

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПЫЛЬЦЫ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Н.С. Мирненко

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 283001, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

natalya_zaharenkova@mail.ru

Представлены данные о стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен древесных растений городской агломерации Донецка. Объектом исследования послужили пробы пыльцы видов древесных растений, используемых в озеленении г. Донецка: тополь черный (*Populus nigra* L.), ива белая (*Salix alba* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth). Установлено, что на исследуемых площадках стерильность пыльцевых зерен составляет от 16 до 44 %, а жизнеспособность — от 49 до 96 %, что является критическим показателем, указывающим на неспособность к восстановлению репродуктивной функции у некоторых исследуемых видов. Статистически определено, что корреляция исследуемых параметров (точек отбора, стерильности, жизнеспособности) характеризует Донецкую агломерацию как неблагоприятную среду для жизнедеятельности растений. Полученные данные указывают на высокую степень адаптации и устойчивости древесных видов к техногенному воздействию. Определены индикаторные признаки загрязнения атмосферного воздуха характерны для Донецкой агломерации. В условиях интенсивной техногенной нагрузки проявляется закономерность в изменении качества пыльцевых зерен в виде пыльцевых аномалий. Показатель, характеризующий анатомо-морфологическое строение пыльцевого зерна, можно использовать в условиях Донецка как дополняющий другие характеристики при выявлении значительного уровня загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: палиноиндикация, урбанофлора, Донецк, антропогенное воздействие

Ссылка для цитирования: Мирненко Н.С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 55–61.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-55-61

Формирование растительного покрова обусловлено непрерывающимся ходом растекания жизни (заполнения территорий) в результате безостановочного процесса размножения [1–3]. Все живые организмы стремятся заполнить свободные экологические ниши, адаптируясь к изменяющимся условиям среды и конкурируя за ресурсы с другими видами. В повышении способности к адаптации заключается стратегия выживания, лежащая в основе видового распространения [1–3]. Возможность широкой экспансии растений обусловлена их высокой репродуктивной способностью, что зачастую выражается в пыльцевой продуктивности. Так, один цветок березы повислой (*Betula pendula* Roth) образует до 6 млн пыльцевых зерен, а род амарант (*Amaranthus*) за период вегетации выбрасывает до полумиллиона семян, что делает его одним из лидеров в репродуктивной стратегии выживания [3, 4].

Важным фактором в распространении растений является деятельность человека (антропогенный фактор), приводящая к трансформации флоры на конкретных участках. Центральный Донбасс представляет собой регион с явно выраженной техногенной нагрузкой. Исторически

сформированная флора представлена степными растительными формациями (что обусловлено географическим положением), а также лесостепными участками естественного (пойменные и байрачные леса) и антропогенного (искусственные леса) происхождения. Фиторазнообразие представленной растительности не уступает по уникальности некоторым мировым биосферным заповедникам. Несмотря на замедление промышленного развития, отмеченное с 2014 г., антропогенная деятельность сказалась на состоянии всей экосистемы. Однако именно на территории Северного Причерноморья растительный мир претерпел наибольшую антропогенную трансформацию. Вследствие интенсивного развития промышленности, сельского хозяйства, а также высокой степени урбанизации местности, были сформированы некоторые антропогенные объекты, в частности, карьеры, терриконы, промышленные площадки, рудеральные полигоны и др. Установленные факторы воздействия привели к коренной трансформации флоры, что фактически уничтожило ее способность к самовосстановлению. Такой тип воздействия можно сравнить с ледниковым периодом, который привел к фундаментальной пертурбации растительности без возможности восстановления доледниковых видов [4–7].

По данным на 2016 г., общая площадь лесов в Донецкой Народной Республике составляет порядка 204,1 тыс. га, более 70 % из них сформировано искусственными посадками, на территориях, исторически не адаптированных для развития лесов, поскольку высоки водная и ветровая эрозии, а естественный лесной фонд сформирован за счет пойменных и байрачных лесов и составляет не более 7,7 % [8].

Таким образом, исследования связанные с установлением фертильности растений, определяются как перспективные и актуальные в разработке систем биологического мониторинга Донецкой агломерации. Для степной зоны этого региона сотрудниками и студентами кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета проводятся исследования в области палинологии, палиноиндикации и экологического мониторинга [5–7, 9–18].

