

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

М. А. Михеева, А. И. Федорова

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 10 мая 2011 г.

Аннотация: Изучалось действие экстремальных высоких температур на древесные растения при произрастании в городской среде. Засушливые и жаркие погодные условия влекут за собой целый ряд опасностей для растений: сильное обезвоживание и иссушение, ожоги, разрушение хлорофилла, захват, гибель ветвей, необратимые расстройства дыхания и др. Оценка засухо- и жароустойчивости растений является важной основой для создания и сохранения зеленых насаждений города.

Ключевые слова: городская среда, древесные растения, засухоустойчивость, жароустойчивость, высокие температуры, суховеи, захват, засуха.

Abstract: The effect of extreme high temperatures on woody plants which growing in an urban environment has been studied. Dry and hot weather conditions entail a number of threats to plants: severe dehydration and dryness, burning, destruction of chlorophyll, seizure, death of branches, irreversible respiratory disorders, etc. Evaluation of drought- and heat stability of plants is an important foundation for the creation and preservation of green space the city.

Key words: urban environment, woody plants, drought resistance, heat resistance, high temperature, drought, capture, drought.

Климатические условия оказывают непосредственное влияние на растительность главным образом двумя своими характеристиками: температурой и атмосферным увлажнением (режимом осадков). По средним показателям климатические условия лесостепи достаточно благоприятны для произрастания древесной растительности [16]. Однако неустойчивый характер увлажнения, типичный для этой зоны, может периодически вызывать для растительности весьма неблагоприятные последствия. Наибольшее отрицательное влияние могут оказывать засухи и суховеи.

Объективным показателем увлажнения и повторяемости атмосферных засух является гидро-термический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК), представляющий собой отношение суммы осадков за май-сентябрь (в см) к сумме температур за этот же период. Этот показатель используется для объективной оценки климатических условий природных зон. Рассчитанный ГТК, по многолетним данным метеостанции «Воронеж», равен 0,91, что подтверждает засушливость Центрального Черноземья в целом [12].

Засухи на территории ЦЧО в XIX в. наблюдались в 1901, 1905, 1906, 1908, 1911, 1914 1917, 1920, 1921, 1924, 1934, 1936, 1938, 1939, 1946, 1951, 1963, 1972, 1975, 1981, 1984, 1995 [2, 6].

В районе Воронежа в среднем за год наблюдается 5 засушливых периодов продолжительностью в 9 дней и более. Наиболее часто наблюдаются периоды в 9-15 дней. В 1928 г. засушливый период был в течение 72 дней, в 1938 г. он определялся 80 днями, в 1939 г. длился 75 дней, в 1946 г. – 67 [7].

За последние десять лет наиболее жаркие летние сезоны были в 1996, 1998, 1999, 2002, 2007, 2010 годах.

Основные исследования жаростойкости древесных пород проведены нами в г. Воронеже в течение лета 2010 года, когда с конца июня до начала августа лето характеризовалось аномально жаркой погодой. Самая высокая температура для г. Воронежа была зафиксирована 2 августа +40,5°С, относительная влажность – 30-31 %, при наличии сильного ветра (суховея). Согласно данным Гидрометцентра эта температура стала абсолютным годовым рекордом за период с 1918 года. 10 августа 2010 года среднесуточная температура дости-

гала +31,4°С. Осадков в июне и в июле выпало значительно меньше нормы.

Следует отметить, что наши полевые наблюдения проводились в так называемом «острове тепла», установленном для г. Воронежа В. Я. Хрипяковой [20]. Температура воздуха здесь в некоторые периоды выше на 2-7°С, чем на окраинах города.

