

УДК 581.15:574:001.8(477.60)

Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика

Сафонов А. И.¹, Глухов А. З.²

¹Донецкий национальный университет
Донецк, Донецкая Народная Республика
andrey_safonov@mail.ru

²Донецкий ботанический сад
Донецк, Донецкая Народная Республика
glukhov.az@mail.ru

Совокупность экотопов Донбасса рассматривается как техногенно трансформированная среда. На основании данных об индикационных признаках и свойствах растений в Донбассе выделены структурно-функциональные единицы методологической значимости для рассмотрения эмпирических блоков фитомониторинга промышленного региона в качестве взаимодействующих элементов диалектического поля. В обозначенных рамках мониторинга как программы оценки качества экотопов в пространстве (по геолокалитетам) и во времени (в динамике) система фитоквантификации характеризуется обязательными свойствами, требующими как общенаучного теоретического осмысления, так и эмпирической иллюстрации на конкретных примерах. Рассмотрены принципы общенаучного теоретического содержания программы по фитомониторингу в антропогенно трансформированном регионе с обязательным пояснением на примере эмпирически полученных результатов. План-концепция соответствует законам материальной диалектики по специфике выявления причинно-следственных связей в системах «фактор – признак», «индикатор – индикат», технологии взаимно-обратной оценки перерасчета основных непараметрических признаков в параметрические характеристики, учету адаптационных возможностей тест-индикаторов в меняющихся условиях среды.

Ключевые слова: экологический фитомониторинг, диалектический материализм, фитоиндикация, Донбасс, техногенно трансформированная среда.

ВВЕДЕНИЕ

Познание механизмов и способов возникновения, а также закономерностей реального существования и дальнейшего развития фитосистем в постоянно меняющемся мире природных флуктуаций и антропогенных воздействий представляет собой обязательное сочетание теоретических и эмпирических подходов оценки и интерпретации данных о дискретных параметрах фитосреды и континуальных характеристиках фитосоциовзаимодействий. В совокупности такие представления формируют методологию научного подхода (Вернадский, 1991; Кравченко, 2020), что является важным ориентиром для планирования и реализации деятельности в конкретном регионе на целевых объектах исследования (Антонова и др., 2014; Тамахина и др., 2019; Nedjimi, 2020).

Опираясь на общие философские закономерности функционала материальной системы реализации жизни (Гегамян, 1993; Реймерс, 1995; Вернадский, 2001; Розенберг, 2010, 2013), в разных частных примерах осуществляются программы исследования прикладных вопросов эволюционной биологии (Ernst, 2006; Burggren, 2016; Васильев, 2019), медицины (Карпин, 2004; Абаев, 2009; White, 2010), адаптационной изменчивости (Hiremath, 2013; Panidi, 2016; Зыкова и др., 2017; Безель и др., 2019; Бойко, 2019, 2020; Nedjimi, 2020), токсикологии (Pozolotina et al., 2017; Лянгузова, 2017; Алемасова, 2019) в новых условиях технологического процесса (Montgomery et al., 2016; Гермонова, 2019; Meena, 2020). При этом *субъектом* всегда рассматривается работа исследователя на всех стадиях эксперимента; *объектом* в прикладных программах выступают природные среды, отдельные виды (их состояние), надвидовые (преимущественно популяционные) социо-характеристики, агрессивные агенты трансформации и возмущений – «загрязнители» в собирательном смысле, технологии различного целевого назначения, биогенная конформационная система и прочие; а

предметом во всех вариантах описательной интерпретации всегда является определение тесноты связи в системе взаимодействующих элементов материи. И эта взаимосвязь может иметь разную степень сопряжения, соединяя и объясняя по причинно-следственным цепочкам происходящие процессы в системах любого ранга (Селедец, 2018; Мандра и др., 2019; Гусев, Шпилевская, 2020).

Если эмпирически доказана достоверность в системе «фактор – признак», то в технологии оценки и мониторинга такая группа автоматически рассматривается как логическое парное преобразование «индикат – индикатор». Следовательно, все изучаемые закономерности, имея обоснование для происходящего, индицируются, то есть могут быть оценены по сродству между компонентами системы. Индикационная значимость для ситуаций с природными и природно-антропогенными конгломератами нуждается в обязательной численной оценке (квантификации), и роль ученого заключается в унификации такой оценки для разных внутрисистемных взаимодействий таким образом, чтобы проводить необходимые научные процедуры: рекогносцировку, диагностику, инвентаризацию, превентивную профилактику и постэксплуатационную ликвидацию, конструктивный менеджмент в поддержании продуктивного баланса развивающихся и уязвимых экосистем (Zippereret al., 2000; Глухов, Сафонов, 2016; Плугатарь, Папельбу, 2018). Для техногенно трансформированных регионов, среди которых в глобальном масштабе выделяется территория современного Донбасса, система многоступенчатой квантификации объединена программой целевого экологического мониторинга, в том числе с помощью растительных организмов (фитомониторинга) (Глухов, Хархота, 2001; Глухов, Сафонов, 2002; Yermolaev et al., 2014; Золотой, 2017; Мирненко, 2017; Морозова, 2019), включающего обязательные блоки наблюдения, оценки, прогноза и контроля состояния среды. Локально полученные данные требуют объединения не только в геосистемном (плоскостном картографическом) аспекте, а также осмысления и диалектического понимания в материалистической интерпретации (Сафонов, Глухов, 2021).

