

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Алтайский государственный университет»

Институт биологии и биотехнологии
Кафедра экологии, биохимии и биотехнологии

**ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТЬЕВ ЯБЛОНИ В
УСЛОВИЯХ ГОРОДА БАРНАУЛА**
выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)

Выполнила: студентка
4 курса, группы 764
Бакиева Нуржан Кенешбековна

Научный руководитель:
докт. биол. н., профессор
Соколова Галина Геннадьевна

Допустить к защите:
зав. кафедрой Соколова Г.Г.

Выпускная квалификационная
работа защищена

Оценка _____

Председатель ГЭК:
Пузанов А.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБОЭКОСИСТЕМ

- 1.1. Значение древесных растений в урбоэкосистемах
- 1.2. Влияние городских условий на древесные растения
- 1.3. Влияние загрязнения атмосферы на растения
- 1.4. Устойчивость древесных растений к загрязнению
- 1.5. Фитоиндикация состояния воздушной среды городов

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 2.1. Природные условия г. Барнаула
- 2.2. Экологическое состояние г. Барнаула
- 2.3. Методы исследования

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТЬЕВ ЯБЛОНИ В Г. БАРНАУЛЕ

- 3.1. Эколого-биологические особенности яблони
- 3.2. Изменение симметричных морфологических признаков листа
- 3.3. Изменение несимметричных морфологических признаков листа
- 3.4. Оценка стабильности развития листьев яблони

ВЫВОДЫ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ПРИЛОЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Современный экологический кризис привел к проблеме взаимодействия общества и природы. Хозяйственная деятельность человека оказывает всестороннее влияние на окружающую природную среду, особенно в рамках городских экосистем. В городах в больших количествах накапливаются токсичные загрязняющие вещества в виде твердых, газообразных и пылевидных выбросов (Воскресенская и др., 2004). Все это создает угрозу здоровью населения, ведет к ухудшению условий существования человека и других организмов (Калверт, Инглунд, 1988; Мозговая, Шаронова, 2008; Толкач и др., 2008).

Длительное время человечество использовало в своей деятельности принцип неограниченного экономического роста, что привело к истощению природных ресурсов, нарушению среды обитания живых организмов. В настоящее время деградация окружающей среды происходит сразу по нескольким направлениям: загрязнение поверхностных и подземных вод, почв и атмосферного воздуха; уничтожение естественного растительного покрова, снижение биологического разнообразия; нарушение процессов круговорота веществ; уменьшение запасов биологических ресурсов и др. (Хрущев, 2001).

Очень актуальными стали исследования городской среды и связанных с ними экологических проблем. Ухудшение качества жизни городского населения напрямую связано с процессами урбанизации, которые за последнее время приобрели глобальный характер (Мозговая, Шаронова, 2008; Толкач и др., 2008). Атмосфера городов переполнена газообразными и пылевидными отходами, что влияет прежде всего на состояние древесной растительности, способствуя снижению интенсивности процессов фотосинтеза и обмена веществ, роста и развития листовых органов.

Растительность городов выполняет санитарно-защитные, эстетические, водорегулирующие, звукоотражающие и другие функции; снижает скорость

движения воздушных масс, способствует повышению ионизации воздуха, стабилизирует микроклимат в городских экосистемах.

Барнаул характеризуется повышенным уровнем загрязнения воздушной среды, он неоднократно входил число наиболее загрязненных городов России. Поэтому оценка состояния древесной растительности, используемой для озеленения, имеет важное теоретическое и практическое значение.

Целью нашей работы явилась оценка стабильности развития листьев яблони ягодной в условиях г. Барнаула.

В задачи исследования входили:

1. Выявить изменение билатерально симметричных морфологических признаков листа яблони ягодной, растущей в разных условиях в г. Барнауле.
2. Охарактеризовать изменение несимметричных морфологических признаков листа яблони ягодной, растущей в разных условиях в г. Барнауле.
3. Оценить стабильность развития яблони ягодной в условиях г. Барнаула.

ГЛАВА 1. ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБООКОСИСТЕМ

1.1. Значение древесных растений в урбоэкосистемах

В настоящее время современные городские экосистемы характеризуются достаточно высоким уровнем загрязнения воздуха и почв, в них происходит снижение доли зеленых насаждений. В пределах города могут изменяться микроклиматические характеристики городских экосистем, происходит деградация почвенного покрова и снижается флористическое и фаунистическое разнообразие (Маслов, 2003).

Растения в городских экосистемах выполняют важную роль в регуляции микроклимата, смягчая летнюю жару и сухость воздуха, защищают от палящего солнца и сильных ветров. Под кроной деревьев существенно снижается температура воздуха, причем это снижение температуры больше по сравнению с аналогичным в тени высоких зданий и сооружений. Аналогичное явление происходит при замене асфальта на травяной или почвенный покров (Шергина, Михайлова, 2007).

Зеленые насаждения влияют на климат городских территорий: летом температура воздуха в древесных насаждениях на 4–6°C ниже, чем на городских улицах. Среднемесячная температура воздуха в городских парках на 0,3–1,1°C ниже, чем на территории многоэтажной жилой застройки. В городе постоянно наблюдается перемещение воздушных масс от зеленых зон с менее нагретым воздухом к районам жилой застройки с более теплым воздухом. Суммарная солнечная радиация под кронами деревьев почти в 9 раз ниже, чем на открытом месте (Неверова, Колмогорова, 2003).

Древесные насаждения обладают повышенной отражательной способностью листьев по сравнению с грунтовыми и асфальтовыми покрытиями, что способствует снижению температуры воздуха в городах и созданию оптимальных условий для человека (Горышина, 1991).

Древесная растительность влияет на ионизацию воздуха. В воздухе присутствуют легкие аэроионы с отрицательным или положительным зарядом и тяжелые аэроионы с положительным зарядом. Наиболее благоприятное воздействие на живые организмы оказывают легкие отрицательные ионы. Носителями положительно заряженных тяжелых ионов обычно являются ионизированные молекулы дыма, водяной пыли, паров, загрязняющих воздух. Растения повышают количество лёгких отрицательно заряженных ионов в воздухе, способствуя его очищению. На человеческий организм умеренная ионизация воздуха влияет положительно (Горышина, 1989).

Максимальный эффект ионизации характерен для таких хвойных древесных растений как сосна обыкновенная, пихта сибирская, лиственница сибирская, ель обыкновенная, туя пирамидальная и др. Ионизирующим эффектом обладают и лиственные древесные породы – тополь чёрный, дуб красный и черешчатый, рябина обыкновенная, сирень обыкновенная, акация белая, береза карельская, дуб красный и черешчатый, ива белая и плакучая и др. (Горышина, 1991).

Поэтому для оздоровления воздуха городских экосистем рекомендуют смешанные древесные посадки, состоящие из разных видов хвойных и лиственных пород, которые максимально способствуют повышению концентрации легких аэроионов в воздухе городов.

Растительность является мощным противозрозионным фактором. Она создает шероховатость поверхности почвы, скрепляет почву корнями, защищает ее от водной и ветровой эрозии, улучшает структуру и водопроницаемость, способствует увеличению плодородия. Кроны древесных растений могут задерживать до 30% выпадающих атмосферных осадков (Константинов, Челидзе, 2001).

