

САФОНОВ А.И. (ДБС НАН Украины, Донецк)

СТРУКТУРНАЯ ФИТОИНДИКАЦИЯ МЕТАЛЛОПРЕССИНГА ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотрены особенности структурной пластичности растений техногенных экотопов Донбасса в рамках ризологического, каулилогического, фолиологического, антологического, палинологического и карпо(эмбрио)логического аспектов. Установлено, что полиморфизм травянистых растений имеет адаптивный характер, может использоваться при тестировании полиметалльного загрязнения почв. Приведены 10-балльные шкалы структурной вариативности тест-индикаторов северных промышленных узлов Донецкой области. Проведен анализ сопряжения показателей пластичности растений и спецификой металлопрессинга в зоне произрастания.

В связи с глубокой трансформацией природной окружающей среды, происходящей в результате антропогенного влияния, которое по своим масштабам вышло на планетарный уровень, а по силе и скорости превышает влияние природных факторов, обостряются и становятся более актуальными проблемы сохранения экосистем и биосферы в целом. Это вызывает необходимость в прогнозировании последствий как общего характера, так и специфики зависимости от конкретных особенностей, в том числе факторов загрязнения.

На современном этапе в числе самых актуальных в промышленной экологии находятся проблемы и их разрешения в областях токсикологии, физиологической фитотоксичности тяжелых металлов, антропогенности растений, минерального питания, санитарно-гигиенических особенностей суперэкотоксикантов экзогенного происхождения, нормирования и содержания поллютантов в почвах и растениях [1-9]. Существуют данные о гонадотропном, эмбриотропном, мутагенном, тератогенном и канцерогенном влиянии тяжелых металлов на живые организмы [2, 9-13]. Перспективным является изучение вопроса металлопрессинга на фитосистемы, вреда промышленных эмиссий металлического состава, мониторинга тяжелых металлов. Как составляющий компонент общего мониторинга окружающей среды развивается фитоиндикационный поллюто(металло)мониторинг [8, 9].

Для реализации своевременных мероприятий детоксикационного характера очень важно разрабатывать систему раннего выявления и экспресс-диагностики существенных изменений в экосистемах. В этом направлении создаются программы локального и комплексного мониторинга. Особо актуальны эти вопросы для антропогенно трансформированных регионов, среди которых на территории Украины выделяется Донецкая область. В числе биологических методов оценки состояния природной среды с необходимостью глобального мониторинга, использование индикационных возможностей растений в условиях техногенных ландшафтов приобретает особенное значение.

В связи с этим целью данной работы является определение степени сопряжения между показателями структурной организации фитотестов и уровнем металлического прессинга на ризоэдафосферу, а также выяснение информативности адаптационной пластичности некоторых растений с целью использования для фитоиндикационной оценки загрязнения окружающей среды с помощью созданных 10-балльных шкал вариативности.

Исследования проводили с 1998 по 2001 на территории Артемовского и Краматорско-Константиновского промышленных узлов Донецкого экономического района. Ботанический эксперимент реализован для восьмидесяти модульных зон, соответствующих узлам локализации 302-компонентной мониторинговой сетки. Тест-объектами были выбраны растения из числа частовстречающихся как в зонах фонового контрольного загрязнения, так и в местах экологического бедствия. Нами были проанализированы структурные характеристики для следующих видов: *Berteroa incana* (L.) DC., *Cichorium intybus* L., *Daucus carota* L., *Echium vulgare* L., *Plantago major* L., *Reseda lutea* L., *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum officinale* Webb ex Wigg., *Tragopogon major* Jacq. и *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Laipz.

Анатомо-метрическое изучение проведено на микроскопе Ergaval с использованием винтового окулярного микрометра (МОВ – 1 – 15 X), окуляров 3, 10, 40 и 90 [14].

Отбор и подготовка образцов почвы выполнялись по общепринятым методикам [15]. С целью соответствия модельным экспериментам почвенные пробы отбирали в ризо-слое с учетом горизонтов питания растений (глубина 5-20 см).

Определение концентраций элементов проводили рентгенофлуоресцентным и атомно-абсорбционными методами. При выборе участков обследования учитывали рельеф местности (выровненные территории) и однородность водного режима почв. В качестве контроля были выбраны участки с естественным растительным покровом и минимальным воздействием антропогенных факторов.

Метод фитоиндикации по 10-балльным шкалам был разработан нами и описан в предыдущих публикациях [8, 9] для выявления степени сопряжения и тесноты связи (при вычислении коэффициента корреляции) между показателями загрязнения, элементного состава в почвах и структурными изменениями растений, которые произрастают в зонах промышленного загрязнения и в контроле. Методика разделения на сегменты и полуинтервалы базировалась, во-первых, на общем диапазоне варьирования признаков, во-вторых, на литературных данных возможности изменения характеристики с учетом рабочих доминирующих концентраций и показателей. Фенотипическая изменчивость доказана в результате получения структурно стабильных форм в следующих поколениях при произрастании в контрольных условиях. Статистическая обработка результатов выполнена с помощью пакетов программ Statgraf и Excel. Результаты достоверны на 5-% уровне значимости.

Некоторыми аспектами физиологии растений и морфофизиологических этапов органогенеза разных жизненных форм высших растений являются изучения изменчивости растений на всех этапах в связи с условиями их произрастания; выяснение закономерностей ярусной изменчивости как проявления онтогенетической разнокачественности; изучение явления полимерности и асимметрии, анализы относительной корреляционной пластичности растений в онтогенезе и причин параллельной изменчивости признаков, которые формируются для одного вида в разных экологических условиях. Принцип онтогенетического соответствия взят нами за основу при системном подходе морфологической вариативности. В качестве примера мы представляем шкалы вариативности структурной трансформации *S. intybus* как тест-объекта в каждом из аспектов эксперимента, участвующего во всех блоках сравнения и соответствующего требованиям общего фитоиндикационного мониторинга.

