

DOI 10.54596/2958-0048-2025-3-51-59

УДК 712

МРНТИ 87.29.35

ПЫЛЬЦА КАК ИНДИКАТОР НОВЫХ БЕЛЛИГЕРАТИВНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ФАКТОРА ПОЛЕМОСТРЕССА

Сафонов А.И.^{1*}

^{1*}ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Донецк, Россия

*Автор для корреспонденции: andrey_safonov@mail.ru

Аннотация

Дан анализ качественных и количественных палинологических характеристик в условиях антропогенно изменённых ландшафтов Донбасса по видам-индикаторам: *Erigeron canadensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal и *Achillea millefolium* L. Установлено, что в градиенте повышения трансформирующей нагрузки изменяются геохимические показатели, а также в аспекте мужского гаметофита происходят существенные структурно-функциональные перестройки, – это рассматривается как индикаторное свойство растений и ответная реакция на факторы нео-специфического стресса, обусловленного высоким уровнем милитаризации в Донецком регионе. Высокую диагностическую информативность фактора полемостресса имеют характеристики скульптуры и орнаментации поверхности зрелого пыльцевого зерна, интенсивности окрашивания и целостности экзины. Выбранные виды растений имеют разные стратегии выживания в неблагоприятных условиях геохимического и геофизического контраста: от высокой эксплеренции, до плотного задерживания нарушенного почвенного горизонта.

Ключевые слова: Донбасс, экологический мониторинг, фитоиндикация, пыльца, палинология, уровень антропогенной нагрузки, полемостресс, беллигеративный фактор.

ТОЗАҢ ЖАҢА БЕЛЛИГЕРАТИВТІ ЛАНДШАФТТАРЫ МЕН ПОЛЕМОСТРЕСС ФАКТОРЫНЫҢ КӨРСЕТКІШІ РЕТІНДЕ

Сафонов А.И.^{1*}

^{1*}«Донецк мемлекеттік университеті» ФМБББМ, Донецк, Ресей

*Хат-хабар үшін автор: andrey_safonov@mail.ru

Андатпа

Донбастың антропогендік өзгерген ландшафттары жағдайында индикатор түрлері бойынша сапалық және сандық палинологиялық сипаттамаларға талдау жасалды: *Erigeron canadensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal және *Achillea millefolium* L. Трансформациялық жүктеменің өсу градиентінде геохимиялық көрсеткіштер өзгеретіні, сондай-ақ аталық гаметофит аспектісінде елеулі құрылымдық – функционалдық қайта құрулар орын алатыны анықталды-бұл өсімдіктердің индикаторлық қасиеті және Донецк аймағындағы милитаризацияның жоғары деңгейіне байланысты нео-спецификалық стресс факторларына жауап ретінде қарастырылады. Полемостресс факторының жоғары диагностикалық ақпараттылығы жетілген тозаң дәнінің беткі қабатының мүсіні мен өрнектерінің сипаттамаларына, бояу қарқындылығына және экзинаның тұтастығына ие. Тандалған өсімдік түрлерінің геохимиялық және геофизикалық контрасттың қолайсыз жағдайларында өмір сүрудің жоғары эксплеренциядан бастап, бұзылған топырақ горизонтының тығыз шөгуге дейін әртүрлі стратегиялары анықталды.

Кілт сөздер: Донбасс, экологиялық мониторинг, фитоиндикация, тозаң, палинология, антропогендік жүктеме деңгейі, полемостресс, беллигеративті фактор.

