



УДК 581

*Н.В. Шкуратова*

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АНАТОМИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ**

В статье приводится обзор современных направлений исследования в области экологической анатомии, таких как: изучение реакции древесины на действие факторов среды, изучение реакции коры на действие факторов среды, изучение ассимиляционного аппарата древесных растений в разных условиях освещения, исследование особенностей анатомических структур растений разных экологических групп и жизненных форм, выявление реакции анатомических структур растений на техногенные загрязнения.

Актуальность эколого-анатомических исследований древесных растений на сегодняшний день не вызывает сомнений. Многими исследователями показано, что только на основании знаний о закономерностях и характере изменений структур в зависимости от условий обитания могут быть отобраны признаки, не зависящие от факторов среды, и только такие признаки могут использоваться для целей диагностики, филогении и таксономии. Исследования в области экологической анатомии актуальны и потому, что грамотное и рациональное планирование лесохозяйственных мероприятий должно базироваться на знании биологических особенностей растений, их реакций на изменяющиеся условия, что определяет выбор способа лесовозобновления, подбор ассортимента древесных пород для лесных культур, производительность насаждений. Кроме того, в целях мониторинга необходимо применять такие показатели, которые имеют минимальные диапазоны естественной изменчивости и наиболее чувствительны к воздействию факторов. Поэтому перспективным для контроля и прогноза реакции экосистем в ответ на антропогенные воздействия при биологическом мониторинге является широкое применение анализа наиболее устойчивых систем древесных растений – систем анатомических признаков.

Как указывал еще в 1954 году А.А. Яценко-Хмелевский, проведение исследований в названной области представляет значительные трудности, так как древесные растения многолетние, одновременно испытывают на себе влияние целого комплекса внешних условий и установить точную дозировку конкретного фактора для выявления его влияния в течение всей жизни невозможно [1]. Сказанное обуславливает ограниченность экологических исследований в области анатомии древесных растений.

Ниже приводим обзор основных направлений, сложившихся на сегодняшний день в области эколого-анатомических исследований древесных растений.

### *1. Изучение реакции древесины на действие факторов среды.*

В этом направлении проведено наибольшее количество работ, что вполне естественно, так как древесина – широко применяемый материал. Наиболее чуткой на изменение условий среды является ширина годичного кольца. Уменьшение ширины годичного прироста при ухудшении внешних условий установлено еще в XVI веке. Реакция древесины изучается с целью выявления влияния внешних условий как на накопление и качество древесины, так и на закономерности формирования структуры и изменения признаков. Последний аспект характерен для петербургской школы анатомов. В работах Е.С. Чавчавадзе и О.Ю. Сизоненко на обширном материале растений арктической флоры России выявлены основные направления формирования тканей и их признаков в суровых условиях Севера [2].



Е.С. Чавчавадзе и её коллеги в своих исследованиях показали, что с подъемом в горы по мере снижения энергии особей снижается среднее значение ксилотомических признаков, таких как ширина годовичных слоев, диаметр просвета сосудов, уменьшается длина члеников сосудов и волокон либриформа. Это количественное перераспределение признаков, связанное с увеличивающейся с высотой над уровнем моря аридизацией, является важным фактором в борьбе растений за существование [3].

Ш.Г. Додашев [4] отмечает, что аридные условия ускоряют темп формирования структуры древесины.

Изучение древесины ивы козьей в условиях техногенного загрязнения показало резкое усиление ксероморфизма не только фотосинтетического аппарата, но и гидросистемы [5].

В.К. Ширнин разделил признаки древесины на следующие группы:

- признаки, обусловленные влиянием среды: ширина годовичного кольца, процент поздней древесины, доля сосудов, механических тканей, древесной паренхимы и т.д.;
- признаки, формирующиеся под влиянием среды и генотипа: длина и диаметр трахеид и волокон либриформа, поперечник сосудов, число сосудов и т.д.;
- признаки, наиболее важные в селекционном плане: толщина оболочек, густота сердцевинных лучей, доля участия лучевой паренхимы в гистологическом составе, число широких сердцевинных лучей, количество одиночных сосудов, поперечник смоляных ходов [6].