Показатели структурной организации растений рассматривались в ракурсах ризологического, каулилогического, фолиологического, антологического, палинологического и карпо(эмбри)логического аспектов, в каждом из которых участие всех вышеперечисленных растений затруднено, что детерминировано рядом эколого-биологических особенностей того или иного вида. В связи с комплексным характером проблемы пластичности растительного организма считаем необходимым обособленно рассмотреть каждое из указанных направлений с методологическими уточнениями проведения эксперимента.

Ризологический аспект. Проблемы изучения поглощения веществ корнем в последние годы разрабатываются интенсивно и многосторонне. Вместе с данными физиологии и биохимии при обсуждении механизмов поглощения веществ из внешнего раствора и транспорта их по тканям корня используются данные анатомии и цитологии. Полное признание однонаправленности структуры и функции составляет методологическую основу большинства современных работ в этой области [16]. Эксперимент в этом аспекте проведен нами в двух направлениях: изучение гистоструктурных особенностей зародышевого корешка при прорастании семян, сформированных в условиях промышленных площадок, и проращивании в лабораторных условиях на монометаллоносных субстратах. Рабочие концентрации на песчаном почвенном эталоне брались из расчета 60-70% интервала от максимального загрязнения на исследуемой территории [7]. В качестве модельных использовали растения *R. lutea*, *P. major*, *S. intybus*, *T. perforatum*, *T. vulgare*, *T. officinale* и *T. major*. Первый этап онтогенеза происходит в конусе нарастания, расположенном полярно на верхушке побега, который состоит из недифференцированных меристематических тканей (в условиях металлического стресса при дальнейшем развитии дифференцируется частично), осуществляется за счет притока метаболитов из семени, возможно, за счет также развивающихся органов – эффект преждевременного внутреннего прорастания. Конус нарастания, расположенный под покровом зародышевых листочков, имеет у опытных растений в норме плоскую или выпуклую форму. Нами отмечено, что при высоких концентрациях никеля, хрома и кадмия конус нарастания на первом этапе онтогенеза изменяется по форме – определена тенденция куполообразности точки роста, что в

эволюционном аспекте можно рассматривать как проявление деградтивных признаков. Первая зона конуса нарастания, так называемая мантия, - самый поверхностный 1-клеточный слой конуса. Количество рядов этого слоя увеличивается, если семя (плод) были сформированы в зоне с высокими показателями металлотоксичности почв. Из мантии, клетки которой характеризуются антиклинальными делениями, формируется эпидермис растения. Непосредственно под этим слоем на верхушке конуса нарастания есть клетки субапикальной инициальной меристемы, большие по размерам, вакуолизированы, деления которых интрафузальны. В ходе нашего наблюдения установлено, что под влиянием тяжелых металлов клетки этой меристемы гетероморфометричны, что также является индивидуальным признаком и может расцениваться как первые проявления разнокачественности, которая выявляется и в дальнейшей дифференциации и органогенезе в целом. Зона центральной стержневой меристемы, из которой формируется сердцевина, определена более крупными клетками по сравнению с периферийной и субапикальной меристемами. При проращивании на металлоносных субстратах доля сердцевины значительно увеличивается на общем срезе. Дифференциация конуса нарастания на 1-2 этапах онтогенеза приводит к образованию в нижней части конуса специализированных тканей зародышевого стебля и периферийных участков меристемы, из которых на втором этапе онтогенеза формируются листовые валики, а в их пазухах – боковые конусы нарастания. Боковые побеги в пазухах листьев начинают развитие также с первого этапа органогенеза. Последние процессы активируются под влиянием металлического стресса, что наблюдалось в нашем эксперименте. При исследовании замечены общие тенденции: прорастание семян, сформировавшихся в зонах экологического бедствия, происходило быстрее, чем в контроле, вероятно, как результат адаптациогенеза; тяготение от гипогейального прорастания к эпигейальному (при начальном стимулировании растяжения и деления клеток корня, а не гипокотыля) в условиях высоких концентраций Pb, Zn, Cd, Ni, Mo, Fe, Mn и Cu в субстрате. У *T. perforatum* и *T. major* первичная меристема корня образуется за счет базальных клеток (зона растяжения) в условиях олового стресса при пролиферации клеток спящего центра. При проращивании семян в условиях загрязнения мы наблюдали следующие изменения: деграция периферийной части дерматокаллитрогена; стимулирование образования колумеллы из базальных клеток спящего центра и другие показатели. Задержка и преждевременная активация процессов, завершающих первый этап органогенеза, который во многих случаях происходит под влиянием на семена факторов стресса, частично приводит к появлению полиплоидии. При этом если некоторые клетки конуса нарастания на первом этапе были подвержены влиянию тех или иных негативных факторов, то в последующем на растениях появляются новообразования типа «спортов», «почечных вариаций» или «химер» как проявления частичной соматической изменчивости, что проявляется и в разнокачественности побега.

Перечень признаков для *C. intybus* и диапазоны вариации разработаны нами в следующем объеме с указанием элементов и коэффициента корреляции с наиболее достоверными результатами.

1. Тенденция к эпигейальному прорастанию, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Свинец (+ 0,79).
2. Деграция периферийной части дерматокаллитрогена на начальных этапах прорастания, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Кальций (+ 0,91).
3. Стимулирование образования колумеллы не из апикальной инициали, а из базальных клеток спящего центра %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Олово (+ 0,86).
4. Изменение формы чехлика, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Ртуть (+ 0,76).
5. Многорядность ризодермы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Мышьяк (+ 0,81).
6. Утолщение слоя экзодермы, извилистость одноклеточного слоя этой ткани, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100). Свинец (+ 0,55).
7. Малое количество межклетников первичной коры, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 100).

