
АНАТОМИЯ И МОРФОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.52 (477)

ТЕРАТОГЕНЕЗ РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ДОНБАССА

© **А. И. Сафонов**
A. I. Safonov

Teratogenesis of indicator plants of industrial Donbass

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, д. 46. Тел.: +38 (050) 932-55-23, e-mail: andrey_safonov@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты регистрации тератологических проявлений у элементов сорно-рудеральной фракции флоры Донбасса (Донецко-Макеевской промышленной агломерации, Енакиевского, Горловского и Харцызского промышленных узлов). В соответствии с региональной классификационной схемой тератогенеза растений выявлена экотопическая обусловленность структурных аномалий у видов-индикаторов в антропогенно трансформированной среде. Дан анализ морфотипической деструкции гистогенеза и органогенеза репродуктивных и генеративных сфер развития фитокомпонентов различных экотопов Донбасса. Геоспецифичность тератоморфных проявлений установлена по корреляции с основными показателями промышленного загрязнения среды – концентрациями тяжёлых металлов в ризосафосфере видов, индицирующих состояние экотопов при проведении локальных экспертиз.

Ключевые слова: фитоиндикация, промышленные экотопы, экологический мониторинг, оценка загрязнения, Донбасс.

Abstract. The article presents the results of the registration of teratological manifestations in the elements of the weed and ruderal fraction of the Donbass flora (Donetsk-Makeevka industrial agglomeration, Enakievo, Gorlovka and Khartsyzsk industrial hubs). In accordance with the regional classification scheme of plant teratogenesis, the ecotopic conditionality of structural anomalies in indicator species in an anthropogenically transformed environment is revealed. An analysis of the morphotypical destruction of histogenesis and organogenesis of the reproductive and generative spheres of phytocomponents development of various ecotopes of Donbass is given. Geospecificity of the teratomorphic manifestations is established by the correlation with the main indicators of industrial pollution of the environment – the concentrations of heavy metals in the rhizodaphosphere of species indicating the state of ecotopes during local expert examinations.

Keywords: phytoindication, industrial ecotopes, environmental monitoring, pollution assessment, Donbass.

Введение

На территории современного центрального Донбасса (северо-западное Приазовье) размещены действующие объекты специализации металлургической, коксохимической, химической промышленности, карьерно-отвальные комплексы и отвалы угольных шахт, комбинированные свалки мусора. Весь этот индустриальный конгломерат в совокупности с районами плотной жилой застройки, экотопами путей сообщений и участками хозяйственного назначения на фоне постоянно возрастающих темпов антропогенной трансформации экосистем формирует зону экологического напряжения и обуславливает необходимость проведения детального мониторинга на основе независимых экспертных работ локального характера (Глухов и др., 2005; Сафонов, 2019 б, в). Система реализации фитоиндикационного эксперимента в промышленном регионе позволяет осуществить адекватную экологическую экспертизу и дать оценку состояния (степени пригодности, токсической нагрузки и механической трансформации) региональных экосистем (Неверова, 2010; Рахимова, 2014; Parmar et al., 2016; Душкова и др., 2017; Лазаренко, 2017;

Сафонов, 2017 б; Ибрагимова, 2018; Khondhodjaeva et al., 2018; Гурова, 2019;). При этом широкий спектр прикладных тем затрагивает вопросы качества почв (Gibson, 2009; Николаева и др., 2017; Дорохина, 2018;), фитотестирования почвенных субстратов (Шляхтин и др., 2014; Еремченко и др., 2016), флористические аспекты изучения регионов (Саксонов, 2017), информационного обеспечения безопасности городской среды (Неверова и др., 2006; Уфимцева и др., 2008; Поспелова и др., 2017; Глинянова, 2018; Фардеева, 2018; Kumaг, 2018). Важным диагностическим признаком является оценка токсических параметров состояния биотопов под воздействием антропогенного фактора (Булохов и др., 2012, 2014) и в сравнении с контрольными эталонными территориями (Клевцова, 2014; Плугатарь, 2015).

Степень проявления нетипичных структурных образований у растений в зонах повышенной экологической гетерогенности увеличивается (Коровин и др., 2009), что даёт основание рассматривать статистически достоверные регистрации аномалий как критерий неблагоприятной среды (Глухов и др., 2005).

В Донецком экономическом регионе были проведены исследования по фиксации тератоморф цветковых растений и создана их рабочая классификация по органогенной локализации для разных систематических групп (Назаренко, 2002; Глухов и др., 2005), сформирована база информативных индикаторных признаков для проведения фитоиндикационного мониторинга (Сафонов, 2009, 2016, 2017 а, 2018, 2019 а).

Цель работы – представить результаты учёта частоты встречаемости и специфики тератоморфических проявлений у растений-индикаторов техногенных нагрузок в Донбассе по экотопической приуроченности.

Методы и материалы исследований

Эксперимент по фитоквантификации экотопов реализован на 115 стационарных учётных площадках, объединенных в единую мониторинговую сетку. Для более детального уточнения ранжированных переходов в системе нормирования взяты дополнительные образцы субстрата в корнеобитаемом слое (ризозадафосфере) почв для тест-видов и зарегистрированы атипичные строения частей растений, которые соответствуют опубликованному чек-листу индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка, сформированному с 1998 по 2018 гг. (Сафонов, 2018). Общая база данных по локалитетам статистического учёта на местности в Донбассе составляет 754 точки.

Терминологический аппарат (Глухов и др., 2005, Назаренко, 2002), образцы для идентификации тератов (Назаренко, 2002) и классификация экотопов использованы в соответствии со сводной монографией А. З. Глухова с соавторами (Глухов и др., 2005). Наглядные образцы представлены в коллекционных фондах Донецкого ботанического сада и кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета. Дополнения по тератологическим признакам в эмбриональной сфере растений, в частности, для пыльцевых зёрен, матрикальной гетерокарпии и гетероспермии, синкотилии и схизокотилии, указаны в соответствии с ранее опубликованными работами (Сафонов, 2016; 2017 а; 2018; 2019 б, в).