POLLEN AS AN INDICATOR OF NEW BELLIGERATIVE LANDSCAPES AND A FACTOR OF POLEMOSTRESS

Safonov Andrey^{1*}

^{1*}Donetsk State University, Donetsk, Russia

*Corresponding: andrey_safonov@mail.ru

Abstract

The analysis of qualitative and quantitative palynological characteristics in the conditions of anthropogenically changed landscapes of Donbass is given for the indicator species: *Erigeron canadensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal and *Achillea millefolium* L. It is established that in the gradient of increasing transforming load, geochemical indicators change, and in the aspect of male gametophyte, significant structural and functional rearrangements occur – this is considered as an indicator property of plants and a response to factors of neo-specific stress caused by the high level of militarization in the Donetsk region. The characteristics of sculpture and ornamentation of the surface of a mature pollen grain, the intensity of coloring and the integrity of the exine have high diagnostic information content of the polemostress factor. The selected plant species have different survival strategies in unfavourable conditions of geochemical and geophysical contrast: from high exsperence to integumentary of the disturbed soil horizon.

Keywords: Donbass, ecological monitoring, phytoindication, pollen, palynology, level of anthropogenic load, polemostress, belligerative factor.

Введение

Пыльца цветковых растений рассматривается в экологических программах как перспективный и информативный объект для реализации экологического мониторинга и биотестирования окружающей среды в антропогенно напряженных регионах [1]. При этом мировой опыт работы с палиноматериалом (пыльцевыми пробами) обобщает токсикологические, климатические сферы исследования, вопросы устойчивости природных систем и возможности рационального пользования ресурсами [2, 3]. Актуальными являются аспекты изучения пыльцевых зёрен и для донецкого региона [4], учитывая дендрологические и фитоиндикационные работы в целом [5, 6], а также на сопряженных территориях в промышленно развитых регионах [7]. Хотя к сегодняшнему дню и накоплен достаточный опыт в реализации полномасштабных фитоэкологических экспертиз [8], но обостряющийся новый фактор военных событий в контексте устойчивости природно-территориальных комплексов Донбасса требует проведения регулярного экологического мониторинга с учётом своевременной диагностики важных показателей мутагенности, тератогенности, гонадотропности неопатогенных территорий, пострадавших в результате милитаризации региона.

Цель работы – провести сравнительный анализ структурно-функциональных характеристик пыльцевых зёрен некоторых растений-индикаторов в условиях фактора полемостресса (стресса в результате прямого воздействия военных событий) для установления индикаторного показателя степени нарушения ландшафта в бelligеративном состоянии.

Материалы и методы исследования

Опыт реализован в рамках конструированной мониторинговой сети Центрального Донбасса, где ежегодно проводится забор образцов биоматериала для фитоиндикационного анализа и констатации мониторинговых критериев о состоянии экотопов разного хозяйственного пользования и целевого назначения. Вся территория Донбасса рассматривается как зона геохимического контраста [9, 10], что было установлено ранее с использованием экспериментов аналитического контроля и

дробного анализа химического состава тех объектов природы, которые вовлечены в ключевые цепи биогеохимической активности в регионе. Констатируется высокая буферная способность природных сред в условиях антропогенных трансформаций в Северном Приазовье [11, 12]. Используются технологии геопространственного анализа промышленных территорий и мест высокой антропогенной эксплуатации ресурсного потенциала [13].