Каулилогический аспект. Особенности структурированности стебля растений под влиянием техногенного прессинга – результат действия приоритетных экологических

факторов. Эксперимент был разделен на этапы: изучение организации растений на уровне габитуса, его асимметричности, характера поверхности стебля тест-объектов, стандартизация и выяснение несоответствия морфологическим нормам анатомо-гистологических признаков относительно контроля. Светооптический опыт выполнен по сборным методикам. Использовались следующие растения:

C. intybus, *D. carota*, *R. lutea*, *T. vulgare* и *T. perforatum*. По данным регрессионного анализа каулилогический аспект выделяется как самый неинформативный среди используемых методов оценки. Как продемонстрировано в списке характеристик, выявлены слабые коррелятивные связи при загрязнении свинцом – по показателю степени опущения стебля и уменьшения доли сердцевинки, цинком – выраженности межпучкового и степени выработки пучкового камбия. Изменения целостности флоэмных тяжей обратно коррелируют с концентрацией кадмия в почве. Также можно заметить однонаправленность и избирательность токсического действия ряда поллютантов в системе «корень - стебель», например, в условиях повышенных концентраций свинца в почве происходит утолщение слоя ризодермы, эпидермиса и его составляющих в стебле. Особенно четко это прослеживается для *T. perforatum*. Полученные результаты вовсе не указывают на отсутствие сопряжения между степенью загрязнения и структурной пластичностью стебля. Следовательно, изменения, появляющиеся в организации стеблевых элементов, находятся под влиянием других, не учитываемых нами в этом опыте, факторов, по-видимому, основных экологических, оказывающих определяющее влияние на растительный организм. В итоге наших предыдущих исследований показано, что стебель является самым консервативным в аспекте морфоэластичности органом фитоиндикаторов [8, 9], в этом случае затрудняется процесс выявления четких закономерностей между характером формы и функции, но основные тенденции в определенной степени информативны и стабильны, что наблюдается в меньшей степени при изучении морфологической лабильности листовых пластинок.

1. Аномальность габитуса, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 10), 3 – [10; 15), 4 – [15; 20), 5 – [20; 25), 6 – [25; 30), 7 – [30; 35), 8 – [35; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100).

2. Степень опущения стебля, по количеству трихомообразующих элементов в поле зрения микроскопа. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 5), 4 – [5; 10), 5 – [10; 15), 6 – [15; 25), 7 – [25; 30), 8 – [30; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100). Свинец (+0,50).

3. Выраженность ребристости стебля, по остроте угла, образующего стеблевые выросты. 1 – (120; 110), 2 – [110; 100), 3 – [100; 90), 4 – [90; 85), 5 – [85; 80), 6 – [80; 70), 7 – [70; 60), 8 – [60; 50), 9 – [50; 40), 10 – [40; 10).

4. Гетерорамия, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 10), 3 – [10; 15), 4 – [15; 20), 5 – [20; 25), 6 – [25; 30), 7 – [30; 35), 8 – [35; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100).

5. Толщина эпидермального слоя, уровень отклонения относительно контроля, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100).

6. Многорядность хлорофиллоносной паренхимы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100).

7. Степень выраженности рыхлой колленхимы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 10), 3 – [10; 15), 4 – [15; 20), 5 – [20; 25), 6 – [25; 30), 7 – [30; 35), 8 – [35; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100).

8. Толщина паренхимы первичной коры, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100).

9. Целостность флоэмных пучков-тяжей, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (-0,72).

10. Выраженность межпучкового камбия. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+0,51).

11. Степень выработки пучкового камбия, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+0,51).

12. Мелкоклеточность метаксилемы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 10), 3 – [10; 15), 4 – [15; 20), 5 – [20; 25), 6 – [25; 30), 7 – [30; 35), 8 – [35; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100).

13. Мелкоклеточность протоксилемы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 10), 3 – [10; 15), 4 – [15; 20), 5 – [20; 25), 6 – [25; 30), 7 – [30; 35), 8 – [35; 40), 9 – [40; 50), 10 – [50; 100).

14. Уменьшение доли сердцевинки на поперечном срезе, %, %, %. 1 – (100; 80), 2 – [80; 75), 3 – [75; 70), 4 – [70; 65), 5 – [65; 60), 6 – [60; 55), 7 – [55; 50), 8 – [50; 40), 9 – [40; 30), 10 – [30; 0).

Фолиологический аспект. Судить о пластичности вида можно, если известно морфологическое строение растений, в частности листа, как наиболее пластичного органа, в строении которого отражается экологическая эволюция вида, формирующаяся под влиянием трансформирующих условий среды. В относительно одинаковых эколого-климатических условиях различия анатомо-морфологического строения листа опосредованно свидетельствуют

