

УДК 574 : 58.632 : 581 : 502 (477)

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ НАРУШЕННОСТИ ЭКОТОПОВ ПО ФИТОИНДИКАЦИОННОМУ КРИТЕРИЮ В г. ДОНЕЦКЕ

© 2019. А.И. Сафонов, Е.А. Гермонова

Индекс трансформации локальных природных экосистем г. Донецка рассчитан по совокупному коэффициенту степени структурной трансформации растений-индикаторов: тератологические проявления, дефектность пыльцы, эмбрионального аппарата и общего габитуального состояния информативных для экологической экспертизы видов растений. Получена картографическая модель распределения совокупного признака для центральных районов промышленного мегаполиса (г. Донецка).

Ключевые слова: экологический мониторинг, фитоиндикация, Донецк, ботаническая экспертиза

Введение. Биомониторинг является частью программы стандартизации и нормирования воздействия человеческой деятельности на окружающую среду [1–3]. Методы фитоиндикации часто используют для проведения экологических наблюдений, оценок, прогнозов и элементов менеджмента в промышленно напряженных регионах или при высоких уровнях химического загрязнения [4–5]. Растения напрямую связаны с факторами среды, поскольку используемые индикаторы локально не меняют своих геоинформационных характеристик и не имеют возможности мигрировать на протяжении одного вегетационного периода, или всех сроков периода культивационного эксперимента [2, 6], что приемлемо для проведения инвентаризации промышленных объектов и мест чрезмерного импакта антропогенеза [7], в том числе по показателю структурных аномалий [8] и индивидуального строения растительного организма в норме реакции [9]. В донецком экономическом регионе фитоиндикационные критерии использовали как для оценки состояния среды, так и для анализа нежелательной динамики процессов трансформации природных систем [10–13]. Работа с экологической информацией в картографировании является актуальной экологической задачей [10, 14, 15].

Цель работы – провести оценку степени нарушенности локальных экотопов по комплексному фитоиндикационному критерию в г. Донецке.

Материал и методика исследования. Фитоиндикационная значимость нарушенности экотопов Донбасса выделена как совокупный критерий, состоящий из четырех блоков данных по структурной организации растительных организмов, для которых уже опубликованы результаты их информативных признаков в связи с конкретными уровнями и спецификой загрязнения или изменения среды. Общая методология фитомониторингового эксперимента представлена в предыдущих публикациях [2, 5–10].

Блоки информационной значимости (по одному из указанных видов растений):

1) коэффициент тератообразования *Atriplex patula* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Reseda lutea* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Diploxaxis muralis* (L.) DC., *Tanacetum vulgare* L. и *Plantago major* L.;

2) показатель дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq., *Berteroa incana* (L.) DC., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Reseda lutea* L., *Echium vulgare* L., *Plantago major* L. и *Tanacetum vulgare* L. при окрашивании метиленовым синим;

3) габитуальная разнокачественность *Amaranthus retroflexus* L., *Cichorium intybus* L., *Daucus carota* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Reseda lutea* L., *Tanacetum vulgare* L., *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *Convolvulus arvensis* L., и *Plantago major* L.;

4) трансформация зародышевого аппарата и сопутствующих эмбриональных гистологических структур *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Echium vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Tanacetum vulgare* L., *Plantago major* L. и *Thlaspi arvense* L.

Каждый блок оценен по максимальной шкале значимости от 0 до 5: 0–1 – не зафиксированные воздействия; 2–3 – трансформации экотопа средней степени; 4–5 – существенная нарушенность системы по аддитивной шкале (10:2) методик [7–9]. Таким образом, максимально возможное значение показателя воздействия на экотоп равно 20 (преимущественно необратимое состояние как нуль-момент в эцезисе). При плотности мониторинговой сети в 3–4 км расстояния от узлов локализации отбора проб только такая комбинация растительного материала позволяет обеспечить достоверную выборку полевых сборов для картографической визуализации данных в г. Донецке на одной плоскости – использование встроенного и дополнительно разработанного инструментария интерполяции и анализа близости в геоинформационной системе (ГИС) ArcGIS 10.4. Первичная оценка экотопов Донбасса по такой схеме начата в 2015–2017 гг., общие скрининговые программы с анализом данных для картографирования получены в 2018–2019 гг.