Методика работы с пыльцевым материалом включала как общепринятые способы отбора, анализа при окрашивании и статистическом учёте [1–3], так и регионально адаптированные подходы проведения исследований с пыльцевыми пробами [4, 8]. В экспресс-диагностике природных сред по пыльцевому материалу были учтены показатели, характеризующие специфику поверхности и орнаментации, глубину окрашивания и размеры элементов мужского гаметофита цветковых растений (*Erigeron canadensis* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal и *Achillea millefolium* L.), имеющих разную стратегию выживания, но одинаково часто представленных как в зоне импакта военных событий, так и в пробных площадках условного контроля при минимальном антропогенном воздействии. Визуализированные модели структурных преобразований пыльцы оформлены в системе «опыт – контроль» с учётом частоты встречаемости демонстрируемых признаков в разных по специфике трансформации экотопах. Используются данные по 80 учётным площадкам, 24 из которых являются очагами новых геопатогенных зон по химическому загрязнению [9, 10], что установлено в ранее проведенном токсикологическом мониторинге.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам первичного геоботанического обследования установлено, что встречаемость всех выбранных индикаторных видов растений составляет более 90% в каждой точке эксперимента, что является репрезентативным для сравнительного анализа. Все пробные площадки в результате собранной информации были разделены на категории: 1) точки беллигеративного фактора (24 учётных площадки), 2) точки комплексного воздействия индустриализации и техногенеза (с целью сравнения в первой категории при выделении специфики) – 26 учётных площадок, 3) точки мониторинга с высоким уровнем хозяйственного использования человеком (агросектор, урбанизация, рудеральные полигоны) в количестве 30 объектов и 4) 10 учётных площадок в буферных территориях заповедных объектов Донбасса с условно минимальным уровнем антропогенных трансформаций в обозримом периоде наблюдений (с 1996 г. по настоящее время). Зона полемостресса, выделенная в предыдущих исследованиях [8], была выбрана опорной для закладывания 22 из 24 мониторинговых точек в местах непосредственных сукцессионных процессов после взрывов. Поскольку палинологический мониторинг является только частью большой программы фитоиндикационного эксперимента в центральном Донбассе, то одновременно осуществляется учёт состояния более 150 видов цветковых растений и 60 видов мохообразных, но выбор базовых 4-х видов для текущего эксперимента обусловлен одновременным их цветением и созревaniem пыльников во 2-й половине июля, тем самым был осуществлён одновременный скрининг на всех учётных площадках для обеспечения чистоты сравнительного эксперимента. Установлено, что используемые виды по-разному проявляли свою экспансию в первые 2–5 лет сукцессионного периода в местах беллигеративных преобразований. *Erigeron* первой (пионерной) стадии зарастания – форма прикорневых розеток листьев первого года позволяет обеспечить захват территории как ресурса, на второй год проявить

максимум генеративного успеха. *Cirsium arvense* (L.) Scop. не образовывал монодоминантных зарослей, однако в каждой точке сборов было зарегистрировано не менее 10 цветущих экземпляров, отмечалось разнообразие габитуса и побегообразования в местах интенсивного полевостресса. *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal диффузно рассредоточила цветущие особи по всему пространству анализа в первые годы зарастания нарушенных экотопов, однако, начиная с 6-7 года после активной беллигеративной фазы вид начинает встречаться единично, что подтверждает её слабую конкуренцию в преодолении фитоценотического барьера, формирующегося на вторых стадиях сукцессионного процесса преимущественно аборигенными видами. *Achillea millefolium* L. – наиболее успешный вид при формировании плотного травянистого покрова и высокого показателя проективного покрытия, был представлен генеративными побегами 2-3 годов развития особей в количестве более 10 экземпляров на одной учетной площадке.

Поскольку пыльца была собрана в зрелых пыльниках, то вывод о воздействии газовоздушных токсичных смесей в этой серии экспериментов был априори элиминирован. Основу геохимического контраста для объектов исследования составила условная разница в составе конформационных тканей растительного организма.

Для каждого вида (рис. 1 – 4) были представлены визуальные ориентиры сравнений контрольных и опытных показателей в общей массе сборов, ниже фотоизображений указаны в двух строках процентные соотношения палинотипов разных конструкторов в норме (norm, верхняя строка) и патологии (anomal., нижняя строка) в градиенте фактора полевостресса на основании принадлежности к ландшафтам беллигеративных преобразований. Градиент биллигеративности был основан на визуальной разнице дегенеративных процессов при оценке почвенно-растительного покрова, а также с учётом частоты нарушений в каждом конкретном экотопе (насчитывалось до 5 раз тотальных ежегодных милитаризационных активностей).

Разница для пыльцы вида *Erigeron canadensis* составила четыре палинотипа, из которых три (рис. 1, b, c, d) увеличивали частоту встречаемости в условиях нео-стресса. Процентное участие пыльцевых зёрен нормального типа в условиях беллигеративного фактора (рис. 1, a) сокращается вдвое при высоких концентрациях La-Ce-Sm-Tb.