Цель работы – разработать методологические основы фитомониторинга в техногенно трансформированной среде на основании эмпирических данных о значимых индикационных признаках и свойствах растений в Донбассе.

МЕТОДОЛОГИЯ (СВОЙСТВА И ПРИНЦИПЫ ФИТОМОНИТОРИНГА)

В обозначенных рамках мониторинга как программы оценки качества экотопов в пространстве (по геолокалитетам) и во времени (в динамике) система фитоквантификации (Safoнов, 2013, 2014) характеризуется обязательными свойствами, требующими как общенаучного теоретического осмысления, так и эмпирической иллюстрации на конкретных примерах в результирующей части публикации:

- 1) объективно описанную материалистичность;
- 2) структурированность (наличие системообразующих элементов: скелетность, каркасность и их наполнение);
- 3) поликомпонентность в значении сложности при разных формах и способах материального взаимодействия;
- 4) открытость (или квазизамкнутость по круговоротам) в обмене веществом, энергией и информацией;
- 5) способность эволюционировать в значении наличия ответных реакций и выработке свойств, позволяющих выживать и реализовывать свою генетическую программу в меняющихся условиях среды;
- 6) динамичность, что важно, например, при учёте погрешности в микроклиматических тенденциях или адаптационных характеристиках структур и функций растительных объектов;
- 7) детерминированность как смысл индикационного поиска при рассмотрении обуславливающих факторов для рассмотрения современного состояния и закономерности проявления материалистических свойств;

8) стохастичность при поиске новых вероятностных индикационных признаков или выбраковки утративших своё индикационное значение;

9) пластичность в значении поливариантности и при учете реализации дополнительных признаков генома, не регистрируемых ранее;

10) целевую объективность в значении информативности конкретных индексов при реализации целевых программ;

11) дискретность для различных дифференцированных индексов, ранжированных и оцененных признаков в рамках созданных экологических шкал или группах экологической валентности по отношению к фактору (или факторам) среды или установленному тренду антропогенной (или токсикогенной, трансформирующей) нагрузки;

12) континуальность как преемственная неразрывность переходящих друг в друга процессов, например, при формировании системы непрерывной фитомониторинговой программы;

13) иерархичность структур и функций преимущественно по плотности корреляции, рассчитанной разными способами в математической обработке данных;

14) целостность как свойство материи реагировать, например, на процессы возмущения в системе путем перестройки всех её компонентов – как дискретных объектов (особей, видов), так и континуальных частей целого (отдельных клеток в тканевых совокупностях, или при рассмотрении фитосоциальной среды);

15) эмерджентность (рассматривается в качестве обсуждения) как проявление уникальных свойств материи при сочетании определенных параметров, которые не были характерны для изучаемой системы путем их механического составления в случайной совокупности.

Мониторинговые исследования с использованием растений объединяют несколько обязательных процедур: 1) получение первичной информации путём наблюдения (сбор растений в соответствии с узлами локализации мониторинговой сети); 2) обработка данных и получение результатов камеральных наблюдений – аналитико-синтетический этап для возможного построения прогностической модели; 3) представление результатов в наглядном программном обеспечении; 4) информирование специализированных инстанций об имеющейся информации.

В основу методологического подхода реализации научной программы по фитомониторингу в антропогенно трансформированном регионе положено несколько принципов общенаучного теоретического содержания с обязательным пояснением на примере эмпирически полученных результатов:

1) презумпции наличия потенциальной индикаторной связи или проявления корреляционно рассчитываемой зависимости растительных организмов от факторов внешней среды, в том числе неблагоприятного проявления (угнетения, деструкция, деградация и пр.);

2) обязательности проверки доступных индикаторных свойств растений, соподчинения признаков и свойств растений физиологическим и биохимическим закономерностям роста, развития и целостного функционирования;

3) комплексности при использовании разных инструментальных и аналитических методов в оценке состояния внешних сред и внутреннего статуса объекта исследования;

4) достоверности посредством использования математического и (или) статистического критерия на доверительном интервале, достаточном для полевых эколого-ботанических исследований;

5) полноты информации в аспекте имеющихся данных о состоянии экотопов, в том числе стратегической важности в первую очередь для жизни и здоровья человека;

6) независимости (непредвзятости) проводимой фитозкологической экспертизы, например, при профессиональной диагностике образцов фитоматериала без информации о привязке к геолокалитету;

7) научной обоснованности при оценке целесообразности проводимых исследований, повторности, затрат оборудования и интеллектуальных усилий на получение информации,

достаточной для принятия управленческих решений или ограничивающих мер пользования природными ресурсами или воздействия на окружающую среду;

8) объективности за счет использования разных подходов при оценке и интерпретации результатов (данных) диагностического содержания;

9) гласности при условии принципиальной возможности обнародования результатов научно-исследовательской деятельности как в специализированной литературе, так и в источниках открытого доступа при реализации дополнительных программ общественного экологического мониторинга и открытого обсуждения данных с возможностью принятия корректирующих управленческих решений;

10) ответственности за качество полученных результатов согласно инструкции или методическим рекомендациям и за результаты исследований, важные в системе экологического менеджмента в регионе.

