

*На правах рукописи*



**ЛУГОВСКОЙ**  
**Александр Михайлович**

**Мониторинг природной среды методом индикации сосны  
обыкновенной в условиях техногенеза  
Русской равнины**

**Специальность: 25.00.23. — физическая география и биогеография,  
география почв и геохимия ландшафтов**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук**

**ВОЛГОГРАД, 2004**

Работа выполнена на кафедре экологического образования Воронежского государственного педагогического университета

Научный консультант: доктор географических наук, профессор  
Б. И. Кочуров

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор  
Бармин А.Н.  
доктор географических наук, профессор  
Чупахин В.М.  
доктор географических наук, профессор  
Сагалаев В.А.

Ведущая организация: ВНИИ Агролесомелиорации, г. Волгоград

Защита диссертации состоится 12 ноября 2004 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.026.02 при Волгоградской архитектурно-строительном университете по адресу: 400074, Россия, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, аудитория Б-202 (зал заседаний диссертационных советов).

Факс: (8442) 97-49-33, E-mail: [postmaster@vgasa.ru](mailto:postmaster@vgasa.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан 10 сентября 2004 года.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор



С.В. Кузнецова

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы диссертации.**

Продолжающееся ухудшение состояния природной окружающей среды, деградация природных систем жизнеобеспечения и медленные ответные действия общества привели к реальной опасности экологического бедствия.

Чтобы предотвратить дальнейшее развитие негативных процессов среды, улучшить экологическую ситуацию и обеспечить потребности населения в природных ресурсах; необходимо иметь достоверные данные о состоянии природных систем и их антропогенных изменениях. Получение надежной оперативной и опережающей информации о состоянии среды и природных комплексах является важнейшей задачей комплексного мониторинга. В настоящее время при проведении мониторинговых наблюдений широко используются геохимические, геофизические и индикационные методы. В последних решающую роль играет биоиндикация на уровне организма, биогеоценоза, экосистемы и ландшафта, которая дает информацию о состоянии среды под влиянием антропогенных воздействий. Преимущество биоиндикации связано с высокой чувствительностью организмов-индикаторов и относительной быстротой проведения анализов, что выгодно отличает ее от других методов мониторинга.

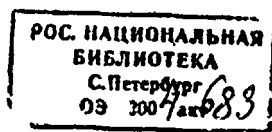
Особую актуальность имеет научно-методическое обоснование методики использования древесных растений для биоиндикации, позволяющей учесть степень влияния на растительный организм комплекса естественных факторов и техногенной нагрузки в различных почвенно-климатических условиях ареала в зависимости от этапов онтогенеза и научно обосновать нормы допустимого химического воздействия на природные ландшафты.

### **Цель и задачи исследований**

Основной целью диссертационной работы является исследование морфолого-анатомической реакции растительного организма на примере сосны обыкновенной на действие естественных и техногенных факторов среды, разработка научно-методических основ мониторинга среды для оценки уровня антропогенного прессинга на ландшафты различных регионов Русской равнины.

Для достижения этой цели в работе поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Оценка, влияния комплекса атмосферного загрязнения и почвенно-климатических факторов среды на морфолого-анатомическую структуру вегетативных органов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L).
2. Изучение реакции морфолого-анатомической структуры вегетативных органов сосны обыкновенной разных этапов онтогенеза в зависимости от комплекса природных абиотических и техногенных факторов.
3. Выявление особенностей структурной реакции тканей проводящей и других функциональных систем сосны в различных стадиях онтогенеза.
4. Определить возможности применения показателей морфолого-анатомической реакции сосны для мониторинга природной среды.



### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования являлось морфолого-анатомическое строение сосны обыкновенной на уровне клеток, тканей, органов и систем органов иматурной, генеративной, сенильной стадий развития, сформированное в различных почвенно-климатических условиях Русской, равнины под влиянием различной степени антропогенного воздействия. В предмет исследования входило изучение возможности использования количественной реакции структурных элементов проводящей функциональной системы для целей мониторинга природной среды.



**Рис. 1. Картограмма района исследования**

### **Научная новизна**

Предложено новое научное направление по исследованию реакции растительного организма на уровне функциональных систем под действие комплекса экологических факторов естественного и антропогенного происхождения.

Введены новые понятия «функциональная система», предложены их классификация и состав, а также «стиль» как совокупность проводящих тканей и образующих их латеральных меристем.

Построена модель реакции сосны на разных уровнях организации растительного организма в иматурной, репродуктивной и сенильной стадиях онтогенеза.

Разработана методология исследования качества природной среды методом биоиндикации с использованием соотношений тканей в составе функциональной системы и показателя суммации как суммы долей ПДК веществ.

### **Научные результаты и положения, выносимые на защиту**

- Адаптивный характер морфолого-анатомической реакции растения на уровне тканей, органов, функциональных систем и построение модели структурной реакции растения как целостного организма на различных этапах онтогенеза под действием антропогенного прессинга в разных почвенно-климатических условиях Русской равнины.

- Возможность, использования параметров структурной реакции функциональных систем для мониторинга природной среды, проведения мероприятий по биофильтрации атмосферы, оптимизации природопользования в антропогенных ландшафтах.

- Обоснование применения показателей суммирования долей норм предельно допустимых концентраций веществ при комплексном одновременном воздействии атмосферных загрязнителей и уменьшение существующих норм ПДК в зависимости от естественных факторов среды и набора загрязнителей для мониторинга природной среды.

### **Практическая значимость**

Теоретические положения являются основой для исследования реакции растительных организмов на действие факторов среды на уровне функциональных систем, интересным является рассмотрение эволюционных аспектов формирования стала - комплекса проводящих тканей и латеральных меристем у высших растений.

Методологические аспекты были применены для региональных геоэкологических исследований в Воронежской области, биомониторинга атмосферного загрязнения в г. Россошь. Дорогобуж, Северодонецк, для оценки качества среды экосистем наземного базирования. Материалы исследований применены для разработки спецкурсов в ВГПУ.

### **Личный вклад соискателя**

Основной объем исследований автором проведен самостоятельно, полученные выводы являются авторскими, результаты исследований опубликованы в соавторстве с Ереминым В.М., Межовой Л.А., Шереметьевым В.И., Григорьевской А.Я., Саврасовой Н.И. для применения полученных результатов в различных областях научных исследований.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзном семинаре «Образование и строение древесной ткани» (Рига, 1990), на X съезде Российского географического общества (Санкт-Петербург, 1995), на научно-практической конференции «Проблемы экологии и рационального природопользования Северо-запада России» (Псков, 1995), на научно-практической региональной конференции «Национальное возрождение России: Теория и практика» (Ростов-Дон, 1996), на пятой международной конференции ассоциации «Экологическое образование» (Санкт-Петербург, 1996), на Всероссийской межвузовской конференции «Территориальная организация общества и управление в регионах» (Воронеж; 1996), региональной научно-практической конференции «Проблемы экологии и экологической безопасности Центрального Черноземья» (Липецк, 1996), на второй научно-практической конференции «Человек в зеркале современной географии» (Смоленск, 1996), на научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В.В. Докучаева «Стабилизация развития АПК Центрального Черноземья на основе рационального использования природно-ресурсного потенциала.» (Воронеж, 1996), на научно-практической конференции «Северо-запад России: проблемы экологии и устойчивого развития» (Псков, 1996), на международном симпозиуме «Горный Алтай и Россия - 240 лет» (Горно-Алтайск.

1996), на международной научной конференции «Ломоносов и национальное наследие России» (Архангельск, 1996), на международной научной конференции «Современные проблемы анатомии растений» (Брест, 1996), на международной научно-практической конференции «Человек и общество: тенденции социальных изменений» (Санкт-Петербург - Минск — Ростов-Дон, 1997), на Всероссийской конференции «Научное наследие П.П. Семенова Тянь-Шанского и его роль в развитии современной науке» (Липецк, 1997), на третьей научно-практической конференции «Новые технологии» (Воронеж, 1997), на международном научно-методическом семинаре «Непрерывное географическое образование: инновационные методы и технологии» (Харьков, 1998), на международной общественно-научной конференции «Проблемы и перспективы сбалансированного развития в бассейне Псковско-Чудского озера» (Псков, 1998), на международной научной конференции «Территориальная справедливость, региональные конфликты и региональная безопасность» (Смоленск, 1998), на научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития и управления лесными экосистемами зеленой зоны города Воронеж» (Воронеж, 1999), на II, IV и V международных научно-практических конференциях «Территориальная организация общества и управление в регионах» (Воронеж, 1998, 2000, 2002), II региональной конференции «Теоретические и прикладные аспекты оптимизации и региональной организации ландшафтов» (Воронеж, 2001), общественно-научной конференции с международным участием «Северо-Запад России: взаимодействие общества и природы» (Псков, 2002).

#### Опубликованность результатов

По результатам исследований по теме диссертации опубликовано 3 монографии, 13 учебно-методических пособий, 14 статей, 24 тезисов, общим объемом 1335 страниц, в т.ч. авторских - 767 страниц.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

*Анализ органов сосны под действием комплекса факторов показал качественные изменения морфологических и количественные изменения анатомических и признаков во всех органах в разные этапы онтогенеза на всей исследуемой территории Русской равнины.*

Биометрические показатели надземной части сосны, произрастающей в различных условиях по мере удаления от источника загрязнения увеличиваются во всех возрастных группах, независимо от пункта исследования.

Крона характеризуется уменьшением количества функционирующих мутовок по мере приближения к источнику поллютантов, особенно у особей генеративного и сенильного этапов онтогенеза. Наблюдается суховершинность и разреженный характер кроны у деревьев первой и второй пробной площади во всех исследованных природных зонах. Изменяется форма кроны, угол отхождения ветвей, проекционное покрытие колеблется от 30 % в первой зоне до 60% в зоне контроля у иматурных растений, в остальных возрастных стадиях развития этот показатель возрастает в равной пропорции. Крона в молодом возрасте имеет коническую форму, у взрослых особей начиная с иматурного периода в оптимальных условиях обитания широкоокруглая.

Процесс усыхания начинается с потери хвои в верхней части кроны, ближе к вершине, хотя молодые побеги остаются нормальными. Это объясняется процессом снабжения пластическими веществами молодых побегов за счет более ранних, расположенных в нижней части кроны. Затем идет потеря хвои из средней части кроны и изоляция верхней части кроны, заканчивающаяся усыханием всей верхней части кроны. Опад хвои в нижней части кроны при дальнейшей гибели ветвей приводит к гибели организма.

В период роста к числу острых повреждений относят задержки роста, высокий риск повреждения хвои текущего года, к числу хронических относят действие биологического стресса, ингибирование и замедление роста.

В период вегетации при остром характере загрязнения происходит увеличение риска острого повреждения во время физиологической дифференцировки, подавление фотосинтеза. При хроническом воздействии идет аккумуляция токсических веществ на поверхности и мезофилле хвои.

Структурная реакция является вторичной. Первым на себе отрицательное влияние испытывают фотосинтетический аппарат и водопоглощающая система, следствием чего является резкое снижение продуктивности пластических веществ и эффект ксероморфизации. Отрицательным результирующим фактором неблагоприятных условий произрастания является изменение габитуса целого растения и отдельных его органов по сравнению с контролем. Заметно изменяются следующие признаки:

1. Уменьшается длина стебля в целом и его метамеры в частности. Особенно резкое снижение прироста у деревьев сенильной возрастной стадии по сравнению с другими возрастными периодами характерно для крайних точек ареала обитания. При оптимизации условий обитания наблюдается увеличение показателей в два и более раз.

2. Уменьшается диаметр деревьев на 30-50 % как под действием техногенного загрязнения, так и под влиянием комплекса абиотических факторов в крайних точках ареала.

3. Важной отличительной чертой деревьев первой зоны во всех зонах является частая смена вершины, что объясняется уменьшением производительности пластических веществ, ухудшением засоленности почечных чешуй, их высыханием и вымерзанием под влиянием техногенного загрязнения.

