

УДК 581.522.4 : 582.6/9 (470.51-21)

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРБОСРЕДЫ

© 2008 И.Л. Бухарина

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск

В результате комплексного изучения морфологических и физиолого-биохимических показателей древесных растений, широко используемых в озеленении крупного промышленного центра, дана характеристика их адаптивного потенциала.

Древесные насаждения являются одним из механизмов стабилизации экологической обстановки в городах. Современные промышленные центры остро нуждаются в реконструкции насаждений, важным аспектом которой является подбор видов с высоким адаптивным потенциалом. Следует отметить, что древесные растения, произрастающие в городах, прошли своеобразный отбор и представляют исключительный интерес в плане изучения механизмов адаптации в условиях техногенной среды. Задачей наших исследований являлось выявление адаптивных реакций разных форм и на разных уровнях организации растительных организмов в условиях урбосреды. При этом объектами исследований были виды, занимающие наибольшие площади озелененной территории Ижевска и представленные во всех экологических категориях насаждений города.

Ижевск является крупным промышленным центром с населением свыше 630 тыс. человек, развитой промышленностью, транспортной сетью и социальной инфраструктурой. Уровень загрязнения в городе соответствует среднестатистическим показателям городов России. Наблюдения проведены за растениями средневозрастного генеративного и удовлетворительного жизненного состояния [4, 6, 11, 13], произрастающими в магистральных посадках и насаждениях санитарно-защитных зон (СЗЗ) ведущих промышленных предприятий города. Согласно методическим подходам С.Н. Краснощековой [5], в качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны террито-

рии Ботанического сада УдГУ (северная окраина города) и городского парка ландшафтного типа (ЦПКиО им. С.М. Кирова).

Характеристика степени загрязнения атмосферного воздуха и почв в местах произрастания растений проведена на основе фондовых материалов Удмуртского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Геоэкологической лаборатории Удмуртского государственного университета, а также по результатам выполненных нами анализов почвенных образцов и снежного покрова. По сравнению с пригородной и парковой зонами, в санитарно-защитных зонах и, особенно вдоль магистралей, наблюдается умеренно опасный и опасный уровень загрязнения почв ($Z_c = 16-32$ и $32-128$), здесь же зафиксированы наиболее высокие значения комплексного индекса загрязнения атмосферы ($ИЗА = 8,8-9,4$). Изменяются агрохимические и физические свойства почв: содержание элементов минерального питания, возрастает значение рН, снижается влажность почв, увеличивается их плотность сложения. В магистральных посадках для почв характерно довольно высокое содержание ионов натрия, хлора, а также органических веществ. Среди промышленных предприятий наибольшая техногенная нагрузка характерна для санитарно-защитных зон предприятий «Ижсталь» (центральная промышленная зона, расположенная крайне неудачно в экологическом отношении), «Буммаш» и «Автозавод» (северо-восточная промышленная зона) [14]. Кроме наличия загрязняющих веществ небла-

гоприятным для древесных насаждений фактором (особенно в магистральных посадках) являются недостаток влаги, освещение в ночное время, значительная высота и плотность снежного покрова в зимний период, почти полное отсутствие агротехнических мероприятий по защите растений.

Особенности адаптивных реакций растений выявлены на основе характеристики их жизненного состояния [7], сезонных ритмов развития [1, 15], биометрических показателей и зимостойкости годичного прироста побегов. Нами учтена динамика физиолого-биохимических показателей растений: интенсивности фотосинтеза [2], водоудерживающей способности листьев [8] и содержания аскорбиновой кислоты [3], уровня танинов в побегах (метод Нейбауэра–Лёвентала [9]). Также нами оценивалась обеспеченность растений основными элементами минерального питания, зольность [10, 12] и способность к аккумуляции микроэлементов и тяжелых металлов (метод атомно-эмиссионной спектроскопии).

