

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В ИМПАКТНОМ ФИТОМОНИТОРИНГЕ ДОНБАССА

А.И. Сафонов, А.З. Глухов

Донецкий национальный университет, г. Донецк, andrey_safonov@mail.ru

Аннотация. Показатель техногенной нагрузки на локальные природные системы Донбасса 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. Проведена расчетная оценка уровня техногенного загрязнения центральных объектов промышленности в регионе.

Ключевые слова: экологический мониторинг, фитоиндикация, Донбасс, промышленная ботаника.

Система количественного оценивания (квантификация) в экологических исследованиях опирается на эмпирические данные о состоянии объекта экспертизы таким образом, чтобы можно было сделать заключение о пригодности среды для использования в запланированных целевых программах [Зыкова, 2017; Meena, 2020; Panidi, 2016]. Это важно в решении вопросов зонирования территории индустриального района с помощью биоиндикаторов [Гермонова, 2019; Vespalova, 2011].

Среди надежных показателей состояния открытых ландшафтных систем наиболее изучены в донецком экономическом регионе растительные объекты [Глухов, 2001, 2002; Алемасова, 2019; Сафонов, 2019; Сафонов, Глухов, 2020, 2021]. Стратегии устойчивости и способы адаптаций растений к неблагоприятным условиям промышленной среды [Антонова, 2014; Vespalova, 2010] формируют базу для внедрения индикационных экспериментов в практику экологического мониторинга.

Цель работы – на основании данных о значимости растений-индикаторов в оценке природных экотопов Донбасса рассчитать комплексный показатель уровня техногенного воздействия в зонах влияния (промышленного импакта) некоторых предприятий-загрязнителей. Реализация программы осуществлена в соответствии с методологическими блоками проведения экологического фитомониторинга [Сафонов, Глухов, 2020, 2021]. Для территорий в 1,0-1,5-км зоне воздействия предприятий-загрязнителей были опубликованы некоторые первичные данные фитоиндикационного содержания за 2008-2018 гг. [Сафонов, 2019].

Материал был собран на пробных площадках, расположенных на расстоянии 1,0-1,5 км в западном направлении от предприятий: 1) Донецкий (Юзовский) металлургический завод; 2) Енакиевский металлургический завод; 3) Макеевский металлургический комбинат; 4) Енакиевский коксохимзавод; 5) Макеевский коксохимзавод; 6) Ясиновский коксохимзавод; 7) Харцызский трубный завод; 8) Зуевская ТЭС; 9) Старобешевская ТЭС; 10) Горловский Концерн Стирол. Были использованы индексированные значения показателей структурной пластичности растений по 10-балльным аддитивным шкалам. Специфика такого целевого направления работы не предусматривает оперирования данными по контрольным участкам в Донбассе, где значение любого из использованных показателей не превышало 3 (из возможных максимальных 10).



Основной способ выделения индикаторной значимости заключается в многофакторном корреляционном анализе (по табличным сводкам и картографическому материалу).

Важным представляется проследить динамику состояния фитокомпонентов в зоне промышленного импакта в разные годы, поскольку уровень выбросов существенно отличался. Имеющиеся данные в таком случае можно рассматривать как элемент независимой экологической экспертизы в условиях воздействия конкретного предприятия.

Для каждого промышленного объекта (как априори загрязнителя) с 2001 по 2020 гг. были рассчитаны индексы суммарной техногенной нагрузки по 10 критериям:

1) индекс габитуального морфотипического разнообразия видов (розеточность, архитектура побегообразования) *Cichorium intybus* L., *Reseda lutea* L. и *Berteroa incana* (L.) DC.;

2) индекс трихоморазнообразия (по волоскам кроющего типа) для видов *Echium vulgare* L., *Centaurea diffusa* Lam. и *Cichorium intybus* L.;

3) аномальность сети анастомозов листа (по идентификации с нижней стороны листовой пластинки, у её основания) *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen. и *Berteroa incana* (L.) DC.;