Уменьшение перечисленных биометрических показателей приводит к уменьшению контакта с окружающей средой, что может расцениваться как анабиотический адаптационный признак на воздействие неблагоприятных факторов. Причем, со стороны растения реакция не носит специфического характера, так как проявляется как на природные, так и антропогенные факторы среды.

4. Наличие хлорозов и некрозов на поверхности побегов первого и изредка второго года вегетации в результате острых повреждений. Изменение качественных признаков перидермы и ритида не наблюдалось.

5. В пределах первой зоны, особенно в южных районах степной зоны, на многих деревьях наблюдались многочисленные следы повреждения насекомыми в результате ослабления защитной системы ствола и боковых побегов.

6. Корневая система глубоко проникающая, многорукая уменьшает параметры под действием комплекса пессимальных факторов среды.

Таким образом, для морфологической реакции характерно изменение биометрических показателей прироста, расположения побегов, характер расположения и высота кроны, наличие внешних повреждений в результате действия абиотических и биотических факторов. Реакция носит неспецифический характер, а закономерность проявляется в зависимости от конкретных условий природных зон.

#### *Морфолого-анатомическое изменение хвои.*

Анализируя состояние хвои как носителя основного объема фотосинтетического аппарата, следует отметить особенность - наблюдается опад хвои после второго сезона вегетации в зоне контроля в северном участке лесной и степной зонах. Для средней полосы наличие трехлетней хвои показатель высокой жизнеспособности. Характерной чертой для всех возрастных групп является отмирание хвои трехлетнего и двулетнего возрастов под действием фотоингибиторов. Синергирующий эффект действия антропогенного фактора с пессимальными факторами среды проявляется в крайних точках ареала.

Хвоя по мере ухудшения условий обитания имеет ряд острых повреждений в виде хлорозов и некрозов.

Степень повреждения зависит от возраста хвои, сформированности кутикулы, гиподермы, характером расположения погруженных устьиц, плотности сложения клеток эпидермы. У молодой хвои всех возрастных этапов онтогенеза повреждения проявляются на кончиках, а при остром воздействии наблюдается некроз ниже кончика, определяемый как симптом "гнили незрелой ткани иглы". Некротическая ткань обычно имеет коричневые оттенки и четко разграничивается со здоровой тканью листа. Еще более выраженные изменения внешнего облика происходят при действии комплекса загрязнителей, обладающих синергирующим действием. Смесь диоксида серы с озоном дает симптом "хлоротической карликовости".

Анализируя биометрические показатели хвои следует отметить большую вариабельность количественных признаков вместе с качественными показателями хвои. Следует отметить следующие особенности морфологической реакции: 1. Изменяется средняя длина хвои у одно- и двулетней хвои у иматурных особей - 70-78,6 % от контроля, для хвои генеративной и сенильной стадий - уменьшение параметров до 82,3-84,7 %.

2. Уменьшается ширина хвоинок по мере ухудшения условий местообитания существенно у иматурных и, в несколько меньшей степени у сенильных особей. Хвоя приобретает от полукруглой формы форму "полумесяца".

3. В прямой зависимости от длины и ширины изменяется площадь контактирующей поверхности хвои с внешней средой. В наименьшей степени это характерно для иматурных особей, где уменьшение достигает 57-59% по сравнению с контролем, для других возрастных классов изменение достигает 64-73,5 %.

4. Уменьшается объем и вес хвои.

5. Форма хвоинок приобретает вид иглы, а по мере улучшения условий обитания - вид спирали согласно правилу "чередования витков спирали листа" за счет изменения длины и формой поперечного сечения.

6. Количество хвои на 1 см побега уменьшается в два раза у имматурных и более у сенильных особей в зоне пессимума во всех точках ареала, у генеративных особей изменение меньше.

7. В связи с уменьшением биомассы хвои резко изменяется коэффициент охвоенности побега - соотношение веса побега и расположенной на нем хвои. Анализируя динамику колебания этого признака (до 4-5 раз в первой зоне, 2,9-3 раза - во второй и 1,5 раза в третьей по сравнению с контролем) следует предложить его использование в качестве биоиндикационного.

Наблюдается у генеративных особей изменение числа устьичных строк до 40 %, уменьшается число устьиц в строке до 45-40, а в крайних точках ареала до 60 %. В этом же направлении у всех возрастных классов изменяется плотность расположения устьиц.

Достоверно изменяется размер устьичного аппарата - до 60 % в первой, 75-80 % - во второй и до 90 % в третьей зоне по сравнению с контролем.

В оптимальных условиях средние параметры хвои особей генеративного этапа развития составляют (мкм): длина **70,9±0,63**; ширина **1,5±0,021**; толщина **0,6±0,012**. Площадь поперечного сечения хвои составляет (мкм) 0,84; центрального проводящего цилиндра 0,23. Соотношение площадей центрального проводящего цилиндра и поперечного сечения хвои равно 0,278. Толщина кутикулы достигает **2,7±0,12**. Размеры клеток (мкм) эпидермы составляют: тангентальный **16±0,3**; радиальный **19±0,2**; гиподермы: тангентальный **19±0,3**; радиальный **13±0,2**, причем, превышение в 1,5 раза является стабильным; эндодермы: тангентальный **45±1,1**; радиальный **25±0,7**. Диаметр смоляного хода имеет 47±1,5 мкм. Плосковыпуклая хвоя по степени выраженности складчатого мезофилла имеет обычные складки, смоляные ходы в количестве 8-10 штук имеют периферическое расположение, центральная проводящая система почкообразной формы включает два расставленных проводящих пучка, окруженная хорошо развитой склеренхимой, располагающейся и между пучками.

Устьица располагаются в виде полос по 8-10 линий. У особей генеративного этапа развития в оптимальных условиях среды количество устьиц на морфологически верхней стороне (шт.) составляет **116±4,2**; на нижней - **84±5,5**; длина устьиц (мкм) - **58±1,1**.

Таким образом, наблюдается изменение хвои у особей в разных частях ареала, сходное с изменениями фенотипа в онтогенезе по мере прохождения стадий развития: у особей северной части ареала наблюдается уменьшение параметров центрального цилиндра, большая мощность проводящих тканей, размеры хвои в целом, количество смоляных каналов, число устьичных линий на поверхности хвои, плотность их расположения на единицу площади.

#### *Морфолого-анатомическое изменение стебля.*

Наибольшее влияние испытывают ткани коры, так как некоторые ее ткани долгое время остаются фотосинтезирующими или осуществляют функцию радиального транспорта ассимилятов.

В различной степени подвержены изменениям следующие признаки:

1. Ширина коры однолетнего стебля в целом, изменение ярче выражено в южной части ареала (Северодонецк) - на 50 %, в северной части (Дорогобуж) - подобное изменение составляет около 15%.

2. Комплекс покровных тканей стебля в целом. Почти в два раза уменьшается ширина стенок клеток эпидермы и гиподермы в первой зоне по сравнению с контролем. Перидерма по мере оптимизации условий среды в значительной степени увеличивает свои параметры за счет большего количества клеток пробки. Характер заложения ритидома не изменяется, однако существенные изменения претерпевают количественные показатели: ширина ритидома в целом, ширина и количество повторных перидерм, площадные размеры чешуи уменьшаются в первой зоне во всех природных зонах у особой иматурного и сенильного периода онтогенеза в большей степени. Изменение параметров достигает более 40% по сравнению с контролем. Вдвое изменяется и расстояние между повторными перидермами. Феллема повторных перидерм у деревьев всех зон гомогенная, только тонкостенная, плотно сложенная. Эта тенденция ярче проявляется в комлевой части по сравнению с другими участками ствола.

3. Ширина первичной коры уменьшается по мере ухудшения условий прямо пропорционально диаметру стебля во всех природных зонах. Изменяется тангентальный и радиальный размер клеток первичной коры, наблюдается больший процент мертвых клеток в составе первичной коры, что способствует формированию крупных полостей и обуславливает более рыхлое ее сложение.

Изменение параметров первичной коры по сравнению с флоэмой несколько меньше, что связано с функциональной направленностью тканей. Являясь ассимиляционной, первичная кора имеет большие возможности увеличения параметров клеток и ткани в целом за счет фотосинтеза, протекающего в ней самой.

4. Изменяется количество смоляных ходов в 1,5-2 и более раз по мере оптимизации комплекса факторов. Чувствительность этого показателя увеличивается с возрастом по мере формирования общей смолоносной системы.

По мере формирования стебля увеличиваются радиальные и тангентальные размеры смоляных ходов, причем увеличение радиальных размеров происходит на большую величину. При этом подтверждается правило Еремина В.М. (1987, 1988) о постоянстве соотношения суммарной величины тангентальных размеров ходов и длины окружности, на которой они располагаются. Испытывая антропогенную нагрузку растения, почти не изменяют это соотношение. Это говорит о координации процесса формирования стебля в целом под действием как природных, так и антропогенных факторов.

5. По мере снижения концентрации загрязнителей изменяется степень развития всех составных частей коры, но в большей мере и практически в одинаковой степени во всех природных зонах увеличивается ширина флоэмы.

Анализ флоэмы показал, что ни в гистологическом составе, ни в структуре годичного слоя под действием комплекса неблагоприятных факторов изменений не наблюдается. Но для всех возрастных стадий в разных природных зонах характерна

общая закономерность: резкое увеличение ширины проводящего слоя флоэмы во второй зоне по сравнению с первой. Количественное выражение закономерности различно у особей разных возрастных этапов (наиболее чувствительными являются особи имматурного этапа) и колеблется от 2-3 и более раз. Наиболее иллюстративной является реакция молодых побегов по сравнению с другими участками стебля.

6. По мере уменьшения концентрации загрязнителей количество ситовидных клеток в проводящем лубе однолетнего стебля увеличивается в 2 и более раз в отличие от нижней части ствола, где увеличение показателя ниже.

Радиальный размер наоборот значительно увеличивается по мере удаления от источника техногенного воздействия в стволовой части, где увеличение составляет 1,5-1,8 раза.

У деревьев всех возрастных стадий онтогенеза первой зоны периферическая часть непроводящего луба, примыкающая к последней повторной перидерме, характеризуется большей степенью деформации ситовидных элементов. Они сплющиваются до полной потери просвета и напоминают собой полосы из оболочек, разделяющих паренхимные клетки. В зоне контроля ситовидные клетки в большей своей части сохраняют очертания поперечного среза как и в проводящей флоэме, хотя радиальный размер уменьшается и радиальные стенки становятся волнистыми. Это можно объяснить только влиянием комплекса неблагоприятных факторов.

Во флоэме однолетних стеблей преобладают 1-5-слойные лучи при любых концентрациях загрязнителей, 6-10-слойные и лучи более 10 слоев появляются только при благоприятном сочетании экологических факторов.

Для генеративных и более поздних стадий развития проявляется закономерность в нижней части ствола аналогичная для молодых стеблей с той разницей, что в 2-3 раза сокращается количество лучей на единицу площади. Это происходит, по-видимому, за счет антиклинального деления инициалей, формирующих продольно ориентированные элементы (ситовидные клетки и тяжи вертикальной паренхимы) при удлинении камбиального кольца.

К признакам, не изменяющим своих параметров, относят: гистологический состав, форма ситовидных полей на стенках ситовидных клеток, структура феллемы повторных перидерм, форма и величина кристаллов оксалата кальция, тип лучей.

По мере увеличения концентрации загрязнителей и ухудшению качества среды в древесине наблюдаются:

1. Качественные признаки анатомического строения древесины сосны не изменяются: форма трахеид, тип поровости на продольных стенках и полях перекреста, структура и тип линейных лучей.

2. Наиболее подвержена влиянию загрязнителей ширина годичного кольца: по мере удаления от источника загрязнения возрастает чрезвычайно сильно - в 2-8 раз в зависимости от стадий развития онтогенеза.