Структурно-функциональные показатели древесины характеризуют ее реакцию на экологические условия и используются в самых разнообразных аспектах, в том числе для целей дендроиндикации.

## 2. Изучение реакции коры на действие факторов среды.

В последние десятилетия в эколого-анатомические исследования был вовлечен такой важнейший комплекс тканей древесного стебля, как кора. Из всех комплексов тканей древесных растений в экологическом плане меньше всего изучена кора. При этом кора голосеменных и покрытосеменных растений обладает большим, чем древесина, набором анатомических признаков, имеющих диагностическое, таксономическое значение [7].

Довольно обширные работы проведены на примере представителей семейства сосновых В.М. Ереминым [8, 9]. Были выявлены основные закономерности реакций коры, продемонстрировавшие, что качественные признаки не подвержены влиянию условий обитания (тип лучей, тип кристаллов оксалата кальция, форма ситовидных полей, тип феллемы и механических элементов), основное влияние испытывают количественные признаки; характер проявления реакции не является видоспецифичным и не зависит от природы фактора (содержание металлов в почве, тип техногенных выбросов и их состав, абиотические факторы среды).

Подобная методика использована Л.В. Талалуевой по отношению к видам рода *Betula*, правильность оценки которых подтвердилась их хорошим состоянием после засух 1984 года [10]. Перестройки носят адаптивный характер и позволяют растениям успешно существовать в изменяющихся условиях среды. При этом адаптация к засушливым условиям происходит в сторону усиления ксероморфных признаков. В структуре коры это проявляется в большем развитии слоя феллемы, усилении склерификации, уменьшении объема проводящей флоэмы. На основании таких показателей, как объем механических тканей и флоэмы в коре, структура паренхимы коры, могут быть отобраны и предложены для лесоразведения засухоустойчивые виды.



А.М. Луговской на примере сосны обыкновенной и дуба черешчатого показал, что реакция тканей коры на загрязнение атмосферы носит количественный характер, качественные признаки: гистологический состав, форма ситовидных полей на стенках ситовидных клеток, структура феллемы повторных перидерм, форма и величина кристаллов оксалата кальция, тип лучей – остаются без изменения [11].

Ю.Ф. Рой и В.М. Еремин на примере ряда голо- и покрытосеменных показали, что качественный аспект в формировании стебля, в том числе и коры, как системы тканей в разных условиях освещения выражается в изменении соотношения различных тканей, их долевого участия в структуре и степени паренхиматизации, насыщенности водопроводящими элементами [12].

*3. Изучение ассимиляционного аппарата древесных растений в разных условиях освещения.*

Свет является важнейшим фактором, обуславливающим длительность ростовых процессов и параметры побега. При этом если длительность роста обусловлена влиянием света на гормональный обмен, то параметры определяются в результате синтеза пластических веществ.

Листья голосеменных и покрытосеменных растений являются чрезвычайно пластичными, обнаруживая широкий диапазон анатомо-морфологических показателей. Сильнее влиянию внешних условий подвержены: мезофилл листа, степень его дифференциации, характер утолщения эпидермальных клеток. В игольчатом листе неблагоприятные условия способствуют развитию признаков ксероморфности: возрастает мощность кутикулярного покрова, утолщаются стенки эпидермальных и гиподермальных клеток, уменьшается площадь поперечного сечения.

Свет оказывает непосредственное влияние на количественные характеристики анатомо-морфологических признаков листа, особенно сильное влияние света проявляется на количественных характеристиках у хвои первого года [13].