Для изучения реакции древесных пород на аномально высокие температуры мы использовали полевую, экспериментальную и лабораторную методы. Первую информацию о влиянии высоких температур на растения (их жаростойкость) дает полевой метод. Полевой метод позволяет получить одновременно информацию о реакции целого растения на повышение температуры воздуха и на иссушение почвы в зоне корневой системы. Но полевой метод имеет и свои ограничения. Он не дает возможности оценить реакцию того или иного древесного вида в нормальные климатические годы. Кроме того, полевые наблюдения в городской среде выявляют совместное влияние на растения многих неклиматических факторов, из которых главным является загрязнение воздуха. В связи с этим для лабораторных исследований образцы листьев должны отбираться в чистых зонах (лес, ботанический сад, загородный парк и т.п.).

П. А. Генкель [4] отмечает, что влияние почвенной и атмосферной засухи может проявляться как в комплексе, так и отдельно. Поэтому необходимо изучать совместное влияние обоих типов засух на растение и отдельно завядание (засухоустойчивость в узком смысле) и жароустойчивость. П.А. Генкель указывает, что засухоустойчивость есть свойство, возникающее в процессе приспособления растения к обезвоживанию и к перегреву в процессе филогенеза. В связи с этим обстоятельством в онтогенезе растения идет формирование этого свойства. Поэтому засухоустойчивость носит не константный, а динамический характер, развиваясь в онтогенезе как процесс.

При суховеях растения могут совершенно высохнуть в течение нескольких часов. В зависимости от режима суховея наблюдаются не только различные степени повреждения, но и их характер. П. А. Генкель [5] отмечает два основных типа повреждений: 1) запал, т. е. образование ожогов (побеление, коричневые, оранжево-красные и почти черные пятна) от сильного перегрева листьев; 2) захват, т. е. когда суховей влияет иссушающе, листья при этом подсыхают, сохраняя зеленую окраску, или желтеют и опадают.

Существуют различные методы диагностики засухоустойчивости древесных растений. Наиболее надежными способами испытания засухоустойчивости являются: 1) полевой метод; 2) метод завядания в сосудах; 3) метод засушника и 4) суховейная камера для испытания влияния атмосферной засухи.

М. Д. Кушниренко [11] предлагает для сравнительной оценки плодовых деревьев два метода: 1) лабораторно-полевой и 2) лабораторный метод завядания. Первый метод включает изучение характера изменений водного режима растений в период засухи и изучение регуляции водообмена в течение суток. Изменения водного режима исследуются несколькими способами (оводненность тканей, относительный тургор, водный дефицит, водоудерживающая способность, сосущая сила клеток). Это целый комплекс методов изучения водного режима во время засухи.

Применение нескольких критериев диагностики позволяет достоверно оценить засухоустойчивость растений. Вот почему в наших исследованиях было отдано предпочтение именно методам, разработанным М. Д. Кушниренко [11], а также методу суховейных камер [3]. Для того чтобы составить более полное представление о засухоустойчивости растения в течение всего индивидуального развития, определения проводились в нескольких повторностях в течение вегетационного периода. Метод суховейных камер используется в практике для оценки засухоустойчивости, поскольку высокая температура и иссушение растений горячим воздухом являются обычными условиями засухи.

В связи со сложным действием засухи (обезвоживание и перегрев) диагностировать растения необходимо одновременно на жаро- и засухоустойчивость. Жароустойчивость (жаровыносливость) – способность растений переносить действие высоких температур (выше 40-45°С), перегрев. Это генетически обусловленный признак [5].

Для оценки степени устойчивости древесных растений к высоким температурам в наших исследованиях использовался метод Ф. Ф. Мацкова, который основан на установлении порога повреждения живых клеток экстремальными температурами [8, 19]. Он применим только к растениям, имеющим нейтральную реакцию клеточного сока, т. к. растения с кислой реакцией дают ее без погружения в кислоту, отчего результаты получаются нечеткими [5].

Устойчивость к жаре у различных органов растений неодинаковая: менее устойчивы подземные

органы, более – побеги и почки. На тепловой стресс растения быстро реагируют индуктивной адаптацией. К воздействию высоких температур они могут подготовиться за несколько часов. Так, в жаркие дни устойчивость растений к высоким температурам после полудня выше, чем утром. Обычно эта устойчивость временная, она не закрепляется и довольно быстро исчезает, если становится прохладно. Обратимость теплового процесса может составлять от нескольких часов до 20 дней. В период образования генеративных органов жаростойкость однолетних и двулетних растений снижается [11].