Зеленые насаждения испаряют влаги в 20 раз больше, чем занимаемая ими площадь, значительно повышая влажность воздуха. Например, 1 га 115-летних дубов ежегодно транспирирует 26 т воды, а 1 м² газона – до 200 г/ч, что значительно увлажняет воздух. Повышение влажности воздуха на 15%

воспринимается человеком как понижение температуры на 3,5°C (Машинский, Залогина, 1978; Неверова, Колмогорова, 2003).

Древесные растения являются универсальными природными фильтрами, они аккумулируют различные загрязняющие вещества из воздуха. Например, зеленые насаждения могут задерживать до 60–70% пыли, находящейся в воздухе. Как правило, содержание пыли в древесных насаждениях в 2–3 раза ниже, чем на незеленой территории (Машинский, Залогина, 1978; Неверова, Колмогорова, 2003). По данным В.И. Артамонова (1986), за вегетационный период тополь черный задерживает до 44 кг пыли, тополь белый – 34 кг пыли, клен ясенелистный – до 30 кг пыли.

Многие виды древесно-кустарниковых растений обладают антибактериальными свойствами, оздоравливая воздушную среду городов. К таким растениям относятся барбарис, береза бородавчатая, акация белая, груша, дубы, ели, жасмин, жимолость и др. (Горышина, 1991).

Санитарно-гигиенические свойства растений обусловлены их способностью выделять летучие органические соединения (фитонциды), которые способствуют угнетению и гибели болезнетворных микроорганизмов. Так как в воздухе городов содержится в несколько раз больше таких микроорганизмов, то фитонцидные свойства растений позволяют бороться с этой проблемой (Зарубин, Новиков, 1986).

Фитонцидной активностью обладают как хвойные (сосны, пихты, можжевельники, ели, лиственницы), так и лиственные породы (береза бородавчатая, дуб, черемуха, тополь, яблоня, груша), а также кустарники (сирень, барбарис, акация белая, чубушник, калина, ива, жимолость), газонные травы (кострец безостый, полевица белая, овсяница красная, мятлик луговой, ежа сборная) и декоративные травянистые растения (бархатцы, календула, гибискус) (Горышина, 1991; Арустамов и др., 2001).

Древесные насаждения в городах существенно снижают скорость ветра. Но при этом необходимо учитывать, что ветрозащитные свойства обеспечиваются посадками с оптимальной плотностью, т.к. при возрастании

плотности выше оптимальной может наблюдаться явление увеличения турбулентности воздушных потоков (Константинов, Челидзе, 2001). Максимальная ветрозащитная способность свойственна для невысоких насаждений с ажурной кроной деревьев не менее 30–40% (Захаров, Суховольский, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003).

Древесные растения обладают противозумовым эффектом, связанным с высокой звукоотражающей способностью листьев. Хорошо развитые кроны деревьев могут отражать до 75% звуков. На улицах с высокой степенью озеленения шум снижается в 10 и более раз по сравнению с улицами, на которых озеленение отсутствует (Горышина, 1989, 1991).

Массовые и групповые посадки древесных лиственных пород растений играют важную роль в снижении уровня городского шума. Например, лиственные насаждения средней густоты и высотой 7–8 м снижают шум на 10–15 дБ, а полоса насаждений шириной 200–250 м – на 35–45 дБ (Боговая, Теодоронский, 1990). В целом, растительность снижает шум в жилых и промышленных зонах в 2–2,5 раза (Горышина, 1991; Арустамов и др., 2001).

Шумозащитные свойства насаждений зависят от их ширины, густоты, высоты, конструкции и видового состава растений (Воскресенская и др., 2004). Более эффективно снижают шум деревья и кустарники, высаженные в шахматном порядке (Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2007). Максимальной шумопоглощающей способностью обладают клены, липы, калины, тополя, дубы, грабы и березы (Горбатовский, Рыбальский, 2003).

Таким образом, древесные насаждения выполняют в урбозкосистемах санитарно-гигиенические, антибактериальные; рекреационные; структурно-планировочные, эстетические, шумозащитные функции. Для достижения максимального оздоровительного эффекта и сохранения чистоты воздуха необходимо использовать комплексные многовидовые посадки древесных растений, использовать принцип разумной целесообразности, который включает в себя сочетание всех функций и учет экологических, эстетических и экономических факторов (Боговая, Теодоронский, 1990).

1.2. Влияние городских условий на древесные растения

Не только древесные растения оказывают влияние на городскую среду и играют важную роль в санитарном озеленении города, но и сами городские условия оказывают на них существенное влияние. Все факторы городской среды обитания древесных растений можно разделить на 2 группы: положительные и отрицательные (Машинский, Залогина, 1973). Отрицательные факторы городской среды влияют как на рост и развитие корневой системы (обеднение почвы биогенными элементами, уплотнение почвы, повышенная кислотность или щелочность почвы и др.), так и на рост и развитие надземной части растений (задымленность воздуха, запыленность воздуха, механические повреждения растений, болезни и вредители растений).

Световой режим. Световой режим в урбоэкосистемах зависит от географического положения, в том числе от количества поступающей солнечной радиации; от состояния воздушной среды города и уровня его загрязнения. Количество солнечной радиации снижается вследствие задымления и запыления воздуха, из-за частых туманов и смогов. На территории городских экосистем выделяются зоны, в которых интенсивность поступающей солнечной радиации снижена. К ним относятся территории предприятий, застройки многоэтажных жилых домов, которые создают прямое затенение (Горышина, 1991).

Особенностью светового режима городов состоит в том, что в городских экосистемах имеется дополнительное искусственное освещение улиц уличными фонарями, которое продляет световой день. Таким образом, растения в городе освещены и днем, и ночью растения. Ночное освещение очень слабое, оно не может обеспечить эффективное протекание процессов фотосинтеза. Но дополнительная подсветка продляет длину светового дня, что влияет на рост и развитие растений (Горышина, 1989).

Спектральный состав солнечного излучения в городах меняется из-за уменьшения прозрачности воздуха. Такой свет содержит меньше

ультрафиолетовых лучей, наиболее благоприятных для протекания процессов фотосинтеза.

Следовательно, в условиях городских экосистем растения используют ослабленную по интенсивности радиацию и ухудшенную по спектральным характеристикам.

Температурный режим. Тепловой режим городов формируется под влиянием различных факторов. Городские территории как поверхность воспринимают тепло. Они имеют большую теплопроводность за счет используемых строительных материалов и асфальтовых и плиточных покрытий, повышенную шероховатость за счет наличия многочисленных построек и многоэтажных домов. Такая поверхность легко и быстро нагревается и работает как калорифер, нагревая большие объемы воздуха (Горышина, 1991).

Разница летних температур в центре города по сравнению с пригородами составляют от 1–6°C в небольших городах до 8–10°C – в крупных городах (Хмелев, Березуцкий, 2001). Летом от нагретого асфальта и раскаленных железных крыш домов образуются восходящие потоки теплого воздуха, в котором могут накапливаться пылевые частицы и газообразные примеси. В дальнейшем пыль и загрязняющие вещества попадают на листья растений.