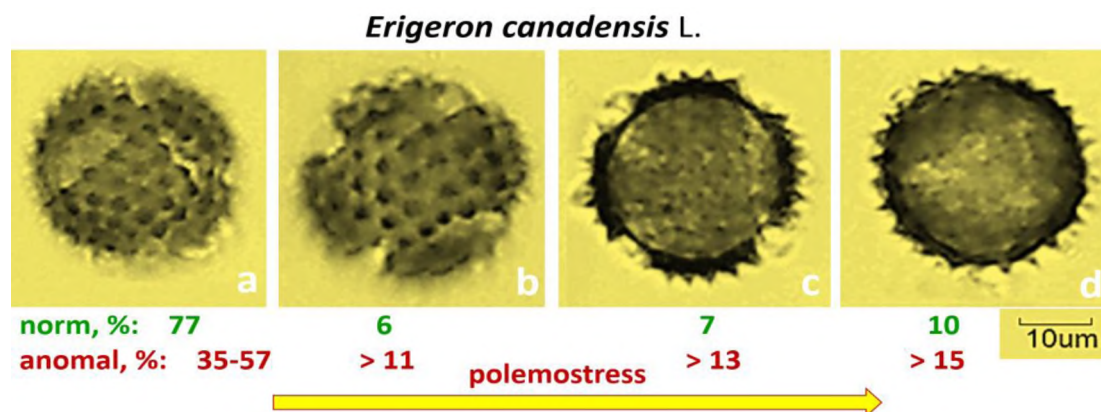


Рисунок 1. Палинотипы *Erigeron canadensis* L. в экотопах Центрального Донбасса:
а – визуальная нома скульптуры, b – неравномерность эскины и нарушения её целостности при окрашивании, c – формирование гребенчатой орнаментации по сравнению с шиповатой, d – неравномерное окрашивание и вариации орнаментации.

При анализе разницы полевострессовых воздействий и импакта от объектов промышленного загрязнения было установлено, что палинотипы категории с и d (рис. 1) характерны именно для видов, чьи ценопопуляционные структуры были сформированы в местах милитаризационной активности.

При анализе пыльцы *Cirsium arvense* (рис. 2) было сформировано два палинотипа по сопряженным структурам разной глубины резкости светового микроскопа: при реркости на очертания (рис. 2, а, с) и скульптуры в норме (рис 2, b) и патологии (рис 2, d). Существенным образом нормальные и атипичные пыльцевые зёрна отличались по интенсивности и скорости окрашивания ацестокармином. В патологических случаях (рис. 2, с и d) смещается тетраэдральная симметричность пор, многие из которых отсутствуют, что может быть связано с ранними стадиями деградации ещё в периоды формирования пыльцевого зерна, либо как ответная реакция на общее стрессовое состояние растительного организма – на завершающих стадиях формирования экины. В случаях полевостресса (в отличии от техногенного и селитебного типов экосистем) пыльцевые зёрна *Cirsium arvense* (судя по структурным параметрам) утрачивают способность осуществлять свою оплодотворяющую функцию на 40-70%. Показатели деградации поверхности и неравномерности внутреннего содержимого при окрашивании в 90-95% случаев сопряжены и проявляются в более 50% для всех пыльцевых зёрен в выборке из участков повышенной милитаризационной активности. Самые высокие концентрации обнаружены в локалитетах с превышением предельных норм по Cd-Pb и Co-Eu.