Лабораторно-инструментальная специфика эксперимента по структурно-функциональной идентификации растительных образцов отражена в наших предыдущих публикациях (Сафонов, 2016; 2017 а, б; 2018). Кроме того, ранее опубликованы данные фитоиндикационных параметров импактного эксперимента для наиболее типичных промышленных объектов Донбасса (Сафонов, 2019 б) и списки информативных фитоиндикаторов разного целевого назначения (Сафонов, 2019 а).

Типичные шкалы фитоиндикационного эксперимента представлены 10-балльными расчётными диапазонами (по: Сафонов, 2018).

Концентрация валового содержания тяжёлых металлов в ризозадафосфере определена методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах Сатурн-2 и Сатурн-3 в аттестованной лаборатории кафедры аналитической химии Донецкого национального университета. Диапазоны концентрации тяжёлых металлов для различных экотопов даны в мг/кг.

Названия сосудистых растений даны в соответствии с базой «The Euro+Med PlantBase» (2019).

Результаты исследований

Конспект видов фитоиндикационного назначения техногенных экотопов центрального Донбасса с регистрируемым тератоморфизмом составлен в алфавитном порядке с указанием органогенной локализации аномалий. Большинство зарегистрированных атипичных структурных проявлений являются единичными случаями (не более 4% от анализируемой выборки); при частоте встречаемости признака более 5% указан процент от генеральной совокупности в мониторинговой точке с наибольшим значением; для индексов указаны значения, превышающие 2 по 10-балльной шкале.

Achillea nobilis L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипергенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), индекс общей специализации трихом, гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), усиление ветвления соцветий (7), фасциации осей соцветия, дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (19), индекс матрикальной гетерокарпии (7), индекс матрикальной гетероспермии.

Agrostis stolonifera L. – гипергенезия побега, полимеризация побега, срастание листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий (10), тератная форма пыльцевого зерна.

Amaranthus retroflexus L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс аномальности анастомозной сетки (8), индекс атипичного строения устьичного аппарата, гипогенезия листа, петалоидное превращение листьев (7), складчатость листовой пластинки, бесхлорофилльные листья, укорочение оси при скученности соцветий, недоразвитие части цветков в соцветии, усиление ветвления соцветий, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, тератная форма пыльцевого зерна.

Ambrosia artemisiifolia L. – гипогенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом, гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), срастание листьев, фасциации осей соцветия, ложное ветвление соцветий (расщепление), дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях (10), срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков, тератная форма пыльцевого зерна (18), индекс матрикальной гетерокарпии (12), индекс матрикальной гетероспермии.

Artemisia vulgaris L. – морфотипическая разнокачественность габитуса (12), гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс общей специализации трихом (7), олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, бесхлорофилльные листья, фасциации осей соцветия, ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (11).

Atriplex hortensis L. – гипергенезия побега, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс общей специализации трихом, гипогенезия листа, петалоидное превращение листьев, изменение характерной формы листовой пластинки (32), пестролистность, бесхлорофилльные листья (14), укорочение оси при скученности соцветий, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка.

A. patula L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, полимеризация побега, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс аномальности анастомозной сетки, гипогенезия листа, гигантизм листьев, петалоидное превращение листьев, изменение характерной формы листовой пластинки (29), пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий (6), усиление ветвления соцветий.

Berteroa incana (L.) DC. – морфотипическая разнокачественность габитуса, фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), индекс общей специализации трихом, срастание листьев, складчатость листовой пластинки, пестролистность, бесхлоро-

филльные листья (7), недоразвитие части цветков в соцветии (10), недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка, полимеризация (увеличение числа частей) цветка, нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга (14), позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, тератная форма пыльцевого зерна (27), индекс матричной гетерокарпии (11), индекс матричной гетероспермии.

Bromopsis inermis (Leys.) Holub – гипогенезия побега, полимеризация побега, индекс атипичного строения устьичного аппарата, гигантизм листьев, пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий, тератная форма пыльцевого зерна (9).

Bromus arvensis L. – полимеризация побега, гигантизм листьев, тератная форма пыльцевого зерна.

Calamagrostis epigeios (L.) Roth – гипергенезия побега (6), фасциация побегов, индекс атипичного строения устьичного аппарата, гипогенезия листа, бесхлорофилльные листья, тератная форма пыльцевого зерна (8).

Capsella bursa-pastoris (L.) Medik. – морфотипическая разнокачественность габитуса (16), гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов (6), деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), дистопия побега (изменение характера ветвления), индекс общей специализации трихом, гигантизм листьев, складчатость листовой пластинки, недоразвитие части цветков в соцветии (8), ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях, недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков, расщепление (хориза) различных частей цветка, нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга, смещение кругов цветка, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, тератная форма пыльцевого зерна (22), деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия (7), индекс матричной гетерокарпии, индекс матричной гетероспермии.

Centaurea diffusa Lam. – морфотипическая разнокачественность габитуса, фасциация побегов, индекс общей специализации трихом, индекс аномальности анастомозной сетки, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), полимеризация листьев, срастание листьев, усиление ветвления соцветий (10), фасциации осей соцветия, пролификация в соцветиях, метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов, тератная форма пыльцевого зерна.

Chelidonium majus L. – гипогенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, индекс атипичного строения устьичного аппарата (9), гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, срастание листьев, петалоидное превращение листьев (5), пестролистность, бесхлорофилльные листья, недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка, полимеризация (увеличение числа частей) цветка, срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков, пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка (7).

Chenopodium album L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипогенезия побега (15), индекс общей специализации трихом, гипогенезия листа, гигантизм листьев, полимеризация листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, бесхлорофилльные листья, укорочение оси при скученности соцветий (11), усиление ветвления соцветий, дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, расщепление (хориза) различных частей цветка.