Нагретый асфальт отдает тепло не только приземному слою воздуха, но и поверхностным слоям почвы, что отражается на корневой системе растений. Температура почвы под самим асфальтом может достигать до 50–55°C (Лархер, 1978). Такие высокие температуры поверхностных слоев почвы, в которых расположены живые корни растений, приводят часто к гибели корневых окончаний, нарушая процессы всасывания воды и минеральных веществ растениями. Таким образом, для городских растений создается положительный температурный градиент (температура почвы выше, чем температура воздуха), свойственный для пустынных и полупустынных территорий (Горышина, 1991).

Температурный режим почвы в городах в зимний период времени достаточно суровый. На улицах городов, где снег убирают, почвы охлаждаются до -10 – -13°C , что приводит к промерзанию корней.

Таким образом, годовой перепад температур в городских почвах составляет 40 – 50°C , а в естественных сообществах он не превышает 20 – 25°C (Лархер, 1978).

Водный режим растений. Основным источником поступления воды в городах – это атмосферные осадки. Над городами часто выпадает на 10 – 15% больше осадков, чем над прилежащими к ним территориями. Значительная часть атмосферной влаги теряется для растений. Но даже в условиях обилия влаги растения часто испытывают ее недостаток, т.к. вода не проникает в почву, а скатывается с асфальтовых покрытий в канализационную сеть (Горышина, 1991).

Так как большой объем дождевых вод стекает в канализацию, это приводит к потере влаги, снижению количества испаряющейся влаги, ведет к и, соответственно, к уменьшению влажности воздуха в городах. Летом в городских экосистемах влажность воздуха на 5 – 6% ниже, чем в пригороде (Лархер, 1978). Поэтому древесные растения с их большим количеством испаряющих листьев оказываются в условиях почвенной засухи.

Обильный полив или частые дожди приводят иногда к застаиванию воды и уменьшению количества воздуха в почве. Все это также приводит к гибели корневой системы.

Почвы. Как правило, в городах формируются антропогенно нарушенные почвы, отличающиеся отсутствием четко выраженной структуры, с многочисленными, чередующимися слоями рыхлых и плотных горизонтов, часто засоренных строительным мусором. Наиболее посещаемые участки почв характеризуются высокой плотностью, снижением водопроницаемости, иссушением, ухудшением доступа воздуха к корням, торможением деятельности почвенных микроорганизмов (Якушина, 1982).

В лесопарковой и парковой зонах под тропиночно-дорожной сетью возникает система «почвенных вазонов» – чашеобразных замкнутых участков, в которых в сильную жару почва пересыхает, а после дождей в них застаивается вода. Такие явления неблагоприятно сказываются на водном режиме растений (Горышина, 1991).

Ежегодная осенняя уборка опавшей листвы приводит к нарушению биохимических процессов круговорота веществ. При этом не происходит возврата питательных веществ в почву, и она обедняется. Обеднению почвы способствует также ежегодное неоднократное скашивание травы на газонах.

Одной из причин снижения плодородия городских почв является нарушение оптимальных условий для нормальной жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Нередко почвы городов характеризуются стерильностью 0,5–1,0 метра глубины. Следовательно, поступающие в почву мертвые органические остатки не подвергаются разложению за счет почвенных бактерий–редуцентов, что также способствует снижению плодородия почв (Горышина, 1991).

Губительным для древесных растений является применение в зимнее время солей для быстрого таяния снега на дорогах. Для этого используется соль или песчано-солевые смеси. Их использование приводит к засолению городских почв. Поэтому в городах и вдоль автомагистралей формируются антропогенно засоленные почвы (Лархер, 1978).

В почву из воздуха вместе с осадками попадает также значительное количество загрязняющих веществ, что приводит к сокращению запаса питательных веществ, снижению или повышению рН почвы.

В городских условиях для крупномерных деревьев в скверах и парках в почве складывается ограниченная площадь питания. Деревья при этом растут практически в условиях кадочной культуры (Лархер, 1978).

Загрязнение атмосферного воздуха. Газовый состав воздуха по основным газам в городах для растений мало отличается от естественных местообитаний: кислорода для дыхания достаточно, углекислого газа для

фотосинтеза – тоже. Значительное отличие заключается в наличие загрязняющих веществ – тяжелых металлов, сажи, пыли, оксидов и диоксидов углерода, серы и азота, бенз(а)пирена и т.д. В атмосфере эти загрязняющие вещества присутствуют в разных формах – дымы, пыль, туман, смог и пр. (Майснер, 1981).

Загрязняющие вещества, содержащиеся в воздухе в большой концентрации, адсорбируются на клеточных оболочках растений, проникают в ткани листьев, накапливаются в различных органах растений, угнетают биохимические процессы.

Начальными признаками токсического воздействия загрязняющих веществ на растения является снижение транспирации и фотосинтеза, ухудшение поглощающих функций корня. Эти явления имеют вначале обратимый характер, но по мере накопления токсиканта резкие изменения ультраструктуры клеток, ухудшение углеводного, белкового и фосфорного обменов (Майснер, 1981).

Так, диоксид серы воздействует на устьичный аппарат, способствуя постоянному открытию устьиц и, соответственно, большим потерям воды за счет интенсивной транспирации. Диоксид углерода в высоких концентрациях, наоборот, способствует закрыванию устьиц, что нарушает процесс терморегуляции у растений.

Загрязняющие вещества оказывают влияние на клеточные мембраны, изменяя их целостность и приводя к нарушению баланса питательных веществ и процесса поступления ионов (Антипов, 1979).

Пылевые и зольные частицы поглощают большую часть солнечной радиации, ухудшают условия освещения, увеличивают облачность над городом, уменьшают в воздухе количество водяного пара. Инсоляция в городах летом на 20% ниже по сравнению с природными условиями, а зимой – на 50%. Ультрафиолетовое излучение в воздухе больших городов снижается в 5–10 раз. Сажа прочно оседает на листьях и не смывается дождем (Антипов, 1979).

Недостаток в городах солнечных лучей, особенно ультрафиолетовых, способствует развитию болезнетворных бактерий (Илькун, 1971).

Оседание пыли на растениях приводит к образованию пылевого чехла, препятствующего нормальному тепло- и влагообмену листа, уменьшающего доступ растению света. Содержащиеся в пыли водорастворимые соединения могут поступать в растение и оказывать токсическое влияние на обмен веществ (Кулагин, 1974).

Чувствительность растений и характер их повреждений в условиях загрязнения среды зависит от видовых особенностей, от токсичности отдельных компонентов. Каждый вид растений отличается по уровню поглощения и накопления фитотоксикантов и уровню устойчивости к ним (Покровская, 1973).

Широко распространённых в городской среде токсикантом является свинец, который накапливается в придорожной растительности. Интенсивное накопление свинца характерно для таких растений, как карагана древовидная, липа мелколистная и берёза повислая (Майснер, 1981).