Цель работы

Цель работы — определение показателей стерильности и жизнеспособности пыльцевых зерен некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного воздействия на пробных участках г. Донецка.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили пробы пыльцы видов древесных растений, используемых в озеленении г. Донецка: тополя черного (*Populus nigra* L.), ивы белой (*Salix alba* L.), каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth). Исследуемые объекты выбраны исходя из обширности ареалов распространения и устойчивости к природно-климатическим особенностям Донецкой агломерации [11, 14, 15–22].

Populus nigra — тополь черный (осокорь) семейства Salicaceae (Ивовые). Цветки двудомные, мужские имеют по 20...30 тычинок, женские формируют пестик из двух сросшихся плодолистиков. Крона широкая или яйцевидная, высотой до 24 м. Цветение в Донецке наблюдается с третьей декады апреля по вторую декаду мая. Применяется в озеленении городской территории [15, 22]. Пыльцевые зерна *P. nigra* имеют средний размер и представлены округлой формой (за счет условно округлой экваториальной части), со стороны полюсов пыльцевое зерно несколько сплюснуто за счет чего имеет эллиптическую форму.

Aesculus hippocastanum — каштан конский, принадлежит к семейству Hippocastanaceae. Цветки однополые, мелкие, белые или желтоватые с особым резким запахом. Цветение каштана в Донецке длится 14...18 сут преимущественно с первой по третью декаду мая. Пыльцевые зерна

A. hippocastanum представлены трехборздно-поровой и эллипсоидальной формами, имеют полярную ось (20,4...25,5 мкм) и экваториальный диаметр (17...21,8 мкм). Условный полюс дает приблизительно округлую форму проекции, а со стороны экватора пыльцевое зерно эллиптическое. Скульптура пыльцевого зерна тонкая, зернисто-струйчатая, цвет желтый или светло-желтый [17].

Salix alba — ива белая относится к семейству Salicaceae. Цветки мелкие, собраны в цилиндрические соцветия-сережки, длиной до 5 см. Период цветения приходится на третью декаду апреля — вторую декаду мая. Произрастает по берегам рек, прудов, плотин. Применяется в озеленении прибрежных территорий [18]. Пыльцевые зерна *S. alba* представлены эллипсоидальной формой, преимущественно трехборздные.

Betula pendula — береза повислая, относится к семейству Betulaceae. Цветки актиноморфные, раздельнополые, собраны в сидячие соцветия — сережки. Период цветения со второй декады апреля по первую декаду мая. Пыльцевые зерна *B. pendula* обычно одиночные, радиально-симметричные, сплюснуто-сфероидальные, сплюснутые, изополярные. Пыльцевое зерно в очертании с одного полюса, имеет вариации от округло-треугольных до треугольных, а в очертании с экваториальной оси — эллиптической формы [11]. Материал отбирали в бумажные пакеты, на которых отмечали дату и место сбора [11, 15–19].

Сбор материала проводили на установленных пробных площадях Донецка с разной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1).

В работе [23] была определена фертильность и жизнеспособность пыльцевых зерен. Пыльники фиксировали со зрелой пылью в растворе Карнуа. Фертильные зерна определяли реакцией на йодид калия КJ и идентифицировали по окрашиванию, стерильные не имели окраски либо она была частичная [23].

Жизнеспособность пыльцы определяли методом проращивания на 10%-м растворе глюкозы (in vitro) на искусственной питательной среде, что позволяло оградить пыльцевые зерна от негативных воздействий во время прорастания. При экстраполяции полученных данных учитывали, что в природных условиях пыльцевые трубки оказывают непосредственное влияние на ткани пестика. Пыльцу проращивали в термостате при средней температуре 24...28 °C от 3 до 7 сут. Каждые сутки для определения динамики прорастания считали количество проросших пыльцевых зерен. Не позднее 7 сут определяли суммарное количество жизнеспособных пыльцевых зерен. Жизнеспособными считались пыльцевые зерна, у которых трубки имеют длину не меньше диаметра пыльцевых зерен.