Cichorium intybus L. – морфотипическая разнокачественность габитуса (9), гипогенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опушение листа в целом (12), индекс общей специализации трихом, индекс аномальности анастомозной сетки (8), гипогенезия листа, петалоидное превращение

листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, складчатость листовой пластинки, бесхлорофилльные листья, недоразвитие части цветков в соцветии, фасциации осей соцветия, пролификация в соцветиях (5), срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков, метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов (5), пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка, альбинизм (нетипичный) цветка (5), тератная форма пыльцевого зерна (27), деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия (8), индекс матрикальной гетерокарпии (20), индекс матрикальной гетероспермии (20).

Cirsium arvense (L.) Scop. – гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опущение листа в целом, гипогенезия листа, изменение характерной формы листовой пластинки, пестролистность, бесхлорофилльные листья, недоразвитие части цветков в соцветии (19), ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях, метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов, тератная форма пыльцевого зерна.

Convolvulus arvensis L. – гипергенезия побега, индекс атипичного строения устьичного аппарата, бесхлорофилльные листья (12), недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, расщепление (хориза) различных частей цветка, пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка.

Cyclachaena xanthiifolia (Nutt.) Fresen. – деформация побега, индекс общей специализации трихом (17), гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), изменение характерной формы листовой пластинки, фасциации осей соцветия, дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (25).

Cynoglossum officinale L. – гипергенезия побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опущение листа в целом, полимеризация листьев, петалоидное превращение листьев, пестролистность, бесхлорофилльные листья, расщепление (хориза) различных частей цветка (7), смещение кругов цветка.

Dactylis glomerata L. – гипергенезия побега, полимеризация побега, деформация побега, укорочение оси при скученности соцветий.

Daucus carota L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, фасциация побегов, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, полимеризация листьев, усиление ветвления соцветий, индекс матрикальной гетерокарпии (34), индекс матрикальной гетероспермии (37).

Deschampsia cespitosa (L.) Beauv. – гипогенезия побега, гипогенезия листа, срастание листьев, тератная форма пыльцевого зерна (5).

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. – укорочение оси при скученности соцветий, тератная форма пыльцевого зерна.

Diploaxis muralis (L.) DC. – гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения) (6), бесхлорофилльные листья, недоразвитие части цветков в соцветии.

Echium vulgare L. – морфотипическая разнокачественность габитуса (9), дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опущение листа в целом (12), индекс общей специализации трихом (17), гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, срастание листьев, петалоидное превращение листьев, складчатость листовой пластинки, ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях (5), дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка, полимеризация (увеличение числа частей) цветка, срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков, расщепление (хориза) различных частей цветка, пролификация цветков (6), изменение нормальной формы частей цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, тератная форма пыльцевого зерна,

деформированный или несформированный зародыш (6), тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия, индекс матрикальной гетерокарпии, индекс матрикальной гетероспермии.

Elytrigia repens (L.) Nevski – полимеризация побега, индекс атипичного строения устьичного аппарата (5), пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий, тератная форма пыльцевого зерна.

Erigeron canadensis L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), индекс общей специализации трихом, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна.

Euphorbia seguieriana Neck. – деформация побега, гипогенезия листа, петалоидное превращение листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, усиление ветвления соцветий (7), ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях (10), недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка.

Fallopia convolvulus (L.) Á. Löve – гипогенезия побега, гипергенезия побега, полимеризация побега, срастание листьев.

Galinsoga parviflora Cav. – гипергенезия побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом, индекс атипичного строения устьичного аппарата, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), изменение характерной формы листовой пластинки, фасциации осей соцветия (12), ложное ветвление соцветий (расщепление), дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (21).

Galium mollugo L. – гипергенезия побега, срастание листьев, пестролистность.

Grindelia squarrosa (Purch) Dunal – гипогенезия побега, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения) (11), дистопия побега (изменение характера ветвления) (16), индекс общей специализации трихом, пестролистность, недоразвитие части цветков в соцветии, расщепление (хориза) различных частей цветка, позеленение (нетипичное) цветка (8), альбинизм (нетипичный) цветка.

Hyoscyamus niger L. – гипергенезия побега, аномальное опушение листа в целом, гипогенезия листа, гигантизм листьев, срастание листьев, петалоидное превращение листьев, складчатость листовой пластинки, бесхлорофилльные листья, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка (5), полимеризация (увеличение числа частей) цветка, пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка.

Kochia laniflora (S. G. Gmel.) Borb. – фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом (7), индекс аномальности анастомозной сетки, гигантизм листьев, петалоидное превращение листьев, укорочение оси соцветий при их скученности, усиление ветвления соцветий (5), пролификация в соцветиях.

Lactuca tatarica (L.) C. A. Mey. – гипогенезия побега, гипергенезия побега, дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), изменение характерной формы листовой пластинки (9), бесхлорофилльные листья, недоразвитие части цветков в соцветии, фасциации осей соцветия (10), метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов, тератная форма пыльцевого зерна (18).

Melilotus albus Medik. – гипергенезия побега, дистопия побега (изменение характера ветвления), индекс атипичного строения устьичного аппарата, гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, срастание листьев, пестролистность, дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях (16), позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка.

Melilotus officinalis (L.) Pall. – гипергенезия побега, полимеризация побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс общей специализации трихом, тератная форма пыльцевого зерна, индекс матрикальной гетерокарпии (6).

Oberna behen (L.) Копп. – морфотипическая разнокачественность габитуса, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс общей специализации трихом, гипогенезия листа, гигантизм листьев, бесхлорофилльные листья, недоразвитие части цветков в соцветии (17), недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков (7), расщепление (хориза) различных частей цветка.

Otites media (Litv.) Klokov – гипергенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, петалоидное превращение листьев, укорочение оси при скученности соцветий (10), усиление ветвления соцветий.

Papaver rhoeas L. – фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), индекс атипичного строения устьичного аппарата, складчатость листовой пластинки, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка (9), полимеризация (увеличение числа частей) цветка, смещение кругов цветка.

Persicaria maculosa Gray – гипогенезия побега, дистопия побега (изменение характера ветвления), срастание листьев, деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия (7), тератологическая схизокотилия (5).