Выполнение научной программы в соответствии с перечисленными принципами формирует концептуальный методологический смысл изучения индикаторных признаков и свойств растений в техногенно-напряженной среде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальной базой аналитического контроля является мониторинговая сеть, состоящая из 113 фиксированных учетных площадок для всей территории Центрального Донбасса и дополнительно 120 точек для территории Ворошиловского и Калининского районов Донецка.

Установлено, что реализуемый фитомониторинг экотопов Донбасса состоит из восьми функционально связанных блоков. Для каждого блока рассмотрены примеры реализации, перечислены объекты, их признаки и свойства, которые в совокупности формируют возможность создания программы фитоквантификационной оценки качества экотопов.

1. Система обеспеченности региона экологической информацией, определение тенденций на основании возможного ретроспективного анализа, учёт динамических нововведений в условиях экологических кризисов техногенного и социально-конфликтного характера. Каркас (системообразующие связи) фитомониторинга открытых природных экосистем центральной части промышленного Донбасса сформирован двухуровневой мониторинговой сетью (Сафонов, Гермонова, 2019) с привязкой каждого узла к местности – учетной площадкой. С учетом целенаправленно полученных первых данных с 1996 года рассмотрена возможность ретроспективного анализа и динамики показателей, определяющих уровень состояния балансовых систем по критериям трансформации в широком смысле терминологического, определяющего и токсическую нагрузку, и антропогенное воздействие на фоне естественных биогеохимических циклов и процессов в регионе. Как информационно-аналитическая система весь фитоиндикационный мониторинг рассматривается в многофункциональном аспекте и как справочное, консультативное, с поэтапным методическим сопровождением, имеющим возможность к экстраполяции совокупности методологических аспектов на другие регионы с высоким уровнем техногенной нагрузки на природные среды.

Методологически такая программа опирается на подходы:

1) ранжирования территорий и зон по благоприятному использованию их в целевых программах ресурсопотребления в широком смысле;

2) планирования и организации различных видов деятельности на стадии предпроектной экспертизы;

3) учёта особенностей данных общественного экологического мониторинга и работы общественных советов с обязательными своевременными научными консультациями для принятия решений благоустройства;

4) разработки плановых профилактических мероприятий и способов рациональной ликвидации последствий аварийных ситуаций, что чрезвычайно востребовано для всех регионов с развитым уровнем промышленности и урбанизации.

Наиболее изучены в индикационном отношении виды: *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Echium vulgare* L., *Tragopogon major* Jacq., *Berteroa incana* (L.) DC., *Tanacetum vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Plantago major* L. Новые виды, апробация индикаторной значимости которых начата в 2018 году: *Atriplex mircantha* С.А.Мей., *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Alsine media* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Sagina procumbens* L., *Stellaria subulata* BoeberexSchlecht. Всего в базе фитоиндикационных исследований задействовано 154 вида цветковых растений (Сафонов, 2019).

Бесспорные преимущества проведения фитомониторинговых разработок в антропогенно трансформированной среде по выявлению реакций фитообъектов на всякого рода изменения требуют формирования на основе этих данных общегосударственных программ экологического назначения с применением автоматизированной или стационарной лабораторно-инструментальной техники, привлечения отделов статистической обработки информации, лаборатории картографической визуализации меняющихся или консервативно-стационарных показателей и пр.

2. Определение индикационной функции фитокомпонентов в экологической диагностике природных сред как методический приём квантификации (индикационные шкалы, коэффициенты значимости, аддитивные диапазоны варьирования признаков и пр.) на основании статистически доказанных особенностей структурно-функциональной зависимости состояния фитообъектов в меняющихся условиях среды. По принципиально реализуемому методологическому подходу в обозначенной научно-прикладной задаче аргументом является состояние антропогенно трансформированной природой среды, функцией – выявленная информация путём интерпретации данных, полученных при изучении растительных объектов, сформированных в конкретном месте и в конкретное время. Это обоснование полностью соответствует классическим представлениям пространственно-временной системы организации материи.

Смысловая нагрузка фитокомпонентной диагностики определена выявлением разницы между неравновесными флуктуирующими опытными и равновесными контрольными образцами – результатом материальной обработки объекта исследований и установления его состояния. Индикационная функция экологически значима, поскольку в своем многовекторном использовании показывает взаимозависимые процессы в экосистемах, однако, чем разветвлённой причинно-следственной цепочка, тем сложнее определить прямые связи, в частности на фитоиндикационном уровне. В таком случае обработка результатов полевых исследований должна предусматривать возможную организацию лабораторно-аналитического контроля в условиях нивелирования помех и вычленения основных факторов, представляющих приоритетный интерес в экологических исследованиях.