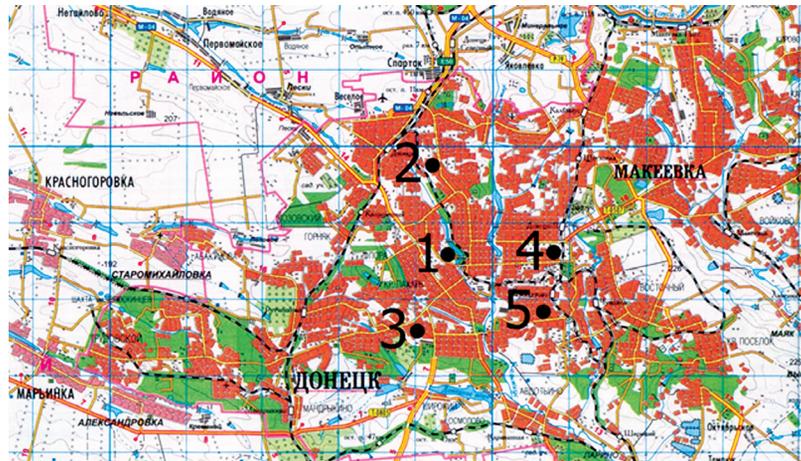


Рис. 1. Расположение точек отбора пыльцевых зерен древесных растений
 Fig. 1. Location of sampling points for pollen grains of woody plants

Статистическую значимость параметрических данных оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента, а равномерность распределения данных — коэффициентом ранговой корреляции Спирмена. Были также рассчитаны элементарные статистические характеристики (стандартное отклонение, ошибка среднего и коэффициент вариации). Все расчеты проводили в программах Statistica 10 и MS Office Excel [24].

Результаты и обсуждение

Исследуемые древесные растения представляют собой одноствольные деревья с хорошо выраженным штамбом (стволом), произрастающие в местах с различными световым, водным и трофическим режимами. Все деревья высажены для озеленения Донецкой агломерации. Наблюдения показали, что городские службы осуществляют уход в виде своевременного полива и защиты коры от поедания вредителями, при этом крона большинства видов деформирована, местами имеет сильное загустение. Санитарная обрезка не проводится.

В результате выполненных исследований были установлены количественные показатели стерильности и фертильности пыльцевых зерен (таблица).

Наибольшее угнетение качества мужского гаметофита наблюдали у *B. pendula* Roth (в среднем ~50 % всей исследуемой пыльцы были стерильными). Установленный факт является крайне негативным показателем, что особенно выражено в условиях усиленной техногенной нагрузки. Также выделен вид *S. alba* L., который имел в отдельных точках стерильность пыльцевых зерен до 50 % всех исследуемых образцов. Остальные виды по параметру стерильности не выше 40 %.

Анализ пробных площадей показал, что наиболее нагруженными являются площади № 2 и

Количественный показатель стерильности пыльцевых зерен на пробных площадях г. Донецка

Quantitative indicator of pollen grains sterility on trial sites in Donetsk

Номер пробной площади	<i>Populus nigra</i> L.	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	<i>Salix alba</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth
1	9 ± 0,45	25 ± 1,25	15 ± 0,75	65 ± 3,25
2	26 ± 1,3	14 ± 0,7	32 ± 1,6	58 ± 2,9
3	14 ± 0,7	8 ± 0,4	47 ± 2,35	33 ± 1,65
4	8 ± 0,4	36 ± 1,8	25 ± 1,25	41 ± 2,05
5	25 ± 1,25	37 ± 1,85	39 ± 1,95	27 ± 1,35
Среднее значение	16 ± 0,8	24 ± 1,2	31 ± 1,55	44 ± 2,2

№ 5 (с показателями стерильности 32 и 33 %), менее нагруженная — № 3 (с показателем стерильности 25 %).

Коэффициент Пирсона, рассчитанный по стерильности пыльцевых зерен в зависимости от точки отбора, показал положительную значимость (0,69), при $p = 0,05$ табличчатый коэффициент составил 0,73, что можно характеризовать как значительную связь между параметрами точка отбора и стерильностью пыльцевых зерен. Наблюдаемая корреляция характеризует городскую среду как крайне неблагоприятную для произрастания растений. Учитывая, что практически все виды были высажены искусственно и их жизнеспособность также искусственно поддерживалась, считаем, что полученные данные указывают на высокую степень адаптации.