3. В стволовой части, где четко выражены различия между ранней и поздней древесиной, прослеживается более тесная зависимость ширины поздней части годичного слоя от концентрации загрязнителей, чем ранней. Если ширина ранней части увеличивается в 3-8 раз в зависимости от стадии онтогенеза и пункта исследования, то

поздней - в 7-10 раз. Выраженность показателя зависит от границ ареала и, следовательно, качества среды.

4. По мере удаления от источника загрязнения увеличивается количество трахеид. В то же время наблюдается закономерность увеличения количества трахеид по мере увеличения количества тепла, поступающего на подстилающую поверхность с севера на юг у особей всех возрастных классов.

5. Изменения с улучшением качества среды в количестве трахеид в ранней и поздней частях годичного слоя коррелирует с изменениями ширины этих частей годичного кольца: более интенсивно по мере снижения концентрации увеличивается количество поздних трахеид, чем ранних. Если в четвертой зоне по сравнению с первой годичное кольцо ранних трахеид содержит примерно в 3 раза больше, то поздних - в 8-10 раз. При этом во второй зоне увеличение не очень значительно. Это также говорит о том, что во второй зоне концентрация фитотоксикантов велика и подавляет деятельность камбия во второй половине вегетационного сезона. Особенность проявления состоит в большей степени у имматурных и сенильных особей в крайних частях ареала.

6. Радиальный размер трахеид также увеличивается по мере снижения концентрации фитотоксикантов, однако, степень увеличения значительно меньше, чем у ширины годичного кольца и количества трахеид. Радиальный размер поздних трахеид по мере удаления от источника загрязнения увеличивается в меньшей степени, чем у ранних. Если у ранних он изменяется в 1,5-2 раза, то у поздних на 25-30 %. Особых различий в изменении этого показателя в молодых стеблях и стволовой части у разных возрастных классов не наблюдалось.

7. Толщина оболочки у ранних трахеид по мере ухудшения условий среды остается практически неизменной. Толщина стенок поздних трахеид в стволовой части во всех пунктах в зоне с оптимальным набором факторов почти в два раза больше, чем в первой. Первопричиной являются уменьшение объема и нарушения ассимиляционного процесса.

8. В изменении количества и высоты сердцевинных лучей в древесине с изменением концентрации загрязнителей наблюдается та же закономерность, что и в изменении флоэмных лучей.

9. Как и в первичной коре, действию фитотоксикантов в древесине сильно подвержена смолоносная система. При этом количество горизонтальных смоляных ходов не изменяется, а количество вертикальных по мере удаления от источника загрязнения увеличивается во всех частях ареала. В древесине молодых стеблей в первой зоне смоляные ходы расположены в самом начале годичного слоя, то в стеблях растений, произрастающих в оптимальных условиях, они распределены по годичному слою более или менее равномерно, хотя у имматурных особей в период формировании стебля их образуется несколько больше.

#### *Морфолого-анатомическое изменение корня*

Изучение особенностей реакции корневой системы растений на комплекс факторов среды имеет большое значение:

- корневой системе определена ведущая роль в онтогенетическом развитии организма, так как корень первым вступает в рост и развитие;

- корневой системе присуще многообразие функций, изменение которых ведет к дестабилизации структурных процессов в целом для растительного организма;

специфические особенности обитания корневых систем растений характеризуются небольшой амплитудой колебания почвенно-климатических условий с одной стороны и высокими концентрациями химических веществ почвы с другой, что требует адаптивных механизмов сохранения и поддержания гомеостаза. Изучение их имеет важное теоретическое и практическое значение для выяснения реакции организма в целом.

Под влиянием антропогенного фактора, действующего на фоне комплекса естественных, происходит изменение следующих признаков:

1. Для корневой системы в целом характерно по мере ухудшения условий обитания уменьшение длины горизонтальных и вертикальных корней в первой зоне по сравнению с контролем.

2. Наблюдается увеличение коэффициента ветвления - количество корней по фракциям на единицу площади или объема горизонта почвы, что может быть объяснено сокращением линейных размеров и ускоренным развитием корней других порядков.

3. Изменяется вес корней по фракциям у всех исследуемых возрастных групп в различных природных зонах.

Высокая доля первой фракции у иматурных возрастных групп соответствует высокой жизненности, по мере прохождения этапов онтогенеза происходит снижение общего соотношения за счет развития проводящих корней. Однако снижение соотношения фракций у одновозрастных организмов по мере ухудшения условий среды под влиянием хозяйственной и рекреационной деятельности позволяет сделать вывод об ускоренном развитии в онтогенезе.

4. Уменьшение диаметра корней всех порядков в разных почвенных горизонтах, что ведет к уменьшению объема и скорости проводимых соединений и может рассматриваться в определенной степени как компенсационный эффект.

5. Увеличение числа мертвых окончаний корневых систем может рассматриваться как невозможность их дальнейшего развития при ухудшении качества окружающей среды с одной стороны и организменной корреляцией объема всасывающей системы с другой.

6. Уменьшается меристематическая зона физиологически активных корней. К этой группе корней относились те, диаметр которых был не менее 2 мм. Динамика изменения признака особенно характерна для сенильного и генеративного периодов и составляет изменение в среднем 3,28 раза от 10,5 мм в зоне контроля до 3,2 мм в зоне наибольшей антропогенной нагрузки.

7. Диаметр физиологически активных корней аналогично изменяется по возрастным этапам от 500 мкм в зоне контроля до 100 мкм в первой зоне. Это является следствием уменьшения объема поглощаемых веществ.

8. Отмечено отсутствие или слабое проявление симбиотических взаимоотношений с грибами (микоризами) у физиологически активных корней деревьев первой и второй зон по сравнению с контролем, хотя подобное наблюдается и в крайних частях ареала у особой иматурного и сенильного этапов онтогенеза.

9. Для ростовых корней характерно: - уменьшение меристематической зоны по мере ухудшения условий обитания в 3 раза (от 15,3 мм до 5,0 мм в первоП зоне); объема и параметров корневых волосков, признак носит достоверный характер из-за сложности статистической обработки;

- замедление- развития корня при формировании вторичной структуры, выражающейся в сохранении первичной коры с пропускными клетками в экзодерме и эндодерме;

- наблюдается опробковение сосудов и ростовых корней у деревьев первой и, частично, второй зон, что следует рассматривать как защитный механизм на изменение водного режима почв и уменьшение поступления веществ, ингибирующих развитие корневых систем. Это явление наблюдается у иматурных и вергильных особей в зоне с пессимальным набором экологических факторов до глубины сорока сантиметров.

Под влиянием комплекса пессимальных факторов наблюдается у представителей разных этапов онтогенеза следующие изменения анатомических признаков:

1. В кольце паренхимных клеток ростовых корней, напоминающих первичн>ю кору стебля, уменьшается объем межклеточных пространств в первой зоне по сравнению с 3 зоной и контролем у деревьев всех возрастных этапов. Уменьшение интенсивности газообмена является следствием адаптивной реакции организма на уменьшение интенсивности жизнедеятельности в связи с общей ксероморфизацией. Для поддержания гомеостаза наблюдается уменьшение всасывающей поверхности или частичное всасывание через опробковевшие структуры наружных и внутренних частей клеток корня в условиях промышленных зон. Следовательно, подобное явление следует рассматривать как адаптивное.

2. "Первичная кора", образованная перициклом и флоэмой, физиологически активных и молодых ростовых корней уменьшается по мере ухудшения условий у деревьев всех возрастных групп.

3. Уменьшается диаметр центрального цилиндра у молодых корней всех возрастных этапов.

4. У молодых ростовых и физиологически активных корней иматурного и сенильного этапов онтогенеза под действием техногенного загрязнения в разных экологических системах наблюдается уменьшение сечения первичной древесины на поперечном срезе и, следовательно, объемов корня; радиального размера клеток первичной ксилемы, ширины годовичного кольца, количества клеток и радиального размера клеток вторичной древесины; количества клеток, радиальный размер и объема вторичной флоэмы. В связи с уменьшением просветов, деформации паренхимных клеток и их количества уменьшается объем паренхимной ткани.

5. В многолетних проводящих корнях у деревьев всех возрастных этапов уменьшается: количество клеток в радиальном ряду, радиальный размер и как следствие ширина пробки, количество и радиальный размер каменных клеток пробки, уменьшение количества слоев повторных перидерм. По мере изменения качества среды происходит изменение параметров древесины аналогично изменению ксилемы стебля, однако менее выражено, чем в стебле или побегах. Это объясняется более

стабильными условиями теплового, водного и воздушного баланса почвенной среды обитания.

*Согласованность изменения количественных морфолого-анатомических признаков в разных органах сосны носит адаптивный характер, нарушение которой под действием комплекса природных и антропогенных факторов является показателем гибели организма не зависимо от стадии онтогенеза.*

Новым интересным подходом для оценки адекватности ответной реакции организма является рассмотрение характера изменений ткани в целом. Приняв полученные в результате статистической обработки параметры ширины годичного слоя ксилемы в однолетнем стебле за единицу, нами получено соотношение ксилемы у растения генеративной стадии онтогенеза при оптимальном наборе естественных факторов и минимальном техногенном воздействии. Оно составляет: в хвое - 0,062-0,064; в молодых стеблях - 0,85-0,855; в средней части ствола - 0,748-0,789; в корневой шейке - 0,996-1,012; в корне первого порядка - 0,743-0,754. Это соотношение получено в результате статистической обработки на основе эмпирических исследований модельных деревьев, и принято нами за оптимальное, а диапазон колебания приводимых значений учитывает колебание условий в разные сезоны.

В результате ухудшения условий обитания происходит сохранение этого соотношения во всех стадиях онтогенеза. Важным является тот факт, что диапазон колебания соотношения в разных природных зонах соотносим с колебаниями в оптимальных условиях под влиянием конкретных условий года. Он составляет для генеративной стадии хвои 0,003, для ствола от 0,06 в разных его частях, в корне - 0,08. Диапазон изменения соотношения является важным доводом для сравнения реакции тканей растения в пределах органов с разной нормой реакции.

Для имматурной и синильной стадий онтогенеза наблюдается снижение параметров соотношения приблизительно в равной степени. Однако причина различна: в молодых особях, в связи с небольшими размерами, объем используемых ресурсов невелик по сравнению с другими стадиями, проявление компенсаторного эффекта ксероморфизации не наблюдается, а в наиболее поздних этапах остро стоит необходимость снижения ростовых параметров для обеспечения соотношения.

Отметим важный момент, нарушение соотношения ширины годичного кольца наблюдалось нами в особях, имеющих сильную степень повреждения и погибающих в условиях неблагоприятных факторов естественной и техногенной среды. Это позволило сделать вывод об обязательном условии соблюдения пропорциональности годичного прироста ксилемы в разных органах растения для обеспечения гомеостаза организма.

Анализируя соотношение количества трахеид в онтогенезе и при изменении условий среды в разных частях ареала, наблюдается такая же закономерность изменения параметров, как и для ширины годичного слоя древесины при сохранении общей стабильности структуры ксилемы.

Таким образом, анализируя изменения ксилемы в разных органах, можно говорить о согласованной реакции ткани на действие факторов среды в целом.

Уменьшение параметров при сохранении общего соотношения необходимо, на наш взгляд, рассматривать как адаптивную реакцию. Нарушение соотношения, выражающееся в неравномерном уменьшении и даже увеличении некоторых параметров, говорит о необратимой реакции ткани на действие факторов среды вне зависимости от их происхождения.

Анализируя ширину проводящей флоэмы следует отметить, что для нее характерны закономерности, отмеченные для ксилемы: - в оптимальных условиях среды наблюдается соотношение в хвое - 0,25, в стволовой средней части - 1,4, в стволовой нижней части - 1,3, в корневой шейке - 1,9, корне 1 порядка -1,2;

- по мере ухудшения условий соотношение уменьшается в органах, сохраняя пропорциональность в организме;

- закономерность проявляется во всех стадиях онтогенеза;

- соотношение количества ситовидных клеток подвержено действию закономерности аналогичной изменению соотношений трахеид в годичном слое ксилемы;

- ширина слоя проводящей флоэмы коррелирует с изменением радиального размера ситовидных клеток. Так же, как и в ксилеме, соотношение размеров ситовидных клеток сохраняется в пределах растения. В зависимости от зоны ареала, стадии онтогенеза и оптимальности условий среды соотношение варьирует, однако сохраняется и изменение носит адаптивный характер. При нарушении соотношения в крайне неблагоприятных условиях техногенного воздействия, наступает гибель организма.