Технология создания экспериментальной рабочей и одновременно аддитивной экологической шкалы индикационного признака – это способы разложения характеристики на диапазон варьирования в соответствии с меняющимся экологическим фактором, например, в тренде токсической нагрузки по основным атрибутам материи:

1) в пространстве – при удалении на равные расстояния от источника выбросов предприятия-загрязнителя, при этом учитывается сбор данных в направлении сторон света (с обязательным принятием во внимание западного и восточного направления, учитывая сезонные и доминирующие ветры в регионе);

2) во времени по разным категориям его протекания – суточные, сезонные, межгодовые, пяти- и десятилетние интервалы времени – для определения динамики, цикличности и амплитуды колебаний внутри конкретного интервала. В практике фитомониторинга открытых геолокаций самым распространенным является метод получения годовой характеристики и расчёта межгодовой разницы. Экологическая шкала в апробированных целевых назначениях на группе цветковых растений по диапазонам морфологической пластичности – это результат эмпирического учёта крайне контрастных и внутренних

переходных значений. Априори заложено, что для 10-балльной индикаторной шкалы не бывает нулевого значения, а показатели от 1 до 10 распределены следующим образом:

1–3 – соответствуют уровню воздействия на среду, не превышающую допустимую норму в совокупности влияния всех факторов;

4–6 – диапазон выносливости вида или возможности проявления признака в конкретных геохимических или геофизических условиях;

7–8 предкритическое состояние изучаемого признака, в котором наблюдается либо резкое угнетение нормальных функций, либо проявляется механизм компенсаторного стресс-торелирования, на этом уровне, как правило, определяются значимые параметры для монофакторного эксперимента или в контролируемых известных условиях систем полевых наблюдений в рамках одной мониторинговой точки.

На практике открытого фитоиндикационного эксперимента максимальные значения экологической шкалы 9–10 зачастую проявляются в суммационном эффекте по механизму реализации конкурентного взаимоусиливающего ингибирования.

В таких диапазонах проявления признака исследователь формирует ожидаемую тенденцию возникновения новообразования, массовой гибели особей в целом или микроэволюционного преобразования функций и связанных с ними структур. Техника расчета пороговости межинтервальных значений внутри всего диапазона может быть разной – равномерно установленных ступенек в значении внутриинтервальной принадлежности как правило не существует, поэтому эмпирика и статистика диалектически формируют критерий фитоиндикационной значимости, например, морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *MDGTi* – (2) [2–4] [4–6] [6–8] [8–9] [9–10] [10–11] [11–12] [12–13] [13]; индекс трихоморазнообразия *Echium vulgare* L. – *ITREv* – (2) [2–3] [3–5] [5–6] [6–7] [7–8] [8–9] [9–10] [10–11] [11]; степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании метиленовым синим – *SDPmsCi* – (2,50) [2,50–4,99] [5,00–7,49] [7,50–9,99] [10,00–12,49] [12,50–14,99] [15,00–17,49] [17,50–19,99] [20,00–29,99] [30,00] и и другие варианты фитоиндикационных шкал (Сафонов, 2018).

Назначение фитоэкологической шкалы в целевой программе оценки трансформации или уровня нагрузки на природные среды – разбить весь диапазон значения признака таким образом, чтобы получить для каждой мониторинговой точки значение индекса, валентное в корреляционном анализе значению фактора, в таком случае и определяется теснота связи признаков и характеристик среды.

3. Технология установления индикаторной значимости выявленных признаков, аналитический контроль и проверка данных, методы геолокальной визуализации по структурным идентификациям растений, выявление наличия ранжированного территориального ряда и использование параметрических корреляционных плеяд. Фитоиндикация в экологическом мониторинге антропогенно трансформированного региона может быть реализована на всех уровнях существования и развития фитоматерии. Практика проведения полномасштабного скрининга в промышленном регионе доказывает целесообразность использования морфоструктурных характеристик от клеточного до ценопопуляционного уровней, например, индекс частоты встречаемости (ч. в.) пыльцевых зёрен с атипичным строением лакун, ч. в. четырехгранных пыльцевых зёрен, варибельность скульптуры, орнаментации и формы пыльцевых зёрен, индекс трихоморазнообразия (типификация трихом), индекс общей специализации трихом (нитчатого, ретортообразного типа и сферической формы) – *уровень отдельно сформированных клеточных образований*; индексы аномальности анастомозной сетки и атипичного строения устьичного аппарата, прозенхимная деградация дерматогена, гиперфункция ткани, гомологичной гиалиновой оболочке, структурная дегенерация внешнего слоя эндосперма, элиминация тканей, идентифицированных как протодермальные образования с разных сторон зародыша – *тканевой уровень организации фитоматерии*; морфотипическая разнокачественность общего габитуса, ч. в. деформированного или несформированного зародыша, проявление тератологических синкотилии и схизокотилии, индекс матрикальной гетерокарпии, степень выраженности асимметрии отдельных органов или сопряженных структур – *уровень систем*

органов; проявление онтогенетических жизненных стратегий в аутфитоиндикационном аспекте (произведение показателей семяобразования, созревания и жизнеспособности, периодов плодоношения и генеративного побегообразования), коэффициент генеративной активности – *онтогенетический аспект аутфитоиндикации*; ареалообразующие характеристики, наличие видов в маргинальных участках краевых границ выносливости, расстояние переноса элементов диссеминации, проявление розеточности, гигантизма, олигомеризации, карликовости, стратегия захвата территории вегетативным способом и за счёт генеративных структур в проявленном результате межвидовой конкуренции, сукцессионные процессы на эдафотопах, начиная со стадии эцезиса как варианта сингенеза в пространстве с открытыми экологическим нишами в совокупности рассматриваются как *синфитоиндикационные характеристики*. Таким образом, при выборе фитоиндикационных признаков учитывается иерархия структур с предполагаемым соподчинением функций и их оценивания, что также соответствует законам диалектического материализма.