По показателю жизнеспособности (пролификации) пыльцы было установлено, что наивысшая степень пролификации пыльцевых зерен наблюдается в первые 15...18 ч после их помещения

в термостат. По истечению 7 сут наблюдалась максимальная степень прорастания пыльцевых трубок (рис. 2).

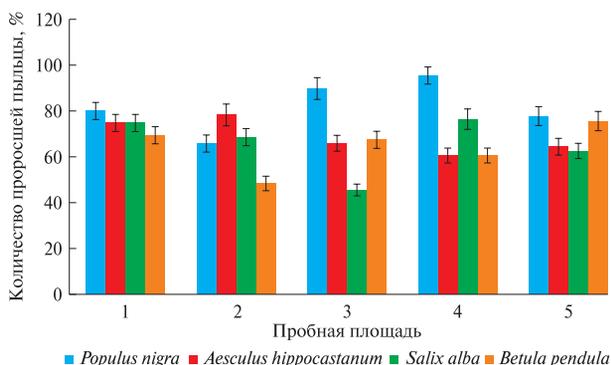


Рис. 2. Степень прорастания пыльцевых зерен (in vitro), собранных на пробных площадях Донецка

Fig. 2. The degree of pollen grains germination (in vitro) collected on trial sites in Donetsk

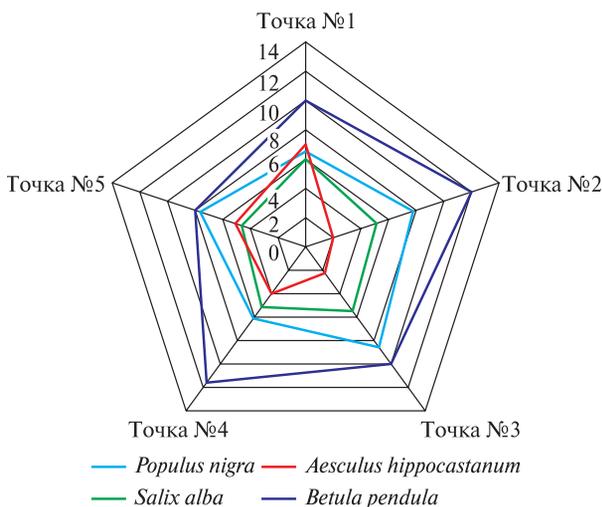


Рис. 3. Распределение аномалий пыльцевого зерна по исследуемым точкам в пределах Донецкой агломерации

Fig. 3. Distribution of pollen grain anomalies in the studied points of Donetsk

Оценка пролификации пыльцевых зерен показала, что на питательной среде в термостате жизнеспособность пыльцы изменяется от 46 до 96 %, а в среднем составляет 74,8 %. Высокую степень жизнеспособности показали пробы пыльцы вида *P. nigra* L. Практически во всех наблюдаемых точках жизнеспособность варьировала от 66 до 96 %, что указывает на наиболее высокую степень адаптации к техногенной нагрузке. Наиболее низкая степень жизнеспособности характерна для видов *B. pendula* Roth и *S. alba* L. На диаграмме (см. рис. 2) отчетливо наблюдается уменьшение количества проросшей пыльцы в точках отбора — пробные площади № 2 и № 3. В данных точках развиваются укороченные либо расширенные пыльцевые трубки, что свидетельствует об устой-

чивых генетических нарушениях, приводящих к уменьшению репродуктивной способности.

Корреляционный анализ коэффициента Пирсона между параметрами стерильности и жизнеспособности имеет положительное значение — 0,91, а связь параметров >0,79 является статистически значимой при $p = 0,05$ [18]. Следовательно, такие параметры достоверны при проведении палиноиндикационного анализа в Донецке. Также коэффициент Пирсона, рассчитанный по жизнеспособности пыльцы в зависимости от точки отбора, показал отрицательную значимость (-0,53), при $p = 0,05$ табличный коэффициент составил 0,68, что свидетельствует о незначительной связи между параметрами точек отбора и прорастанием пыльцевых зерен [18]. Наблюдаемая корреляция указывает на то, что растения испытывают некоторые комплексно неблагоприятные факторы, приводящие к уменьшению репродуктивной способности, однако строгой привязки к точкам отбора статистически не подтверждено.