В летний период 2010 г. на территории г. Воронежа нами проводились визуальные наблюдения за состоянием зеленых насаждений.

Учитывали следующие повреждения древесных пород: 1) потеря тургора листьями; 2) хлороз листьев (разрушение хлорофилла), пожелтение и покоричневение тканей листа и опадение листьев; 3) «захват», когда листья засыхают на ветвях дерева зелеными, не расцветиваясь и опадают под действием ветра; 4) поражения кончиков побегов с более молодыми листьями; 5) гибель растений полностью или почти полностью, т.к. у некоторых экземпляров происходит появление новых листьев.

Разберем эти явления подробнее. Потеря тургора наблюдалась у липы мелколистной, клена платановидного, конского каштана и кизильника блестящего, как в обычные годы, так и в экстремальном 2010 году.

Хлороз и некроз листьев и их опадение в обычные годы отмечается у липы мелколистной, клена платановидного, конского каштана к концу сезона (конец августа), а в стрессовом году это явление охватило другие виды (особенно на солнечной – южной и юго-западной сторонах улиц): клен ясенелистный, береза повислая. В других условиях среды повреждались также кончики листьев (у каштана, растущего во дворе с малой загруженностью автотранспортом).

Явление «захвата», т.е. засыхания листьев прямо на дереве, наблюдалось нами у липы мелколистной, клена платановидного и частично у каштана конского. Эти явления отмечены у березы повислой и дуба черешчатого (по наблюдениям в юго-западном районе В. Я. Хрипяковой и Л. А. Калюжной).

В конце июля - начале августа отмечалось пожелтение и опадение листьев у березы повислой в насаждениях улиц Космонавтов, Ворошилова, Моисеева, Московский проспект, Ленинский про-

спект и др. У отдельных экземпляров дефолиация составила более 80 %.

Однако в более влажных условиях среды (ост. Лыжная база по ул. Ломоносова), у дубняка растущего под влиянием воздуха с водохранилища (бриз), эти явления нами не отмечены, что говорит о положительном влиянии влажности воздуха на устойчивость древесных растений к жаре.

Листья и плоды засохли на рябине обыкновенной в центре сквера Куцыгина, во дворе по ул. Кирова 10, а полностью усохла молодая рябина по ул. Пушкинской. Однако следует отметить, что и здесь сыграли большую роль условия произрастания. Так с северо-восточной стороны дома №8 по ул. Кирова, возле магазина «Оптика» рябина была в нормальном состоянии, хотя в отдельные периоды листья теряли тургор и начинали желтеть.

В подтверждение того, что для жароустойчивости древесных растений большое значение имеет не только влажность почвы, но и влажность воздуха приведем следующие факты. Так, в Кольцовском сквере, при работающем фонтане, все древесные породы были в относительно хорошем состоянии.

У устойчивых видов (тополя секции черные, акация белая, ясень зеленый) наблюдались следующие явления: на высоте 1-3 м от земли образовались водяные побеги с зелеными листьями. Очевидно, в этом задействована деятельность корневой системы.

В период жаркой погоды обычного года у липы мелколистной и клена платановидного – на листьях наблюдается такое явление как «медвяная роса». Листья липы покрываются липким налетом сахаров, которые капельками падают на землю. Особенно это сильно выражено на освещенных солнечных участках. У клена такое явление хотя и менее выражено, но наблюдается часто. У каштана «медвяной росы» не отмечено. В период жаркого обычного лета у каштанов наблюдается осеннее цветение. При этом летом 2010 г. цветочные почки и потом сами «цветочные султаны» сформировались меньшего размера, чем обычно.