Анализ результатов. На рис. 1 представлены результаты распределения значений индекса нарушенности (трансформации) природных экотопов по четырем критериям состояния растений-индикаторов в летний период 2019 года. В распределении значений и для дифференцированного иллюстрирования наиболее показательной была определена шкала в пяти состояниях системы. Индексы варьирования признака (5 балльные интервалы) для каждого диапазона представлены на рис. 1, где также содержатся процентные соотношения площадной занятости каждым интервалом от общей площади проведенного эксперимента по 120 пробным площадям полевых сборов. Установлено, что полностью трансформированными или искусственно переформированными могут считаться экотопы, занимающие более 18 % территории, что для высоко урбанизированного пространства (на примере г. Донецка) не является высоким критическим значением. По ожидаемым прогнозам минимальному значению (интервал от 0 до 4 баллов) соответствует крайне малый процент территории (меньше 3), и тот зафиксирован в единичных случаях и в зависимости от года может иметь гораздо меньшее значение с маргинально точечной локализацией.

Выделить наиболее информативный вид растений в данном эксперименте не представлялось возможным (хотя по списку основных наиболее часто задействованных видов можно предполагать, что это растения типологического опыта, как было указано в [9] приоритетного списка), поскольку только на компенсаторных значениях можно было получить визуализацию. Наибольшие пертурбации наблюдались за последние годы в колебаниях численных значений второго и третьего интервальных уровней. Они менее тяготеют по территории к локализации промышленного сектора и более связаны с экотопами хозяйственно-бытового назначения в селитебных элементах зонирования при более плотной жилой застройке в тех районах, где более развита социальная инфраструктура города.