Наиболее выносливыми к загрязнению растениями считаются древесные растения и кустарники, такие, как тополь черный, берёза бородавчатая, ива белая, черёмуха обыкновенная, акация белая, лох узколистный, сирень обыкновенная, некоторые виды яблонь, барбарис обыкновенный, вяз мелколистный, ель колючая, жимолость обыкновенная, калина, кизильник блестящий, облепиха обыкновенная, смородина золотистая, спиреи, снежноягодник белый (Артамонов, 1986).

Более устойчивыми к газам и дыму считаются деревья с кожистыми листьями, способностью быстро восстанавливать листву вместо опавшей, с ослабленным процессом фотосинтеза и дыхания. При произрастании на богатых почвах все растения более устойчивы, чем при произрастании на бедных почвах. Степень повреждения растений зависит также от их возраста.

У деревьев и кустарников в условиях сильной загазованности листья становятся мелкими, морщинистыми, свернутыми, гофрированными. Часто

края и кончики листьев и хвои под влиянием загрязняющих веществ изменяют свою окраску (пожелтение, побурение, побронзовение, покраснение и пр.), характеризуются наличием пятнистости, сухих кончиков и краев (Артамонов, 1986). У некоторых хвойных растений уменьшается длительность жизни хвои, разреживаются кроны. Многие виды травянистых растений становятся низкорослыми, даже если их не скашивают.

Наиболее чувствительны к газам и дыму в условиях городов ясень обыкновенный, клён остролистный, берёза пушистая, рябина обыкновенная, каштан конский (Горышина, 1991).

Биотические взаимоотношения. В природных растительных сообществах растения взаимосвязаны друг с другом определенными типами отношений, расходятся в своей конкурентной борьбе, обладают умеренным паразитизмом, создают внутреннюю среду сообществ, отличающуюся более благоприятными для жизни микроклиматическими условиями. В городе древесные и кустарниковые породы часто бывают лишены привычной фитоценотической обстановки, на улицах часто растут изолированно или далеко друг от друга.

В городе мало насекомых–опылителей, поэтому процессы опыления и плодоношения у насекомоопыляемых растений затруднены. Численность насекомых–вредителей и патогенных грибов иногда достаточно высока, т.к. она в городских условиях не регулируется естественными механизмами, которые сдерживают ее в естественных экосистемах (Горышина, 1991).

Таким образом, городские экосистемы являются неблагоприятными местами обитания для растений.

1.3. Влияние загрязнения атмосферы на растения

В наше время загрязнение воздушной среды городов происходит нарастающими темпами. Пригородные леса превращаются в лесопарки и малоценные сообщества с сильно изменившейся флорой (Горохов, 2005).

Загрязнение атмосферы воздуха приводит к снижению прироста древесины, отмиранию менее устойчивых древесных пород, к гибели отдельных участков леса. Газообразные вещества, проникая через устьица листа, нарушают процессы фотосинтеза и дыхания. Так, концентрация сернистого ангидрида в воздухе в соотношении 1:1000000 при повторных действиях в течение двух месяцев вызывает повреждение растений. Более высокие концентрации могут приводить к полной потере листьев растениями (Смит, 1988).

В последние десятилетия в литературе отмечаются случаи усыхания хвойных ценозов по причине загрязнения воздуха. Так, в течение 10 лет наблюдали быстрое прогрессирующее усыхание сосны обыкновенной и других пород в Италии в долине Аоста (Смит, 1985).

В результате мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине выявлено, что этот процесс обусловлен резкими колебаниями влажности воздуха в начале вегетационного периода, но усиливается при изменении экологической обстановки и увеличении загрязнения на сопредельной территории (Манько и др., 1998).

В течение 40 лет происходит сокращение количества дубов, сосен и акации в природных и искусственных насаждениях Венгрии на 10–70% (рис. 1). Такое явление обусловлено выбросами в атмосферу диоксида серы и оксида азота, которые приводят к явлению дефолиации у древесных растений (Горохов, 2005).

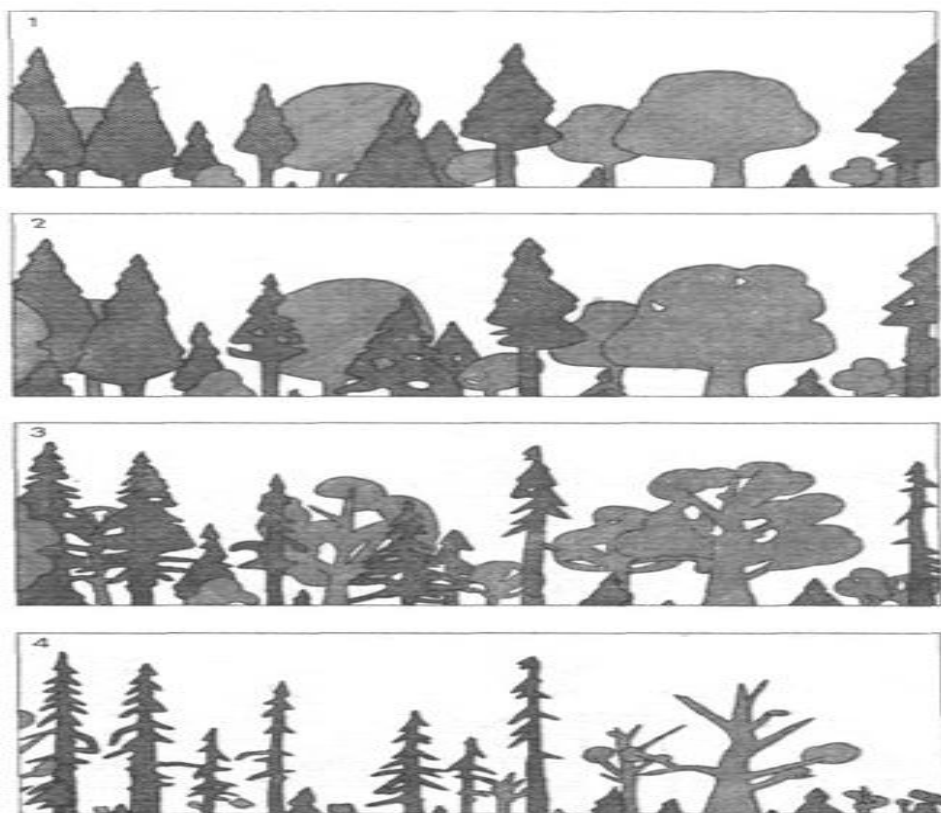


Рис. 1. Этапы гибели пораженной растительности (Горохов, 2005)

Даже небольшие концентрации газов в воздухе могут приводить к повреждению растений и даже их гибели. Нестойкими к атмосферному загрязнению являются хвойные растения (ели, сосны, пихты). Легко повреждаются газообразными токсикантами дубы, липы, каштан конский, береза пушистая, ясень манчжурский, клен остролистный, ясень обыкновенный, рябина обыкновенная. Страдают от атмосферного загрязнения и кустарники: барбарис обыкновенный, акация желтая, ломонос фиолетовый, облепиха, сирень обыкновенная (Горохов, 2005).