У плодовых пород закладка цветочных почек происходит летом. И чем жарче погода, тем больше закладывается почек для образования плодов в следующем году. Осеннее цветение у плодовых наблюдается реже, чем у каштанов. Закладка цветочных почек особенно сильная у каштанов, произрастающих на очень загруженных автотранспортом улицах, преимущественно на солнечной стороне. Обильное цветение каштана наблюдалось в

Точки отбора образцов листьев древесных растений

№№ пп	Вид	Местоположение точек отбора
1	Бархат амурский	Кольцовский сквер
2	Береза повислая	сквер им. Бунина
3	Вяз гладкий	сквер у Луча
4	Вяз перистоветвистый	сквер Молодежный
5	Вяз шершавый	сквер Комсомольский
6	Дуб красный	Кольцовский сквер
7	Дуб черешчатый	сквер ДК Карла Маркса
8	Ива белая	сквер Молодежный
9	Катальпа бигнониевидная	сквер Спартакровский
10	Конский каштан обыкновенный	сквер Дворца детей и юношества
11	Клен платановидный	сквер Молодежный
12	Клен полевой	Петровский сквер
13	Клен серебристый	сквер Победы
14	Клен ясенелистный	сквер ДК Карла Маркса
15	Липа крупнолистная	сквер Никитинский
16	Липа мелколистная	сквер Советский
17	Орех маньчжурский	сквер Комсомольский
18	Робиния лжеакация	сквер Платоновский
19	Рябина обыкновенная	сквер Технологический
20	Рябина шведская	сквер Кольцовский
21	Скумпия	сквер Победы
22	Сумах оленерогий	сквер им. Куцыгина
23	Тополь бальзамический	сквер Технологический
24	Тополь пирамидально-осокоревый Камышинский	сквер Университетский
25	Тополь черный (осокорь)	сквер Энергия
26	Шелковица белая	сквер Дома Офицеров
27	Ясень зеленый	сквер Надежда
28	Ясень пенсильванский	сквер Университетский

сентябре-октябре 2010 г. Но это явление не наблюдалось на улицах с малой загруженностью транспортом, во дворах, в скверах. Также мы отмечали подобное явление в г. Львове на обочине Центральной площади, где было довольно много автомобилей. Цветение наблюдалось Г. М. Илькуном в Киеве, а К. С. Кочаряном в Москве. Но нигде не указывается место произрастания каштана. Причину этого никто не объясняет. Для пробуждения цветочных почек применяют (например, у сирени) теплые ванны, эфиризацию, обработку гиббереллинами. У плодовых также вторичному цветению способствует теплая и влажная осень. Это в нашем случае не подтвердилось, т.к. осень 2010 г. была сухой и теплой, а цветение было обильным.

Таким образом, все аномалии роста и развития во время воздействия высокой температуры наблюдаются в основном на местах сильно загружен-

ных автотранспортом, особенно на солнечных сторонах улиц, где стволы и ветки могут нагреваться выше обычной в этот момент температуры воздуха (выше 35-40°С), что влечет в некоторых случаях к коагуляции белков. Обращает внимание то, что от жары страдают те виды, которые нами определены как неустойчивые к выхлопным газам автотранспорта, а по литературе и к другим загрязнителям. Это свидетельствует о сопряженной устойчивости (разных форм устойчивости), что описано профессором Ю. З. Кулагиным [10].

Перейдем к результатам лабораторно-экспериментальных исследований жароустойчивости древесных растений. Для проведения серии опытов в июле 2007 г. нами осуществлялся отбор образцов листьев в скверах Центрального и Ленинского административных районов, на значительном удалении от автодорог (таблица 1). С помощью секато-



Рис. 1. Балльная оценка площади поврежденной ткани листовой пластинки под действием потока сухого горячего воздуха

ра-сучкореза срезались ветви со средней части кроны дерева (на высоте 5 м) и доставлялись на автотранспорте в лабораторию.