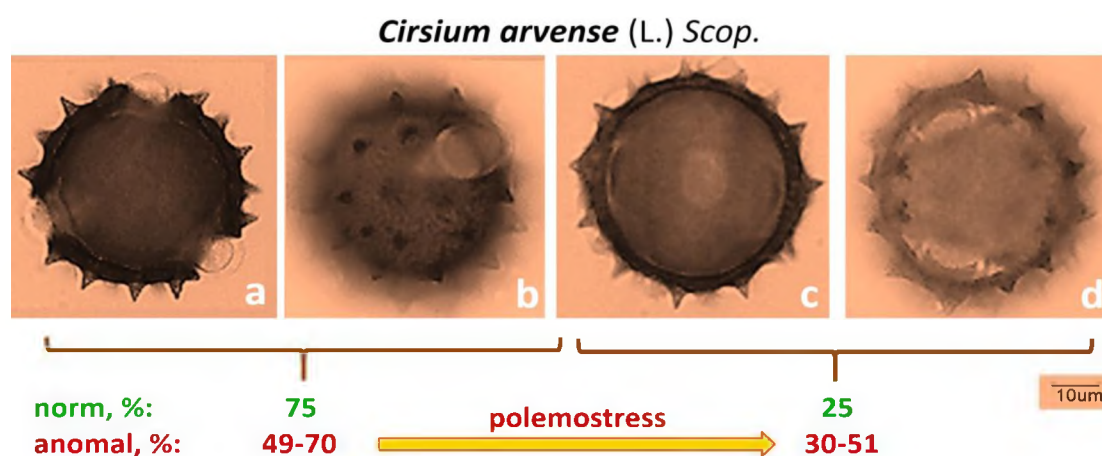


Рисунок 2. Палинотипы *Cirsium arvense* (L.) Scop. в экотопах Центрального Донбасса: а, b – визуальная нома скульптуры в проекции и на поверхности; с, d – характерные патологии в зоне импакта беллигеративного фактора.

Вид *Grindelia squarrosa* является самым молодым из изученных видов по натурализации Донбассе (из числа адвентивной фракции флоры). Для зон специфического воздействия на природные системы по градиенту полевостресса было установлено два палинотипа (норма-патология), хотя при анализе образцов из зон техногенного загрязнения, степень тератогенности существенно выразительнее и разнообразнее. Однако при сборе пыльцы в зоне военных событий была отмечена принципиальная разница в элиминации пор, деградативных процессов шиповатой

скульптуры (рис. 3, с, d), что в норме (рис. 3, а, b) соответствует 12 и 7%, а в условиях полемостресса увеличивается 2-3-кратно.

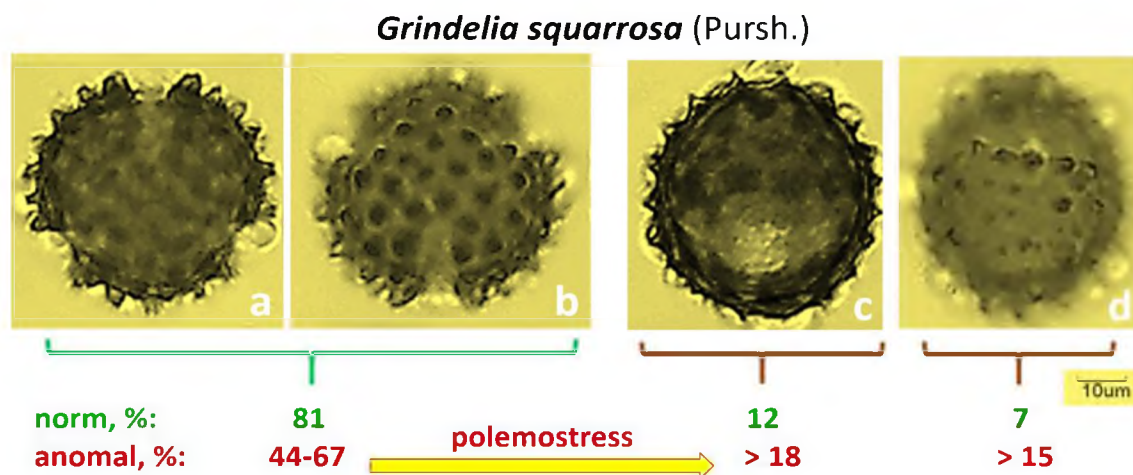


Рисунок 3. Палинотипы *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal в экотопах Центрального Донбасса: а, b – визуальная нома скульптуры в проекции и на поверхности; с, d – характерные патологии в зоне импакта беллигеративного фактора.