В ходе эксперимента была проведена оценка морфологической изменчивости соцветий. Некоторые соцветия, содержащие стерильную пыльцу в высокой концентрации, имели нарушение цвета, появление пигментаций, некоторые соцветия развивались в латеральных почках, в участках междоузлия, что не свойственно для наблюдаемых древесных растений.

При анализе пыльцевого материала были выделены пыльцевые аномалии, рассчитанные по пропорции (количество аномальных клеток к их общему количеству). Так, количество аномальных клеток стабильно невысокое (рис. 3). Среди рассмотренных образцов пыльцы наиболее часто встречались следующие отклонения: гипертрофия, неоднородность размеров, стерильность, изменения форм и количества апертур. В точках № 1 и № 4 наблюдалась низкая частота встречаемости пыльцевых аномалий. В точке № 2 часто присутствовали редуцированные, недоразвитые, уменьшенные и стерильные пыльцевые зерна. В точке № 3 наиболее часто регистрировался факт расхождения слоев экзины и интины. Точка № 5 имела аномалии, характерные для всех наблюдаемых пробных площадей. Количество и частота аномалий пыльцевых зерен не имеет строгой приуроченности к одной из наблюдаемых точек. В каждой точке отмечались аномалии, представленные в остальных точках (см. рис. 3).

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что Донецкая агломерация характеризуется повышенным количеством пыльцевых аномалий, а наблюдаемые свойства пролификации

пыльцевых зерен в корреляции с точкой отбора показали незначительную связь. Установлено, что древесные растения испытывают ряд комплексно неблагоприятных факторов приводящих к уменьшению репродуктивной способности. Показатели морфологической изменчивости соцветий являются дополнительными параметрами при индикационной оценке загрязнений окружающей среды. Полученные данные могут быть дополнением к имеющейся в Донбассе информационной базе растительных организмов, используемых для проведения экологического мониторинга.

Список литературы

- [1] Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1997. 316 с.
- [2] Вернадский В.И. Химическое строение Земли и ее окружение. М.: Наука, 1987. 339 с.
- [3] Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
- [4] Жуков С.П. Флористическое разнообразие антропогенных экосистем центральной части Донбасса // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2018. Т. 27. № 4(1). С. 118–122.
- [5] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [6] Safonov A.I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [7] Сафонов А.И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2021. № 1–2. С. 32–38.
- [8] Сафонов А.И., Мирненко Н.С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2019. № 3–4. С. 43–48.
- [9] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web Conf, 2022, v. 43, 03002, 8 p.
- [10] Мирненко Н.С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2018. № 1–2. С. 20–24.
- [11] Сафонов А.И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 1–2. С. 31–36.
- [12] Сафонов А.И., Гермонова Е.А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2019. № 3–4. С. 37–42.
- [13] Сафонов А.И., Захаренкова Н.С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2016. № 1–2. С. 66–72.
- [14] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // BIO Web Conf, 2021, v. 31, 00020, 4 p.
- [15] Мирненко Н.С. Мониторинг экотопов г. Донецка по палинологическим данным *Populus nigra* L. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2021. № 3–4. С. 24–30.
- [16] Мирненко Н.С. Цитологические исследования пыльцевых зерен *Aesculus hippocastanum* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 3–4. С. 20–25.
- [17] Мирненко Н.С. Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, 2020. № 1–2. С. 6–12.
- [18] Бурмистров А.Н., Никитина В.А. Медоносные растения и их пыльца. М.: Росагропромиздат, 1990. 192 с.
- [19] Антонова Е.В., Морозова И.М. Ботаника: анатомия и морфология растений. Витебск: Изд-во ВГУ им. П.М. Машерова, 2014. 236 с.
- [20] Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка, 1987. 548 с.
- [21] Ковылин Н.В., Ковылина О.П., Сухенко Н.В. Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera* L. и *Populus nigra* L. // ИзВУЗ Лесной журнал, 2016. № 3(351). С. 31–41.
- [22] Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. URL: <https://gkecopoldnr.ru/> (дата обращения 22.04.2022).
- [23] Барыкина Р.П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
- [24] Городничев Р.М. Методы экологических исследований. Основы статистической обработки данных. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. 94 с.
- [22] Уразильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Повреждения, адаптации, стратегии древесных видов в условиях техногенеза: структурно-функциональные уровни реализации адаптивного потенциала // Успехи современной биологии, 2022. Т. 142. № 1. С. 52–69.
- [26] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators, 2021, v. 125, p. 107508.