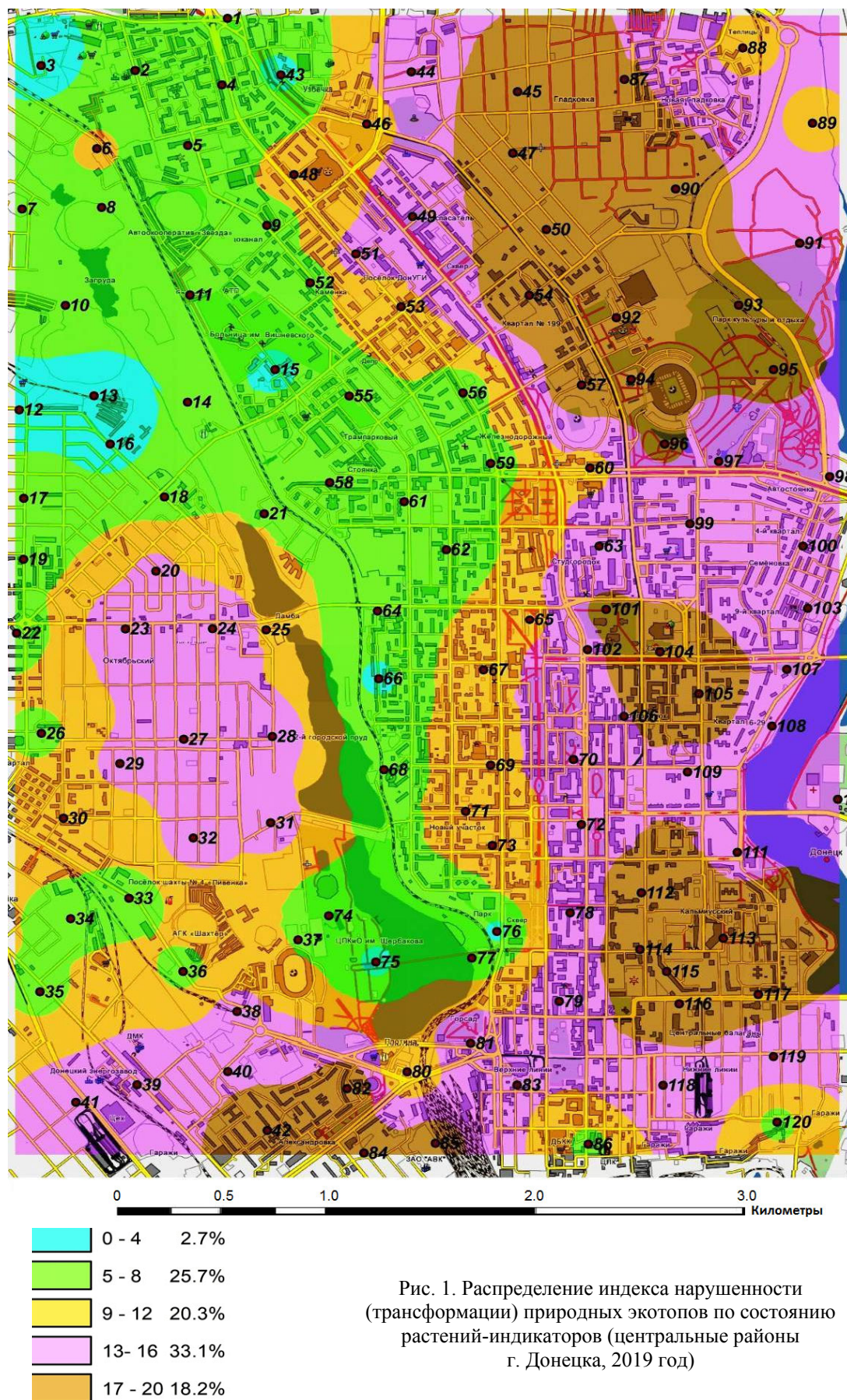


Рис. 1. Распределение индекса нарушенности (трансформации) природных экотопов по состоянию растений-индикаторов (центральные районы г. Донецка, 2019 год)

Интервал значений (третий) от 9 до 12 балльных единиц (см. рис. 1) в большей степени сформирован значениями высоких уровней тератных проявлений у *Berteroa incana* (L.) DC. и *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. в весенне-летний период, *Atriplex patula* L. и *Tanacetum vulgare* L. в летне-осенний период проведения полевого эксперимента. *Cichorium intybus* L., *Tragopogon major* Jacq. наиболее показательны при оценке эмбриональной разнокачественности (зародышевого аппарата и тканей зародышевых эпителиев). Значения четвертого уровня (предпоследнего) интервального показателя (рис. 1) трансформации систем в городе Донецке в большей степени зависимы от общей габитуальной разнокачественности *Reseda lutea* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. и *Cichorium intybus* L. Самым консервативным из блоковых критериев определен признак изменчивости зародышевого аппарата и сопутствующих ему эмбриональных гистологических структур, что отражает в определенной степени стратегию сохранности генеративных элементов в условиях специфического и неспецифического стресса при формировании растительного организма в городской среде.

Выводы.

1. Выбранные критерии экологический фитоэкспертизы города Донецка (тератологический, габитуальный, палинологический и гисто-эмбриологический) в сумме отражают специфику уровня трансформации экосистемы на локальном точечном уровне.

2. С помощью картографического метода получена одноплоскостная визуальная модель сплошного распределения признака по всей территории фитомониторингового эксперимента, на основании чего экотопы центральных районов г. Донецка ранжированы по пяти диапазонам (уровням) трансформации локальных геосистем.