Способы получения и обработки данных в обозначенном научно-техническом задании по квантификации учитывают лабораторный эксперимент по созданию сред с контролируемыми характеристиками, камеральную обработку полевых сборов, перепроверку результатов в достаточном для достоверности количественном эквиваленте по объёму выборки, сравнение тенденций и результатов однотипных и взаимодополняющих параметров в динамике. Процесс визуализации реализуется в нескольких направлениях: 1) витальное препарирование, рассмотрение и фотографирование образцов при световом микроскопировании – получение наглядных сравнительных образцов для шкалообразования и соответствующей квантификации; 2) картографические продукты: значение отдельных признаков, плоскостное распределение по ранжированным рядам, определение функции приращения в динамическом эквиваленте; 3) структурное моделирование, например, геометрические трансформации пыльцевых зёрен под воздействием загрязняющего вещества, процесс формирования дерматокалпиптрогена в миграционных потоках токсического элемента среды и пр. Параметрическую корреляционную плеяду в аспекте фитоиндикационного мониторинга целесообразно формировать как массивы данных для многократного сравнения между собой, причём перед фитоиндикационными заключениями обязательно нужно определить степень сродства между показателями внешней среды для индикаторного признака, а также выяснить сопряженность проявления признаков между собой, – как правило больше 60% признаков имеют взаимозависимость в проявлении при действии одинаковой комбинации факторов токсической среды, тогда эти признаки являются компенсаторными и альтернативно используются при выпадении серии локальных экспериментов в конкретном году при сборе первичных данных.

4. Учёт вегетативно-соматических признаков фитоиндикации: архитектурные модели корне-, побегообразования, ветвления и других морфологических параметров на основании выявленных отклонений или проявлений на уровне отдельных доступных для анализа субклеточных структур, клеток и конформационных тканей. Функционально важно разделение вегетативных органов по сопряжению с факторами природных внешних сред:

1) микроразветвленные системы находятся в прямом контакте с почвенным раствором, однако в практических заключениях делается логический вывод о степени загрязнения или трансформации почвенного горизонта;

2) особенности поверхности листовой пластинки фолиарных образований верхних формаций напрямую контактируют с воздушной средой, однако структуры закладываются в базовой части органогенеза при системном физиологическом обеспечении листа во взаимосвязи с корневой и побеговой системами, поэтому эмпирически нужно устанавливать – является ли рассматриваемый признак продуктом прямого воздействия агрессивности воздушной среды, или это общая физиолого-генетическая реакция на факторы водной или почвенной среды;

3) при анализе палинологического материала важен факт степени созревания пыльцы и места её сбора: если пыльца находится в пыльниках при лабораторном препарировании, то связь логичнее проводить с показателями внутренней среды организма, если же произведён

сбор свободнооседающей пыльцы из аэрогоризонтов, то структурная характеристика экзины находится в прямом контакте с воздушной средой приземного слоя атмосферы, и даже эти показатели могут быть таксонспецифичны, учитывая особенности разных видов продуцировать элементы мужского гаметофита в разных объемах и генерациях, с разной периодичностью, в разные сезоны и в разных микроклиматических условиях;

4) определение фенотипов околоцветника отдельных видов в разных ценологических условиях в сравнительном анализе должно учитывать онтогенетическую стадию особи и индивидуально видовое рассмотрение вопроса одно- или многоразового контакта венчика с воздушной средой. Поэтому поиск универсальных фитоиндикаторов очень важен в реализации программ индикационного мониторинга антропогенно трансформированных экотопов.

В вегетативно-соматических моделях реализации побегообразования, надземной и подземной архитектоники проявляются тактики растительного организма по использованию ресурсов: территории, элементов питания, факторов жизнеобеспечения, реализации общебиологических потенций, поэтому выявленные отклонения от нормы в строении вегетативного органа на макроморфологическом уровне – это результат комплексной реализации (успеха в онтогенезе или сбоя в органогенезе) стратегии выживания вида в нестабильных или меняющихся экологических условиях. Из совокупности признаков гетерогенного строения листового аппарата новых для индикации в Донбассе видов растений по индикационным свойствам выделены: *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Alsine media* L., *Gypsophila paniculata* L., *Sagina procumbens* L., *Atriplex mircantha* C.A.Mey. (Сафонов, 2020).

5. Индикация природно-техногенных экотопов по генеративным преобразованиям: причинно-следственные связи тератных проявлений на уровне отдельных частей цветка, общей морфологии дискретных генеративных органов и автономной продукции растительного происхождения (пыльцевые зерна на разных стадиях формирования, эмбриональные гистохимические проявления, частные карпологические характеристики и пр.) в условиях неблагоприятной гетерогенной среды. Практика индикационного эксперимента в разных частных примерах рассматривает строение генеративных структур растений как консервативный признак, например, при защитных процессах эмбрио- и карпогенеза, или максимально уязвимый и морфопластичный признак, например, при формировании экзокарпической орнаментации в период синильной стадии развития особи, архитектоники синфлории, побегообразования на начальных стадиях генеративного развития. Причем в первом и во втором примере установлена связь с характеристиками воздушной среды, что важно для дифференцированного индикационного анализа в проведении корреляционных расчетов (Safonov, Glukhov, 2021).

Описанное диалектическое противоречие на примере консервативности генеративных структур в своем проявлении формирует успех именно комплексного подхода в проведении фитомониторинговых исследований открытых природных сред.