Особый интерес представляет собой реакция камбиальной ткани на действие пессимальных факторов среды на разных возрастных этапах и в течение вегетационного сезона в разных частях ареала. Исследуемый нами показатель частоты камбиального деления выражается в сумме трахеид ксилемы и ситовидных клеток проводящей флоэмы в годичном слое. Этот показатель иллюстрирует результат реакции меристематической ткани и позволяет сделать выводы о растении в целом. Анализ длительности и результативности интерфазы выражается в размерах структур ткани и степени ее сформированности.

Анализ количества делений меристемы показал: - сумма сформированных клеток за вегетационный период в разных органах различна и зависит от стадии онтогенеза;

- наибольшей продуктивности меристема достигает к генеративному периоду онтогенеза, где наблюдается максимальное значение.

Нами наблюдалось до 55 производных меристемы за вегетационный период для хвои, более 216 - для однолетнего стебля, для средней части стволовой части - более: 110, несколько ниже на высоте 1,3 метра - более 100, в корневой шейке - 126, в корне первого порядка - более 90. Анализируя эту картину можно говорить о следующей закономерности: - количество делений существенно отличается в органах в связи с их специализацией и различными типами меристем, их формирующими. Максимальное количество тангентальных делений в однолетних стеблях, минимальное наблюдалось в хвое.

- наибольшую интенсивность деления имеют однолетние побеги по сравнению со сформированными участками стебля,
- по мере формирования количество тангентальных делений снижается, а общее количество делений колеблется в пропорциональных пределах,
- в корневой шейке наблюдается всплеск количественных показателей производных меристемы. В оптимальных условиях он весьма значителен и может составлять до 20 и более процентов по сравнению с высотой 1,3 метра.

Анализируя изменения этого показателя в различных стадиях онтогенеза, следует отметить более низкое значение у имматурной и сенильной стадий онтогенеза. Причина различна и связана с возрастными изменениями. Показатель количества производных меристем у сенильных особей на 10% ниже по сравнению с имматурными. Во всех органах наблюдается его снижение



Рис. 2. Модель структурной реакции растительного организма

по сравнению с генеративной стадией, даже в корневой шейке сосны сенильной стадии этот параметр не выше показателя ствольной части генеративного этапа онтогенеза.

Сравнение результатов деления меристем для различных по качеству среды природных зон ареала и под действием техногенного загрязнения следует отметить, что повсеместно происходит снижение количества делений в 1,5-2 раза по мере ухудшения условий среды.

Количество делений в разных частях растения имеет тенденцию к выравниванию: в большей степени уменьшается производительность меристем в однолетних побегах и корневой шейке. В пессимальных условиях уменьшение достигает половины оптимальных значений, в субпессимальных условиях снижение достигает полутора раз. Уменьшение количества делений наблюдается у иматурных и в большей степени у особой сенильной стадии.

Анализируя реакцию радиальных лучей, следует отметить сохранение соотношения количества радиальных лучей по группам слоистости в ствольной части, сохранение радиальных размеров клеток у особой иматурной и репродуктивной стадий. Под действием неблагоприятных условий среды соотношение нарушается у особой сенильной стадии во всех частях ареала.

Таким образом, существует пропорциональная изменчивость ксилемы, флоэмы и меристематических тканей в растениях в условиях оптимальной среды. По мере ухудшения условий происходит уменьшение параметров при сохранении соотношения в пессимальных условиях. Нарушение соотношения является проявлением дисбаланса в развитии организма под влиянием как естественных, так и техногенных факторов. Это приводит к потере адаптивных свойств растительного организма и его гибели.

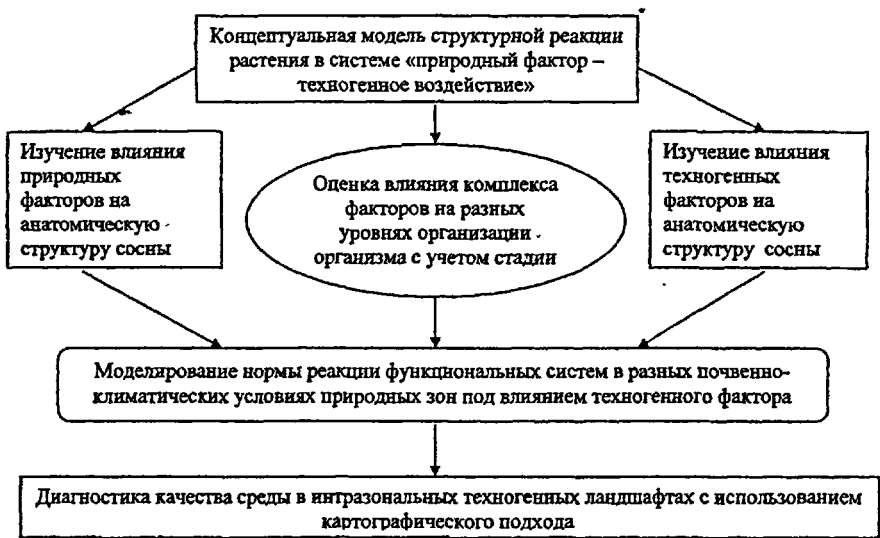
*Исследование особенностей реакции организмов с учетом разноуровневой структурной организации растений, в частности сосны, является новым направлением научных морфолого-анатомических и экологических исследований.*

Анализ литературных источников показал пристальное внимание исследователей к фитоценологическому, организменному, тканевому, клеточному и субклеточному уровням организации. В тоже время крайне мало исследований, посвященных реакции комплексов тканей, объединенных выполняемой функцией и даже общностью происхождения. Перспективная попытка оценки комплексной реакции растений, на наш взгляд, ограничилась на уровне стелы - комплекса первичных проводящих тканей побега. Для комплекса вторичных проводящих тканей в ботанике аналогичного термина нет. В силу этого отсутствует и термин, объединяющий все водопроводящие ткани растения первичного и вторичного происхождения.

Результатом является игнорирование исследования реакции на уровне функциональных систем и их взаимосвязей. Причем в целом для биологии этот подход не нов и традиционен для исследования царства животных. Исследование реакции тканей и органов в зоологии является составной частью изучения покровной, пищеварительной, дыхательной и прочих функциональных систем.

В то же время существует целый ряд исследований, посвященных реакции покровных тканей вторичного происхождения, где под термином «ридитом» понимается комплекс тканей разных по строению, происхождению и объединенных на основе выполняемой функции. Попытка выделения комплекса тканей разного происхождения и строения привела к появлению неудачного, а потому и вышедшего из употребления термина «третичные покровные ткани».

В то время, когда понятие покровные ткани включает в себя различные по происхождению, времени формирования, особенностям строения, и функционирования в разных органах ткани, парадоксальным является разделение исследований ксилемы и флоэмы, имеющих общее происхождение и связанных в процессе дифференцирования производных меристем. Весьма



**Рис. 3:** Алгоритм оценки качества среды с использованием анатомических показателей.

интересна целостная реакция латеральной меристемы и ее производных - флоэмы и ксилемы- Мы предлагаем для обозначения комплекса вторичных проводящих тканей и образующих их латеральных меристем ввести термин «стил» (лат. кол, стебель).

Таким образом, нами предпринята попытка рассмотрения реакции тканей в разных органах сосны для выявления реакции на уровне функциональной системы

*Особенности выделения и исследования реакции растительного организма на уровне функциональных систем позволяет выявить показатели для биоиндикационного мониторинга.*

Рассматривая структурную реакцию организма, сформированную под действием совокупности факторов среды необходимо в первую очередь выявить значение механизм системы управления. В этом важнейшую роль играют *функциональные системы* как комплекс тканей, располагающихся в различных органах растения, различных по происхождению, строению, механизму жизнедеятельности и этапам формирования, объединяемы на основе выполнения определенной специфической функции.

Основой выделения систем является специфическая функция поддержания гомеостаза организма. Исходя из этого принципа, можно выделить следующие функциональные системы: *Коммуникативная функциональная система* имеет обширную анатомо-физиологическую основу сопоставимую с организмом в целом и не может быть подразделена у подавляющего большинства растительных организмов на конкретные органы или ткани. Только совместное функционирование в системе «результат - процесс - результат», диалектическое единство протекающих и последующих физико-химических и биологических процессов являются основой коммуникативной функциональной системы.

*Образовательная функциональная система* представлена различными по происхождению и гистологическому составу апикальными меристемами: клетками корпуса, примордиальными центрами, прокамбием, инициальными клетками корня - периблемой и плеромой; латеральными: пучковым и межпучковым камбием, перициклом, а в сформированном стебле и корне камбиальным кольцом; периодически закладывающимися феллогеном и травматическими меристемами.

*Метаболитформирующая функциональная система* представлена складчатым мезофиллом хвои, первичной коры одно - трехлетних побегов, эпителием смоляных ходов, феллодермой.

*Водопроводящая функциональная система* представлена клетками устьичного аппарата, мертвыми клетками трансфузивной ткани хвои, клетками первичной ксилемы хвои, ксилемой брахибластов, первичной ксилемой однолетних и двулетних побегов, трахеидами раннего и позднего слоя вторичной ксилемы годичного кольца, паренхимными лучами ксилемы и флоэмы, вторичной ксилемой корней различных порядков, диархной первичной ксилемой физиологически активных корневых окончаний.

*Метаболитпроводящая функциональная система* состоит из живых клеток трансфузивной ткани, клеток первичной флоэмы проводящих жилок хвои, первичной

флоэмы и сердцевины однолетних побегов, проводящей флоэмы ствола и корней различных порядков, сердцевидных лучей и вертикальной паренхимы.

*Защитная функциональная система* состоит из наружных покровных тканей: эпидермы хвои с утолщенными клеточными стенками, гиподермы хвои, клеток эндодермы с поясками Каспари, эпидермы молодых побегов, перидермы, ритидома как слоев повторных перидерм, дилатированной паренхимы, облитированных ситовидных клеток, корневых чехликов.

*Запасающая функциональная система* представлена сердцевинной ствольной части, сердцевидными лучами, паренхимными лучами ксилемы и флоэмы, смоляными ходами хвои, ксилемы побегов, стебля корня, вертикальной паренхимой, паренхимой первичной коры, межклеточными пространствами феллемы, феллодермой, трансфузивной тканью хвои.

*Всасывающе-обменная функциональная система* представляет собой устьичным аппаратом, ризодермой и симбиотическими образованиями корней, апопластическими и синпластическими проводящими путями.

*Репродуктивная функциональная система* представлена мужским и женскими стробилами с развивающимися в них гаметофитами и семенами.

Апикальные, латеральные меристемы, прокамбий, а затем и камбий чутко реагируя на изменение условий среды обитания формируют водопроводящую и метаболитпроводящую системы единого организма.

В связи с тем, что каждая система обладает значительной спецификой строения и функционирования, им присуще различная степень свободы в рамках управления с целью осуществления результативной деятельности.

Функциональная система приобретает новые, не свойственные ее частям качества, присущие ей как целостному образованию. Изучение целостности функциональной системы позволяет найти решение одной и важнейшей проблемы - закономерности интеграционных процессов метаболизма в осуществлении адекватной реакции на комплекс естественных и антропогенных факторов.

Весь процесс схематично можно представить в виде воздействия фактора внешней среды на соответствующие физико-химические и биологические процессы клетки, в результате чего идет структурное изменение молекул ответственных за хранение и передачу информации в определенные анатомические структуры для адекватной ответной реакции на фактор среды, которая ограничивается нормой реакции, заложенной в генотипе. Эта схема подразумевает выделение доминирующих центров для организации организменного уровня регуляции, располагающихся в точках роста - апикальных и, возможно: в латеральных меристемах. Они, получая информацию от внешней и внутренней среды организма, координируют интенсивность физиологических процессов образования новых структур посредством создания эффекта полярности (физиологические градиенты концентрации), локализованных связей в проводящей системе и физиологических осцилляций, которые обеспечивают временную координацию процессов с целью обеспечения адекватной ответной реакции растения как целостного организма.