Plantago lanceolata L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипогенезия побега, фасциация побегов, аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом (15), индекс аномальности анастомозной сетки (13), гигантизм листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, укорочение оси при скученности соцветий (16), пролификация в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (29).

P. major L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипергенезия побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом (12), индекс аномальности анастомозной сетки, индекс атипичного строения устьичного аппарата, гипогенезия листа (7), гигантизм листьев, срастание листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, складчатость листовой пластинки, пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий, недоразвитие части цветков в соцветии, тератная форма пыльцевого зерна (33), индекс матрикальной гетерокарпии (30), индекс матрикальной гетероспермии (34).

Polygonum aviculare L. – гипогенезия побега, полимеризация побега (6), фасциация побегов, петалоидное превращение листьев, пестролистность, ложное ветвление соцветий (расщепление) (10), тератная форма пыльцевого зерна, деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия.

Polygonum patulum M. Vieb. – фасциация побегов, дистопия побега (изменение характера ветвления) (7), тератная форма пыльцевого зерна (10).

Reseda lutea L. – морфотипическая разнокачественность габитуса (10), гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), дистопия побега (изменение характера ветвления), изменение характерной формы листовой пластинки (7), укорочение оси при скученности соцветий, недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка (5), расщепление (хориза) различных частей цветка, метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов, пролификация цветков, изменение нормальной формы частей цветка (9), смещение кругов цветка, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка (7), тератная форма пыльцевого зерна (20), деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия, индекс матрикальной гетерокарпии (22), индекс матрикальной гетероспермии.

Rumex crispus L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипогенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, олигомеризация листового аппарата (деструкция

по жилкованию), срастание листьев, петалоидное превращение листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, складчатость листовой пластинки (6), укорочение оси при скученности соцветий, недоразвитие части цветков в соцветии, усиление ветвления соцветий, срастание отдельных элементов цветка между собой (12), срастание нескольких цветков, метаморфоз отдельных частей цветка (7); взаимные превращения цветков разных типов, нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга.

Salsola australis R. Br. – гипергенезия побега, полимеризация побега, дистопия побега (изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом, индекс аномальности анастомозной сетки, индекс атипичного строения устьичного аппарата (6), гигантизм листьев, срастание листьев, укорочение оси при скученности соцветий, усиление ветвления соцветий, ложное ветвление соцветий (расщепление), пролификация в соцветиях (5), дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна.

Senecio vulgaris L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипергенезия побега, индекс общей специализации трихом (7), индекс атипичного строения устьичного аппарата, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, полимеризация листьев, бесхлорофилльные листья, фасциации осей соцветия (9), индекс матрикальной гетерокарпии, индекс матрикальной гетероспермии.

Sinapis arvensis L. – гипогенезия побега, деформация побега, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), пестролистность, бесхлорофилльные листья, срастание отдельных элементов цветка между собой (10), срастание нескольких цветков, расщепление (хориза) различных частей цветка, пролификация цветков (6), изменение нормальной формы частей цветка, нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга.

Sisymbrium polymorphum (Murray) Roth – гипогенезия побега, индекс аномальности анастомозной сетки, бесхлорофилльные листья, ложное ветвление соцветий (расщепление), олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка, полимеризация (увеличение числа частей) цветка, нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга (7), смещение кругов цветка, тератная форма пыльцевого зерна, деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия, индекс матрикальной гетерокарпии (16).

Sonchus arvensis L. – гипергенезия побега, полимеризация побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опушение листа в целом (6), индекс аномальности анастомозной сетки (10), недоразвитие части цветков в соцветии, фасциации осей соцветия, метаморфоз отдельных частей цветка; взаимные превращения цветков разных типов.

Tanacetum vulgare L. – морфотипическая разнокачественность габитуса (5), гипогенезия побега, гипергенезия побега, дистопия побега (нарушение листорасположения, изменение характера ветвления), аномальное опушение (7), индекс аномальности анастомозной сетки, индекс атипичного строения устьичного аппарата (11), гипогенезия листа, гигантизм листьев, полимеризация листьев, срастание листьев, пестролистность, фасциации осей соцветия, пролификация в соцветиях, тератная форма пыльцевого зерна (29), деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия (7), тератологическая схизокотилия (7), индекс матрикальной гетерокарпии, индекс матрикальной гетероспермии.

Thlaspi arvense L. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипергенезия побега, аномальное опушение листа в целом, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), петалоидное превращение листьев, изменение характерной формы листовой пластинки, складчатость листовой пластинки, пестролистность, усиление ветвления соцветий (5), недоразвитие частей цветка (гипогенезия), уменьшение размеров цветка, срастание отдельных элементов цветка между собой (13), срастание нескольких цветков, расщепление (хориза) различных частей цветка, нарушение взаимного расположения частей

цветка в пределах одного круга (11), смещение кругов цветка, тератная форма пыльцевого зерна, индекс матрикальной гетерокарпии.

Tragopogon major Jacq. – морфотипическая разнокачественность габитуса, гипогенезия побега (6), гипергенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом, индекс атипичного строения устьичного аппарата (9), гипогенезия листа, гигантизм листьев, полимеризация листьев, срастание листьев, пестролистность, бесхлорофилльные листья, фасциации осей соцветия (11), пролификация в соцветиях (6), тератная форма пыльцевого зерна (38), деформированный или несформированный зародыш, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия, индекс матрикальной гетерокарпии (9), индекс матрикальной гетероспермии (5).

Tripleurospermum inodorum (L.) Sch. Bip. – морфотипическая разнокачественность габитуса (7), гипогенезия побега, гипергенезия побега, фасциация побегов, деформация побега, дистопия побега (нарушение листорасположения, изменение характера ветвления), аномальное опушение листа в целом (9), индекс общей специализации трихом, индекс аномальности анастомозной сетки, индекс атипичного строения устьичного аппарата (5), гипогенезия листа, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), гигантизм листьев, полимеризация листьев, срастание листьев, бесхлорофилльные листья, фасциации осей соцветия (11), ложное ветвление соцветий (расщепление), дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, метаморфоз отдельных частей цветка, взаимные превращения цветков разных типов, тератная форма пыльцевого зерна (40), деформированный или несформированный зародыш (10), тератологическая синкотилия (9), тератологическая схизокотилия (5), индекс матрикальной гетерокарпии (11), индекс матрикальной гетероспермии (10).