Основываясь на результатах анализов и наблюдений, мы дали характеристику эколого-биологических особенностей адаптации изучаемых видов древесных растений, которая приведена ниже.

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) имеет довольно высокие баллы жизненного состояния (ЖС), но в магистральных посадках наблюдается некроз листьев. По сравнению с ЗУК в городских насаждениях у этого вида запаздывает появление зеленого конуса листьев, сокращаются сроки цветения (в магистральных посадках), позже наступает листопад (примерно на 15 дней), а продолжительность вегетации увеличивается примерно на 2 недели. Интенсивность фотосинтеза в целом невысокая и резко снижается в случае усиления техногенной нагрузки. Следует отметить, что в условиях стресса у березы повислой фотосинтез подавлен более, чем ростовые процессы. Так в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий увеличивается длина годичных вегетативных побегов. Это происходит за счет увеличения числа метамеров (узлов), при этом

масса и площадь листьев остаются неизменными. Что касается магистральных посадок, то здесь достоверного изменения морфологии годичного побега не выявлено. В условиях стресса листья березы повислой способны снижать потери воды и увеличивать водоудерживающую способность (ВС), а при повышении концентрации окислов азота в атмосфере ВС листьев заметно снижается. Адаптационные механизмы, на наш взгляд, зависят от вторичных метаболитов, например, содержания танинов (в условиях техногенной нагрузки наблюдается увеличение их концентрации в 4-6 раз). В насаждениях специального назначения, по сравнению с зонами условного контроля, в листьях растений больше содержится азота, выше концентрация зольных элементов, что может быть одной из причин депрессии фотосинтеза. Увеличение степени техногенной нагрузки усиливает осенний отток азота из листьев в стеблевую часть побега. Высокие значения коэффициента биологического поглощения Mn, Cd и Zn. установлены в период листопада в фоне.

Липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) характеризуется невысокими баллами жизненности, причем это относится, прежде всего, к парковой и пригородной зонам, где липа сильно поражена минерами. В условиях города фактором, приводящим к снижению жизненного состояния, является повышенное содержание углекислоты в атмосферном воздухе, а концентрация оксида азота, наоборот, находится в противоположной корреляционной зависимости с этим показателем. В составе городских насаждений продолжительность цветения, равно и вегетации, липы мелколистной увеличивается, особенно четко это проявляется в более благоприятные по метеорологическим условиям годы. Для липы мелколистной характерна невысокая интенсивность фотосинтеза, подавляющее действие на которую оказывают повышенные концентрации углекислоты в воздухе. Причем в условиях стресса фотосинтез подавлен еще в большей степени, чем рост. В магистральных насаждениях и насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий

наблюдается увеличение годового прироста побегов, числа метамеров на нем, но снижен прирост ствола по объему. Возрастание техногенной нагрузки вызывает снижение потерь воды листьями, за счет возрастания их водоудерживающей способности. Стабильность клеточных структур, по-видимому, связана с содержанием таннинов и аскорбиновой кислоты. Наблюдаемое нарушение осеннего оттока азота из листьев в стеблевую часть побега, еще более усиливается при возрастании техногенной нагрузки. К концу вегетации в листьях липы мелколистной, особенно в насаждениях промышленных зон, возрастает зольность и накапливаются тяжелые металлы (Cd, Pb, Ni, Zn, Cr).

Рябина обыкновенная (Sorbus aucuparia L.). Жизненное состояние этого вида снижается под воздействием увеличения концентрации окислов азота и углерода в атмосферном воздухе. В городских условиях значительно продлеваются сроки вегетации (в среднем на 18 дней). В насаждениях промышленных зон рябина обыкновенная обладает относительно высокой интенсивностью фотосинтеза, но в условиях магистральных посадок это показатель резко снижается. Техногенная нагрузка особо отрицательно не сказывается на водоудерживающей способности листьев, что, на наш взгляд, объясняется повышенным содержанием аскорбиновой кислоты. В то же время, увеличение концентрации углекислоты и фенолов в атмосфере приводит к снижению в листьях аскорбиновой кислоты и водоудерживающей способности. Для рябины характерно высокое содержание таннинов в побегах, но при усилении техногенной нагрузки оно снижается. Повышение фенолов в атмосфере приводит к уменьшению концентрации таннинов, что является показателем участия данного метаболита в механизмах адаптации изучаемого вида. В конце вегетации в стеблевой части годового побега рябины обыкновенной происходит накопление зольных элементов.