Сравнительно многочисленные годовичные слои ксилемы, функционируя в мертвом состоянии, имеют более широкий спектр вариабельности, проводя воду с

растворенными минеральными веществами. Это позволяет, сохраняя морфолого-анатомические особенности регулировать коэффициент ксероморфности в зависимости от ритмических колебаний естественной среды обитания.

Пропорциональность функциональной специализации, сформулированная в правиле Еремина В.М. - изменение соотношений флоэмы и ксилемы при делении камбия в оптимальных условиях от 1:8 колеблется до 1:1 в пессимальных условиях среды, проявляется как при изменении комплекса естественных природных факторов, так и при антропогенном воздействии в разных частях ареала обитания.

Рассмотренные показатели однолетнего стебля сохраняют тенденции и в других его частях и органах. В зависимости от чувствительности частей стебля и органов растения параметры изменяются на разную величину. Однако, очень важным является сохранение соотношений изменения для всего растения в целом. Это говорит о единстве реакции целостного организма на действие естественных и антропогенных факторов.

Таким образом, рассмотрев изменение параметров гистологических элементов и тканей, входящих в состав функциональных систем генеративной стадии развития в оптимальных условиях среды обитания пришли к выводу о наличии постоянства в соотношении структур, что в свою очередь позволило предложить показатель динамики параметров функциональных систем.

Сравнив особенности реакции параметров водопроводящей и метаболитпроводящей функциональных систем особой различных этапов онтогенеза получили, возможность оценки функционирования меристематической функциональной системы в оптимальных условиях. Это дало возможность предложить показатель меристематической активности. Выявление этого показателя говорит о тесной взаимосвязи между водопроводящей и метаболитпроводящей функциональными системами и объясняет жесткую зависимость их параметров по сравнению с другими функциональными системами, имеющими относительную независимость в формировании своих структур за счет деятельности различных по времени заложению образовательных тканей, участию полифункциональных тканей и образований в их формировании.

Сравнив структурные параметры функциональных систем особой различных этапов онтогенеза, выявили зависимость реакции функциональной системы от возраста. При этом показатель динамики параметров в разновозрастных функциональных системах остается в силе, сохраняется и показатель меристематической активности с некоторыми вариациями, объясняющимися возрастной интенсивностью формообразования. Этот важный вывод позволил предложить показатель стабильности функциональных систем, динамически проявляющийся во всех возрастных стадиях развития.

Сравнив параметры структуры функциональных систем генеративной стадии развития, пришли к выводу об адаптивной реакции на действие различной степени техногенной нагрузки за счет изменения состава и параметров входящих компонентов.

*Многочисленность и разнообразие естественных и техногенных факторов природной среды требует комплексного количественного показателя оценки качества среды, которым является анатомическая структура сосны.*

На основе анализа характеристик почвенно-климатических условий подзоны хвойно-широколиственных лесной зоны на примере пригородной зоны г. Дорогобуж Смоленской области и окрестностей г. Щекино Тульской области, лесостепной зоны на примере пригородной зоны г. Воронежа, северной части степной зоны на примере г. Россошь и Лисичанско-Рубежанского промышленного узла выявлен комплекс факторов среды.

Выявление комплекса фактора среды является важным условием оценки с позиций оптимальности набора, последовательности действия, их дозировки, критических значений для оптимальности жизнедеятельности. Оценка действия каждого фактора в отдельности важна, однако особый интерес представляет оценка действия сочетания факторов на растительный организм.

Анализ в пределах изучаемой территории показал широкий диапазон колебания естественных факторов среды (табл. 1). Циркуляционные процессы в северной части, характеризующиеся большой активностью циклонической деятельности с быстрым переносом атлантических воздушных масс и их трансформацией, изменяются в центральной части частой сменой циклонов и антициклонов, а затем преобладанием циклональной деятельности. Они определяют смену типов погод и характеристику сезонов года с севера на юг (табл. 2).

Таблица 1

Диапазон колебания параметров климатических факторов.

Показатель	Дорогобуж	Тула	Воронеж	Россошь	С.сред.донец
К увлажнению	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
Суммарная солнечная радиация	82 ккал/см <sup>2</sup> в год	90 ккал/см <sup>2</sup> в год	98 ккал/см <sup>2</sup> в год	100 ккал/см <sup>2</sup> в год	107 ккал/см <sup>2</sup> в год
Климат	умеренно-континентальный	умеренно-континентальный	умеренно-континентальный	континентальный	континентальный
Год динамика t°C	25,8 °C	26,8 °C	29,0 °C	28,7 °C	29,0 °C
t°C января	-7,8 °C	-7,2 °C	-9,0 °C	-7,3 °C	-7,0 °C
Минимальные воздуха t°C	ниже -36 °C	-39 °C	Ниже -43 °C	-41,2 °C	-40 °C
Средняя t°C июля	+18,0 °C	+19,6 °C	+20,0 °C	+21,4 °C	+22,0 °C
Максимальные воздуха t°C	в июле - августе - +34 °C - +36 °C	в июле - августе - +35 °C - +37 °C	в июле - августе - +35 °C - +39 °C	в июле - августе - +35 °C - +39,4 °C	в июле - августе - +35 °C - +39 °C
Среднегодовая воздуха t°C	5,1 °C.	5,3 °C.	5,5 °C.	6,0 °C.	6,1 °C.
Осадки	620 мм/год, 70% в теплое время года.	548 мм/год, около 70% в вегетативный период	477 мм / год	451 мм год, часты суховей и засухи	450 мм год, часты засухи
Средняя годовая относительная влажность воздуха	80 %	65 %	60 %	53 %	49 %
Средняя годовая скорость ветра	4,1 м/с, ветры более 15 м/с редки	4-5 м/с, в ноябре - до 20 м/с.	3-5 м/с, в ноябре - до 20 м/с.	2-5 м/с, более 25 м/с - редко	2-5 м/с, более 11 м/с - редко

Динамика поступления загрязнителей в течение года зависит от интенсивности осадков и их продолжительности. Это необходимо учитывать при расчете поступления ингредиентов из атмосферы.

Застойные явления в атмосфере, особенно ярко выражены в августе в центральной части приводят к созданию неблагоприятных экологических условий на локальными источниками загрязнения и замедлению выноса вещества. В северной части туманы и дымка оказывают влияние на силу воздействия атмосферных загрязнителей, в центральной части в связи с максимумом их повторяемости в осенне-зимний сезон существенного влияния на процесс загрязнения атмосферы они не оказывают. Сильные ветры нивелируют неблагоприятные экологические условия погоды, связанные с туманами и дымкой, способствуют выносу вещества за пределы экосистемы.

Таблица 2

Динамика параметров почвенных характеристик

Параметр	Дорогобуж	Тула	Воронеж	Россошь	Северодонешк
Тип почвы	супесчаные незасоленные на надпойменной террасе	темно-серые лесные супесчаные незасоленные	супесчаные на пойменной террасе	выщелоченные супесчаные надпойменной террасы	супесчаные незасоленные на надпойменной террасе
Содержание гумуса	1,64-4,08%	1,9% - 4,18%	1,75 - 2,86%	1,96 - 4,71%	1,64 - 4,08%
Содержание калия	до 5 мг/100 г почвы	5,6-15,2 мг/100 г	6 - 6,2 мг/100 г	4,6-6,6 мг/100 г	до 5 мг/100 г почвы
Содержание фосфора	от 0,7 до 1,1 мг/100 г почвы	3,1 до 5,1 мг/100 г почвы	от 2,0 до 3,8 мг/100 г почвы	от 7,4 до 9,6 мг/100 г почвы	0,7 до 1,1 мг/100 г почвы
Содержание кальция	от 0,8 до 1,5 мг/100 г почвы	от 1,0 до 5,0 мг/100 г почвы	от 0,7 до 2,05 мг/100 г почвы	1,5 до 4,5 мг/100 г почвы	0,8 до 1,5 мг/100 г почвы
Сумма ионов кальция и магния	от 1,25 в 1 зоне до 2,05 мг/экв на 100 г почвы в 4 зоне	сильно варьирует	от 2,75 в 1 зоне до 1,8 мг/экв на 100 г почвы в 4 зоне	сильно варьирует	от 1,25 в 1 зоне до 2,05 мг/экв на 100 г почвы в 4 зоне
Содержание натрия	0,2 - 0,1 мг/100 г	0,2-0,1 мг/100 г	0,2-0,1 мг/100 г	0,2 - 0,1 мг/100 г	0,2 - 0,1 мг/100 г
Кислотность	от 3,6 до 4,0	от 3,7 до 5,8	3,9 до 4,5	3,6 до 5,5	3,6 до 4,0
Содержание нитрат-азота	2,88-4,42 мг/1 кг абс. сухой почвы	3,43 - 5,09 мг/1 кг абс. сухой почвы	3,95 - 5,10 мг/1 кг абс. сухой почвы	2,88 - 5,35 мг/1 кг абс. сухой почвы	2,88 - 4,42 мг/1 кг абс. сухой почвы
Содержание аммиак - азота	1,35 - 2,68 мг/1 кг абс. сухой почвы	0,83 - 2,91 мг/1 кг абс. сухой почвы	1,87 - 1,66 мг/1 кг абс. сухой почвы	1,25 - 3,39 мг/1 кг абс. сухой почвы	1,35 - 2,68 мг/1 кг абс. сухой почвы
Диапазон норм ПДК загрязнителей в 1 зоне	2,2 - 30,0% ПДК	3,2 - 30% ПДК	0,2 - 26,7% ПДК	1,3 - 26,6% ПДК	0,6 - 23,3% ПДК

Для южной части по сравнению с центральной и северной частью Восточно-Европейской равнины характерно ослабление активности атмосферных процессов, многообразие и сложность сезонных изменений циркуляции, ослабление циклонической деятельности и усиление антициклогенеза.

Оптимальное сочетание факторов может быть оценено с позиций интенсивности реакции загрязнителей на онтогенез сосны, динамики формирования анатомической структуры и габитуса организма, механизма нейтрализации хозяйственного прессинга, вовлечения поллутантов в круговорот веществ и их утилизацию.

Выведение поллютантов из атмосферного воздуха как непосредственно на почву, так и за счет поглощения и их трансформации в растительном организме.

Величина выведения выражается в единицах массы вещества, поглощаемой за единицу времени, на которую оказывает влияние скорость осаднения:  $F = V \cdot C$ , где  $F$  - поток примеси атмосферы на подстилающую и растительную поверхность,  $\text{мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ ;  $V$  - скорость осаднения,  $\text{см}/\text{с}$ ;  $C$  - концентрация примеси,  $\text{мг}/\text{см}^3$ . Эта величина зависит от параметров состояния атмосферы (скорость ветра, интенсивности перемешивания атмосферного воздуха, температуры и влажности воздуха), физико-химической природы (газ, аэрозоль) и концентрации загрязняющего вещества, состояния поверхности осаднения (рельефа местности, характеристик лесной подстилки, влажности кроны и ствола) и других параметров.

Сток аэрозольных частиц на почву происходит на почву непосредственно за счет сухого и влажного осаднения, процессов адсорбции почвенной подстилкой и за счет перегнивания растительного опада и отмершей части корневых систем. Важным следствием действия загрязнителей является воздействие на круговорот веществ, влияние на компоненты ландшафта, в частности на почву.