4) индекс по частоте встречаемости пыльцевого материала с атипичным строением лакун для видов *Cichorium intybus* L., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Achillea collina* J. Becker ex Rchb., *Artemisia absinthium* L., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip., *Echium vulgare* L. и *Tanacetum vulgare* L.;

5) коэффициент дефектности пыльцы (палинологического материала) для индикаторных видов *Cichorium intybus* L., *Reseda lutea* L., *Stellaria subulata* Boeber ex Schlecht., *Gypsophila paniculata* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip., *Echium vulgare* L., *Plantago major* L., *Berteroa incana* (L.) DC. и *Artemisia vulgaris* L.,

6) расчетный коэффициент встречаемости признака с элиминацией протодермальных тканей с разных сторон зародыша для видов *Diploaxis muralis* (L.) DC., *Atriplex hortensis* L. и *Echium vulgare* L.;

7) индексированное значение тератологической схизокотилии, которая установлена на начальных этапах прорастания семенного материала *Cichorium intybus* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip.;

8) индексированное значение тератологической синкотилии, которая установлена на начальных этапах прорастания семенного материала тех же видов;

9) индекс частоты регистрации аберрантного зародышевого аппарата видов *Tanacetum vulgare* L., *Cichorium intybus* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Reseda lutea* L. и *Diploaxis muralis* (L.) DC.;

10) показатель матрикальности в оценке гетерокарпии (в узком понимании – в пределах одного соцветия при 5-кратной повторности) для видов *Tanacetum vulgare* L. и *Plantago major* L.

Поскольку использовано 10 критериев, каждый из которых имеет весовой коэффициент в 10-балльном оценивании, то максимальное значение комплексного индекса не превышает 100.



Подвержено, что в условиях геохимически напряженной среды растения формируют защитные структурные компоненты, или совокупность системных отклонений приводит к развитию и частому проявлению структурных аномалий, которые повышают общую морфотипическую гетерогенность особей. Такие изменения проявляются как для вегетативных, так и генеративных органов. Большинство используемых признаков можно диагностировать в полевых условиях, следовательно – использовать в экспресс-оценке качества среды в градиенте промышленного импакта.

Значение комплексных показателей за годы эксперимента представлены в таблице. Сводная таблица позволяет ранжировать объекты по степени промышленного импакта, установить временные тренды меняющейся техногенной нагрузки в разные годы.

Таблица. Сводная таблица значения комплексных показателей техногенной нагрузки по фитоиндикационному анализу

Годы	Предприятия-загрязнители*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001	91	89	91	89	89	66	50	53	50	65
2002	89	88	88	85	88	67	<i>нет данных</i>			
2003	89	91	89	91	89	68	65	50	52	65
2004	<i>нет данных</i>					68	43	45	53	64
2005	91	89	90	86	90	70	55	52	53	62
2006	88	89	88	89	88	70	68	51	56	71
2007	<i>нет данных</i>					70	42	50	56	75
2008	90	91	91	91	91	76	54	49	55	64
2009	91	88	91	88	92	88	65	48	60	74
2010	90	91	90	91	90	89	<i>нет данных</i>			
2011	89	95	89	92	89	89	52	49	62	76
2012	85	94	85	92	85	90	64	50	63	77
2013	84	95	84	91	84	90	71	51	63	79
2014	80	89	80	89	80	<i>нет данных</i>				
2015	71	91	71	91	66	90	65	49	64	76
2016	70	88	70	88	70	91	59	48	65	70
2017	66	92	65	91	65	88	45	40	65	70
2018	65	85	64	83	61	88	45	49	66	68
2019	65	77	65	76	62	88	43	43	67	65
2020	64	78	64	75	60	87	42	43	66	60

*Примечание: 1) Донецкий (Юзовский) металлургический завод; 2) Енакиевский металлургический завод; 3) Макеевский металлургический комбинат; 4) Енакиевский коксохимзавод; 5) Макеевский коксохимзавод; 6) Ясиновский коксохимзавод; 7) Харцызский трубный завод; 8) Зуевская ТЭС; 9) Старобешевская ТЭС; 10) Горловский Концерн Стирол.