о загрязнении окружающей среды в результате прессинга на атмо-эдафосферу [3]. Фундаментальные исследования структурной организации листовой пластинки освещены в работах Ю.В. Гамалея [17]; существуют обзорные работы, посвященные механизмам устьичных движений, реакции устьичного аппарата некоторых растений, произрастающих на территории загрязнения тяжелыми металлами, что может быть использовано для биоиндикации [10, 18]. Следует отметить частое несоответствие результатов анатомометрических исследований для растений природных ценозов и выращенных в искусственных лабораторных условиях. С целью приближения результатов к действительности в нашем опыте собраны данные с растений в модульных зонах, а общие тенденции проверены при лабораторном выращивании. Фолиологический аспект был разделен на этапы изучения морфологии листовой пластинки, характера поверхности и цитологического статуса внутренних тканей листа. Использованы следующие виды: *C. intybus*, *P. major*, *T. vulgare*, *T. officinale* и *T. major*. Получение временных препаратов осуществляли по общим методикам световой микроскопии [14]. Результаты на примере *C. intybus* представлены в списке характеристик. В нашем эксперименте доказано, что при увеличении техногенной нагрузки, как правило, количество устьиц на единицу площади увеличивается. Отмечен также факт неоднородности изучаемого показателя за рамками математической разницы для разных формаций листовых пластинок, что особо наглядно показано на примере *C. intybus*. Определена тенденция уплотнения устьиц для растений техногенных экотопов от нижней формации и выше. Можно предположить, что верхние листья являются наиболее морфопластичными, поскольку ощущают непосредственное влияние факторов загрязнения, тогда как строение листьев нижних формаций в большей степени зависит от полноценности семян и генетически детерминировано. Следует также отметить факт отсутствия срединной и верхней формаций листьев в некоторых точках отбора образцов; как правило, это зоны экологического бедствия, где встречается большее число экземпляров с ксероморфными признаками, что тоже свидетельствует о наличии высоких уровней загрязнения в зонах исследования. В результате наших предыдущих исследований [9] была доказана целесообразность сбора и использования показателей морфопластичности *C. intybus* в анатомическом аспекте для срединной фракции листьев. Таким образом, в следующих блоках эксперимента будут проанализированы 6 и 7-й листовые пластинки фитоиндикаторов. Для интерпретации химических изменений в растительных тканях часто бывает необходимо установление первичных мест локализации и действия токсиканта. Во многих случаях именно эпидермис является посредником и центром тех или других биологических процессов. Опушение в основном оценивается как универсальный способ защиты растений от неблагоприятных факторов. После изучения трихомального состава считаем необходимым обратить внимание на взаимное расположение, поскольку трихомы образуют сложную картину комплексности. Эта часть требует специального детального изучения. Форма основных эпидермальных клеток в значительной степени обусловлена характером роста органа, который они покрывают. В тех случаях, когда разрастание органа происходит более-менее равномерно как в длину, так и в ширину, например у *C. intybus*, как правило в контрольной зоне исследования клетки при рассмотрении с поверхности изодиаметрические. Антиклинальные стенки клеток эпидермиса могут быть прямыми или извитыми. При этом в одних случаях извилистость равномерно расположена по всей стенке, в других – захватывает только ее верхнюю часть. Последнее наиболее вероятно при неспецифическом стрессовом напряжении, что наблюдается для зон металлического прессинга на атмо-эдафосферу территорий промышленных площадок. Чаще всего извилистость наблюдается в изодиаметрических клетках. Нужно отметить, что для особей, произрастающих при более интенсивном освещении, извилистость менее выражена. Исследования по общей топографии эпидермы при определении разнообразия и многочисленности развертывающихся по спиральям морфогенетических центров требуют детализации этого вопроса в онтогенетическом аспекте развития листовой пластинки. Показатель радиального роста меристематической зоны тесно коррелирует с концентрацией марганца в почве, индексы гетерогенности трахеальных элементов и деформации терминальной флоэмы – с хромом и медью соответственно. В меристематической зоне листа *C. intybus*, *P. major*, *T. vulgare* и *T. officinale* преобладает радиальный рост. Размеры трахеальных элементов разных видов различны, в рамках одного вида разница размера ксилемных тяжей значительно меньше: первичная и вторичная ксилемы даже полностью аналогичных трахеальных элементов растений, которые произрастают в разных экологических условиях, различны. Количественное соотношение флоэмы и ксилемы в мелких жилках зависит от функциональной нагрузки на эти ткани в листе. У растений с интенсивной транспирацией ксилема в листьях более развита и расположена дальше от

флоэмы. В условиях значительной сухости, которая может быть физиологического происхождения в результате высокого уровня химического загрязнения почв, образуются исключительно ксилемные терминалы, например у *C. intybus*, *T. vulgare* и *T. major*. Мелкоклеточность, которую можно констатировать в зонах промышленного загрязнения, оценивается как своеобразное защитное проявление. Следовательно, в условиях загрязнения среды промышленными эмиссиями толерантность растений определяют вместе с тем те особенности строения покровных и внутренних тканей листа (как наиболее пластичного вегетативного органа растений), которые представляют собой препятствия для прохождения и распространения токсикантов, а именно ксероморфизм, проявляющийся в утолщении эпидермиса, кутикулы, воскового слоя, опушения, а также в плотном расположении внутренних тканей листа. Качественные признаки, образовавшиеся вследствие действия экзогенных химических веществ, корректнее будет называть не ксероморфными, а пайноморфными как результат неспецифического поллютостресса. Таким образом, изучение структурно-базового строения листа фитотест-претендентов – перспективное направление в системе изучения индикационных возможностей растений при загрязнении окружающей среды.