В целом, проанализировав содержание загрязнителей в почве (табл.3) можно констатировать:

- однотипность состава загрязнителей в местах отбора проб;
- ПДК загрязнителей по компонентам во всех пунктах не превышают установленных норм;
- уменьшение, как правило, концентрации почвенных загрязнителей с глубиной в два и более раза;
- снижение концентрации загрязнителей по мере удаления от источника загрязнения в среднем на 30-80 %;
- повышение кислотности в первой зоне приводит к дегумификации;
- сумма анионов и катионов по мере удаления от источников загрязнения увеличивается, причем содержание катионов в большей степени;
- несмотря на различия в объемах поступающих загрязнителей промывной режим почв надпойменных террас препятствует их накоплению в концентрациях выше существующих норм ПДК;

Таким образом, изменение оптимальности условий обитания в тесной связи с изменением показателя соотношения годовой суммы осадков и испаряемости. Спектр изменения условий среды обитания в пределах Восточно-европейской равнины разнообразен и может быть оценен только растением с полифункциональной приспособленностью, каким и является сосна обыкновенная. Это качество с точки зрения оценки качества среды чрезвычайно интересно, так как является преадаптацией к действию загрязнителей атмосферы и почвы.

Поступая в атмосферу, химические вещества смешиваются друг с другом и приобретают новые свойства:

- антагонизм, проявляющийся в нейтрализации газов, которые оказывают воздействие ниже простого суммарного эффекта отдельно взятых составляющих;
- действуя независимо друг от друга, они оказывают негативное влияние на живые организмы;

- вступая в фотохимические реакции, проявляют синергический эффект в усилении воздействия на организм.

Для подобных веществ необходим учет дополнительных параметров:

- эффекта воздействия газа как отдельно от других веществ, так и с учетом синергических процессов;
- соотношения концентраций газовой смеси и порядок их воздействия;
- механизма поступления в растение и превращение одного вещества, которое может либо предрасполагать к воздействию другого, либо пробуждать защитные механизмы против воздействия.

Проведенный анализ загрязнителей в местах исследования позволил:

- выявить характер воздействия загрязнителей на морфолого-анатомическую структуру сосны обыкновенной,
- определить набор, концентрацию и пространственное распределение поллютантов,
- проанализированы существующие нормативы ПДК загрязнителей.

*Изменения комплексного показателя анатомической структуры и сумма норм ПДК веществ (показатель суммации) имеют общую тенденцию и могут быть использованы для биоиндикации и химического мониторинга.*

Содержание наиболее распространенных в атмосфере загрязнителей колеблется в значительных пределах. В первой зоне часто превышение ПДК с.с. по разным ингредиентам составляет от 1,1 до 4,5 раза, превышение же ПДК м.р. доходит до 24. По мере удаления от источника загрязнения наблюдается довольно сильное снижение содержания фитотоксикантов в атмосфере (более 10 раз в третьей зоне). В четвертой зоне обнаруживаются их следы, и концентрация не превышает 0,1 ПДК с.с.

На первый взгляд превышение ПДК с.с. в первой зоне наблюдается лишь по отдельным ингредиентам, а в третьей зоне такое превышение полностью отсутствует, что создает благополучное впечатление о состоянии растительности. Однако, синергирующее действие рассчитывается по формуле:  $C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n \geq 1$ , где  $C_1, C_2, C_n$  - фактические концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе;  $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$  - предельно допустимые концентрации веществ в атмосферном воздухе.

Если проанализировать согласно этой формуле состояние атмосферы в районе города Северодонецк даже в третьей зоне, в которой загрязнение по отдельным компонентам довольно низкое по сравнению с другими пунктами в долях ПДК с.с., то положение, взятое с учетом синергирующего эффекта, вызывает серьезное беспокойство. Например, отдельно взятые сернистый ангидрид и фенол соответственно 0,53 и 0,36 долей ПДК с.с., а в сумме это составит 0,89 ПДК с.с., что уже приближается и даже превышает содержание отдельных веществ в первой зоне. Такое положение наблюдается во всех пунктах сбора полевого материала.

Заметим, что мы оперируем значением ПДК принятым для человека, поскольку для растений имеются только временные ПДК, утвержденные для заповедника «Ясная Поляна». Для количественной оценки загрязнения мы отказались от учета по

отдельным компонентам, поскольку почти все имеющиеся загрязнители в пунктах исследования способны к синергическому эффекту.

При характеристике уровня загрязнения нами предложен показатель суммации - сумма долей норм ПДК загрязнителей атмосферы. Анализируя соотношение морфолого-анатомической реакции функциональных систем и распределение показателя суммации, нами установлена общая тенденция изменений. Величина комплексного показателя колеблется в зависимости от года проводимого исследования и пункта сбора материала.

Таблица 3

Комплексный показатель загрязнения (в единицах от ПДК с.с.)

Пункт	1 зона	2 зона	3 зона
Северодонецк	5,97	2,988	1,368
Россошь	8,26	4,04	1,41
Воронеж	5,56	4,1	0,823
Дорогобуж	10,68	3,94	0,62
Тула	1,4801	0,82	0,12

Анализ средних значений комплексного показателя загрязнения позволяет судить о значительном превышении норм атмосферного загрязнения. В радиусе 5 км от источника загрязнения, где концентрация загрязнителей редко превышал ПДК с.с. с учетом синергизма, этот показатель превышает норму в 5 - 10 раз. Только в третьей зоне на расстоянии 10 и более км он колеблется от 1,4 до 0,6 ПДК с.с.

На основе эмпирически полученных данных с использованием ГИС-технологий составлена компьютерная программа для экспресс-оценки состояния среды с использованием ограниченного числа параметров из имеющегося множества (рис.).



Рис.4. Структура базы данных компьютерной программы для определения комфортности среды на основе анатомических параметров сосны

На основе полученных показателей суммации и структурной реакции сосны разработан алгоритм оценки качества среды с использованием картографического метода.

Картографирование качества среды отражает пространственно-временные и качественные параметры экологических факторов для обеспечения жизнедеятельности выбранного организма. Подобный подход сформулирован в рамках «субъект - объектного» типа отношений на уровне системы организм - среда (Преображенский, 1990), реализован в принципе «неустранимой аксиологичности», выражающемся в оценке типа удовлетворительности для организма по градациям «хорошо - плохо» (Преображенский, 1992; Кочуров 1999, 2003). Структура экологического картографирования представляет собой неразрывную связь между совокупностью абиотических факторов среды и потенциальными условиями жизнедеятельности организма. Поэтому на эколого-географической карте качества среды находит отражение функциональное единство экологической системы и уровня биологической организации.

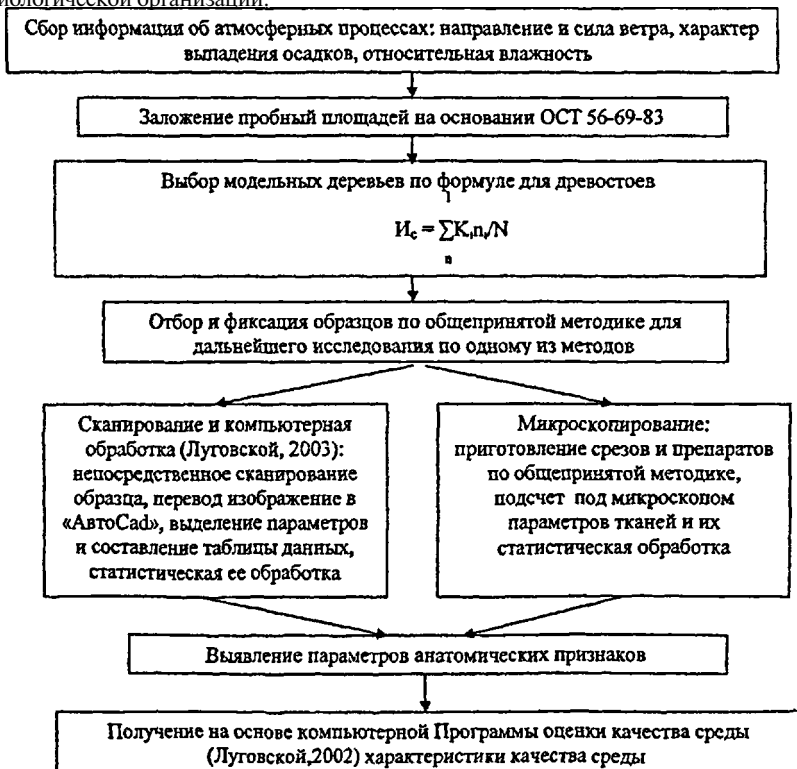


Рис. 5. Методология оценки качества среды с использованием параметров анатомического строения сосны

Основой для составления карт служили данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, полученные в Комитетах по экологии г. Воронеж, Россошь, Дорогобуж, Северодонецк, в экологических отделах на предприятиях по выпуску азотной продукции соответствующих пунктов. Данные по составу и концентрации поллютантов с учетом параметров метеоэлементов, характером взаимодействия и временем нахождения загрязнителей в атмосфере подвергались компьютерной обработке. Результатом служит составление карто-схемы полей рассеивания. Полученные параметры положены в основу при составлении карты загрязнения среды.

Методом наложения полей рассеивания отдельных поллютантов для каждого пункта исследования была получена карта загрязнения воздушной среды, на которой были выявлены закономерности пространственного распределения и концентрации загрязнителей.

Используя показатель суммации было проведено районирование территории по уровню суммарного загрязнения.

В результате морфолого-анатомических исследований была составлена шкала анатомической реакции функциональных систем на основе которой была проведена градация степени влияния факторов. Результаты градации были нанесены на картосхему.

Следующим этапом является наложение полученных картосхем на ландшафтную карту. В результате выявлена закономерность влияния техногенного загрязнения с учетом ландшафтной структуры.

#### *Методика составления карты суммации загрязнителей.*

Для оценки комплексного и одновременного воздействия загрязнителей атмосферы на растительный организм введен показатель суммации загрязнителей. Он представляет собой сумму долей норм предельно допустимых концентраций веществ, не обладающих эффектом синергизма. Относительность этого показателя состоит в том, что он не учитывает многочисленных разнообразных механизмов нейтрализации каждого конкретного загрязнителя в момент проникновения, включения в обменные процессы и выведения из организма. Вместе с тем, следует отметить, что он значительно снижает трудоемкость определения концентрации всех загрязнителей инструментальными и физико-химическими способами.

Несмотря на относительный характер показателя, он продуктивен для оценки общего максимального уровня воздействия по сравнению с оценкой отдельных загрязнителей и с учетом эффекта их синергизма.

Полученные показатели нормировались с учетом полей рассеивания каждого загрязнителя методом наложения. Определялось наличие загрязнителя и его нормы в зависимости от параметров метеоэлементов, особенностей загрязнителя и времени пребывания в атмосфере и т.д. Результатом явилось получение интегральных показателей, которые положены на картографическую основу в виде ареалов распределения атмосферного загрязнения.



Рис. 6. Картограмма «Оценка комфортности среды обитания сосны обыкновенной, г. Воронеж». Условные обозначения:

- оптимальные условия    
  - субоптимальные условия  
 - субпессимальные условия    
  - pessимальные условия



Рис. 7. Картограмма «Параметры суммации загрязнителей и уровень загрязнения по морфолого-анатомическим показателям сосны обыкновенной, г. Воронеж». Условные обозначения: Содержание загрязнителей, с использованием коэффициента суммации:

- выше 5 ПДК    
  - до 3 ПДК    
  - до 1 ПДК  
 Содержание загрязнителей с использованием шкалы морфолого-анатомических признаков:  
 - выше 5 ПДК    
  - до 3 ПДК    
  - до 1 ПДК

*Методика составления карты уровня загрязнения по морфолого-анатомическим показателям структуры сосны обыкновенной.*

Методика выявления ареалов проведена по морфологическим показателям с учетом направления господствующих ветров по «Рекомендациям УкрНИИЛХА» (1987) и «Критериям оценки санитарного состояния в лесах «Санитарных правил в лесах СССР» (1970). В результате выделены зоны повреждения лесных насаждений по мере удаления от источника загрязнения. На основе методик анатомо-гистологических исследований и методик построения дерева целей выявлены параметры гистологических элементов, тканей различных органов, функциональных систем. На основе количественных изменений этих показателей в пессимальных условиях среды предложена шкала качества по параметрам анатомической реакции. Используя шкалу анатомических признаков, произведена градация на пессимальные, субпессимальные, субоптимальные, оптимальные значения условий произрастания. Методом экстраполяции полученные значения наложены на границы распространения показателей суммации норм ПДК загрязнителей атмосферы. Распределение зон в пессимальных частях ареала, выделенных на основе параметра суммации значительно превышает площади, выделенные на основе коэффициентов качества. Этот факт объясняется преобладанием естественных пессимальных факторов среды на формирование габитуса сосны и жизнестойкости популяции в целом над техногенным влиянием. В оптимальных зонах наблюдается обратная закономерность: влияние оптимального сочетания факторов среды приводят к снижению негативного влияния техногенного прессинга.