Работ в этом направлении выполнено очень много, прекрасный анализ их дан в сводках В. Лархера [14], П.Б. Раскатова [15] и др. Из современных исследователей в этом направлении работают О.Г. Бендер [16], И.М. Кравкина [17], Е.А. Адамчик и И.С. Антонова [18] и другие.

*4. Исследование особенностей анатомических структур растений разных экологических групп и жизненных форм.*

И.Г. Серебряков еще в 1962 году отмечал, что изучение жизненных форм в пределах какого-либо естественного таксона позволяет судить о путях и направлениях эволюции как самих жизненных форм, так и самих таксонов. Проблема жизненных форм состоит также в выявлении законов формирования в онтогенезе, закономерностей становления и формирования в ходе эволюции таксонов на фоне изменения среды.

Жизненная форма – это динамичная морфолого-экологическая система, а гистологические структуры отражают ход процессов роста, органогенеза и отмирания в большей степени, чем морфологические. Наиболее корректно сравнение анатомического строения разных жизненных форм в пределах определенных таксонов (рода, семейства) и экологических групп (ксерофиты, мезофиты и др.) [14].

А.А. Бутник отмечает, что у ксерофитов в направлении от древесных растений к полудревесным и травянистым в пределах каждого семейства в осевых органах уменьшается объем клеток либриформа и толщина его оболочек, увеличивается число паренхимных клеток за счет дилатации лучей и облитерации терминальной паренхимы [19].



Т.В. Арсеньева на примере кустарниковых и стланниковых форм можжевельника обыкновенного показала: при смене жизненных форм в связи с изменением условий произрастания при подъеме над уровнем моря качественного изменения в анатомической структуре не происходит. Автор указывает, что с высотой над уровнем моря наблюдается изменение типа тяжелой паренхимы и уменьшается объем паренхимных элементов, так как снижается их запасающая функция [20].

В.М. Ереминым установлено, что адаптация сосны обыкновенной к произрастанию на болотах сопровождается формированием болотных форм, имеющих специфичный габитус и произрастающих в определенных типах растительных сообществ. Причиной габитуральных особенностей является интенсивность роста деревьев, что коррелирует с появлением отличий в анатомической структуре однолетних стеблей и хвои. При этом в анатомической структуре однолетних стеблей отмечается увеличение размера древесины, ее элементов, коры, а также количества смоляных ходов в коре и другие в направлении от медленно к быстро растущим формам [8].

*5. Выявление реакции анатомических структур растений на техногенные загрязнения.*

Исследования влияния техногенных загрязнений на анатомические структуры растений в последние десятилетия приобрели очень широкие масштабы.

Растения являются наиболее чувствительными и надежными индикаторами загрязненности атмосферы и гидросферы. Изменение температурного и радиационного режимов воздуха, воды и почвы, а также изменение их специфических физиолого-химических особенностей нарушают нормальный ход онтогенеза растений, вызывают у последних появление патологических реакций, патологических процессов, болезней и патологических состояний. Большая чувствительность растительных организмов к внешним воздействиям позволяет использовать параметры их жизнедеятельности в качестве индикаторов загрязнения среды. Измерение ширины годичных колец и площади поврежденной поверхности листьев, определение содержания хлорофилла, активности некоторых ферментов и продуктивности, выявление аномалий роста позволяют выявить негативное воздействие загрязнителей.

При экологическом мониторинге загрязнений с целью выявления негативных антропогенных воздействий на биосферу использование растений-индикаторов часто дает более ценную информацию, чем прямая оценка загрязнения приборами, так как первые реагируют сразу на весь комплекс загрязнений. Действие совокупности загрязнителей атмосферы за сравнительно длительный период времени можно наблюдать, если взять долгоживущие древесные объекты, позволяющие сделать вывод о целостной реакции на загрязнение и составить прогноз [21, 22].