1. Количество устьиц, нижняя фракция листков, на см². 1 – (0; 160), 2 – [160; 170), 3 - [170; 180), 4 - [180; 190), 5 - [190; 200), 6 - [200; 210), 7 - [210; 220), 8 - [220; 230), 9 - [230; 240), 10 - [240; 1000000).
2. Количество устьиц, срединная фракция листков. 1 – (0; 160), 2 – [160; 170), 3 - [170; 180), 4 - [180; 190), 5 - [190; 200), 6 - [200; 210), 7 - [210; 220), 8 - [220; 230), 9 - [230; 240), 10 - [240; 1000000).
3. Атипичность околоустьичного аппарата, количество трансформированных клеток, размер и степень атипичности клеток эпидермиса. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 20).
4. Атипичность околотрихомального аппарата, количество трансформированных клеток в поле зрения микроскопа 4 X 16. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 20).
5. Структурированность базовых клеток эпидермиса. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 20).
6. Характер дифференциации клеток эпидермиса, количество клеток, не находящихся в стадии деления. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 - [4; 6), 4 - [6; 8), 5 - [8; 10), 6 - [10; 15), 7 - [15; 20), 8 - [20; 25), 9 - [25; 30), 10 - [30; 100).
7. Реформированность клеток эпидермиса, количество клеток-спутниц в поле зрения микроскопа. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 15).
8. Суммарный показатель мелкоклеточности. 1 – (0; 225), 2 – [225; 250), 3 - [250; 275), 4 - [275; 300), 5 - [300; 325), 6 - [325; 350), 7 - [350; 400), 8 - [400; 450), 9 - [450; 500), 10 - [500; 2000).
9. Количество морфогенетических центров в поле зрения микроскопа, 10 X 40. 1 – (0; 7), 2 - [7; 10), 3 - [10; 15), 4 - [15; 20), 5 - [20; 25), 6 - [25; 30), 7 - [30; 35), 8 - [35; 40), 9 - [40; 45), 10 - [45; 200). Цинк (+ 0,90).
10. Показатель радиального роста меристематической зоны, количество клеток радиального деления в поле зрения микроскопа, 10 X 40. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 - [4; 6), 4 - [6; 8), 5 - [8; 10), 6 - [10; 15), 7 - [15; 20), 8 - [20; 25), 9 - [25; 30), 10 - [30; 100). Марганец (+ 0,94).
11. Индекс гетерогенности трахеальных элементов. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 6), 7 - [6; 7), 8 - [7; 8), 9 - [8; 9), 10 - [9; 10). Хром (+ 0,92).
12. Индекс деформации терминальной флоэмы, количество деформированных элементов флоэмы на поперечном срезе. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 - [4; 6), 4 - [6; 8), 5 - [8; 10), 6 - [10; 12), 7 - [12; 14), 8 - [14; 16), 9 - [16; 18), 10 - [18; 30). Медь (+ 0,92).
13. Индекс аномальности анастомозной сетки, количество делений сосудов, не соответствующих показателю 2. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 - [2; 3), 4 - [3; 4), 5 - [4; 5), 6 - [5; 7), 7 - [7; 9), 8 - [9; 11), 9 - [11; 13), 10 - [13; 50). Кадмий (+ 0,97).
14. Ретортообразные трихомы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 7,5), 3 - [7,5; 10), 4 - [10; 12,5), 5 - [12,5; 15), 6 - [15; 17,5), 7 - [17,5; 20), 8 - [20; 22,5), 9 - [22,5; 25), 10 - [25; 100). Никель (+ 0,98).
15. Дугоподобно согнутые трихомы, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 - [4; 6), 4 - [6; 8), 5 - [8; 10), 6 - [10; 12), 7 - [12; 14), 8 - [14; 16), 9 - [16; 18), 10 - [18; 100). Железо (+ 0,81).
16. Нитчатые одноклеточные прямые трихомы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 7,5), 3 - [7,5; 10), 4 - [10; 12,5), 5 - [12,5; 15), 6 - [15; 17,5), 7 - [17,5; 20), 8 - [20; 22,5), 9 - [22,5; 25), 10 - [25; 100). Медь (+ 0,79).

17. Нитчатые многоклеточные прямые трихомы, %. 1 – (0; 5), 2 – [5; 7,5), 3 – [7,5; 10), 4 – [10; 12,5), 5 – [12,5; 15), 6 – [15; 17,5), 7 – [17,5; 20), 8 – [20; 22,5), 9 – [22,5; 25), 10 – [25; 100). Свинец (+ 0,68).
18. Одноклеточные извитые с многоклеточным базисом трихомы, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 12), 7 – [12; 14), 8 – [14; 16), 9 – [16; 18), 10 – [18; 100). Марганец (+ 0,91).
19. Крючковидно-согнутые трихомы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Хром (+ 0,83).
20. Головчатые трихомы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+ 0,86).
21. Трихомы, заканчивающиеся волоском, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (+ 0,72).
22. Вилообразные трихомы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Свинец (+ 0,60).
23. Розеткоподобные трихомы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,79).
24. Трихоморазнообразие, количество типов трихом, встречающихся в одной модульной зоне. 1 – (1; 2), 2 – [2; 3), 3 – [3; 4), 4 – [4; 5), 5 – [5; 6), 6 – [6; 7), 7 – [7; 8), 8 – [8; 9), 9 – [9; 10), 10 – [10; 12).
25. Блочная структура флоэмы, количество блокообразований на поперечном срезе в зоне максимального утолщения листка. 1 – (0; 10), 2 – [10; 15), 3 – [15; 20), 4 – [20; 25), 5 – [25; 30), 6 – [30; 35), 7 – [35; 40), 8 – [40; 45), 9 – [45; 50), 10 – [50; 150). Ртуть (+ 0,90).

Характер изменения вегетативных органов качественно отличается от аномалий в генеративной сфере.