Все виды растений по степени газоустойчивости делятся на три группы (Горохов, 2005):

- очень чувствительные ($0,02-0,2 \text{ мг/м}^3$),
- среднечувствительные ($0,5-2 \text{ мг/м}^3$),
- малочувствительные ($> 2-8 \text{ мг/м}^3$).

Оксиды и диоксиды серы оказывают прямое и косвенное влияние на растения как на анатомо-морфологическом уровне, приводя к хлорозам и некрозам листьев, так и на физиолого-биохимическом уровне, способствуя подавлению интенсивности процессов фотосинтеза, дыхания, поглощения питательных веществ, транспирации. Хроническое повреждение растений и скрытые физиологические повреждения проявляется даже при небольшом ($0,1 \text{ мг/м}^3$), но длительном воздействии окислов серы (Горохов, 2005).

Выделяются три механизма влияния двуокиси серы на растения (Горохов, 2005): через нарушение процесса фотосинтеза, посредством изменения рН клеточной среды, за счет сульфатного отравления при накоплении серы в листьях или хвое

Более высокой устойчивостью обладают интродуцированные виды, которые обладает, как правило, высоким уровнем адаптации и широким диапазоном толерантности к действию экологических факторов. Также чувствительными являются виды, у которых имеются многолетние листья (например, хвойные). Установлено, что минимальные концентрации двуокиси серы, вызывающие скрытые повреждения, составляют $0,02 \text{ мг/м}^3$ (Горохов, 2005).

Пылевое загрязнение отрицательно влияет на растения, приводя к повышению температуры воздуха и перегреву растений. Попадающая из атмосферы на растения сажа закупоривает устьица листьев, плохо смывается дождями, замедляет рост и развитие вегетативных и генеративных органов растений. Отходы цементной промышленности приводят к сухостершинности и отмиранию ветвей у древесных пород. Этилен вызывает более раннее опадение листьев у древесных растений (Горохов, 2005).

Антропогенное загрязнение опасно тем, что пылевые и газообразные выбросы широко распространяются воздушными течениями, отрицательно воздействуя на растительность далеко от источника загрязнения (Горохов, 2005).

1.4. Устойчивость древесных растений к загрязнению

В крупных городах климат характеризуется более высокой среднегодовой температурой воздуха, которая на 0,5–5°С выше по сравнению с пригородной зоной. На его формирование влияет усиленный приток антропогенного тепла от промышленных предприятий, транспорта, отопительных систем, также от асфальтовых и плиточных покрытий улиц, многочисленных зданий и сооружений (Златкова, Ценкова, 1988). Тепловой баланс городских экосистем зависит от размера городской застройки, наличия промышленных предприятий, планировки города и особенностей циркуляции воздуха (Кавеленова, 2006).

Для промышленных зон больших городов характерны запыленность, задымление воздуха, частая повторяемость туманов, снижение интенсивности солнечной радиации от 20% (слабо загрязненные районы города) до 50% (сильно загрязненные районы города), уменьшение прямой и увеличение рассеянной радиации, повышенное содержание аэрозолей в воздухе (Лингова, Иванчева, 1988; Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2007). В районах с многоэтажной застройкой растения испытывают недостаток света из-за прямого затенения (Боговая, Теодоронский, 1990; Стурман и др., 2002). Дополнительное освещение улиц искусственно продлевает длину светового дня, влияет на процессы фотосинтеза и ритмы развития растений (Неверова, Колмогорова, 2003; Образцова, Фрумин, 2005).

В городских условиях деревья стареют в 7–8 раз быстрее, чем в естественных условиях (Боговая, Теодоронский, 1990). В молодом возрасте часто деревья не имеют высокой декоративной ценности и слабо влияют на микроклимат городов (Кулагин, 1974; Илькун, 1971). Ослаблена их роль в оздоровлении городского воздуха (Машинский, Залогина, 1973).

Высокая степень интенсивности фотосинтеза позволяет лиственным древесным растениям поглощать углекислый газ, выбрасываемый промышленными предприятиями, со скоростью 8 л/ч углекислоты на 1 га

зеленых насаждений, что соответствует выделению такого же его во время дыхания 200 людьми (Машинский, Залогина, 1978; Бухарина и др., 2007). Хвойные древесные растения характеризуются меньшей интенсивностью фотосинтеза, но его продуктивность выше в силу более продолжительного периода вегетации (Антипов, 1979).

Кроме того, многие лиственные деревья обладают высокой фотосинтетической активностью в условиях низкой освещенности, в то время как хвойные породы проявляют такую же фотосинтетическую активность только при достаточном количестве света. Один гектар зеленых насаждений может выделять до 200 кг кислорода в сутки. Более продуктивным по данному показателю является тополь, широко используемый для озеленения городов (Горбатовский, Рыбальский, 2003).

Древесные растения обладают избирательной способностью по отношению к вредным примесям, поэтому часто отличаются и различной устойчивостью к ним. Особенно опасны для растений кислые, легкорастворимые в воде промышленные газы (SO_2 , NO , NO_2 , HF , HCl), вызывающие увеличение проницаемости клеточных мембран в листьях (Илькун, 1971; Бухарина и др., 2007).

По данным Ю.З. Кулагина (1974), лучшими газопоглощающими свойствами обладают такие растения, как тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borch.).

При озеленении городских территорий необходимо планировать структуру озеленения с включением всех типов зеленых насаждений (посадки деревьев, кустарников, газонов), так как каждый из них выполняет определенные функции. Радиус действия зеленых насаждений невелик, поэтому необходимо вводить зеленые насаждения вглубь застройки. Оптимальным вариантом является размещение зеленых насаждений среди застройки. Плотность посадок деревьев и кустарников должна обеспечивать

затенение не менее 50% занимаемой территории (Машинский, Залогина, 1978).

Таким образом, оптимизация озеленения городской среды требует экологического подхода с учетом действия всех абиотических факторов; дифференцированного подбора растений, сочетающего декоративные качества, устойчивость к загрязнению и способность осуществлять средообразующие функции.

1.5. Фитоиндикация состояния воздушной среды городов

Загрязнение атмосферного воздуха наносит значительный ущерб здоровью горожан, техническим и жилым объектам, зеленым насаждениям. Для контроля состояния воздушного бассейна используют метод фитоиндикационные методы оценки состояния окружающей среды (Самусенко, 2016).

Фитоиндикация как метод оценки качества окружающей среды широко используется в системе экологического мониторинга, отличается от других методов невысокой стоимостью, простотой интерпретации, достоверностью оценки загрязнения окружающей среды (Неверова, Колмогорова, 2003). Многие исследователи для повышения степени достоверности экологических оценок рекомендуют использовать несколько методов фитоиндикации – лишеноиндикацию, дендроиндикацию, бриоиндикацию, альгоиндикацию и т.д.

Фитоиндикация стала использоваться как метод оценки состояния среды обитания живых организмов в XIX в. С помощью биоиндикационных методов решаются практические задачи определения глубины залегания грунтовых вод, степени засоления почв, поиска полезных ископаемых и геохимических аномалий и т.п. (Опекунова, 2016).