Xanthium albinum (Widd.) H. Scholz. – гипогенезия побега, фасциация побегов, дистопия побега (нарушение листорасположения), аномальное опушение листа в целом, индекс общей специализации трихом (6), гипогенезия листа, гигантизм листьев, изменение характерной формы листовой пластинки (6), складчатость листовой пластинки, пестролистность, укорочение оси при скученности соцветий, тератная форма пыльцевого зерна (16), индекс матрикальной гетерокарпии.

В табл. представлены сводные результаты по токсической характеристике экотопов разных категорий и наиболее частые тератологические преобразования у видов растений, чья структурная пластичность обуславливает их индикаторную значимость для проведения мониторинга в Донбассе.

Экологическая дифференциация тератогенеза фитоиндикаторов Донбасса

Таблица

Экотоп и (или) территория целевого назначения	Диапазоны валовых концентраций тяжёлых металлов в ризосфере, мг/кг	Характерные тератоморфы
<i>Экотопы с полностью преобразованным эдафотопом (Донецк, Макеевка, Харцызск, Горловка):</i>		
карьерно-отвалыные комплексы	Cu (129–310), Zn (303–426), Pb (100–430), Cd (0,5–10,1), Hg (0,3–2,8), Ni (76–120)	дистопия побега (нарушение листорасположения), гипогенезия листа, укорочение оси при скученности соцветий, ложное ветвление соцветий (расщепление), взаимные превращения цветков разных типов, пролификация цветков, индекс матрикальной гетерокарпии
отвалы угольных шахт	Cu (120–300), Zn (305–450), Pb (105–350), Cd (0,5–10,5), Hg (0,3–2,5), Ni (78–128)	гипогенезия побега, индекс общей специализации трихом, пестролистность, бесхлорофилльные листья, недоразвитие частей цветка (гипогенезия), изменение нормальной формы частей цветка, тератологическая синкотилия, тератологическая схизокотилия

Экотоп и (или) территория целевого назначения	Диапазоны валовых концентраций тяжёлых металлов в ризодафосфере, мг/кг	Характерные тератоморфы
<i>Промзоны предприятий (Донецк, Макеевка, Енакиево, Горловка):</i>		
металлургических	Cu (156–360), Zn (260–530), Pb (102–509), Cd (0,8–11,2), Hg (0,5–2,7), Ni (79–158)	гипергенезия побега, аномальное опущение листа в целом, срастание листьев, петалоидное превращение листьев, недоразвитие части цветков в соцветии, пролификация в соцветиях, дистопия (аномальное ветвление) в соцветиях, расщепление (хориза) различных частей цветка, метаморфоз отдельных частей цветка; нарушение взаимного расположения частей цветка в пределах одного круга, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, деформированный или несформированный зародыш, индекс матрикальной гетероспермии
коксохимических	Cu (132–300), Zn (203–420), Pb (98–340), Cd (0,5–9,1), Hg (0,3–2,0), Ni (70–109)	фасциация побегов, индекс аномальности анастомозной сетки, изменение характерной формы листовой пластинки, складчатость листовой пластинки, усиление ветвления соцветий, фасциации осей соцветия, уменьшение размеров цветка, олигомеризация (уменьшение числа частей) цветка, тератная форма пыльцевого зерна
химических	Cu (130–280), Zn (190–370), Pb (90–290), Cd (0,5–9,4), Hg (0,3–1,9), Ni (70–105)	морфотипическая разнокачественность габитуса, аномальное опущение листа в целом, олигомеризация листового аппарата (деструкция по жилкованию), смещение кругов цветка
<i>Экотопы путей сообщения (Донецк, Макеевка, Харьцызск, Енакиево):</i>		
автодорог (асфальтовое полотно и придорожная полоса до 10 метров)	Cu (52–85), Zn (180–300), Pb (70–250), Cd (0,2–4,6), Hg (0,2–1,0), Ni (60–100)	индекс атипичного строения устьичного аппарата, тератная форма пыльцевого зерна
железных дорог	Cu (50–88), Zn (180–355), Pb (70–250), Cd (0,2–4,6), Hg (0,2–0,7), Ni (60–110)	полимеризация листьев, срастание отдельных элементов цветка между собой, срастание нескольких цветков
<i>Экотопы селитебных территорий (Донецк, Макеевка, Енакиево, Горловка):</i>		
тротуаров, дворов	Cu (50–82), Zn (170–300), Pb (70–200), Cd (0,2–3,6), Hg (0,1–0,5), Ni (54–100)	полимеризация побега
рудеральные экотопы	Cu (50–180), Zn (170–390), Pb (70–320), Cd (0,2–6,6), Hg (0,2–3,5), Ni (54–210)	деформация побега, позеленение (нетипичное) цветка, альбинизм (нетипичный) цветка, тератологическая схизокотилия
<i>Экотопы территорий, занимаемых культурфитоценозами (Донецк, Макеевка):</i>		
посадки деревьев и кустарников, лесополосы	Cu (30–170), Zn (170–280), Pb (70–220), Cd (0,1–3,6), Hg (0,1–2,8), Ni (50–215)	полимеризация (увеличение числа частей) цветка
газоны, клумбы	Cu (20–170), Zn (150–280), Pb (72–224), Cd (0,1–3,0), Hg (0,1–2,4), Ni (40–200)	единично
вытаптываемые участки, свалки, пустыри	Cu (20–170), Zn (145–280), Pb (65–220), Cd (0,1–3,2), Hg (0,1–2,2), Ni (40–170)	дистопия побега (изменение характера ветвления), гигантизм листьев
<i>Относительно малонарушенные территории (РЛП Донецкий крае, Зуевский)</i>		
территории природно-заповедного фонда	Cu (<40), Zn (<120), Pb (<65), Cd (<0,9), Hg (<0,8), Ni (<45)	единично