Антогенетический аспект. Консерватизм цветка обусловлен именно способностью к изменчивости, что существенно проявляется в характере этой изменчивости. Цветок, возможно, является наиболее пластичным, по сравнению с вегетативным листком, органом, который легко реагирует на мелкие изменения факторов среды. А.Л. Тахтаджян отмечает, чем менее специализированна данная структура, тем чаще наблюдаются для нее анцестральные признаки и тем полнее их реверсия. В. Х. Тутаюк считает, что в цветке наиболее полно отражена специализация. Чем в большей степени специализирована данная структура, тем легче «пробуждаются» в ней специализированные признаки и тем полнее их реверсия. Различные тераты, сопровождающие махровость, можно было бы рассматривать в основном как категорию проявления анцестральных признаков [11]. Фундаментальные работы в области тератологии представлены в обзорах А.А. Федорова [11]. В этом аспекте нами были использованы следующие виды: *C. intybus*, *D. carota*, *P. major*, *R. lutea*, *T. vulgare*, *T. major* и *T. perforatum*. Основные результаты для *C. intybus* представлены в списке признаков. Разные метаморфозы и аномалии строения оси соцветия проявляются на третьем и четвертом этапах онтогенеза – это время дифференциации главной оси зародышевого соцветия и зародышевых покровных листочков (брактей). С переходом к третьему этапу останавливается процесс образования именно стебельных листочков на конусе нарастания. А 4-й этап – появление на зародышевой оси соцветия конусов нарастания второго порядка в пазухах брактей. Таким образом, логично первопричину появления аномалий в строении оси соцветия считать в условиях прохождения 3 и 4-го этапов онтогенеза. Хотя, изучение 1 и 2-го этапов не менее важно для полного представления последовательности развития. Для *C. intybus* классификация тератных форм тычинок основывалась на признаках апикальных и базальных придатков пыльников, а также на волосках, ворсинках, ресничках пыльцевых нитей. В результате морфологического анализа нами выявлено 10 общих атипичных форм. Согласно работам Полякова П.П. [19] для трибы цикориевых определено 17 общих типов тычинок. Пыльники тычинок всегда узколинейные, удлиненные, с тонкими пыльцевыми нитями; нижние придатки, как правило, короткие и остроугольные; без волосков, антеропод отсутствует или слабо выражен, маленький. Верхний придаток короткий, почти шарообразный с перехватом (как у рода *Crepis*, *Picris*) или полушарообразный (= *Koelpinia*), или коротко языкоподобный (= *Sonchus*, *Chondrilla*), придаток короткий, остроугольный (= *Hieracium*, *Cicerbita*). По коротко тупоугольному или полушарообразному верхнему придатку пыльника и его нижней части морфологии атипичных форм не выходили за границы колебания признаков для трибы цикориевых. Столбики *C. intybus* имеют почти цилиндрические или плоские лопасти, которые покрыты сосочками или гладкие, рыльцевая часть расположена на внутренней стороне лопастей от основания к верхушке. Мы определили 7 типов аномальных столбиков; одни характеризуются прямыми лопастями, на верхушке шаровидные, почти свободные (=

Heteracia, Epiasia), у других волоски расположены по всей длине (= *Scorzonera*). По Полякову П.П. эволюционно определена тенденция спайки лопастей, которые приводили к появлению соответствующего уменьшения площади рыльцевой ткани и ее редукции. При этом спайка и редукция развиты не сверху лопастей, а от их основы. Гинецей является наиболее пластичной частью цветка. Возможно, верхушечная меристема этого органа находится в области гинецея. Незначительные изменения факторов среды влияют на апикальную меристему цветка, следствием чего является разнообразие тератных форм, среди которых встречаются те случаи реверсии, которые закономерно повторяются. Из полевых наблюдений замечено сокращение периода суточного цветения индикаторных видов при переходе от контрольных зон в места металлического прессинга. Таким образом, цветок обязательно реагирует на разные незначительные изменения факторов среды. Направление изменчивости цветка не несет характера приспособленности. Изменчивость характеризуется не появлением волосяного покрова на частях цветка, не ускоренным развитием каких-нибудь тканей и не склерификацией их частей. Подобная категория пластичности для частей цветка встречается не часто, возможно, имеет онтогенетическое значение, что также наблюдается и при рассмотрении структуры пыльцевых зерен.

1. Тератологические образования венчика, общее количество найденных морфоаномалий в одной исследуемой зоне. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 6), 6 – [6; 10), 7 – [10; 20), 8 – [20; 30), 9 – [30; 40), 10 – [40; 1000). Медь (+ 0,62).

2. Тератологические образования тычинок. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 6), 6 – [6; 10), 7 – [10; 20), 8 – [20; 30), 9 – [30; 40), 10 – [40; 1000). Цинк (+ 0,54).

3. Тератологические образования столбиков. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 6), 6 – [6; 10), 7 – [10; 20), 8 – [20; 30), 9 – [30; 40), 10 – [40; 1000). Железо (+ 0,51).

Палинологический аспект. Объектами исследований служили пыльцевые зерна амфимицтичных видов *C. intybus*, *B. incana*, *T. perforatum*, *E. vulgare*, которые оптимально соответствуют требованиям при реализации палинологического аспекта общего фитоиндикационного поллютомониторинга. Стандартизация палинологического сырья проведена с учетом варьирования признаков у контрольных экземпляров и литературных данных [13, 20-21]. Были использованы красители: метиленовый синий, ацетокармин, гематоксилин и орсеин. В предыдущих наших работах основное внимание было акцентировано на изучении степени дефектности пыльцы и особенностях стратиграфического строения стенки, скульптурированности и морфологии пыльцевых зерен; сделана попытка типологической стабилизации и определения тенденций подобностей этих показателей у близкородственных видов (для *C. intybus*) в связи со спецификой загрязнения почв тяжелыми металлами. В этой работе мы представляем сборные данные для всего 302-блокового поэлементного сравнения. Полученные индексы указывают на информативность и индикаторную значимость состояния пыльцы в условиях загрязнения. С учетом ранее опубликованного материала [4, 8, 9] можно сделать вывод о приемлемости и достаточной информативности метода палинологических характеристик для реализации комплексного эколого-ботанического мониторинга.

1. Абсолютные размеры пыльцевых зерен, мкм. 1 – (0; 22), 2 – [22; 26), 3 – [26; 30), 4 – [30; 35), 5 – [35; 40), 6 – [40; 45), 7 – [45; 50), 8 – [50; 55), 9 – [55; 60), 10 – [60; 100). Никель (- 0,65).

2. Эллиптически-сплюснутая форма пыльцы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Ртуть (+ 0,86).

3. Бороздко-подобноорые апертуры, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Железо (+ 0,61).

4. Порово-орые апертуры, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Марганец (+ 0,76).

5. Нэкина равномерная, меньше мэкины, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,83).

6. Столбики в виде длинных стержней, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 12), 7 – [12; 14), 8 – [14; 16), 9 – [16; 18), 10 – [18; 100). Цинк (+ 0,92).