Первым отрицательное влияние испытывает ассимиляционный аппарат, следствием чего является резкое снижение интенсивности процесса фотосинтеза. Листьям растений, подверженных воздействию поллютантов, характерно явление мелкоклеточности, происходит увеличение коэффициентов палисадности и прозенхимности, уменьшается доля межклетников, что препятствует проникновению вредных газов внутрь растений и способствует лучшему расположению хлоропластов для поглощения солнечной энергии. В проводящей системе листа сокращается доля проводящих тканей и увеличивается процентное содержание склеренхимной обкладки [25].

Как отмечает А.М. Луговской, структурная реакция стебля на загрязнение атмосферы вторична, причем наиболее подвержена влиянию фитотоксикантов структура одно-, двухлетних стеблей и в меньшей мере структура взрослого стебля [11].



Н.Е. Косиченко и В.И. Спесивцева установили, что под влиянием промышленных выбросов смещаются сроки наступления фенологических фаз в результате сокращения их продолжительности, а также происходит нарушение деятельности вторичных меристем (камбия и феллогена), что вызывает изменение в соотношении тканей [24].

А.В. Абатуров и Н.И. Гольцова, изучая рост сосны по диаметру после радиоактивного облучения в районе аварии Чернобыльской АС, установили, что пострадиационный прирост деревьев показывает нарушение деятельности камбия и даже гибель его отдельных инициалей [25].

В условиях техногенной нагрузки происходит уменьшение прироста проводящих тканей древесины и флоэмы, изменение параметров структурных элементов флоэмы и древесины, а также большая склерификация паренхимы флоэмы, древесины и первичной коры. В паренхиме первичной коры сосны обыкновенной под действием фитотоксикантов происходит лизис клеточных стенок и образование крупных межклетников.

Кроме того, авторы указывают на сходство реакции стеблей голосеменных и покрытосеменных на антропогенное воздействие и сходство в ответных реакциях на другие стрессовые факторы. В.М. Еремин отмечает, что проявление реакции не является видоспецифичным и не зависит от природы фактора [26]. Варьирование признаков происходит в пределах нормы реакции, которая у каждого вида (а порой и особи) закреплена наследственно и реализуется индивидуально. Различия между видами заключаются в степени выраженности реакций на стрессовые воздействия. Как показывают исследования генетиков, количественные признаки являются «индикаторами» и отражают воздействие факторов среды на организм.

В дальнейшем расширение числа объектов исследований и расширение спектра изучаемых факторов позволит выявить степень выраженности реакций отдельных видов на внешние воздействия, устойчивые и неустойчивые к тому или иному фактору виды. Установление основных тенденций в адаптации видов к токсикантам на анатомическом уровне и экологической видоспецифичности по отношению к различному уровню загрязнения позволяет понять структурные основы устойчивости видов и выработать рекомендации для использования отдельных видов в защитных лесонасаждениях и для создания техногенных ландшафтов и т.п.

Таким образом, исследования в области экологической анатомии древесных растений устанавливают закономерности и характер изменений структур в зависимости от условий обитания, выявляют независящие от факторов среды анатомические признаки, применяемые в диагностике, филогении и таксономии растений, а также помогают грамотно планировать лесохозяйственные мероприятия. Современное состояние экологической анатомии древесных растений позволяет выделить пять основных направлений исследований, которые приобрели довольно широкий характер: изучение реакции древесины на действие факторов среды; изучение реакции коры на действие факторов среды; изучение ассимиляционного аппарата древесных растений в разных условиях освещения; исследование особенностей анатомических структур растений разных экологических групп и жизненных форм; выявление реакции анатомических структур растений на техногенные загрязнения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко-Хмелевский, А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины / А.А. Яценко-Хмелевский. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – 337 с.