При использовании фитоиндикационных методов оценивается ответной реакция растений на условия среды, уровень загрязнения, интенсивность

воздействия и пр. Поэтому среди растений выделяют биоиндикаторы с высокой чувствительностью к поллютантам и биоиндикаторы-накопители. В связи с особенностями метаболизма (в частности, наличия высокочувствительного фотосинтетического аппарата) растения чаще всего используют для диагностики загрязнения атмосферного воздуха, почв и водных экосистем (Неверова, 2009).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Природные условия г. Барнаула

Барнаул – это самый населенный по численности, город в Алтайском крае. Он располагается на территории лесостепной зоны Западно-Сибирской равнины, в северо-восточной части Приобского плато. Территориально город расположен в верхнем течении Оби на её левом берегу, в месте впадения реки Барнаулки в Обь. С севера и востока Барнаула находится русло реки Обь, на юго-западе – ленточный бор. Географические координаты: 53°20' с.ш. 83°46' в.д. Благодаря своему местоположению в лесостепной зоне город Барнаул подвергается воздействию различных воздушных масс, поступающих с полупустынных районов Средней Азии, со стороны гор Алтая и Арктики (Леконцев, 2000).

Рельеф. Северная часть городской территории расположена на Приобском плато, поверхность которого имеет наклон с северо-запада на юго-восток к долине р. Барнаулки. Рельеф Приобского плато осложнен наличием эрозионных геоморфологических структур средних и мелких форм. Склон плато по левобережной стороне долины р. Барнаулки пологий (уклон 2–5°). Правобережный склон, обращенный к долине р. Барнаулки, относительно крутой (20–50°) с высотой 25–40 м (Швецов, 2000).

Долина р. Барнаулки террасированная, представляет собой типичную аккумулятивную форму рельефа, прослеживается в центральных районах города и представлена поймой и тремя надпойменными террасами (Швецов, 2000).

Климат города Барнаула характеризуется резкой континентальностью (короткое жаркое лето, малоснежная зима). Амплитуда колебаний температур от +38,3 до –51,5°С. Самый холодный месяц – январь (–17,5°С), самый теплый – июль (+19,8°С). Среднесуточная температура воздуха выше 0°С держится 203 дня, выше 5°С – 166 дней, выше 10°С – 131 день и выше 15°С – 91 день.

Среднегодовое количество осадков составляет 521 мм, наибольшее их количество (70 мм) выпадает в июле, наименьшее – в феврале и марте (27 мм). Устойчивый снежный покров образуется в ноябре, разрушается в середине апреля. Преобладает ветер юго-западного направления со средней скоростью – 3,2 м/с, с колебаниями от 2,3 м/с в июле до 4,1 м/с в ноябре. За год наблюдается 39 дней с сильным (>15 м/с) ветром. В среднем за год отмечается 47 дней с метелью, 18 дней – с туманом, 28 дней – с грозой, 8 дней – с пыльными бурями, 3 дня – с градом. Суммарная продолжительность солнечного сияния за год – 2025 часов. Среднее атмосферное давление – 751 мм рт. ст. (Леконцев, 2000).

Умеренный континентальный тип климата Барнаула отличается неустойчивостью погоды, обусловленной чередованием воздушных масс различного происхождения. Изменчивость температуры воздуха в городе значительная. Наибольшая изменчивость средней месячной температуры воздуха в течение года наблюдается при переходе от марта к апрелю, а наименьшая – от января к февралю.

Зимой температура почвы на глубинах понижается. Большое влияние на степень понижения оказывает высота снежного покрова. В ноябре и декабре температура почвы опускается ниже 0°C до глубины 40 см и ниже. Чем глубже располагается слой почвы, тем на более поздний срок сдвигается минимум ее температуры. Если на поверхности почвы и в верхних слоях (20 – 40 см) самые низкие температуры наблюдаются в феврале, то с глубиной минимум сдвигается на март и апрель. Летом наступление максимума с глубиной также запаздывает. Наибольшее прогревание почвы от поверхности до глубины 40 см происходит в июле (Харламова, 2013).

По увлажненности город Барнаул относят к зоне с недостаточным увлажнением, из-за малого количества атмосферных осадков. В течение всего года воздушные массы в городе сухие, особенно весной и вначале лета.

Ветровой режим преобладает повышенными скоростями, во все времена года преобладают ветра юго-западного направления. Нестабильные погодные

условия обеспечили в городе климат с многообразными природными условиями, зимы с очень сильными и суровыми морозами, между сезонами происходят нестабильные скачки температур, лето с прохладными температурами (Леконцев, 2000).

Растительность. Барнаул расположен в подзоне южной лесостепи, коренная растительность которой представлена степными, лесными и пойменно-луговыми типами. Природно-территориальные комплексы естественного происхождения в городе сохранились в пойме Оби. Они представлены широко распространенными разнотравно-злаковыми ассоциациями. Леса занимают микропонижения водоразделов, днища и склоны балок. Лесной тип растительности представлен березовыми или березово-осиновыми колками. Также на территории города располагается уникальный сосновый ленточный бор.

Городская растительность представлена несколькими парками (Юбилейный, Центральный, Солнечный ветер, Изумрудный, Лесная сказка, Нагорный), скверами и отдельными группами насаждений у зданий и жилых домов. Основные древесные породы, используемые для озеленения города – тополь чёрный, рябина, берёза бородавчатая, ель сибирская, яблоня.

Зеленые насаждения улучшают микроклимат города и способствуют оздоровлению воздушной среды за счет поглощения углекислого газа, выделения кислорода, снижения температуры воздуха, увеличения влажности, снижение шума и уровня загрязненности.

Парки и скверы, индивидуальные и групповые посадки деревьев и кустарников, клумбы, газоны и цветники играют важную роль в благоустройстве города Барнаула.

2.2. Загрязнение атмосферы г. Барнаула

Барнаул является столицей Алтайского края, характеризуется большой концентрацией населения и различных промышленных предприятий на

ограниченной территории, оказывающих негативное воздействие на природную среду. Большая часть города относится к территории с напряженным экологическим состоянием. Основными источниками загрязнения воздушной среды города являются ТЭЦ, промышленные предприятия промышленности и автотранспорт (Мальцева, Жукова, 2019).

Потенциал загрязнения атмосферы г. Барнаула – высокий, чему способствует средняя скорость ветра 3,2 м/с и его повторяемость до 44% (Состояние..., 1996). Периоды с безветрием и температурной инверсией характеризуются сосредоточением газообразных токсикантов близ земной поверхности. Низкая облачность и туман так же приводят к резкому возрастанию загрязненности воздуха (Кулагин, 1985).

Концентрации диоксида серы низкие, максимальные разовые не превышают ПДК. Средние за год концентрации диоксида азота повсеместно превышают 1 ПДК и среднюю концентрацию по России. Наибольшая среднегодовая концентрация примеси 4 ПДК и наибольший процент превышения ПДК в пробах вблизи магистрали с интенсивным движением автотранспорта. Максимальные разовые концентраций на всех станциях превышены на 9 ПДК. Наибольшая достигла 16,4 ПДК. Среднемесячные и максимальные из разовых концентраций оксида азота в целом по городу и на всех станциях были ниже 1 ПДК (О состоянии и охране ..., 2018).