7. Столбики разветвлены, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Мышьяк (+ 0,81).

8. Шиповатая скульптура пыльцы, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 12), 7 – [12; 14), 8 – [14; 16), 9 – [16; 20), 10 – [20; 100). Хром (+ 0,78).

9. Нечетко определены полярные утолщения пыльцы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Свинец (+ 0,69).

10. Шестигранные полярные утолщения пыльцы, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+ 0,77).

11. Треугольные полярные утолщения пыльцы, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Марганец (+ 0,79).
12. Пыльцевые зерна с явными признаками деградации, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (+ 0,51)
13. Пыльцевые зерна, не окрашенные ацетокармином, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Медь (+ 0,53).
14. Степень дефективности пыльцевых зерен, % . 1 – (0; 5), 2 – [5; 7,5), 3 – [7,5; 10), 4 – [10; 12,5), 5 – [12,5; 15), 6 – [15; 17,5), 7 – [17,5; 20), 8 – [20; 22,5), 9 – [22,5; 25), 10 – [25; 30). Никель (+ 0,87), железо (+ 0,56).

Карпо(эмбрио)логический аспект. Раньше мы изучали некоторые особенности формирования плодов *C. intybus*, *D. carota*, *E. vulgare*, *P. major*, *R. lutea*, *T. vulgare*, *T. officinale*, *T. major* и *T. perforatum* в условиях промышленного загрязнения [6, 8, 9] и структурные особенности плодов этих растений, произрастающих в зонах повышенного металлического прессинга. В этой работе мы представляем основные тенденции соответствия сборных индексов структурной трансформации плодов и семян степени металлической агрессивности почв. Для установления местных стандартов структурных особенностей карпо-эмбриологических элементов растений, произрастающих в контрольных зонах, объем выборки был равен 100 измерениям каждого признака. Гистологическую дифференциацию и идентификацию принадлежности клеточных группировок к определенным тканям сделано по Т.Б. Батыгиной [12] и Макрушину Н.М. [20]. Морфологические особенности плодов описаны по Р.Е. Левиной [23]. Основные результаты, демонстрирующие направления и специфику карпотрансформации на примере *C. intybus*, представлены в списке характеристик. Проведенные исследования указывают, что растения *C. intybus*, *D. carota*, *E. vulgare*, *P. major*, *R. lutea*, *T. vulgare*, *T. officinale*, *T. major* и *T. perforatum*, которые произрастают на загрязненных территориях, характеризуются общей тенденцией к выраженности ксероморфности, наблюдается значительное варьирование как анатомических, так и морфологических признаков плодов и семян. Самыми пластичными тканями при увеличении содержания тяжелых металлов в почве и в растениях выявлены эндосперм зародыша, эпидермис плода, геалиновая оболочка, зародышевый чехлик, колумелла, дерматокаллитроген, протодерма и эндотеста. Полученные результаты в очередной раз подтверждают, что степень анатомо-морфологической пластичности растительного организма, в частности плодов, может быть критерием устойчивости растений к факторам техногенного загрязнения.

1. Остро-клиновидная форма семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Свинец (+0,84).
2. Яйцеподобная форма семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,69).
3. Коническая форма семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (+ 0,92).
4. Густореберная форма семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Марганец (+ 0,90).
5. Сильно сморщенная поверхность семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,90), молибден (+ 0,68), кадмий (+ 0,50).
6. Опушено-ребристая поверхность плода, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,79).
7. Неопушенная поверхность семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Свинец (+ 0,89), ртуть (+ 0,80), мышьяк (+ 0,57).
8. Семянка желтого цвета, % . 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 12), 7 – [12; 14), 8 – [14; 16), 9 – [16; 20), 10 – [20; 100). Олово (+ 0,68).
9. Семянка грязно-серого цвета, % . 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 12), 7 – [12; 14), 8 – [14; 16), 9 – [16; 20), 10 – [20; 100). Медь (+ 0,74).
10. Шаровидная форма семянки, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,67).
11. Уменьшение доли семядолей, % . 1 – (0; 3), 2 – [3; 6), 3 – [6; 9), 4 – [9; 12), 5 – [12; 15), 6 – [15; 18), 7 – [18; 21), 8 – [21; 24), 9 – [24; 27), 10 – [27; 100). Хром (+ 0,78).
12. Частичная редукция эндосперма, % . 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (+ 0,75).

13. Неравноутолщения эпидермиса плода, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,79).
14. Разрастание эндосперма, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Молибден (+ 0,93).
15. Разрастание геалиновой оболочки, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+ 0,76).
16. Гетероморфичность семядолей, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100).
17. Нарушение роста зародышевого корешка, отсутствие корневого чехлика, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,85).
18. Индуцированная деградация колумеллы и дерматокаллитрогена, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,85).
19. Ярусность протодермы, периклиналильные деления, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Цинк (+ 0,83).
20. Пролиферация клеток спящего центра, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Кадмий (+ 0,75).
21. Тератологическая поликотилия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 150). Медь (+ 0,78).
22. Тератологическая схизокотилия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 150). Железо (+ 0,88).
23. Гемитриколия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 150). Хром (+ 0,66).
24. Гемитетраколия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 150). Марганец (+ 0,56).
25. Нарушения в дифференциации листовых примордиев, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100).
26. Анизокотилия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 150). Свинец (+ 0,78).
27. Эндотеста состоит из палисадного слоя близких к кубическим клеток, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Медь (+ 0,90).
28. Эндотеста состоит из удлиненных клеток, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,61).
29. Сетчатая скульптура тесты, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Никель (+ 0,73).
30. Матриральная гетероспермия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 100). Свинец (+ 0,88).
31. Дисимметричный полиморфизм, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 100).
32. Морфологическое разнообразие кутикулярных структур, %. 1 – (0; 1), 2 – [1; 2), 3 – [2; 3), 4 – [3; 4), 5 – [4; 5), 6 – [5; 6), 7 – [6; 7), 8 – [7; 8), 9 – [8; 9), 10 – [9; 100). Марганец (+ 0,76).
33. Матриральная гетерокарпия, %. 1 – (0; 2), 2 – [2; 4), 3 – [4; 6), 4 – [6; 8), 5 – [8; 10), 6 – [10; 15), 7 – [15; 20), 8 – [20; 25), 9 – [25; 30), 10 – [30; 100). Свинец (+ 0,71).