При таких структурных параметрах пыльца *Grindelia squarrosa* образуется, но не выполняет свою основную функцию – оплодотворение, что принципиально отличает образцы пыльцевых зёрен от угнетённых, но не закупоренных для выхода генеративной клетки при попадании палыцы на рыльце пестика. При этом аллергенный фон от концентрации палыцы в воздухе в этот период не становится меньше, поскольку по количеству таких палыцевых зёрен ориентировочно становится на 20-25% больше. По-видимому, растительный организм пытается компенсировать неполноценность некоторых продуктов мейоза, продуцируя их в большем количестве (при сравнении этого критерия в расчете на один палычник). По результатам аналитического контроля самые высокие концентрации при атипичном строении установлены для элементов групп Zn-Li-Re и ассоциации Cr-Ni-Cu. Отмечено, что именно такие ассоциативные ряды наиболее соответствуют фактору полемостресса на территории Центрального Донбасса.

В экспериментах по выявлению новых геохимических аномалий (при условии контрастной среды воздействия и разного типа загрязнений) появление аномальных (тератных) форм растений-индикаторов является первопричиной более дробного анализа в конкретном локалитете. Характер загрязнений в условиях военных событий может существенно различаться на расстоянии 5-20 метров в первый год после обстрелов, однако после наблюдается диффузное неравномерное рассеивание в том числе токсикантов. При этом фоновые концентрации в ареале одной учётной площадки до 100 м² могут сохранять геохимический контраст более 10 лет (подтверждено эмпирически), что установлено по анализу первых мест взрывов с 2014 г.

Вид *Achillea millefolium* является в перспективе восстановления нарушенных ландшафтов как наиболее аутохтонным, так и почвопокровным из анализируемых в этом аспекте видов. В полевых условиях (благодаря продолжительности цветения и стойкости к экстремальным факторам степной зоны) отмечается высокий декоративный эффект при использовании в оптимизационных целях. По палинологическим данным отмечены два

структурных состояния в паре «норма-патология» (рис. 4), которые продемонстрированы в проекции, отражающей вариабельность формы пыльцевого зерна (рис. 4, а, с) и при анализе орнаментации и скульптуры в менее глубокой резкости микроскопа (рис. 4, b, d).

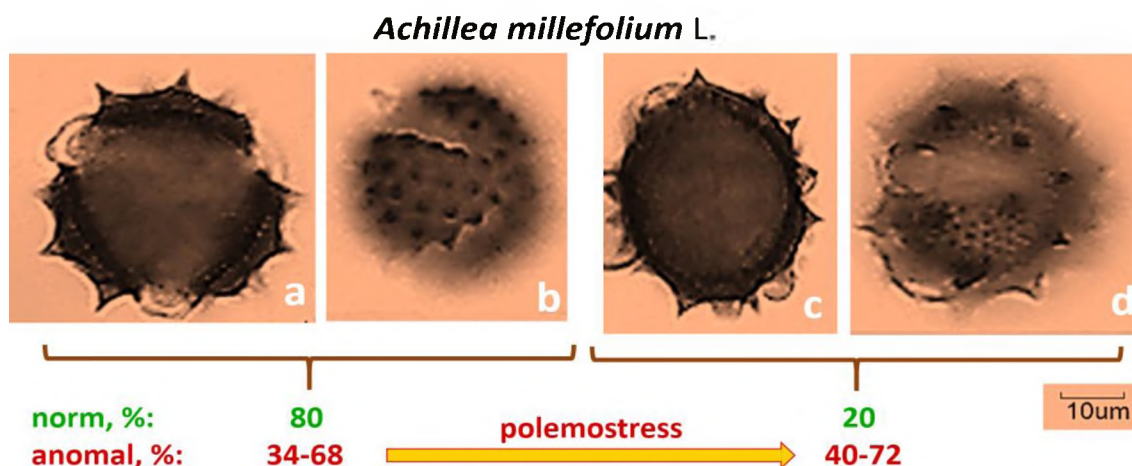


Рисунок 4. Палинотипы *Achillea millefolium* L. в экотопах Центрального Донбасса:

а, b – визуальная нома скульптуры в проекции и на поверхности;
с, d – характерные патологии в зоне импакта беллигеративного фактора

Тенденции формирования атипичной структуры схожи с предыдущими описанными видами семейства астровых, что вторично подчеркивает тенденцию частичного барьера и увеличения невозможности механического осуществления процесса оплодотворения за счет элиминации поровых структур в экзине. Наблюдается трансформация эхинолофатности при анализе характера поверхности пыльцевого зерна и трансформации в гребенчатый тип. В градиенте полемостресса наблюдаются частые разрывы наружных оболочек. При этом установлено, что такого рода преобразования являются специфическим по отношению к другим экотопам с разным уровнем антропогенной нагрузки (техногенез, урбанизация, рудерализация) на природные среды. В локалитетах с наиболее выраженными аномалиями *Achillea millefolium* выделена геохимическая ассоциация Cu-W-U, что, безусловно, требует дополнительного изучения и анализа в контексте факторов загрязнения и реакции на них биоиндикаторов.

С целью представления информации о состоянии пыльцевых зёрен для беллигеративных ландшафтов в сравнительных трендах для техногенного региона некоторые статистические сведения и качественные отличия в межвидовом сравнении содержатся в таблице. Установлено, что качественные характеристики атипичных форм сопряжены тесной корреляцией с частотой встречаемости аномальных пыльцевых зёрен в зонах геолокального угнетения. Поиск и точное определение геохимических и геофизических аномальных зон в контрасте трансформации среды сохраняет свою актуальность в связи с продолжающимися боевыми действиями. Усугубляются (усиливаются в своём характере неблагоприятных проявлений) факторы полемостресса для территории Центрального Донбасса и прилегающих районов. Дробный морфологический анализ пыльцы является дополнением к существующей программе фитоиндикационного мониторинга как части экологической экспертизы в донецком экономическом регионе.

Таблица 1. Сводная информация палинологической идентификации
для растений-индикаторов в беллигеративных экотопах Донбасса

Вид растения-индикатора	Соотношение нормы и патологии в беллигеративных аспектах		Качественные и описательные характеристики тератных примеров
	нормальные пыльцевые зёрна, %	атипичные (аномальные) пыльцевые зёрна, %	
<i>Erigeron canadensis L.</i>	40...55	> 35	деформация слоя эскины, слабое окрашивание, нет гребней в скульптуре
<i>Cirsium arvense (L.) Scop.</i>	50...65	> 30	симметричность пор, деградация скульптуры, эхинолофатность
<i>Grindelia squarrosa (Pursh.) Dunal</i>	45...65	> 30	элиминация пор, деградативные процессы шиповатой скульптуры
<i>Achillea millefolium L.</i>	30...65	> 40	вариабельность формы пыльцы, деградация орнаментации

Учитывая межвидовую разницу, но близкородственность представителей семейства астровых в специфической реакции на неблагоприятные факторы, сделано предположение о возможности проведения взаимозаменяемой идентификации экотопа по данным одного из индикаторов, находящихся в наличии на учётной площадке. Этот факт важен для возможно проводимого экспресс-мониторинга на пострадавшей в результате обстрелов территории.

Заключение

В анализе факторов беллигеративной активности и полевостресса констатируется как пластичность одних структур информативных биоиндикаторов, так и консервативность других. В случае с анализом пыльцевого материала доказана пластичность представителей семейства астровых к действию факторов неопатологической природы.

Ранее неотмеченные атипичные изменения в структурно-функциональном аппарате растений с широкой экологической амплитудой связаны с прямым воздействием трансформирующего эффекта военных событий в Донбассе.