В лабораторных условиях 5-10 одинаково развитых листьев помещали в термостойкие стаканы с водой, чтобы исключить недостаток влаги. Затем образцы ставили в сушильный шкаф с открытыми верхними и нижними вентиляционными отверстиями при постоянной температуре 55°С, и через каждые 15 минут в течение часа производили учет повреждений.

Степень повреждения листовых пластинок фиксировалась по 6-балльной шкале: 1 балл – отсутствие изменений либо появление слабого краевого некроза; 2 балла – незначительное появление некротических пятен; 3 балла – слабая степень некротизации, охватывающее до 15 % поверхности листа; 4 балла – средняя степень некротических образований, до 50 %, значительная потеря тургора; 5 баллов – сильная степень некротизации, более 50 %; 6 баллов – отмирание листа (рис. 1).

В таблице 2 приведены сведения о поврежденности образцов древесных растений при разном времени экспозиции в сушильном шкафу. Для учета времени выдержки нами был присвоен коэффициент повреждаемости каждому временному промежутку: 15 мин – 1; 30 мин – 2; 45 мин – 3; 45 мин – 4, что целесообразно в связи с наличием прямой зависимости между степенью повреждения листовых пластинок и временем воздействия. В соответствии с этим формула расчета итоговой балльной оценки выглядит так:

$$D_{dw} = \frac{(d_1 \cdot 1 + d_2 \cdot 2 + d_3 \cdot 3 + d_4 \cdot 4)}{4},$$

где D_{dw} – итоговый балл поврежденности листовых пластинок; $d_1...d_4$ – балл повреждения «сухошеем» в каждый период времени.

Продолжительное воздействие температуры никак не отразилось на вязе перистоветвистом. Даже после 1 час нахождения в сушильном шка-

фу не наблюдалось повреждений. На скумпии через 1 час появились признаки краевого некроза. У многих видов через 15 минут экспозиции появились признаки незначительного краевого некроза, которые в последующем возрастали, но с различной скоростью. Клен платановидный, тополь бальзамический, конский каштан обыкновенный уже при минимальной выдержке в сушильном шкафу (15 мин.) были сильно повреждены.

Через 45 минут степень повреждения образцов данных видов составляла более чем 70 %. Наименее устойчивыми в условиях, имитирующих суховей, оказались ива белая и бархат амурский, так через 15 минут экспозиции произошло скручивание листовых пластинок, а через час листья практически полностью высохли, несмотря на достаточное снабжение водой.

Все виды мы разделили на три группы в зависимости от степени устойчивости к «суховью»: 1) высокая – $D_{dw} < 6$ (25 % видов); 2) средняя – $6 < D_{dw} < 11$ (54 % видов); 3) низкая – $D_{dw} > 11$ (21 % видов).

Тепловой режим городских растений определяется весьма сложным и специфическим микроклиматом города. Для растений весьма существенны такие его особенности, как дневное нагревание асфальта и стен домов, а ночью – усиленное тепловое излучение от них. Это делает города более теплыми местообитаниями для растений по сравнению с естественным зональным фоном, а в отдельные периоды вегетационного сезона нагревание растений может достигать опасных пределов [21]. Ряд авторов отмечают, что в летний период больше всего нагреваются улицы диагонального (ЮЗ-СВ) направления. Здесь активная тень бывает только с восхода солнца до 15 ч., а с 15 ч. до заката деревья находятся под действием сильного послеполюденного солнца [9]. Л. О. Машинский [13] считает обезвоживание клеточной плазмы главной причиной усыхания, как правило, молодых уличных посадок, которые вследствие пе-

Поврежденность различных видов деревьев от совместного действия высокой температуры и горячего воздуха (имитация сушовея)