Из полученных данных можно сделать поэлементное сравнение межаспектного действия одного или группы поллютантов в почве. Например, повышенные концентрации свинца по данным корреляционного анализа тесно связаны с такими признаками биоморфологического развития *C. intybus*, как тенденция к эпигеальному прорастанию, извилистость одноклеточного слоя экзодермы корня, степень опушения и толщина сердцевинной части стебля, появление нитчатых одноклеточных прямых и вильчатых трихом, остро-клиновидной формы у семянков, отсутствие у последних опушения, также появление тератологической схизокотилии, анизокотилии, матриральных гетероспермии и гетерокарпии. Эти результаты, по-видимому, могут свидетельствовать об аналогичности функционирования физиолого-биохимических механизмов фитосорбции и детоксикации на разных уровнях организации *C. intybus* при загрязнении почв свинцом. Нужно также отметить наличие двух сопряженных групп: свинец-железо и никель-хром-медь (марганец-кадмий), выявляющих часто близкие корреляционные связи с показателями структурированности фитоиндикаторов, что в большей степени, вероятно, зависит от специфики загрязнения сопутствующими группами металлов и обусловлено наличием геохимических локалитетов антропогенного происхождения.

Таким образом, полиморфизм травянистых растений имеет адаптивный характер, может использоваться при тестировании поллиметального загрязнения. Показатели структурной трансформации изученных видов достаточно информативны и легкодоступны в системе оценки степени промышленной нагрузки на окружающую среду.

Библиографический список

1. Алемасова А.С., Сафонов А.И., Сюмка А.А., Хижняк Н.А. Накопичення кадмію і морфо-анатомічні ознаки рослин як індикатор забруднення середовища // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя, Б. в., 1998. - Вип. 3. - С. 34-40.
2. Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжёлыми металлами // Экология. - 1992. - №4. - С. 45-50.
3. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Структура и функции ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. – 205 с.
4. Глухов А.З., Остапко И.Н., Сафонов А.И. Состояние пыльцы *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Lairz и *Cichorium intybus* L. при загрязнении почв тяжелыми металлами // Промышленная ботаника. – 2001. – Вып 1. – С. 84-87.
5. Дудик А.М. Временные методические рекомендации по геолого-экологическим работам в пределах горнопромышленных районов Украины. – Донецк: Б. и., 1992. – 105 с.
6. Остапко І.М., Сафонов А.І. Будова сім'янки *Cichorium intybus* L. в умовах техногенного середовища // Укр. ботан. журн. – 2001. – 58, №2. – С. 195-199.
7. Сафонов А.И. Особенности локализации некоторых металлов-токсикантов в почвах северных промышленных узлов Донбасса // Экологическая и техногенная безопасность. Сб. научн. тр. Международн. научно-практ. конференции. – Харьков: Изд-во Харьк. ин-та социального прогресса, 2000. – С. 131-135.
8. Сафонов А.И. Фитоиндикационные исследования металлопрессинга на Донбассе // Тез. VII Молодежн. конф. ботаников в Санкт-Петербурге. – СПб: Буслай, 2000. – С. 155.
9. Сафонов А.І., Хижняк Н.А. Фітоіндикаційна оцінка ступеня забруднення навколишнього середовища важкими металами // Еколого-натуралістична творчість. Наук.-метод. вісник №1. – К.: Б. в., 2001. – С. 88-90
10. Журавлева Н.А. Механизм устьичных движений, продуктивный процесс и эволюция. – Новосибирск: Наука, 1992. – 141 с.
11. Федоров А.А. Тератология и формообразование у растений. – М; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. - 28 с.
12. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции / Под ред. Т.Б. Батыгиной. – Семя. - СПб: Мир и семья, 1997. – Т. 2. - 823 с.
13. Эрдтман Г. Мофология пыльцы и систематика растений. Введение в палинологию: В 2-х т. Покрытосеменные. – М.: Изд-во Иностран. лит.-ры. – 1956. – Т. 1. – 486 с.
14. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г. Основы микроскопических исследований в ботанике. – М.: Наука, 2000. – 128 с.
15. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. - 487с.
16. Данилова М.Ф. Структурные основы поглощения веществ корнем.- Л.: Наука, 1974. – 206 с.
17. Гамалей Ю.В. Цитологические основы дифференциации ксилемы. – Л.: Наука, 1972. – 144 с.
18. Мирославов Е.А. Структура и функция эпидермиса листа покрытосеменных растений. – Л.: Наука, 1974. – 184 с.
19. Поляков П.П. Систематика и происхождение сложноцветных. – Алма-Ата: Наука, 1967. – 336с.
20. Аксерова Р.К. Палинология трибы *Cichorieae* (*Compositae*) // Морфология пыльцы и спор современных растений. Тр. III Международн. палинологической конф. в СССР. – Л.: Наука, 1973. – С. 33-36.
21. Куприянова Л.А., Алёшина Л.А. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. *Lamiaceae – Zygophyllaceae*. – Л.: Наука, 1978. – 184 с.
22. Макрушин Н.М. Основы гетеросперматологии. – М.: Агропромиздат, 1989. – 287 с.
23. Левина Р.Е. Морфология и экология плодов. – Л.: Наука, 1987. – 160 с.