3. Выделены территории экологического бедствия, для которых характерны максимальные значения показателя структурной организации растений-индикаторов, что позволяет рассматривать полученную карту как обоснование для функционального зонирования отдельных участков города Донецка, а также как аргумент принятия решений в хозяйственной деятельности урбосреды мегаполиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Conceptual approaches to standardization in system of environmental biomonitoring / S.V. Bespalova, O.S. Goretsky, A.D. Shtirts, A.I. Safonov // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2013. – № 1. – С. 8-15.
2. Safonov A.I. Phytoindicational monitoring in Donetsk / A.I. Safonov // Наука. Мысль. – 2016. – № 4. – С. 59-71.
3. Khondhodjaeva N.B. Bioindication and its importance in the conducting of ecological monitoring / N.B. Khondhodjaeva, K.B. Ismillaeva, N.T. Ruzimbayeva // European Science. – 2018. – No 4 (36). – P. 68-70.
4. Ибрагимова Э.Э. Мониторинг состояния окружающей среды методами фитоиндикации техногенного химического загрязнения / Э.Э. Ибрагимова // Человек – Природа – Общество: Теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. – 2018. – № 4 (11). – С. 57-61.
5. Сафонов А.И. Функциональная ботаника в Донбассе: экологический мониторинг, информационные ресурсные технологии, фитодизайн / А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2017. – № 1-2. – С. 8-14.
6. Сафонов А.И. Экспертиза промышленных предприятий Донбасса по состоянию фитокомпонентов / А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2019. – № 1-2. – С. 35-43.
7. Сафонов А.И. Инвентаризация промышленных объектов Донбасса по фитоиндикационным критериям / А.И. Сафонов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2019. – № 1. – С. 121-128.

8. Сафонов А.И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса / А.И. Сафонов // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1 (1). – С. 4-16. – DOI: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16.
9. Сафонов А.И. Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанofлоры г. Донецка (1998-2018 гг.) / А.И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3-4. – С. 67-72.
10. Гермонова Е.А. Анализ ботанико-экологической информации по геолокации в промышленном Донбассе / Е.А. Гермонова, А.И. Сафонов // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 2: Химико-биологические науки. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 202-204.
11. Бешенцев А.Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования / А.Н. Бешенцев // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – Т. 23, № 1. – 2018. – С. 85-110.
12. Колесников С.В. Визначення стадій демуґаційної сукцесії степової рослинності з використанням даних дистанційного зондування / С. В. Колесников, А. І. Сафонов // Екосистеми, їх оптимізація і охорона. – 2013. – № 9 (28). – С. 86-95.
13. Сафонов А.И. Оценка современного состояния и динамики степных растительных сообществ РЛП "Зуевский" с помощью технологии дистанционного зондирования / А.И. Сафонов, С.В. Колесников // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1. – С. 106-110.
14. Геоинформационная система представления экологической информации для портала «Открытые данные» / В.Г. Гайворонский, А.А. Романов, В.С. Кресин, В.В. Брук // Проблемы охраны окружающей природной среды и экологической безопасности. – 2016. – Вып. 38. – С. 143-151.
15. Калинина А.В. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации / А.В. Калинина, Е.А. Гермонова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3-4. – С. 28-34.

Поступила в редакцию 21.11.2019 г.

A COMPREHENSIVE INDICATOR OF ECOTOPE DISTURBANCE BY PHYTOINDICATION CRITERION IN DONETSK

A.I. Safonov, E.A. Germonova

The transformation index of local natural ecosystems in Donetsk has been calculated based on the cumulative coefficient of the degree of indicator plants structural transformation: teratological manifestations, defective pollen, embryonic apparatus and general habitat status of plant species informative for environmental impact assessment. A cartographic model of the distribution of the aggregate attribute for the central regions of the industrial metropolis (Donetsk) is obtained.

Keywords: environmental monitoring, phytoindication, Donetsk, botanical expertise.

Сафонов Андрей Иванович

Кандидат биологических наук, доцент;
заведующий кафедрой ботаники и экологии
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
г. Донецк, ДНР.
E-mail: andey_safonov@mail.ru

Safonov Andrey

Candidate of Biological Sciences, Docent;
Head of the Department of Botany and Ecology,
Donetsk National University, Donetsk.

Гермонова Екатерина Александровна

Кандидат технических наук, доцент;
доцент кафедры геоинформатики и геодезии
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
технический университет», г. Донецк, ДНР.
E-mail: germonova@mail.ru

Germonova Ekaterina

Candidate of Technical Sciences, Docent;
Donetsk National Technical University, Donetsk.