2. Чавчавадзе, Е.С. Структурные особенности древесины кустарников и кустарничков арктической флоры России / Е.С. Чавчавадзе, О.Ю. Сизоненко. – СПб. : Росток, 2002. – 272 с.
3. Чавчавадзе, Е.С. Анатомио-физиологические особенности древесины некоторых видов р. жестер (*Rhamnus L.*) из горных местообитаний / Е.С. Чавчавадзе, М.У. Умаров, О.Ю. Сизоненко // Современные проблемы анатомии растений : материалы Междунар. конф., Брест, окт. 1996 г. / М-во образования и науки Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т. – Брест : Изд-во БрГУ, 1996. – С. 49.
4. Додашев, Ш.Г. К формированию древесины некоторых ксерофитов полупустынь Азербайджана / Ш.Г. Додашев // Современные проблемы экологической анатомии : материалы I Всесоюз. совещ. по экологич. анатомии раст., Ташкент, 27–29 авг. 1986 г. / АН ССР, Ин-т ботаники Узбек. отд. ВБО. – Ташкент, 1987. – С. 44–45.
5. Чавчавадзе, Е.С. Исследование структуры древесины ивы козьей как индикатора техногенного загрязнения / Е.С. Чавчавадзе, М.У. Умаров, С.Б. Волкова // Современные проблемы анатомии растений : материалы Междунар. конф., Брест, окт. 1996 г. / М-во образования и науки Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т. – Брест : Изд-во БрГУ, 1996. – С. 48.
6. Ширнин, В.К. Экологическая генетическая обусловленность количественных признаков вторичной ксилемы / В.К. Ширнин // Современные проблемы экологической анатомии : материалы I Всесоюз. совещ. по экологич. анатомии раст., Ташкент, 27–29 авг. 1986 г. / АН ССР, Ин-т ботаники Узбек. отд. ВБО. – Ташкент, 1987. – С. 101–102.
7. Анатомия коры деревьев и кустарников : монография / В.М. Еремин [и др.] ; под ред. В.М. Еремина. – Брест : Изд-во Брестского гос. ун-та, 2001. – 187 с.
8. Еремин, В.М. Влияние избыточного увлажнения на анатомическую структуру коры сосны обыкновенной / В.М. Еремин // Лесн. журн. – 1975. – №2. – С. 7–11.
9. Еремин, В.М. О влиянии абиотических факторов среды на анатомическое строение коры / В.М. Еремин // Лесн. журн. – 1982. – № 4. – С. 23–27.
10. Талалуева, Л.В. Эколого-биологические особенности видов рода *Betula L.* интродуцированных в сухостепной зоне Нижнего Поволжья : дисс. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / Л.В. Талалуева; Центр. ботан. сад УССР. – Киев, 1984. – 25 с.
11. Луговской, А.М. Анатомические изменения стебля сосны обыкновенной и дуба черешчатого при загрязнении атмосферы : дисс. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / А.М. Луговской. – Воронеж, 1992. – 210 с.
12. Рой, Ю.Ф. Структурные преобразования однолетнего стебля деревьев в процессе его формирования : монография / Ю.Ф. Рой, В.М. Еремин. – Южно-Сахалинск, 2008. – 2003 с.
13. Волосюк, С.Н. Влияние света на анатомо-морфологическую структуру листа ели колючей / С.Н. Волосюк, С.В. Зеркаль // V Межвуз. науч.-практ. конф. молодых ученых: сб. материалов, Брест 29–30 мая 2003 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т. – Брест: Изд-во БрГУ, 2003. – С. 12–13.
14. Лархер, В. Экология растений / В. Лархер. – М. : Мир, 1978. – 382 с.
15. Раскатов, П.Б. Экологическая анатомия вегетативных органов деревьев и кустарников / П.Б. Раскатов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1979. – 180 с.
16. Бендер, О.Г. Морфо-анатомические особенности формирования хвои кедра сибирского на различных высотах произрастания / О.Г. Бендер // Тр. II Междунар. конф. по анатомии и морфологии растений, С.-Петербург, 14–18 окт. 2002 г. / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб., 2002. – С. 261.
17. Кравкина, И.М. Реакция листа на избыток тяжелых металлов / И.М. Кравкина // Проблемы ботаники на рубеже XX–XXI вв. : тез. докл. II (X) съезда Рус. ботан.