Взятые для расчетного анализа признаки являются фенотипическими. Это доказано их элиминацией при перенесении семенного материала в благоприятные (контрольные условия), что было подвержено в экспериментах с 2005 г.



В сравнении между показателями разных вегетативных и генеративных стратегий выживания фитоиндикаторов установлено, что из перечисленных критериев нет сугубо консервативных (они и были отобраны по принципу максимальной пластичности) в структурном отношении. Безусловно, уровень интенсификации производства отражается на значении признаков структурной гетерогенности, что использовано в экологическом мониторинге. Зафиксирована достоверная разница в значениях суммационных индексов, подтверждающих геолокальное уменьшение уровня токсической нагрузки, связанное с использованием технологий очистки и доочистки от промышленных эмиссий, например, на Донецком (Юзовском) металлургическом заводе внедрение новых технологий с 2010 г.

В разные годы выбросы от стационарных источников промышленности существенно отличались, однако комплексные реакции растительных объектов на такие изменения не происходят одновременно, поскольку за многие десятилетия в буферных территориях изучаемых предприятий сформировались специфические геохимические условия с повышенными фоновыми концентрациями загрязняющих веществ, что отражается в структурно-функциональных перестройках дикорастущих видов. Следовательно, благодаря импактному фитомониторингу (наряду с фоновым), реализована комплексная оценка техногенной нагрузки на локальные экотопы Донбасса.

Литература

Алемасова А.С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Матер. Междунар. научн. конф. (Киров, 16-18 апреля 2019 г.). Киров: ВятГУ, 2019. С. 60–65.

Антонова Е.В., Позолотина В.Н. Изменчивость костреца безостого в условиях хронического облучения в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. 2014. № 6. С. 459–468.

Гермонова Е.А. Визуализация микроклиматических изменений индикаторных признаков в локальных популяциях растений г. Донецка // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы междунар. научн.-практич. конф. Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. Том 2. С. 39–40.

Глухов А.З., Сафонов А.И. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. 2002. Т. 2. С. 7–14.

Глухов А.З., Хархота А.И. Растения в антропогенно трансформированной среде // Промышленная ботаника. 2001. Т. 1. С. 5–10.

Зыкова Ю. Н., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046.

Сафонов А.И. Экспертиза промышленных предприятий Донбасса по состоянию фитокомпонентов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1-2. С. 35-43.

Сафонов А.И., Глухов А.З. Методологические аспекты фитомониторинга в техногенно трансформированной среде // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Матер. V Междунар. научн. конф. Донецк: ДонНУ, 2020. С. 254–257.

Сафонов А.И., Глухов А.З. Экологический фитомониторинг в Донбассе: эмпирические блоки методологии // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки

и практики. Матер. XVIII Междунар. научн.-практ. конф. Тольятти, 2021. С. 225–227.

Bespalova S.V. Determination of bioindicators sensitivity thresholds for ecologically unfavourable environmental factors // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2010. № 1(10). С. 9–25.

Bespalova S.V. The criteria of assessment of ecological state of environment on thresholds of sensitivity of bioindicators // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2011. № 1. С. 25–43.

Meena M.K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. Vol. 192, № 12. P. 785–795.

Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. № 34. P. 12–29.

COMPLEX ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD IN IMPACT PHYTOMONITORING OF DONBASS

A.I. Safonov, A.Z. Glukhov

Donetsk National University, Donetsk, andrey_safonov@mail.ru

Annotation. The indicator of technogenic load on the local natural systems of Donbass was calculated according to the aggregate coefficient of the degree of structural transformation of indicator plants: teratological manifestations, defective pollen, embryonic apparatus and the general habitual state of plant species informative for ecological expertise. A calculated assessment of the level of technogenic pollution for the central industrial facilities in region has been carried out.

Key words: ecological monitoring, phytoindication, Donbass, industrial botany