Палиноиндикация является частью программы экологического фитомониторинга. Данные по состоянию пыльцы могут быть использованы в ряде экспертных заключений о степени нарушенности или загрязненности среды, однако отмечается и видоспецифический эффект при детальном анализе элементного состава в растениях конкретного локалитета. Характер беллигеративного фактора многообразен и малоизучен, как и вариабельна реакция живого на неблагоприятные воздействия, поэтому выявленные закономерности реакции мужского гаметофита цветковых растений также представляют интерес с точки зрения фундаментальной науки по вскрытию механизмов адаптации к новым вызовам и формам воздействий на живые объекты.

Финансирование Донецкого государственного университета: тема № ПТНИ 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12; № госучета 124051400023-4.

References:

1. Vasilevskaya N. Pollution of the environment and pollen: A review // *Stresses*. – 2022. – Vol. 2, No. 4. – P. 515-530. – <https://doi.org/10.3390/stresses2040035>
2. Florenzano A., Clò E., Servera-Vives G., Mercuri A. M. Palynology for sustainability: A classical and versatile tool for new challenges: editorial // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, No. 5. – P. 1938. – <https://doi.org/10.3390/su17051938>
3. Bahadur S., Butt M.A., Long W., Begum N., Ali M., Ahmad M. Heteromorphy in pollen grains of the tropical and subtropical selected Fabaceae species // *Genetic Resources and Crop Evolution*. – 2024. – <https://doi.org/10.1007/s10722-024-02260-4>
4. Mirnenko N.S. Pollen viability of some woody plants species in Donetsk agglomeration // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*. – 2022, Vol. 26, No. 6. – P. 55-61. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-55-61>
5. Kornienko V., Reuckaya V., Shkirenko A., Meskhi B., Olshevskaya A., Odabashyan M., Shevchenko V., Teplyakova S. Silvicultural and ecological characteristics of populus bolleana lauche as a key introduced species in the urban dendroflora of industrial cities // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – <https://doi.org/10.3390/plants14132052>
6. Kornienko V., Shkirenko A., Reuckaya V., Meskhi B., Dzhedirov D., Olshevskaya A., Odabashyan M., Shevchenko V., Mangasarian D., Kulikova N. *Taxus baccata* L. under changing climate conditions in the steppe zone of the East European Plain // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – <https://doi.org/10.3390/plants14131970>
7. Yeprintsev S., Kurolap S., Klepikov O., Vinogradov P. Remote monitoring of factors determining the environmental safety of urban areas // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Vol. 389. – P. 03030. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903030>
8. Safonov A.I. A review of phytological assessment of anthropogenic ecotopes in Donbass: a review // *Theoretical and Applied Ecology*. – 2025. – No. 2. – P. 16-29. – <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2025-2-016-029>
9. Zinikovskaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for identifying new geochemical anomalies // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2024. – Vol. 94, No. 13. – P. 3472-3482. – <https://doi.org/10.1134/S1070363224130048>
10. Zinikovskaia I., Safonov A., Kravtsova A., Chaligava O., Germonova E. Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. – 2024. – Vol. 21, No. 2. – P. 186-200. – <https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>
11. Chufitskiy S., Romanchuk S., Meskhi B., Olshevskaya A., Shevchenko V., Odabashyan M., Teplyakova S., Vershinina A., Savenkov D. Assessment of surface water quality in the Krynka River basin using fluorescence spectroscopy methods // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 13. – <https://doi.org/10.3390/plants14132014>
12. Mirnenko E.I. Content composition and dynamics of photosynthetic pigments in the reservoirs of the Kalmius River of the Donetsk People's Republic // *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. – 2024. – Vol. 79, No. 4. – P. 267-273. – <https://doi.org/10.3103/S009639252560022X>
13. Yeprintsev S., Kurolap S., Klepikov O., Shekoyan S. Assessment of the impact of technogenic air pollution on the social processes of large urbanized regions // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 215. – P. 03009. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021503009>

Information about the author:

Safonov A.I. – corresponding author, Associate Professor, Head of the Department of Botany and Ecology, Candidate of Biological Sciences, Donetsk State University, Donetsk, Russia; e-mail: andrey_safonov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9701-8711>, Researcher ID: IXN-8945-2023, Scopus Author ID: 57210835692.