Средняя за год концентрация пыли почти на всей территории города в пределах 1 ПДК, но в районе Потока – превышает ПДК и средний показатель по России почти в 2 раза. Причиной большой запыленности является низкая благоустроенность территории (О состоянии и охране ..., 2018).

Концентрации оксида углерода в пределах 1 ПДК. Максимальная из разовых концентраций сероводорода превысила ПДК в 1,1 раза. Среднегодовая концентрация сажи не превышает 1 ПДК. В старой части города максимальное значение этой примеси превысило ПДК почти в 3 раза. Службой СЭН в Железнодорожном районе в октябре зафиксированная концентрация сажи составила 17,5 ПДК. Среднегодовая концентрация фенола

почти на всех станциях равна 1 ПДК, максимальная из разовых здесь достигла 7,5 ПДК. Средние за год концентрации формальдегида по районам города изменялись от 1,7 до 3,3 ПДК, максимальная из разовых превысила ПДК почти в 4 раза (пл. Октября). Загрязнение металлами (железо, кадмий, марганец, медь, никель, свинец, хром, цинк) невелико, среднемесячные значения не превышают ПДК (О состоянии и охране ..., 2018).

Уровень загрязнения воздуха: высокий, $ИЗА_5=8,03$ (без бенз(а)пирена) что обусловлено значительными выбросами, неблагоприятными условиями для рассеивания выбросов и неудовлетворительным санитарным состоянием значительной части города. Тенденция за период 1996–2000г: средний уровень загрязнения пылью и формальдегидом снизился; диоксидом серы, диоксидом азота и фенолом повысился; оксидом углерода, оксидом азота и сероводородом, сероуглеродом и сажой – не изменился. Атмосферные осадки в течение года в большинстве случаев имеют равновесную реакцию (49,80%), в 28,90% случаев – слабокислую, в 19,40% нейтральную и в 1,90% – слабощелочную (О состоянии и охране ..., 2018).

2.3. Методы исследования

Методы сбора материала. Для оценки флуктуирующей асимметрии и стабильности развития нами были заложены пробные площадки в 16 точках г. Барнаула, расположенные вдоль 4 крупных автомагистралей города: по проспекту Красноармейскому, по проспекту Социалистическому, по проспекту Ленина и по проспекту Комсомольскому. В качестве контроля взята точка произрастания яблони в г. Новоалтайске.

Сбор листьев проводился в летний период времени, после максимального роста и достижения листьями стандартных размеров (в июле). Листья отбирались с деревьев, достигших генеративного возрастного состояния и растущих на открытых участках, чтобы избежать стрессового влияния затенения и увлажнения. Одна выборка включала в себя 100 неповрежденных

листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Отбор осуществлялся из нижней части кроны равномерно со всех сторон дерева. Листья помещались в гербарные листы, этикетировались и высушивались. В этикетке указывались места сбора, дата и отмечались особенности расположения.

Всего собрано 1700 листьев яблони ягодной в 17 точках г. Барнаула (табл. 1).

Таблица 1

Точки отбора проб листьев яблони в г. Барнауле

№№	Точка сбора проб
1	Контроль
2	пр. Социалистический, 61
3	пр. Социалистический–ул. Интернациональная
4	пр. Социалистический–ул. Чкалова
5	пл. Свободы
6	пр. Комсомольский, 44
7	пр. Комсомольский, Театр музкомедии
8	пр. Комсомольский–ул. Кирова
9	пр. Комсомольский–ул. Димитрова
10	пр. Комсомольский–ул. Молодежная
11	пр. Комсомольский–ул. Пушкина
12	пр. Ленина, гл. корпус АлтГТУ
13	пр. Ленина–ул. Партизанская
14	пр. Ленина–ул. Короленко
15	пр. Красноармейский–ул. Молодежная
16	пр. Красноармейский, ТЦ Гуливер
17	пл. Демидовская

Оценка флуктуирующей асимметрии листьев. Для оценки флуктуирующей асимметрии нами взяты пять билатерально симметричных морфологических признаков, характеризующих общие особенности листа, удобные для учета и дающие возможность однозначной оценки: ширина левой и правой половинок листа, длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, расстояние между концами первой и второй жилок

второго порядка, угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка (Баранов, Бурдакова, 2015).

Измерения проводились на гербаризованном материале с использованием циркуля-измерителя, линейки и транспортира. Все измерения проводили на внутренней (брюшной) стороне листа, с левой и правой сторон листа (рис. 1). Измерение ширины листа проводили посередине листовой пластинки. Для этого лист складывали пополам, совмещая верхушку с основанием листовой пластинки, затем разгибали лист и по образовавшейся складке проводили измерения.

Величину асимметрии у растений рассчитывали по формуле (Захаров и др., 2001):

$$(Л-П): (Л+П), \text{ где}$$

Л – промер с правой стороны листа, П –промер с левой стороны листа.

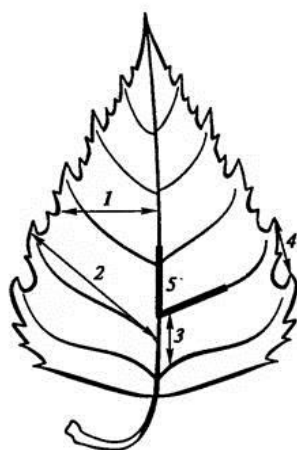


Рис. 1. Морфометрические параметры листа яблони: 1 – ширина левой и правой половинок листа; 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка (Баранов, 2015)

Для вычисления показателя флуктуирующей асимметрии листьев яблони проводили следующие виды вычислений (Биологический контроль ..., 2007; Баранов, Бурдакова, 2015):

1. Вычисляли сумму значений каждого морфологического признака справа и слева для каждой листовой пластинки яблони.

2. Определяли разницу значений каждого морфологического признака справа и слева для каждой листовой пластинки яблони.

3. Выявляли величину асимметрии как соотношение между разницей значений и суммой значений каждого морфологического признака для каждой листовой пластинки яблони.

4. Вычисляли среднеарифметическое значение всех величин асимметрии для одного листа.

5. Вычисляли величину асимметрии в выборке для всех листьев по каждой точке произрастания яблонь.

6. Оценивали стабильности развития листьев яблони, растущей в условиях г. Барнаула по пятибалльной шкале.

Для оценки степени нарушения стабильности развития использовали пятибалльную шкалу (табл. 1), в которой 1 балл – условная норма; 5 баллов – критическое значение, которое характеризует неблагоприятные условия произрастания, когда растение находится в сильно угнетенном состоянии; значения в 3–4 балла соответствуют значительным отклонениям от нормы.

Таблица 1

Шкала оценки отклонений организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития (Захаров и др., 2000)

Балл	Величина показателя стабильности развития	Характеристика развития
I	$<0,040$	Условная норма
II	0,040–0,044	Растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов
III	0,045–0,049	Загрязненные районы
IV	0,050–0,054	Сильно загрязненные районы
V	$>0,054$	Крайне неблагоприятные условия, растения находятся в сильно угнетенном состоянии

Все необходимые вычисления и расчеты проводились в программе Microsoft Excel. Для оценки статистически значимых различий между

выборками по величине индекса стабильности развития использовали t -критерий Стьюдента (Лакин, 1980; Зайцев, 1990).