Важно отметить, что фоновые проявления тератогенеза цветковых растений отмечены на всех пробных площадях, включая относительно малонарушенные, в том числе в пределах заповедных территорий. Выход за пределы экологической пластичности растительного организма может быть детерминирован как избытком, так и недостатком определенного микроэлемента и (или) дозой фактора среды (Gibson, 2009; Дорохина, 2018). Эмпирически прослеживаемая тенденция повышения показателей структурно-функциональной разно-

качественности растений в условиях геохимической активности ландшафтов Донбасса согласуется с общетеоретическими выводами тератологов (Назаренко, 2002; Глухов и др., 2005; Коровин, 2009; Неверова, 2010; Лазаренко, 2017; Фардеева, 2018). На этом основании и рассматривается реальная индикационная значимость фитообъектов в регионах с чрезвычайными воздействиями факторов антропогенной трансформации среды.

Высокий уровень фитотератогенеза на территориях промышленных зон предприятий металлургического, коксохимического и горнодобывающего комплексов, по-видимому, обусловлен как соматическими физиолого-биохимическими изменениями внутриклеточной локализации наиболее активных металлотеоновых образований неконкурентного и конкурентного ингибирования и (или) гиперфункции, так и механо-трансформирующими воздействиями промышленногенных эмиссий в природные среды при включении соединений сложных конструкций в участки меристематической активности растительного организма.

Заключение

Перечисленные признаки видов являются фенотипическими преобразованиями, что доказано 22-летним экспериментом по взаимному переносу семенного материала из одних учётных площадок в другие (Сафонов, 2009, 2017 а). На основе полученных данных установлено, что проявление этих характеристик связано с условиями произрастания и в большей степени – с уровнем и спецификой токсической нагрузки в контрастных геохимических средах промышленного региона. Такое обстоятельство позволяет рассматривать совокупность указанных признаков как приемлемую базу экспериментальных значений биомаркеров для оценки состояния среды по структурной фитоиндикации, что определенным образом решает проблему поиска адекватных фитоиндикаторов в центральном Донбассе.

Полученные результаты нуждаются в дальнейшем многофакторном корреляционном анализе с выявлением причинно-следственных связей регистрации структурных аномалий, установлению таксоноспецифичности, фундаментальных и прикладных исследований в области тератогенеза растений в антропогенно трансформированной среде.

Работа реализована в рамках государственных научных тем: № 0117D000192 «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» и № 0118 D 000017 «Диагностика природных и трансформированных экотопов по состоянию фитокомпонентов».

Список литературы

- Булохов А. Д., Анищенко Л. Н., Панасенко Н. Н., Семениченков Ю. А. 2012. Содержание тяжёлых металлов в прибрежно-водных экосистемах юго-западных районов Брянской области // Вестник Брянского гос. ун-та. № 4 (1). С. 57–60. [Bulokhov A. D., Anishchenko L. N., Panasenko N. N., Semenishchenkov Yu. A. 2012. Soderzhanie tiazhelykh metallov v pribrezhno-vodnykh ekosistemakh iugo-zapadnykh raionov Brianskoi oblasti // Vestnik Brianskogo gos. un-ta. № 4 (1). P. 57–60.]
- Булохов А. Д., Анищенко Л. Н., Панасенко Н. Н., Семениченков Ю. А., Сквородникова Н. А. 2014. Тяжёлые металлы компонентов луговых ценозов в условиях техногенной нагрузки // Современные проблемы науки и образования. № 3. С. 6–12. [Bulokhov A. D., Anishchenko L. N., Panasenko N. N., Semenishchenkov Yu. A., Skovorodnikova N. A. 2014. Tiazhelye metally komponentov lugovykh tsenozov v usloviakh tekhnogennoi nagruzki // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. № 3. P. 6–12.]
- Глинянова И. Ю., Азаров В. Н., Городничая А. Н., Мельченко А. И., Фомичёв В. Т. 2018. Фитомониторинг и промышленный экофитодизайн: новый подход в обеспечении экологической безопасности городской среды // Социология города. № 3. С. 83–93. [Glinianova I. Yu., Azarov V. N., Gorodnichaia A. N., Mel'chenko A. I., Fomichev V. T. 2018. Fitomonitoring i promyshlennyi ekofitodizain: novyi podkhod v obespechenii ekologicheskoi bezopasnosti gorodskoi srede // Sotsiologiya goroda. № 3. P. 83–93.]
- Глухов А. З., Хархота А. И., Назаренко А. С., Лиханов А. Ф. 2005. Тератогенез растений на юго-востоке Украины. Донецк: Донецкий ботанический сад. 179 с. [Glukhov A. Z., Kharkhota A. I., Nazarenko A. S., Likhanov A. F. 2005. Teratogenez rastenii na iugo-vostoke Ukrainy. Donetsk: Donetskii botanicheskii sad. 179 p.]
- Гурова О. Н. 2019. Экологическая нагрузка в приграничных регионах: сохранение биоразнообразия при развитии горнодобывающей отрасли (в рамках речных бассейнов юго-востока Забайкальского края) // Геополитика и экогеодинамика регионов. Т. 5 (15). № 1. С. 217–225. [Gurova O. N. 2019. Ekologicheskaiia nagruzka v prigranichnykh