Сведения об авторе

Мирненко Наталья Сергеевна — аспирант кафедры ботаники и экологии, Донецкий национальный университет, natalya_zaharenkova@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 28.09.2022.

POLLEN VIABILITY OF SOME WOODY PLANTS SPECIES IN DONETSK AGGLOMERATION

N.S. Mirnenko

Donetsk National University, 24, Universitetskaya st., 83000, Donetsk

natalya_zaharenkova@mail.ru

Data on the sterility and viability of woody plants pollen grains in the Donetsk urban agglomeration are presented. The study object was pollen samples of woody plant species used in landscaping in Donetsk such as black poplar (*Populus nigra* L.), white willow (*Salix alba* L.), horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), Silver birch (*Betula pendula* Roth). On the studied sites, it has been established that the sterility of pollen grains ranges from 16 to 44 %, and the viability ranges from 49 to 96%, which is a critical indicator indicating the inability to restore reproductive function in some of the studied species. It is statistically determined that the correlation of the studied parameters (selection points, sterility, viability) characterizes the Donetsk agglomeration as an unfavorable environment for plant life. The data obtained indicate a high degree of adaptation and resistance of tree species to technogenic impact. Indicative signs of atmospheric air pollution are determined, which are typical for the Donetsk agglomeration. Under conditions of intense technogenic load, a pattern appears in the quality change of pollen grains forming pollen anomalies. An indicator that characterizes the anatomical and morphological structure of pollen grains can be used in Donetsk conditions as a complement to other characteristics when a significant level of environmental pollution is detected.

Keywords: palynoidication, urban flora, Donetsk, anthropogenic impact

Suggested citation: Mirnenko N.S. *Zhiznesposobnost' pyl'tsy nekotorykh vidov drevesnykh rasteniy Donetskoj aglomeratsii* [Pollen viability of some woody plants species in Donetsk agglomeration]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 55–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-55-61

References

- [1] Ipatov V.S., Kirikova L.A. *Phytocenologiya* [Phytocenology]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 1997, 316 p.
- [2] Vernadsky V.I. *Himicheskoe stroenie Zemli I okrugenie* [Chemical structure of the Earth and its environment]. Moscow: Nauka, 1987, 339 p.
- [3] Ramensky L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. *Ecologicheskaya ocenka kormovykh ugodiy po rastitel'nomu pokrovu* [Ecological assessment of fodder lands by vegetation cover]. Moscow: Selkhozgiz, 1956, 472 p.
- [4] Zhukov S.P. *Floristicheskoe raznoobrazie antropogennykh ecosystem v central'noy chasti Donbassa* [Floristic diversity of anthropogenic ecosystems in the central part of Donbas]. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2018, v. 27, no. 4(1), pp. 118–122.
- [5] Safonov A.I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region. *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*, 2013, no. 1, pp. 52–59.
- [6] Safonov A.I. Phytoidicational monitoring in Donetsk. *World Ecology J.*, 2016, v. 6, no. 4, pp. 59–71.
- [7] Safonov A.I. *Ecologo-palinologicheskaya situaciya v Donbasse* [Ecological and palynological situation in Donbass (2014–2020)]. *Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region*, 2021, no. 1–2, pp. 32–38.
- [8] Safonov A.I., Mirnenko N.S. *Palinologicheskij skrining v monitoringovoy programme Central'nogo Donbassa* [Palynological screening in the monitoring program of the Central Donbas]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2019, no. 3–4, pp. 43–48.
- [9] Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // *BIO Web Conf.* 2022. v. 43. 03002. 8 p.
- [10] Mirnenko N.S. *Diagnostika sostoyaniya ecotopov Donetska po palinilicheskim dannym Betula pendula Roth* [Diagnostics of the state of Donetsk ecotopes according to palynological data of *Betula pendula* Roth]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2018, no. 1–2, pp. 20–24.
- [11] Safonov A.I. *Dinamika phytomonitoringovykh pokazateley antropotechnogeneza v Donbasse (2000–2019)* [Dynamics of phytomonitoring indicators of anthropotechnogenesis in Donbass (2000–2019)]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2020, no. 1–2, pp. 31–36.
- [12] Safonov A.I., Germonova E.A. *Ekologicheskiye seti fitomonitoringovogo naznacheniya v Donbasse* [Ecological networks for phytomonitoring purposes in Donbass]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature protection of technogenic region], 2019, no. 3–4, pp. 37–42.
- [13] Safonov A.I., Zakharenkova N.S. *Diagnostika vozduha v Donetske po spectru skulptur poverhnosti pyl'ci sorno-ruderalnykh vidov rasteniy* [Diagnostics of air in Donetsk by the spectrum of pollen surface sculptures of weed-ruderal plant species]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and environmental protection of the technogenic region], 2016, no. 1–2, pp. 66–72.
- [14] Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis. *BIO Web Conf.* 2021, v. 31, 00020, 4 p.
- [15] Mirnenko N.S. *Monitoring ecotopov Donetska po palinologicheskim dannym Populus nigra L.* [Monitoring of ecotopes in the city of Donetsk according to palynological data of *Populus nigra* L.]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region], 2021, no. 3–4, pp. 24–30.
- [16] Mirnenko N.S. *Cytologicheskie issledovaniya pyl'cevykh zeren Aesculus hippocastanum L. v Donetske* [Cytological studies of pollen grains of *Aesculus hippocastanum* L. in Donetsk]. *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennogo regiona* [Problems of ecology and environmental protection of the technogenic region], 2020, no. 3–4, pp. 20–25.