общ-ва, С.-Петербург, 26–29 мая 1998 г. / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб., 1998. – Т. 1. – С. 46.

18. Адамчик, Е.А. Особенности строения листа *Aesculus hippocastanum* в различных условиях среды / Е.А. Адамчик, И.С. Антонова // Тр. Междунар. конф. по анатомии и морфологии растений (посвящ. 150-летию со дня рождения И.И. Бородина) / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб., 1997. – С. 219–220.

19. Бутник, А.А. Значение анатомических признаков в характеристике жизненных форм / А.А. Бутник // Тр. II Междунар. конф. по анатомии и морфологии растений : тез. докл. конф., С.-Петербург, 14–18 окт. 2002 г. / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб., 2002. – С. 266.

20. Арсеньева, Т.В. Сравнительно-анатомическое изучение древесины *Juniperus communis* (Cupressaceae) в связи с изменением жизненной формы / Т.В. Арсеньева // Проблемы ботаники на рубеже XX–XXI вв. : тез. докл. II (X) съезда Рус. ботан. общ-ва, С.-Петербург, 26–29 мая 1998 г. / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб., 1998. – Т. 1. – С. 6–7.

21. Lötscher, W. Characteristics of tree bark as an indicator in high-immission areas / W. Lötscher, H.-J. Köhm // Oecologie. – 1977. – 27. – № 1. – P. 47–64.

22. Слепян, Э.И. Техногенная фитопатология / Э.И. Слепян // Биологические методы оценки природной среды. – М. : Наука, 1978. – С. 208–232.

23. Хватова, В.Н. Воздействие промышленных выбросов на структурно-функциональную организацию однолетних побегов представителей семейства *Salicaceae* L.: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / В.Н. Хватова ; – Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 2001. – 24 с.

24. Косиченко, Н.Е. Структурные особенности устойчивости сосны к промышленным выбросам металлургических предприятий / Н.Е. Косиченко, В.И. Спесивцева // Современные проблемы экологической анатомии : материалы I Всесоюз. совещ. по экологич. анатомии раст., Ташкент, 27–29 авг. 1986 г. / АН СССР, Ин-т ботаники Узбек. отд. ВБО. – Ташкент, 1987. – С. 82–184.

25. Абатуров, А.В. Рост сосны по диаметру после радиоактивного облучения (район аварии Чернобыльской АС) / А.В. Абатуров, Н.И. Гольцова // Современные проблемы экологической анатомии растений : матермалы II Всесоюз. совещ. по экологии и анатомии растений, Владивосток, 10–16 сент. 1990 г. / АН СССР, Дальневосточ. гос. ун-т. – Владивосток : Изд-во Дальневосточ. гос. ун-та, 1990. – С. 3–4.

26. Еремин, В.М. Анатомия стебля сосны обыкновенной, произрастающей в районе биогехимической провинции, обогащенной цинком / В.М. Еремин ; Брест. гос. пед. ин-т. – Брест, 1990. – 9 с. – Деп. в ВИНТИ 17.05.90, № 2688–В90 // РЖ: 04. Биол. Разд. 04В. Ботан. 04В1 Ботан. (Высш. раст.). – 1990. – № 9. – 9В1179 ДЕП. – С. 20.

**N.V. Shkuratova. The Modern Directions in the Research of Ecological Anatomy of Woody Plants**

This article provides an overview of current trends in research in the field of ecological anatomy, such as the study of the reaction timber effect of environmental factors, the study of the reaction of the cortex to the effect of environmental factors, the study of the assimilation apparatus of trees in different lighting conditions, the study of anatomical features of plants of various environmental groups and life forms, identification of anatomic structures of plant response to man-made pollution.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 19.09.2012