- regionakh: sokhranenie bioraznoobraziia pri razvitiu gornodobyvaiushchei otrasli (v ramkakh rechnykh basseinov iugovostoka Zabaikal'skogo kraia) // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. T. 5 (15). № 1. P. 217–225.]
- Дорохина З. П. 2018. Фитоиндикация процессов деградации почв: основные термины и определения // Вестник науки. Т. 3. № 8. С. 229–237. [Dorokhina Z. P. 2018. Fitoindikatsiia protsessov degradatsii pochv: osnovnye terminy i opredeleniia // Vestnik nauki. T. 3. № 8. P. 229–237.]
- Душкова Д. О., Горецкая А. Г., Евсеев А. В. 2017. Применение биоиндикационных методов при проведении мониторинговых исследований окружающей среды // Проблемы региональной экологии. № 2. С. 10–15. [Dushkova D. O., Goretskaia A. G., Evseev A. V. 2017. Primenenie bioindikatsionnykh metodov pri provedenii monitoringovykh issledovaniu okruzhaiushchei sredy // Problemy regional'noi ekologii. № 2. P. 10–15.]
- Еремченко О. З., Митракова Н. В. 2016. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского ун-та. Вып 1. С. 60–70. [Eremchenko O. Z., Mitrakova N. V. 2016. Fitotestirovanie pochv i tekhnogennykh poverkhnostnykh obrazovaniu v urbanizirovannykh landshaftakh // Vestnik Permskogo un-ta. Vyp 1. P. 60–70.]
- Ибрагимова Э. Э. 2018. Мониторинг состояния окружающей среды методами фитоиндикации техногенного химического загрязнения // Человек – Природа – Общество: Теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. № 4 (11). С. 57–61. [Ibragimova E. E. 2018. Monitoring sostoiianiia okruzhaiushchei sredy metodami fitoindikatsii tekhnogennogo khimicheskogo zagriazneniia // Chelovek – Priroda – Obshchestvo: Teoriia i praktika bezopasnosti zhiznedeiatel'nosti, ekologii i valeologii. № 4 (11). P. 57–61.]
- Клевова М. А. 2014. Фитоиндикационная оценка состояния заповедных и урбанизированных территорий (на примере Воронежской области) // Вестник Тамбовского ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. Т. 19. Вып. 5. С. 1301–1304. [Klevsova M. A. 2014. Fitoindikatsionnaia otsenka sostoiianiia zapovednykh i urbanizirovannykh territorii (na primere Voronezhskoi oblasti) // Vestnik Tambovskogo un-ta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. T. 19. Vyp. 5. P. 1301–1304.]
- Коровин В. В., Курносков Г. А. 2009. Структурные аномалии: случайность или... // Лесной вестник. № 1. С. 26–32. [Korovin V. V., Kurnosov G. A. 2009. Strukturnye anomalii: sluchainost' ili... // Lesnoi vestnik. № 1. P. 26–32.]
- Лазаренко А. Д., Хабарова Е. И. 2017. Индикационно-диагностический потенциал высших растений, пригодный для использования в горной промышленности // Исследования по геоинформатике: тр. геофизического центра РАН. Т. 5. С. 90–102. [Lazarenko A. D., Khabarova E. I. 2017. Indikatsionno-diagnosticheskii potentsial vysshikh rastenii, prigodnyi dlia ispol'zovaniia v gornoi promyshlennosti // Issledovaniia po geoinformatike: tr. geofizicheskogo tsentra RAN. T. 5. P. 90–102.]
- Назаренко А. С. 2002. Опыт создания классификационной схемы тератоморф растений юго-востока Украины // Промышленная ботаника. Вып. 2. С. 34–38. [Nazarenko A. S. 2002. Opyt sozdaniia klassifikatsionnoi skhemy teratomorf rastenii iugovostoka Ukrainy // Promyshlennaia botanika. Vyp. 2. P. 34–38.]
- Неверова О. А., Еремеева Н. И. 2006. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды: аналитический обзор. Сер. Экология. Вып. 80. Новосибирск. 88 с. [Neverova O. A., Ereemeeva N. I. 2006. Opyt ispol'zovaniia bioindikatorov v otsenke zagriazneniia okru-zhaiushchei sredy: analiticheskii obzor. Ser. Ekologiya. Vyp. 80. Novosibirsk. 88 p.]
- Неверова О. А. 2010. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. Т. 1. № 1. С. 82–93. [Neverova O. A. 2010. Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagriazneniia okruzhaiushchei sredy // Biosfera. T. 1. № 1. P. 82–93.]
- Николаева О. В., Терехова В. А. 2017. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв // Почвоведение. № 9. С. 1141–1152. [Nikolaeva O. V., Terekhova V. A. 2017. Sovershenstvovanie laboratornogo fitotestirovaniia dlia ekotoksikologicheskoi otsenki pochv // Pochvovedenie. № 9. P. 1141–1152.]
- Плугатарь Ю. В., Ильницкий О. А., Корсакова С. П., Паштецкий А. В. 2015. Экологический фитомониторинг: исторический экскурс, состояние и перспективы // Биолетень ГНБС. Вып 114. С. 7–13. [Plugatar' Yu. V., Il'nikskii O. A., Korsakova S. P., Pashetskii A. V. 2015. Ekologicheskii fitomonitoring: istoricheskii ekskurs, sostoianie i perspektivy // Biulleten' GNBS. Vyp 114. P. 7–13.]
- Поспелова А. О., Мардра Ю. А., Зеленская Т. Г., Гудиев О. Ю. 2017. Оценка экологического состояния окружающей среды городских территорий методами биоиндикации и биотестирования. Ставрополь: Ставропольский гос. аграрный ун-т. 161 с. [Pospelova A. O., Mardra Yu. A., Zelenskaia T. G., Gudiev O. Yu. 2017. Otsenka ekologicheskogo sostoiianiia okruzhaiushchei sredy gorodskikh territorii metodami bioindikatsii i biotestirovaniia. Stavropol': Stavropol'skii gos. agrarnyi un-t. 161 p.]
- Рахимов Т. У., Байсунов Б. Х., Хайридинов Д. Б. 2014. Фитоиндикации в оценке загрязнения промышленных зон // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер.: География, геоэкология. № 2. С. 62–65. [Rakhimov T. U., Baisunov B. Kh., Khairiddinov D. B. 2014. Fitoindikatsii v otsenke zagriazneniia promyshlennykh zon // Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta. Ser.: Geografiia, geoekologiya. № 2. P. 62–65.]
- Саксонов С. В. 2017. Теоретические основы регионального флористического мониторинга. Тольятти: Кассандра. 532 с. [Saksonov S. V. 2017. Teoreticheskie osnovy regional'nogo floristicheskogo monitoringa. Tol'iaty: Kassandra. 532 p.]
- Сафонов А. И. 2009. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. № 51. С. 58–59. [Safonov A. I. 2009. Strategicheskaiia potentsializatsiia fitoindikatorov tekhnogennykh zagriaznenii // Agrarnaia Rossiia. № 51. P. 58–59.]
- Сафонов А. И. 2016. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. № 3–4. С. 23–29. [Safonov A. I. 2016. Strukturnaia

raznokachestvennost' embrional'nykh struktur fitoindikatorov v Donbasse // Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona. № 3–4. P. 23–29.]