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

Сведения изъяты

ВЫВОДЫ

1. Все билатерально симметричные морфологические признаки листьев яблони ягодной в условиях г. Барнаула подвергаются изменению в зависимости от условий произрастания. Такие билатеральные морфологические параметры листа яблонь, как угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка и расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, достоверно уменьшаются по сравнению с контролем.

2. Ширина левой и правой половинок листа; длина второй от основания листа жилки второго порядка; расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка достоверно изменяются в сторону увеличения (при произрастании в парках и скверах, а также на значительном удалении от дорог) и уменьшения (при произрастании вдоль автомагистралей) по сравнению с контролем.

3. Несимметричные морфологические параметры листьев яблони – вес листа и длина черешка – мало зависят от места произрастания и достоверно не отличаются от контроля. Длина листьев яблони достоверно увеличивается по сравнению с контролем при слабом загрязнении и достоверно уменьшается по сравнению с контролем при сильном загрязнении воздуха.

4. Стабильность развития листьев яблони ягодной в условиях г. Барнаула характеризуется как критическое состояние.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. – Минск: Наука и техника, 1979. – 215 с.
2. Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. – М.: Наука, 1986. – 172 с.
3. Арустамов Э.А., Левакова И.В., Баркалова Н.В. Экологические основы природопользования. – М.: Дашков и К°, 2001. – 236 с.
4. Баранов С.Г., Бурдакова Н.Е. Оценка стабильности развития. Методические подходы. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 72 с.
5. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотетсирование. – М.: МГУ, 2007. –288 с.
6. Боговая И.О., Теодоронский В.С. Озеленение населенных мест. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
7. Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Экологобиологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
8. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Копылова Т.И., Сарбаева Е.В., Баранова А.Н. Экология города Йошкар-Олы. – Йошкар-Ола, 2004. – 200 с.
9. Горбатовский В.В., Рыбальский Н.Г. Экологическая безопасность в городе [Электронный ресурс]. 2003 URL: <http://old.priroda.ru> (Дата обращения: 10.05.2020).
10. Горохов В. А. Зеленая природа города. – М.: Архитектура, 2005. – 528 с.
11. Горышина Т. К. Растение в городе. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. – 148 с.
12. Горышина Т. К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 204 с.
13. Губанов и др. *Betula pendula* Roth (*B. verrucosa* Ehrh.) – Берёза повислая, или бородавчатая // Иллюстрированный определитель растений

Средней России. В 3-х т. – Т. 2. Покрытосеменные. – М.: Т-во науч. изд. КМК, Ин-т технолог. иссл., 2003. – С. 31.

14. Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. 2. Покрытосеменные / под ред. С. Я. Соколова. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 306–307.

15. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1973. – 256 с.

16. Зарубин Г.П., Новиков Ю.В. Гигиена города. – М.: Медицина, 1986. – 79 с.

17. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.Л, Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. — М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

18. Златкова Л., Ценкова А. Влияние города на режим метеорологических элементов // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. – Л., 1988. – С. 131–136.

19. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова Думка, 1978. – 247 с.

20. Илькун Г.М. Газоустойчивость растений: Вопросы экологии и физиологии. – Киев: Наукова думка, 1971. – 146 с.

21. Кавеленова Л.М. Проблемы организации системы фитомониторинга городской среды в условиях лесостепи. – Самара: Универсгрупп, 2006. – 222 с.

22. Калверт С., Инглунд Г. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. – М.: Металлургия, 1988. – 286 с.

23. Константинов В.М., Челидзе Ю.Б. Экологические основы природопользования. – М.: Академия, 2001. – 208 с.

24. Кулагин Ю. З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование. – М.: Наука, 1985. – 116 с.

25. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. – 125 с.

26. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

27. Лархер В. Экология растений. – М.: Наука, 1978. – 384 с.
28. Леконцев Б.А. Климат Барнаула / Барнаул: Энциклопедия. – Барнаул: АлтГУ, 2000. – С. 54–60.
29. Лингова С., Иванчева Ю. Радиационный режим в городских условиях // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы, 1988. – Вып. 3. – С. 232–236.
30. Майснер А.Д. Жизнь растений в неблагоприятных условиях. – Минск: Высшая школа, 1981. – 96 с.
31. Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. и др. Мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов в центральном Сихотэ-Алине // Лесоведение – 1998. – № 1. – С. 3–15.
32. Маслов Н.В. Градостроительная экология. – М.: Высшая школа, 2003. – 284 с.
33. Мальцева А. Е., Жукова О. А. Экологические критерии оценки качества жизни и здоровья населения алтайского края // Здоровье и окружающая среда, 2019. – С. 31–33.
34. Машинский В.Л., Залогина Е.Г. Проектирование озеленения жилых районов. – М.: Стройиздат, 1978. – 113 с.
35. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера, 2009. – №1. – С. 118–128.
36. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты. – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.
37. О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае [Электронный ресурс]. 2018. URL:// http://altaipriroda.ru/doklady/eko_doklady (Дата обращения: 25.12.2019).
38. Образцова А.С., Фрумин Г.Т. Антропогенное давление на территории крупных городов России // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: РГГМУ, 2005. – С. 47.

39. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2016. – 266 с.
40. Покровская С. Ф. Влияние загрязнения воздуха на растения. – М.: Наука, 1973. – 52 с.
41. Самусенко К. С. Оценка качества воздушного бассейна города Щучина методами фитоиндикации // Научные стремления, 2016. – №18. – С. 1–3.
42. Сергиевская Е. В. Систематика высших растений: Практический курс. – СПб.: Лань, 2002. – С. 231–233.
43. Смит У. Х. Лес и атмосфера. – М.: Прогресс, 1985. – 428 с.
44. Смит У.Х. Поглощение загрязняющих веществ растениями // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 460–499.
45. Стурман В.И., Малькова И.Л., Загребина Т.А. Климат города. Основные параметры // Воздушный бассейн Ижевска. – Москва–Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – С. 16–23.
46. Толкач О.В., Добротворская О.Е., Черноусова Н.Ф. Лесопарки как составляющая городских экосистем // Урбоэкосистемы: Проблемы и перспективы развития, 2008. – Ишим, 2008. – С. 151–152.
47. Харламова Н. Ф. Климат и сезонная ритмика природы Барнаула. – Барнаул: изд-во Алтайского госуниверситета, 2013. – 132 с.
48. Хмелев К.Ф., Березуцкий М.А. Состояние и тенденции развития флоры антропогенно-трансформированных экосистем // Журнал общей биологии, 2001. – №4. – С. 339–351.
49. Хрущев А. Т. Экономическая и социальная география России. – М.: Дрофа, 2001. – 672 с.
50. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2007. – 200 с.

51. Швецов А.Я. Рельеф территории Барнаула. – Барнаул: АлтГУ, 2000. – С. 257–258.

52. Якушина Э.И. Древесные растения в озеленении Москвы. – М., Наука, 1982. – 158 с.