Ива козья (Salix caprea L.) в насаждениях Ижевска имеет невысокие баллы жизненного состояния и более сокращенные сроки вегетации. Интенсивность фотосинтеза в на-

саждениях СЗЗ промышленных предприятий относительно высока, но снижена в магистральных насаждениях, где увеличивается водоудерживающая способность листьев. Можно полагать, что это связано с большими энергетическими затратами, расходуемыми на поддержание тех клеточных структур, которые препятствуют потере воды клетками. В магистральных посадках фотосинтез менее подавлен, чем рост, кроме того, наблюдается увеличение длины годового побега и его структурных элементов. В целом длина годового прироста у ивы козьей значимо отрицательно коррелирует с продолжительностью вегетации. Для рассматриваемого вида характерно самое высокое содержание таннинов в побегах, хотя увеличение техногенной нагрузки приводит к существенному снижению их концентрации.

Следует отметить, что все указанные выше аборигенные виды в условиях городской среды характеризовались меньшими показателями интенсивности фотосинтеза, по сравнению с аналогичными у интродуцированных видов.

Тополь бальзамический (Populus balsamifera L.) из-за высокой пораженности листьев минерами имеет низкие баллы жизненного состояния. Содержание окислов азота в атмосферном воздухе повышает его жизнеспособность, а окислов углерода – оказывает противоположное действие. Для тополя свойственна высокая интенсивность фотосинтеза (ИФ), но это лишь в случае, когда он находится в хорошем и удовлетворительном жизненном состоянии. Но даже в этом случае в условиях интенсивной техногенной нагрузки нарушение донорно-акцепторных отношений (ДАО) осуществляются в сторону снижения фотосинтеза, хотя длина годового побега, площадь и масса ассимилирующей части побега в магистральных посадках увеличиваются. В последних также снижается ВС листьев. На ассимилирующую активность оказывает подавляющее действие повышение концентрации углекислоты и фенола в атмосфере. Увеличение концентрации окислов азота положительно коррелирует с содержанием аскорбиновой кислоты (АК) в

листьях и интенсивностью фотосинтеза. Можно полагать, что существенную роль в адаптации этого вида к условиям городской среды играют компоненты низкомолекулярной антиоксидантной системы растений: содержание АК увеличивается в ряду ЗУК – СЗЗ промышленных предприятий – магистральные посадки; концентрация таннинов в побегах растений, особенно произрастающих в промзонах, в течение вегетации растений увеличивается в 4-6 раз. По сравнению с ЗУК деревья в городских насаждениях отличаются более высоким содержанием общего азота в листьях, что может способствовать повышению ассимиляционной активности. Побеги тополя бальзамического активно накапливают зольные элементы, особенно в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий.

Клен ясенелистный (Acer negundo L.) отличается высокими баллами жизненного состояния, хотя в магистральных посадках в некоторых случаях имеет место некроз листьев. При увеличении углекислоты в атмосфере жизненное состояние этого вида снижается. Условия городской среды не оказывают существенного влияния на продолжительность вегетации клена ясенелистного, хотя сроки цветения сокращаются и задерживается начало листопада (в среднем на 11 дней). Клен ясенелистный обладает относительно высокой ИФ в насаждениях промышленных зон и магистральных посадках. В условиях техногенного стресса у этого вида более подавлены ростовые процессы (укорачиваются годовые побеги, уменьшается площадь и масса листьев), нежели ассимиляционная активность. При возрастании степени техногенной нагрузки клен ясенелистный способен снижать потери воды листьями. В магистральных посадках к концу вегетации содержание таннинов в побегах увеличивается, хотя следует отметить, что данный вид, по сравнению с другими изучаемыми видами, отличается самым низким их содержанием. Листья в разных типах насаждений содержат примерно одинаковое количество аскорбиновой кислоты, хотя при повышении концентрации углекислоты в атмосферном воздухе этот показатель снижается. Жизнен-