Вариативность экологической пластичности и морфотипической изменчивости наглядно отображается в проявлении аномальных (тератных) признаков. Путём перепроверки результатов установлено, что перечисленные тератные образования не проявляются в следующих как минимум двух поколениях потомков, перенесенных в условно благоприятную в токсическом эквиваленте среду. Это важно для реализации фитомониторинговых программ по фенотипическим признакам – в условиях экспресс-диагностики и полевой специфики эксперимента в целом. Строение цветка по тератогенному типу, преимущественно околоцветника, тычиночных нитей установлены для следующих новых в экологическом мониторинге видов растений: *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Sagina procumbens* L., *Stellaria subulata* Boeberex Schlecht. Отдельной группой тератогенных признаков эмбриональной структуры отмечены виды растений техногенных экотопов Донбасса: *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Stellaria subulata* Boeberex Schlecht., *Atriplex mircantha* C.A.Mey. – это наиболее

стратегически важный показатель, отражающийся на качестве семенного материала индикационных видов.

6. Анализ полученных данных ценопопуляционного содержания – демографические трансформации в группах индикаторов, а также выявленные микросоциальные тенденции для модельных индикаторных видов растений. Вопрос выживания как абсолютного показателя и степени выживаемости как статистического критерия общепопуляционного значения является также системным в категориях диалектического материализма. В этом аспекте рассматривается несколько процессов, также важных в диагностике качества природных сред: 1) миграционные процессы видов с ценопопуляционными характеристиками, приобретенными в стресс-индуцированных условиях – регистрация особей с расширяющимися локалитетами, например, металл-сформированных ассоциаций; 2) факты ожидаемой внутривидовой бифуркации в контрастных геохимических условиях при возможных условиях механических изоляций в рамках буферной территории предприятия-загрязнителя или отдельной промышленной зоны.

Теоретическое обоснование любых преобразований в структурах растительных организмов хоть и подтверждено по критерию проявления фенотипической природы, всё же детерминировано начальными генетическими возможностями, то есть способностью реализации генетической программы в новых условиях при выработывании комплекса стресс-защитных или стресс-адаптированных признаков, изначально имеющих стартовый механизм проявления именно на молекулярно-биохимическом уровне. Запуск таких структурно-функциональных преобразований на разных уровнях организации материи также является иллюстрацией диалектического характера существования и дальнейшего эволюционного продвижения живых систем. Следовательно, в контрастных гетерогенных условиях генетический аппарат вида находится в условиях стимулирования дополнительной генной экспрессии, что позволяет не только сохранить целостность вида в разнообразии его генофонда и единицы сообщества, но и вывести его характеристики в динамически равновесное состояние в часто непредсказуемо меняющихся условиях антропогенной трансформации экотопов.

7. Определение стратегий выживания (особей и видов на ценопопуляционном уровне) и смещения стратегического потенциала при реализации экологической ниши, например, тяготение к эксплеренции для пациентов и виолентов, процесс рудерализации и стимулирование стресс-устойчивости, онтогенетические трансформации (смещение фенопауз) индикаторной значимости. Проявление пластичности как защитной реакции и в то же время консервативности в строении и функциях – по тем же причинам является материальной аллюзией на диалектическое противоречие в борьбе противоположностей за стратегическое преимущество. В биологии совокупность таких стратегий связывают традиционно с борьбой за выживание. Эта борьба (прямое взаимоотношение, жесткая конкуренция, нелинейная взаимосвязь и пр.) обязательным образом программно обеспечивает биологический успех вида как единицы эволюционного процесса. Таксономическая единица, не вырабатывающая приспособительных новоприобретений в контрастных условиях среды (в данном случае – на примере комплексного фактора техногенеза) обречена на вымирание посредством катастрофического исчезновения или сравнительно постепенного угасания популяционных структур.

Все описанные процессы и характеристики растений в изучаемых условиях мониторинговой сети Донбасса являются совокупным отражением реализации стратегии выживания видов как дискретно оцениваемых субъединиц фитоквантификации.

8. Справочно-аналитические сводки и контроль в технологии регионального фитомониторинга включают процедуру пошагового динамического наблюдения в техногенной среде, внедрение аппарата автоматизированной системы оценки в разветвленном алгоритме инструментальных действий при обработке полевых и камеральных данных (первичной информации).

Необходимость в создании справочно-аналитического издания возникает в связи с возможностью учёта синонимического ряда используемых терминов в экологической

фитодиагностике и других научно-технических и философско-обобщающих задач (например, используемые термины *фитоиндикация*, *фитомониторинг*, *фитодиагностика*, *фитоквантификация*, *фитоскрининг*, *фитосенсорика*, *фитомаркирование*, *фитоэкспертиза* имеют отдельную информационную нагрузку применительно к разным целевым использованиям в науке и практике, следовательно, требуют смыслового уточнения). Тенденции в изменении показателей фитосреды и связанные с ними характеристики состояния антропогенных экотопов определены по микроэволюционным трендам в морфологической пластичности растений-индикаторов, что диалектически соответствует двум сопряженным процессам: изменения промышленно индуцируемых биогеохимических циклов и адаптациогенеза фиксированных биосенсоров в конкретной геоточке. Важно связать полученные данные с возможностью экспресс-анализа состояния локальных экосистем и оценки стохастичности экологических рисков для уязвимых природно-техногенных конструкций, что выводит исследовательский поиск и решение управленческих задач на уровень организации мониторинга потенциальных и реально развивающихся экологических кризисов.

