askania Nova Biosphere Reserve

Morphostructural abnormal changes were described in *Pinus pallasiana* pollen of four plantings from the steppe zone: from Arboretum of Askania Nova Biosphere Reserve and three – from Krivy Rih. Abnormal changes in the pollen of these four plantings were found to be associated with different numbers and development of air bags. The proportion of abnormal pollen in the plants of the reserve was 4.7%, in three plantings from Kryvyi Rih region ranged from 13.2% to 24.8%.

Pinus pallasiana, pollen, anomalies, technogenic pollution