Таким образом, было выявлено не соответствие границ зон, что позволяет выводы:

- невозможно учесть инструментальными методами всех загрязнителей;
- действующие нормы ПДК должны рассматриваться неразрывно от естественных факторов и в сумме долей ПДК быть ниже единицы;
- на фоне действия благоприятных факторов среды действие техногенного загрязнения нивелируется;
- действие техногенного загрязнения совместно с пессимальными факторами среды оказывает усугубляющее влияние на качество среды обитания сосны.

### **Заключение**

Изучение реакции морфолого-анатомической структуры вегетативных органов сосны обыкновенной разных этапов онтогенеза в зависимости от комплекса природных и техногенных факторов Русской равнины позволило сделать следующие выводы:

- Качественные и количественные изменения морфологических и анатомических признаков наблюдаются во всех органах вне зависимости от возраста в разных зонально-провинциальных условиях Русской равнины.

Подтвержден неспецифический характер морфолого-анатомической реакции на всех уровнях организации у особей всех возрастных этапов на всех исследованных участках.

Достоверно изменяющиеся признаки могут быть использованы в качестве биоиндикационных. К числу признаков, характеризующих хвою и зависящих от условий произрастания и способных служить для целей биоиндикации, относятся: количество клеток эпидермы, число устьиц на единицу площади листа и в устьичной полосе, размеры клеток эпидермы и околоустьичных клеток. В однолетних побегах стебля в качестве биоиндикационных признаков могут быть использованы: в однолетнем побеге количество ситовидных клеток и радиальный размер клеток проводящего луба, радиальный размер трахеид, число смоляных ходов; в ствольной части - радиальный размер ситовидных клеток проводящего луба, соотношение флоэмных и ксилемных лучей по группам слойности, радиальный размер поздних трахеид и толщина их стенок. Выделение биоиндикационных признаков в корне в связи с большой вариабельностью исследуемых растений вызывает затруднения (Луговской, 1989-1991,1995,2000,2001).

- Новым подходом в изучении закономерностей реакции организма является изучение функциональных систем под влиянием комплекса экологических факторов. Изменение параметров флоэмы и ксилемы при сохранении соотношения комплекса проводящих тканей является результатом периодичности камбиальных делений и функциональной специализации. Исследование коммуникативной функциональной системы является важнейшим условием изучения целостной реакции организма на изменение комфортности среды обитания (Луговской, 2000).

- Сохраняется соотношение параметров гистологических элементов внутри ткани в различных органах во всех стадиях онтогенеза под действием факторов среды обитания в разных частях ареала.

Нарушение согласованной реакции внутри комплекса проводящих тканей на действие факторов среды в целом, выражающееся в неравномерном изменении указанного соотношения, свидетельствует о необратимой реакции ткани на действие факторов среды вне зависимости от их происхождения. Подобное нарушение предшествует гибели растительного организма в первой зоне с интенсивным антропогенным прессингом и в зоне с пессималным набором естественных экологических факторов (Луговской, 1996,2000,2001).

- К наиболее общей и типичной закономерности, отражающей реакцию комплекса проводящих тканей древесных растений, которая проявляется на всех этапах онтогенеза, следует отнести: независимость направленности структурных изменений от комплекса природных и техногенных факторов среды, от видов факторов и степени дискомфорта среды соотношения тканей и структур проявляется до определенного этапа обратимых изменений. Переход в новую стадию онтогенеза с сокращением предыдущего происходит под воздействием комплекса неблагоприятных факторов.

С экологической точки зрения быстрый переход из имматурной в репродуктивную стадию является адаптацией для ускорения процесса размножения. Сокращение репродуктивного этапа с ускоренным протеканием сенильной фазы свидетельствует о крайне неблагоприятных условиях среды.

Закономерность находит наибольшее проявление в иматурный и сенильный период в периферийной части ареала, в пессимальных условиях произрастания под действием антропогенной деятельности

- Для целей мониторинга целесообразно использование параметров однолетних побегов и стволовой части из-за наглядности ответной реакции на факторы среды, высокой чувствительности и технического удобства отбора образцов.

Биоиндикационные прогнозы, построенные на анализе одного органа растения, должны учитывать характер сбалансированности ответной реакции на факторы воздействия функциональной системы в целом.

Особенности структурной анатомической реакции на уровне гистологических элементов, тканей и функциональных систем, стала, положенные в основу модели реакции организма на комплекс факторов среды с оценкой их оптимальности, использованы в качестве биоиндикационных для оценки качества среды.

- Предложенная модель структурной реакции растения в различные возрастные этапы как целостного организма под влиянием пессимальных факторов экотопа основывается на согласованной реакции меристем и функциональной специализации постоянных тканей.

Модель анатомической реакции, учитывая количественные изменения параметров гистологических элементов и тканей, является основой для определения адаптационного, компенсаторного или деструктивного характера реакции организма в целом на различных возрастных этапах онтогенеза, в различных частях ареала сосны в пределах Русской равнины под действием комплекса факторов естественного и антропогенного происхождения (Луговской, 1996,2000).

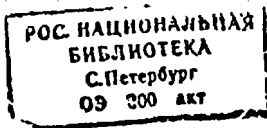
- Разработанная методика оценки оптимальности среды по совокупности морфолого-анатомических показателей основана на применении модели структурной реакции, и позволяет предложить научно обоснованные рекомендации норм предельно допустимых концентраций загрязнителей, применимых как для человека, так и для более чувствительных растительных организмов, являющихся неотъемлемой частью комфортной среды обитания (Луговской, 1995,2000).

- Одновременно доказана возможность использования в качестве оценки качества среды показателя суммирования долей ПДК совместно с показателями синергетического воздействия ряда поллютантов.

Полученные результаты параметров структурной реакции функциональных систем для оценки комфортности среды обитания применимы для проведения мероприятий по биофильтрации атмосферы, селекции и лесоразведению в антропогенных интразональных ландшафтах (Луговской, 1989,1990,1996,2000).

- Оформленные в виде карт, результаты физико-химических и морфолого-анатомических исследований позволяют использовать пространственные закономерности для оценки качества среды с позиций состояния «здоровья» растительного организма.

Подобный подход с использованием растительного объекта является перспективным для мониторинга среды с целью ее оптимизации.



Применение показателя суммирования норм ПДК позволяет уточнить степень воздействия поллютантов и характер пространственного распространения загрязнителей. Рекомендуются научно обоснованные показатели суммирования долей норм ПДК и уменьшение существующих норм ПДК до 0,2-0,1 от ныне действующих с учетом почвенно-климатических условий соответствующих природных зон. (Луговской, 1989,1995,1996,1999,2003).

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ.**

### *Монографии:*

1. Луговской А.М., Еремин В.М. Структурная реакция сосны обыкновенной и дуба черешчатого на загрязнение атмосферы. Монография. Деп. в ВИНТИ 27 03 95., № 822 – В95. Брест. гос. пед. ин-т. – Брест, 1995. – 130 с.. библиограф. 249 назв.
2. Шерметьев В.И., Межова Л.А., Луговской А.М. Природные и антропогенные факторы формирования лесных ландшафтов Среднего Полонья. Монография. – Воронеж, ВГПУ, 2001. – 167 с.
3. Луговской А.М. Определение комфортности среды методом биоиндикации в условиях антропогенного воздействия. Монография. - Воронеж, Изд-во ВГУ, 2000. – 140 с  
*Учебно-методические пособия, статьи и тезисы:*
4. Еремин В.М., Луговской А.М. Реакция древесины сосны обыкновенной на загрязнение атмосферы. Д-п. в ВИНТИ 25.04 89., № 2708 - В 89. Ворон. гос. пед. ин-т. – Воронеж, 1989. – 10 с.
5. Еремин В.М., Луговской А.М. Влияние промышленных выбросов на структуру однолетнего стебля сосны обыкновенной. Деп. в ВИНТИ 17.05.90., № 2687 - В 90. Ворон. гос. пед. ин-т. – Воронеж, 1990. – 12 с.
6. Луговской А.М., Еремин В.М. Рост по диаметру сосны обыкновенной в районе придонского химвокна. Деп. в ВИНТИ 17.05.90., № 2686 - В 90. Ворон. гос. пед. ин-т. – Воронеж, 1990. – 11 с.
7. Еремин В.М., Луговской А.М. Структурная реакция коры и древесины на загрязнение атмосферы/ Всесоюз. семинар «Образование и строение древесной ткани» – Рига; Зинатне, 1990. – С.53-54.
8. Луговской А.М., Еремин В.М. Структурная реакция стебля сосны обыкновенной на загрязнение атмосферы//Современные проблемы экологической анатомии растений. – Владивосток: Изд-во Дальневосточ. ун-та. 1990.- С.90-91.
9. Луговской А.М., Ворон В.П., Еремин В.М. О росте стебля сосны обыкновенной в окрестностях Северодонецка. Деп. в ВИНТИ 1506.91., № 2001 – Б 91. Брест. гос. пед. ин-т. – Брест, 1991. – 8 с.
10. Луговской А.М., Калерман М.Я. О создании программы курса экологии для средне - специальных учебных заведений/ Экологическое образование молодежи: Тез. докл. межрег.научно-практ. конф. – Тула: Изд-во Тульского пединститута, 1993. – С. 18.
11. Луговской А.М. Биоиндикация атмосферного воздуха в различных геосистемах/ географические аспекты взаимодействия общества с природой// Тез. докл. КХ съезду РГО. – СПб, Изд-во РГО, 1995. – С.67-68.
12. Луговской А.М. Оценка общего состояния атмосферного воздуха методом биоиндикации/Проблемы экологии и рационального природопользования Северо-запада России// Под ред. А.И. Слинчака. – Псков, Изд-во псковского пед. ин-та, 1995. – С. 50-51.
13. Луговской А.М. Биоиндикационные возможности структурных признаков сосны. /Проблемы экологии и рационального природопользования Северо-запада России// Под ред. А.И. Слинчака. – Псков, Изд-во псковского пед. ин-та, 1995. – С. 51-53.
14. Луговской А.М., Мелькумова Е.А., Михайленко М.А. и др. Классификация высших и низших растений. – Воронеж: Изд-во ВГПИ, 1995. – 42 с.
15. Луговской А.М. Биомониторинг состояния атмосферного воздуха г. Воронеж./ Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. – Воронеж: Квадрат, 1996. – С.240.
16. Межова Л.А., Луговской А.М. Экологические проблемы природопользования южно-российского региона/ Национальное возрождение России: Теория и практика: Сб. статей науч.-практ. региональной конф. – Ростов-на-Дону. Изд-во РГПУ, 1996. – С.96-97.
17. Луговской А.М., Межова Л.А. Методика проведения экологических исследований./ Педагогические технологии/ Материалы Пятой международной конференции ассоциации «Экологическое образование». – СПб, 1996. – С 134.
18. Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка результатов при решении экологических задач / Педагогические технологии: Материалы Пятой международной конференции ассоциации «Экологическое образование». – СПб, 1996. – С.148-149.
19. Луговской А.М. Оценка экологической ситуации регионов методом биоиндикации. /Территориальная организация общества и управление в регионах: Тез. Всерос. мужвуз. конф. – Воронеж. Изд-во ВГПУ, 1996. – С. 119-120.