ное состояние клена ясенелистного в ЗУК невысокое. Здесь у него отмечено нарушение осеннего оттока основных элементов минерального питания из листьев в стеблевую часть побега. Листья рассматриваемого вида отличаются повышенной зольностью (11,2%), в магистральных посадках накапливают Zn, а в промзонах – Co, Cu и Mo. Накопление тяжелых металлов усиливается к концу вегетации, таким образом, происходит удаление избытка указанных элементов с листовым опадом, что является одним из механизмов адаптации.

Яблоня ягодная (Malus baccata (L.) Borkh) обладает высокими баллами жизненного состояния, меньше, чем другие виды подвержена болезням и поражению вредителями. Но увеличение концентрации окислов азота в атмосфере снижает ее ЖС, а содержание углекислоты – наоборот, положительно коррелирует с жизненным состоянием. В городских насаждениях у яблони ягодной на 3-5 дней раньше появляется зеленый конус листьев, а в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы продолжительность цветения увеличивается. Яблоня ягодная отличается высокой интенсивностью фотосинтеза, хотя техногенный стресс в большей степени подавляет ассимиляционную способность, чем ростовые процессы. В последнем случае в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки наблюдается увеличение длины побега, числа метамеров, хотя параметры ассимилирующего аппарата остаются неизменными. Интенсивность фотосинтеза снижается при возрастании содержания фенолов в атмосферном воздухе. В условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки этот вид способен снижать потери воды листьями. Механизмы адаптации яблони ягодной, скорее всего, обеспечиваются низкомолекулярными элементами антиоксидантной системы защиты: содержание аскорбиновой кислоты значительно увеличивается при возрастании степени техногенной нагрузки, в том числе при увеличении содержания углекислоты в атмосфере, а содержание таннинов к концу вегетации возрастает примерно в 10 раз. Весенние и осенние по-

беги у яблони ягодной отличаются высокой концентрацией общего азота. Нарушение осеннего оттока основных элементов минерального питания наблюдается только в зонах условного контроля. Установлено, что в магистральных посадках листья концентрируют Zn, имеют избыточное содержание Ni, а в насаждениях промышленных зон накапливают Co и имеют показатели избыточного содержания Pb и Mo. Как и у клена ясенелистного, у этого вида повышенные концентрации тяжелых металлов зафиксированы в листовом опаде.

Ель колючая (*Picea pungens* Engelm. f. *glauca* Regel.) отличается высоким уровнем изменчивости интенсивности фотосинтеза (1426%). Наиболее высокой интенсивностью ассимиляционной деятельности отличается в посадках промышленных зон, но при этом замечено существенное снижение содержания аскорбиновой кислоты в хвое. В указанном типе насаждений у ели колючей наблюдается удлинение годичного прироста. В магистральных посадках к осени снижается зольность хвои, тогда как в ЗУК она возрастает. В промзонах хвоя характеризуется избыточными концентрациями Mo и Cd, отмечено также накопление Co.

У караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) невысокие баллы жизненного состояния отмечены в магистральных посадках; здесь она особенно сильно поражается мучнистой росой, что отрицательно сказывается на интенсивности фотосинтеза. Вид обладает самой высокой лабильностью показателя ассимиляционной активности (2501%). В насаждениях промышленных зон растения подавлены в росте, хотя это не сказывается на интенсивности фотосинтеза, в магистральных посадках заметна обратная картина – показатели роста не имеют различий с зонами условного контроля, а фотосинтез ослаблен. Среди всех изученных видов карагана древовидная имеет самую низкую водоудерживающую способность листьев. В городских насаждениях концентрация таннинов в побегах растений увеличивается в 4–6 раз и положительно коррелирует с показате-

лем ИЗА ($r=0,68$). Листья отличаются повышенным содержанием общего азота, зависящем от концентрации окислов азота в атмосферном воздухе и нитратов в почвах, что подтверждено высокими значениями коэффициентов корреляции. Листья концентрируют Mn и Co, отмечено избыточное содержание в них Zn, Pb, Mo (в промзонах) и Ni (в магистральных посадках). У караганы древовидной наблюдается слабый отток азота из листьев в стеблевую часть побега в осенний период, что характерно для растений в насаждениях как СЗЗ промышленных предприятий, так и магистральных посадок.

Роза майская (*Rosa majalis* Herrm.) характеризуется невысокими баллами жизненного состояния. При возрастании содержания окислов углерода в атмосфере, жизненное состояние несколько возрастает. Зеленый конус листьев у данного вида в насаждениях специального назначения появляется позже. На состояние стресса роза майская реагирует снижением ростовых процессов и интенсивности фотосинтеза. ВС листьев существенно снижается в промзонах, а содержание аскорбиновой кислоты – в магистральных посадках, последняя, по видимому, расходуется на нейтрализацию негативного действия загрязнителей. Повышение содержания аскорбиновой кислоты в листьях способствует повышению их способности удерживать влагу, которая, в свою очередь, положительно коррелирует с показателем интенсивности фотосинтеза. Повышение концентрации фенола в атмосфере снижает содержание АК в листьях и их водоудерживающую способность. В листьях розы майской происходит накопление зольных элементов, а в осенний период наблюдается нарушение оттока азота из них в стеблевую часть побега.

Следует подчеркнуть, что наши исследования подтверждают мнение о том, что такие интродуцированные виды как тополь бальзамический, яблоня ягодная и карагана древовидная, по сравнению с аборигенными растениями, в условиях городской среды имеют более высокие показатели ассимиляционной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыгин Н.Е., Ярмишко В. Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001.
2. Быков О.Д. Бескамерный способ изучения фотосинтеза: метод. указания. Л.: ВНИИР им. Н.И. Вавилова, 1974.
3. ГОСТ 24556-89. Методы определения витамина С. М.: Изд-во стандартов, 1989.
4. Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: МГУ, 1971.
5. Краснощечкова Н.С. Эколого-экономическая эффективность зеленых насаждений: Обзорная информация. М.: ЦЕНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1987.
6. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981.
7. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979.
8. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002.
9. Папкина И.А. Методы интродукционного изучения растений. Ижевск: УдГУ, 2002.
10. Практикум по агрохимии / Сост. Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др. / под ред. Б.Я. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987.
11. Родин Л.Е., Релизов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968.
12. Руководство по анализам кормов / отв. ред. Л.М. Державин. М.: Колос, 1982.
13. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. и др. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов Европейской части России). Пушкино, 1990.
14. Стурман В.И., Гагарин С.А. Промышленные источники: вклад в загрязнение и пути его снижения // Воздушный бассейн Ижевска / под ред. проф. В.И. Стурмана. Москва – Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002.
15. Фенологические наблюдения над древесными и кустарниковыми растениями: методические указания по дендрологии. М.: МЛТИ, 1990.

ECOLOGICAL-BIOLOGICAL FEATURES OF ADAPTATION OF WOOD PLANTS IN CONDITIONS OF THE CITY ENVIRONMENT

© 2008 I. L. Bukharina

The Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk

As a result of complex studying morphological and physiological-biochemical parameters of the wood plants widely used in gardening of large industrial centre, the characteristic of their adaptive potential is given.