- [17] Mirnenko N.S. *Fertil'nost i zhiznesposobnost' pil'cy Salix alba L. v usloviyah Donetska* [Fertility and viability of *Salix alba* L. pollen in the conditions of Donetsk]. *Problems of ecology and nature conservation of the technogenic region*, 2020, no. 1–2, pp. 6–12.
- [18] Burmistrov A.N., Nikitina V.A. *Medonosnye rasteniya i ih pyl'ca* [Honey plants and their pollen: a handbook]. Moscow: Rosagropromizdat, 1990, 192 p.
- [19] Antonova E.V., Morozova I.M. *Botanica: anatomiya i morfologiya rasteniy* [Botany: anatomy and morphology of plants]. Vitebsk: VSU im. P.M. Masherova, 2014, 236 p.
- [20] Dobrochaeva D.N., Kotov M.I., Prokudin Yu.N. *Opredilitel' visshih rasteniy Ukrainy* [Determinant of higher plants of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka, 1987, 548 p.
- [21] Kovylin N.V., Kovylyna O.P., Sukhenko N.V. *Osobennosti vzaimootnosheniya drevostoya i napochvennogo pokrova v iskusstvennykh phytocenozah Populus balsamifera L. u Populus nigra L.* [Peculiarities of the relationship between tree stand and ground cover in artificial phytocenoses *Populus balsamifera* L. and *Populus nigra* L.]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2016, no. 3(351), pp. 31–41.
- [22] *Gosudarstvennyy komitet po ekologicheskoy politike i prirodnym resursam pri Glave Donetskoy Narodnoy Respublik.* [State Committee for Environmental Policy and Natural Resources under the Head of the Donetsk People's Republic. Available at: <https://gkecopoldnr.ru/> (accessed 22.04.2022)]
- [23] Barykina R.P. *Spravochnik po botanicheskoy mikrotehnie. Osnovy i metody* [Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2004, 312 p.
- [24] Gorodnichev R.M. *Metody ekolozheskih issledovaniy. Osnovy statisticheskoy obrabotki dannyh* [Methods of ecological research. Fundamentals of statistical data processing]. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2019, 94 p.
- [25] Urazgildin R.V., Kulagin A.Yu. *Povrezhdeniya, adaptatsii, strategii drevesnykh vidov v usloviyakh tekhnogeneza: strukturno-funktsional'nyye urovni realizatsii adaptivnogo potentsiala* [Damages, adaptations, strategies of tree species in technogenesis conditions: structural-functional levels of adaptive potential realization]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Advances in modern biology], 2022, v. 142, no. 1, pp. 52–69.
- [26] Bayouli I.T., Bayouli H.T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 2021, v. 125, p. 107508.

Author's information

Mirnenko Natal'ya Sergeevna — pg., Department of Botany and Ecology, Donetsk National University, natalya_zaharenkova@mail.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 28.09.2022.