20. Межова Л.А., Луговской А.М. Региональные аспекты природопользования и проблемы охраны природы/Территориальная организация общества и управление в регионах: Тез. Всерос. мужуэ. конф. – Воронеж: Изд-во ВГПУ, 1996. – С. 163-164.
21. Еремин В.М., Луговской А.М. Атлас анатомии растений (учебно-методическое пособие). – Воронеж: Изд-во ВГПУ, 1996. – 48 с.
22. Луговской А.М., Межова Л.А. Характеристика абиотических факторов среды (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1996. – 26 с.
23. Луговской А.М., Межова Л.А. Экологические проблемы Воронежской области (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1996. – 38 с.
24. Луговской А.М., Межова Л.А. Глобальные и региональные экологические проблемы (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1996. – 60 с.
25. Межова Л.А., Луговской А.М. Методика экологических исследований в природе (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1996. – 48 с.
26. Межова Л.А., Луговской А.М. Эколого-экономический подход к обоснованию экспертных оценок регионального природопользования/ Проблемы экологии и экологической безопасности Центрального Черноземья: Тез. докл. регион. научно-практич. конф. – Липецк, 1996. – С. 15.
27. Луговской А.М., Межова Л.А. Некоторые методологические аспекты региональной экологической экспертизы природопользования/Человек в зеркале современной географии: Материалы второй научно-практич. конф. – Смоленск, 1996. – С. 92-93.
28. Луговской А.М. Структурная реакция сосны обыкновенной в различных почвенно-климатических условиях/ Стабилизация развития АПК Центрального Черноземья на основе рационального использования природно-ресурсного потенциала. – Воронеж, Изд-во ВГАУ, 1996. – С. 194-195.
29. Межова Л.А., Луговской А.М. Проблема оценки эколого-экономического ущерба техногенного воздействия. /Северо-запад России: проблемы экологии и устойчивого развития: Материалы научно-практич. конф. Тезисы и статьи. – Псков, Изд-во ПГПИ, 1996. – С. 43-44.
30. Луговской А.М. Биоиндикационное картирование урбанизированных территорий. /Северо-запад России: проблемы экологии и устойчивого развития: Материалы научно-практич. конф. Тезисы и статьи. – Псков, Изд-во ПГПИ, 1996. – С. 71-72.
31. Луговской А.М. Методика диагностики уровня атмосферного загрязнения по морфолого-анатомическому строению древесных растений. /Северо-запад России: проблемы экологии и устойчивого развития: Материалы научно-практич. конф. Тезисы и статьи. – Псков, Изд-во ПГПИ, 1996. – С. 168-172.
32. Луговской А.М., Межова Л.А. Биоиндикационное картирование урбанизированных территорий. /Экологический вестник Черноземья. Вып. 2. – Воронеж, 1996. – С. 78-80.
33. Межова Л.А., Луговской А.М. Учет антропогенного воздействия при моделировании геосистем/ Горный Алтай и Россия 240 лет: Материалы к междунар. симп. – Горно-Алтайск, Изд-во Г-Агу, 1996. – С. 46-47.
34. Луговской А.М. Морфолого-структурная реакция древесных растений в условиях промышленного загрязнения/ Ломоносов и национальное наследие России: Тез. междунар. науч. конф. – Архангельск, Изд-во Архангельск.центра РГО РАН, 1996. – С. 80-81.
35. Луговской А.М. Структурная реакция водопроводящей системы сосны обыкновенной на атмосферное загрязнение/ Современные проблемы анатомии растений: Материалы междунар. конф. – Брест, Изд-во БГУ, 1996. – С. 36.
36. Луговской А.М., Межова Л.А. Природа Воронежского края в вопросах и ответах (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1996. – 58 с.
37. Межова Л.А., Луговской А.М., Саврасова Н.И. Общий обзор России и сопредельных территорий (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Издательско-полиграфический центр ВГПУ, 1997. – 74 с.
38. Межова Л.А., Луговской А.М., Саврасова Н.И. Региональный обзор европейской части России и сопредельных территорий (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Издательско-полиграфический центр ВГПУ. 1997 - 70 с.
39. Межова Л.А., Луговской А.М. Некоторые методологические аспекты балансово-массоэнергетического моделирования урбанизированных территорий/ Человек и общество: тенденции социальных изменений: Материалы междунар. научно-практич. конф. Вып. 1. – СПб – Минск – Ростов-на-Дону, 1997. – С. 101-103.
40. Межова Л.А., Луговской А.М. Региональная медико-экологическая экспертиза техногенного риска жизни/ Научное наследие П.П. Семенова-Тяньшанского и его роль в развитии современной науке: Материалы Всерос. конф. – Липецк, Изд-во ЛГПИ, 1997. – С. 25.
41. Луговской А.М., Шкарлат Е.Н. Биоиндикационный компьютерный мониторинг состояния воздушной среды урбанизированных территорий в научно-исследовательской деятельности/Новые технологии. Материалы третьей научно-практич. конф. – Воронеж, Изд-во ВГПУ, ВОИГКПРО, 1997. – С. 149-150.
42. Луговской А.М., Мелькумова Е.А., Михайленко М.А., Горчач А.С. Классификация высших и низших растений. – Воронеж, Издательско-полиграфический центр ВГПУ, 1997. – 41 с.
43. Межова Л.А., Луговской А.М., Саврасова Н.И. Региональный обзор природы пояса гор Южной Сибири и Средней Азии (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Издательско-полиграфический центр ВГПУ, 1997. – 62 с.

44. Межова Л.А., Луговской А.М. Особенности страноведческого подхода П.П. Семенова-Тян-Шанского и его использование в современной географии / Научная и общественная деятельность П.П. Семенова-Тян-Шанского и развитие современной географии. – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1997. – С. 111-112.
45. Межова Л.А., Луговской А.М., Жердев В.Н. Методика построения ландшафтно-экологических карт с основами картографии (учебное пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1998. – 52 с.
46. Луговской А.М., Межова Л.А. Обзор биотических факторов (учебно-методическое пособие). – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1998. – 20 с.
47. Межова Л.А., Луговской А.М. Некоторые методологические аспекты изучения экологических проблем урбанизированной среды / Непрерывное географическое образование: инновационные методы и технологии: Материалы IV междунар. научно-методич. семинара. – Харьков, 1998. – С.130-131.
48. Межова Л.А., Луговской А.М. Проблема эколого-ландшафтной оценки маргинальных территорий. Проблемы экономического, социального и экологического развития Центрального Черноземья накануне XXI века: Материалы межрегион. науч. конф. – Воронеж, Изд-во ВГУ, 1998. – С. 101-104.
49. Шереметьев В.Н., Межова Л.А., Луговской А.М. Лесные культурные образования как памятники натурализации / Проблемы и перспективы сбалансированного развития в бассейне Псковско-Чудского озера: Материалы междунард. общественно-научн. конф. – Псков, Изд-во ПГПИ, 1998. – С.108-110.
50. Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка «качества жизни» населения г. Воронеж / Территориальная организация общества и управление в регионах: Материалы междунар. научно-практ. конф. – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1998. – С. 26-27.
51. Межова Л.А., Луговской А.М. Методологические аспекты изучения экологических региональных конфликтов. Территориальная справедливость, региональные конфликты и региональная безопасность / Материалы междунард. науч. конф. – Смоленск, Изд-во СГУ, 1998. – С.191-192.
52. Кузнецов В.В., Межова Л.А., Луговской А.М. Радиоэкологический анализ ландшафтов Воронежской области / Мелиорация, экология, ландшафты на черноземах. Сб. научн. трудов. – Воронеж, Изд-во ВГАУ, 1998. – С. 31-33.
53. Луговской А.М., Межова Л.А. Физическая география Воронежской области в вопросах и ответах. – Воронеж, Изд-во ВГПУ, 1999. – 77 с.
54. Межова Л.А., Луговской А.М. Историко-геоэкологический анализ ландшафтов Подворонежья / Лесные экосистемы зеленой зоны города Воронеж. – Воронеж, Изд-во ВГУ, 1999. – С. 127-131.
55. Межова Л.А., Луговской А.М. Методологические аспекты историко-экологического анализа Черноземья / Вестник Воронежского отдела Русского географического общества. Вып.1. Т.1. – Воронеж, Изд-во ВГУ, 1999. – С.71-75.
56. Межова Л.А., Луговской А.М. Социо-экологические проблемы урбанизированных территорий Воронежской области / Территориальная организация общества и управление в регионах: материалы IV между Научно-практ. конф. – Воронеж, Изд-во ВГУ, 1999. – С. 218-220.
57. Биогеография: пособие для студентов. (в соавт. Л.А. Межова, А.Я. Григорьевская). – Воронеж, ВГПУ, 2001. – 12 уч. изд. л.
58. Методологические аспекты изучения структуры и динамики сосны обыкновенной в зонах интенсивного техногенеза. (в соавт. Л.А. Межова) / Теоретические и прикладные аспекты оптимизации и рациональной организации ландшафтов - Воронеж, 2001. – С. 99-100.
59. Антропогенная трансформация ледобiotического потенциала ландшафтов бассейна реки Воронеж. (в соавт. Л.А. Межова) / Теоретические и прикладные аспекты оптимизации и рациональной организации ландшафтов. - Воронеж, 2001. – С. 107 – 109.
60. Проблема изучения динамики лесных ландшафтов Подонья (в соавт. В.И. Шереметьев, Л.А. Межова) - Иркутск, 2001. - С. 17-18.
61. Оценка влияния природно-антропогенных факторов на лесные ландшафты Среднего Подонья с X по XX век. (в соавт. В.И. Шереметьев, Л.А. Межова) / Известия ВГПУ, Т. 251. – Территориальная организация общества и управление в регионах - Воронеж, 2001. – С. 150 – 155.
62. Консорционный анализ сосняков, сформированных под влиянием атмосферного загрязнения / Материалы V всероссийской научно-практ. конф. Территориальная организация общества и управление в регионах - Воронеж. 2002. – С. 150 – 155. (в соавт. Л.А. Луговская)
63. Эволюция критериев оценки ресурсного потенциала территории / Материалы V всероссийской научно-практ. конф. Территориальная организация общества и управление в регионах - Воронеж, 2002 – С. 150 – 155. . (в соавт. А.О. Амелькин, Л.А. Межова, Л.А. Луговская)
64. Проблемы изучения регионального природно-культурного потенциала Воронежской области / Материалы V всероссийской научно-практ. конф. Территориальная организация общества и управление в регионах - Воронеж, 2002. – С. 150 – 155. . (в соавт. В.И. Шереметьев, Л.А. Межова).
65. Комплексная оценка комфортности среды методами биондикации на примере сосны / Материалы общественно-научной конференции с международным участием Северо-Запад России: взаимодействие общества и природы. Ч.1. – Псков, 2002. – С. 116 – 119.
66. Особенности оценки химического загрязнения атмосферы методом дендриндикации в разных почвенно-климатических условиях / Материалы общественно-научной конференции с международным участием Северо-Запад России: взаимодействие общества и природы. Ч.1. – Псков, 2002. – С. 119 – 123.

- 67 Оценка качества среды биоиндикационными методами/ Агроэкологический вестник – Воронеж, ВГАУ, 2002 – С. 50-57
- 68 Реакция морфолого-анатомических признаков сосны обыкновенной в условиях с разной степенью комфортности среды обитания/Экологические системы и приборы - №3 – 2004 – С. 9-12
- 69 Мониторинг природной среды методом биоиндикации в условиях техногенеза / Проблемы региональной экологии - №3 – 2004 – С 52-61.
- 70 Перспективы применения показателей структуры функциональных систем для биомониторинга./Южнороссийский вестник геологии, географии и глобальных энергий - №4 – 2004 – С 76-81
- 71 Оценка качества окружающей природной среды методом дендрондикации/ География в школе - № 6 – 2004 - С. 33-37.

Подписано в печать 8.08.04. Формат 60х84/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,4. Усл. печ. л. 2,3. Тираж 100 экз.

Заказ №126

Отпечатано НП ИПД «Авторское перо»



04 - 17060