В итоговой продукции проводимого фитоиндикационного мониторинга предусмотрено обязательное составление аннотированного списка признаков и характеристик, имеющих достоверное значение в испытанных условиях эксперимента. Дополнительная визуализационная программа предполагает сбор и оформление иллюстрированного атласа территориальных экологических напряжений в регионе по дробным и комплексным показателям нарушенности или баланса в природных системах.

Предложенная план-концепция сформирована на эмпирических данных и территориально апробирована, соответствует законам диалектического материализма по специфике выявления причинно-следственных связей в системах «фактор – признак», «индикат – индикатор», технологии взаимно-обратной фитоквантификации перерасчета непараметрических признаков в параметрические характеристики, учету адаптационных возможностей тест-индикаторов в меняющихся условиях среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемый фитоиндикационный мониторинг соответствует принципам диалектического материализма по форме и содержанию (как процесс, программа и система взаимодействующих элементов), а значит, может рассматриваться в качестве теоретически-прикладного научного направления, обусловленного актуальностью исследований в антропогенно трансформированном регионе.

По совокупности приведенных примеров и выявленных закономерностей мониторинг природных сред с помощью растений материален, структурирован, поликомпонентен, представляет собой открытую, целостную, детерминированную и динамически развивающуюся систему, способную к эволюционному процессу, характеризуется пластичностью, предусмотренной стохастичностью, дискретностью, континуальностью, иерархичностью по структурам и функциям. В такой совокупности свойств и характеристик экологический фитоиндикационный мониторинг – это диалектически оправданная совокупность научных изысканий, имеющих глобальную цель в получении объективной информации о состоянии компонентов природной среды.

Методологические разработки экологической проблематики, в том числе фитомониторинговых исследований, являются одним из ведущих составляющих как теоретического, так и практического разрешения проблемы биосферы – предотвращение дальнейших разрушительных изменений окружающей среды.

Список литературы

- Абаев Ю. К., Гриневич Ю. М. Законы и категории диалектики в медицине // Медицинский журнал. – 2009. – № 4. – С. 146–149.
- 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., Каримуллина Э. М. Изменчивость костреца безостого в условиях хронического облучения в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. – 2014. – № 6. – С. 459–468. DOI: 10.7868/S0367059714060031.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Дуля О. В., Балыбердина Н. С. Внутривидовая изменчивость металлоустойчивости семенного потомства *Taraxacum officinale* Wigg. s.l.: анализ на основе зависимостей «доза – эффект» // Экология. – 2019. – № 4. – С. 263–269.
- Бойко Н. В. Палинологический материал *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex Wigg. в условиях г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. материалов XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 16-17 апреля 2019 г.) Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2019. – С. 84–86.
- Бойко Н. В. Палинографические результаты для некоторых фитоиндикаторов Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк: ДонНУ, – 2020. – Вып. 12, Т. 1.: Естественные науки. – С. 27–31.
- Васильев А. Г. Эволюционная экология в XXI веке: новые концепции и перспективы развития // Экология. 2019. – № 2. – С. 88–100.
- Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. – М.: Мысль, 1991. – 271 с.
- Вернадский В. И. Биосфера: Мысли и наброски. – М.: Фонд им. В. И. Вернадского, 2001. – 244 с.
- Гегамян Г. О концепции «поле живого вещества» в биосферологии В. И. Вернадского // Бюллетень комиссии по разработке научного наследия академика В. И. Вернадского. – № 10. – М.: Наука, 1993. – С. 36–49.
- 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, 3-5 октября 2019 г.). – Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. – Том 2. – С. 39–40.
- Глухов А.З., Хархота А. И. Растения в антропогенно трансформированной среде // Промышленная ботаника. – 2001. – Т. 1. – С. 5–10.
- Глухов А. З., Сафонов А. И. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. – 2002. – Т. 2. – С. 7–14.
- Глухов А. З., Сафонов А. И. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга // Донецкие чтения 2016: образование, наука и вызовы современности: Матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Т. 1: Донецк: Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 311–312.
- Гусев А. П., Шпилевская Н. С. Фитоиндикаторы техногенного химического воздействия на луговые экосистемы // Экосистемы. – 2020. – Т. 22. – С. 53–59.
- Золотой А. Л. Использование шкал Д.Н. Цыганова для оценки экологических параметров промышленных экотопов г. Донецка // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). Т. 2. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 76–77.
- Зыкова Ю. Н., Скугорева С. Г., Товстик Е. В., 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.
- Карпин В. А. Философские основания общей теории патологии // Архив патологии. – 2004. – № 5. – С. 56–60.
- Кравченко В. В. Ещё раз о критериях истины // Журнал философских исследований. – 2020. – № 2. – С. 26–91.
- Лянгузова И. В. Динамические тренды содержания тяжелых металлов в растениях и почвах при разном режиме аэротехногенной нагрузки // Экология. – 2017. – № 4. – С. 250–260.
- Мандра Ю. А., Есаулко А. Н., Ключин П. В. Экологическая оценка городских территорий с использованием растений различных таксонов в качестве индикаторов // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Т. 14, № 4. – С. 134–146. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-134-146.
- Мирненко Н. С. Спорово-пыльцевой метод в Донбассе на основе научных рекомендаций ученых России // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: Матер. Междунар. научн. конф. студентов и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). – Том 2. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 97–99.
- Морозова Е. И. Реализация репродуктивного потенциала мохообразных Донбасса по степени спорофитизации // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. материалов XIII Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-17 апреля 2019 г.). – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2019. – С. 111–114.
- Плугатарь Ю. В., Папельбу В. В. Результаты фитоиндикации условий экотопов скальнотубовых фитоценозов Горного Крыма на тренде рекреации // Экосистемы. – 2018. – Т. 15 (45). – С. 61–66.

- Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1995. – 366 с.
- Розенберг Г. С. К философии теоретической экологии (общая интерпретация основного содержания теории) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 12, № 1(9), 2010. – С. 2317–2323.
- Розенберг Г. С. Введение в теоретическую экологию. В 2-х т. – Тольятти: Кассандра, 2013. – Т. 1. – 565 с. Т. 2. – 445 с.
- Сафонов А. И. Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998-2018 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3–4. – С. 67–72.
- Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1 (1). – С. 4–16. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16.
- Сафонов А. И. Новые виды растений в экологическом мониторинге Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 96–100.
- Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2019. – № 3–4. – С. 37–42.
- 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.
- Селедец В. П. Трансформация экологической ниши *Festuca rubra* (Poaceae) в различных биоклиматических зонах Евразии // Ботанический журнал. – 2018. 103 (7, приложение). – С. 3–13. DOI:10.7868/S0006813618070098.
- Тамахина А. Я., Ахкубекова А. А. Мониторинг состава растительных сообществ на отвалах из отходов обогащения цветных металлов // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 2. – С. 61–67.
- Burggren W. Epigenetic inheritance and its role in evolutionary biology: re-evaluation and new perspectives // Biology. – 2016. – Vol. 5, N 24. – P. 2–22.
- Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // Forest Snow and Landscape Research For. Snow Landsc. Res. – 2006. – Vol. 80, N 3. – P. 251–274.
- Hiremath R. B., Balachandra P., Kumar B., Bansode S. S., Murali J. Indicator-based urban sustainability. A review // Energy for Sustainable Development. 2013. – Vol. 17, N 6. – P. 555–563.
- Meena M. K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Vol. 192, N 12. – P. 785.
- Montgomery J. A., Klimas C. A., Arcus J. Soil quality assessment is a necessary first step for designing urban green infrastructure // Journal of Environmental Quality. – 2016. – Vol. 45 (1). – P. 18–25. DOI: 10.2134/jeq2015.04.0192.
- Nedjimi B. Germination characteristics of *Peganum harmala* L. subjected to heavy metals: implications for the use in polluted dryland restoration // International journal of Environmental Science and Technology. – 2020. – Vol. 17, N4. – P. 2113–2122.
- 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. – N 34. – P. 12–29.
- Pozolotina V. N., Antonova E. V. Temporal variability of the quality of *Taraxacum officinale* seed progeny from the East-Ural radioactive trace: is there an interaction between low level radiation and weather conditions? // International Journal of Radiation Biology Intern. J. of Radiation Biology. – 2017. – Vol. 93, N 3. – P. 330–339. DOI: 10.1080/09553002.2016.1254835.
- Safonov A. I. Approbation of botanical expertise method in ecological monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 219–221.
- Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region. – 2013. – N 1. – P. 52–59.
- Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions 2021. – VI International Scientific Conference. – BIO Web Conf. – Vol. 31, 00020. – 2021. – 4 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213100020>.
- White P. J., Brown P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health // Annals of Botany. – 2010. – Vol. 105. – P. 1073–1080.
- Yermolaev O. P., Selivanov R. N. The use of automated geomorphological clustering for purposes of urban planning (the example of the city of Kazan) // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30, N11. – P. 1648–1655. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.30.11.14229.
- Zipperer W. C., Wu J., Pouyat R. V. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes // Ecological Applications. – 2000. – Vol. 10, N 3. – P. 685–688. DOI: 10.2307/2641038.

Safonov A. I., Glukhov A. Z. Phytomonitoring in a technologically transformed environment: methodology and practice // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 16–28.

The total set of ecotopes in Donbass is considered a technogenically transformed environment. Based on the data on the indicative features and properties of plants in the Donbass, structural and functional units of methodological significance have been identified to analyze the empirical blocks of phytomonitoring of an industrial region as interacting elements of the dialectical field. Within the outlined framework of monitoring as a program for assessing the quality of ecotopes in space (by geolocalities) and in time (in dynamics), the phytoquantification system is characterized by mandatory features. These features require both general scientific theoretical comprehension and empirical exemplification. The principles of the general scientific theoretical content of the phytomonitoring program in an anthropogenically transformed region are discussed and mandatory explanations are given using the examples of empirically obtained results. The plan-concept corresponds to the laws of material dialectics in terms of identifying cause-and-effect relationships in the systems «factor – trait», «indicator – indicated objects», the technology of reciprocal evaluation of the recalculation of the main nonparametric features into parametric characteristics, taking into account the adaptive capabilities of test indicators in changing environment conditions.

Key words: ecological phytomonitoring, dialectical materialism, phytoindication, Donbass, technogenically transformed environment.

Поступила в редакцию 10.09.21

Принята к печати 12.11.21