Сафонов А. И. 2017 а. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса // Зелёный журнал – бол. ботанического сада Тверского гос. ун-та. Вып. 3. С. 6–14. [Safonov A. I. 2017 а. Fitoembrional'nyi skringing v ekologicheskom monitoringe Donbassa // Zelenyi zhurnal – biul. botanicheskogo sada Tverskogo gos. un-ta. Vyp. 3. P. 6–14.]

Сафонов А. И. 2017 б. Функциональная ботаника в Донбассе: экологический мониторинг, информационные ресурсные технологии, фитодизайн // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 8–14. [Safonov A. I. 2017 б. Funktsional'naia botanika v Donbasse: ekologicheskii monitoring, informatsionnye resursnye tekhnologii, fitodizain // Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona. 2017. № 1–2. P. 8–14.]

Сафонов А. И. 2018. Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998–2018 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. № 3–4. С. 67–72. [Safonov A. I. 2018. Chek-list indikatornykh priznakov somo-ruderal'noi fraktsii urbanoflory g. Donetska (1998–2018 gg.) // Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona. № 3–4. P. 67–72.]

Сафонов А. И. 2019 а. Сорно-рудеральная фракция урбанофлоры Донецкой агломерации как показатель трансформации локальных экосистем // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Мат. Междунар. науч. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров: ВятГУ. С. 13–16. [Safonov A. I. 2019 а. Somo-ruderal'naia fraktsiia urbanoflory Donetskoï aglomeratsii kak pokazatel' transformatsii lokal'nykh ekosistem // Transformatsiia ekosistem pod vozdeistviem prirodnykh i antropogennykh faktorov: Mat. Mezhdunar. nauch. konf. (Kirov, 16–18 aprilia 2019 g.). Kirov: ViatGU. P. 13–16.]

Сафонов А. И. 2019 б. Экспертиза промышленных предприятий Донбасса по состоянию фитокомпонентов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. № 1–2. С. 35–43. [Safonov A. I. 2019 б. Ekspertiza promyshlennykh predpriatii Donbassa po sostoiianiiu fitokomponentov // Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona. № 1–2. P. 35–43.]

Сафонов А. И. 2019 в. Инвентаризация промышленных объектов Донбасса по фитоиндикационным критериям // Вестник Донецкого национального ун-та. Сер. А: Естественные науки. № 1. С. 121–128. [Safonov A. I. 2019 в. Inventarizatsiia promyshlennykh ob'ektov Donbassa po fitoindikatsionnym kriteriiam // Vestnik Donetskogo natsional'nogo un-ta. Ser. A: Estestvennye nauki. № 1. P. 121–128.]

Уфимцева М. Д., Терехина Н. В., Банарь С. А. 2008. Экофитоиндикация урбанизированных геосистем // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 7. Вып. 4. С. 121–129. [Ufimtseva M. D., Terekhina N. V., Banar' S. A. 2008. Ekofitoindikatsiia urbanizirovannykh geosistem // Vestnik Sankt-Peterburgskogo un-ta. Ser. 7. Vyp. 4. P. 121–129.]

Фардеева М. Б., Шафигуллина Н. Р. 2018. Экология растений и методы фитоиндикации. Казань: КФУ. 150 с. [Fardееva M. B., Shafigullina N. R. 2018. Ekologiya rastenii i metody fitoindikatsii. Kazan': KFU. 150 p.]

Шляхтин Г. В., Емельянов А. В., Гусев А. А. 2014. Биологическая диагностика и мониторинг как средства контроля воздействий техногенных систем и их компонентов на состояние окружающей среды. Постановка проблемы. Алгоритм реализации научных программ // Вестник Тамбовского гос. ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. Т. 19. Вып. 5. С. 1626–1630. [Shliakhtin G. V., Emel'yanov A. V., Gusev A. A. 2014. Biologicheskaiia diagnostika i monitoring kak sredstva kontroliia vozdeistvii tekhnogennykh sistem i ikh komponentov na sostoiianie okruzhaiushchei sredy. Postanovka problemy. Algoritm realizatsii nauchnykh programm // Vestnik Tambovskogo gos. un-ta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. T. 19. Vyp. 5. P. 1626–1630.]

Gibson D. J. 2009. Grasses and grassland ecology. Oxford, New York: Oxford Univ. Press. 306 p.

Khondhodjaeva N. B., Ismillaeva K. B., Ruzimbayeva N. T. 2018. Bioindication and its importance in the conducting of ecological monitoring // European Science. N 4 (36). P. 68–70.

Kumar R. 2018. A review of phylogeography: biotic and abiotic factors // Geology, Ecology, Landscapes. Vol. 2. № 4. P. 268–274.

Parmar T. K., Rawtani D., Agrawal Y. K. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution // Frontiers in Life Science. Vol. 9. № 2. P. 110–118.

The Euro+Med PlantBase – the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity [Electronic resource]. URL: <http://ww2.bgbm.org>. Date of address: 15.07.2019.

Сведения об авторе

Сафонов Андрей Иванович

к. б. н., доцент кафедры ботаники и экологии
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк
E-mail: andrey_safonov@mail.ru

Safonov Andrey Ivanovich

Ph. D. in Biological sciences, Assistant Professor of the Dpt. of Botany and Ecology
Donetsk National University, Donetsk
E-mail: andrey_safonov@mail.ru