Название вида	Время экспозиции, мин				Итоговый балл (D_{dw})
	15	30	45	60	
	Балл повреждения				
Вяз перистоветвистый	1	1	1	1	3
Скумпия	1	1	1	2	4
Робиния лжеакация	1	1	2	2	4
Клен полевой	1	1	2	3	5
Тополь пирамидально-осокоревый Камышинский	1	2	2	2	5
Шелковица белая	1	2	2	3	6
Береза повислая	2	2	2	3	6
Вяз шершавый	1	2	3	3	7
Ясень зеленый	1	2	3	4	8
Вяз гладкий	1	2	3	4	8
Дуб красный	2	2	3	4	8
Ясень пенсильванский	2	2	3	4	8
Липа мелколистная	2	2	3	4	8
Катальпа бигнониевидная	2	3	4	4	9
Липа крупнолистная	2	2	4	4	9
Рябина шведская	1	2	4	5	9
Сумах оленерогий	2	3	3	5	9
Дуб черешчатый	1	3	4	5	10
Тополь черный	1	3	4	5	10
Каштан конский обыкновенный	3	3	4	5	10
Орех маньчжурский	2	3	4	5	10
Рябина обыкновенная	2	3	4	5	10
Клен ясенелистный	2	3	5	5	11
Клен серебристый	1	3	5	6	12
Тополь бальзамический	3	5	5	5	12
Клен платановидный	3	4	5	6	13
Ива белая	4	5	5	6	13
Бархат амурский	3	4	6	6	13

регрева мостовых, попадают в условия, приближающиеся к климату пустынь.

В Воронеже имеются локальные более теплые участки, где нагревание сильно сказывается на древесных видах. Особенно экстремальные условия складывается на солнечных сторонах центральных улиц, окруженных высокими домами при плотной застройке. В жаркие дни (свыше $+30^{\circ}\text{C}$) температура воздуха на ул. Плехановской на участке от ул. Кольцовской до Заставы в полдень была

$+35^{\circ}\text{C}$, а возле нагретых домов более $+40^{\circ}\text{C}$. В это время кора у каштанов и лип с солнечной стороны нагревается до $+45^{\circ}\text{C}$ и выше. При иссушении почвы до влажности завядания у листьев ряда древесных пород происходит потеря тургора. Листья быстро иссушаются до оводненности менее 40-50% и в ряде случаев происходит «захват» (опадение листьев без расцветивания). Такое явление часто наблюдается на центральных улицах (проспект Революции, ул. Кирова, Плехановская) [18].

Степень повреждения древесных растений высокими температурами (по методу Ф.Ф. Мацкова)

Название вида	Температура, °С					Итоговый балл повреждения (D_{dt})
	40	50	60	70	80	
	Балл повреждения					
Вяз перистоветвистый	1	1	2	2	5	8
Дуб черешчатый	1	1	1	2	6	9
Шелковица белая	1	1	2	2	6	9
Дуб красный	1	2	2	3	5	10
Тополь пирамидально-осоконовый Камышинский	2	2	2	3	5	10
Скумпия	1	2	3	3	5	10
Робиния лжеакация	1	1	3	3	6	11
Клен полевой	1	2	2	3	6	11
Липа крупнолистная	1	1	2	4	6	11
Рябина шведская	1	2	2	4	6	11
Липа мелколистная	2	2	3	3	6	11
Береза повислая	2	2	3	4	5	11
Ясень зеленый	1	2	2	4	6	11
Вяз гладкий	1	1	3	4	6	12
Вяз шершавый	1	1	3	5	6	12
Катальпа бигнониевидная	1	2	2	5	6	12
Бархат амурский	1	2	4	4	5	12
Ясень пенсильванский	1	2	3	5	6	13
Орех маньчжурский	1	2	3	5	6	13
Тополь черный (осокорь)	1	2	2	6	6	13
Клен серебристый	1	2	4	5	6	13
Ива белая	3	3	3	4	6	13
Сумах оленерогий	2	3	4	4	6	13
Рябина обыкновенная	1	1	4	6	6	14
Клен платановидный	1	2	3	6	6	14
Клен ясенелистный	1	2	3	6	6	14
Каштан конский обыкновенный	2	2	3	6	6	14
Тополь бальзамический	1	2	4	6	6	14

Итак, действие экстремальных высоких температур влечет за собой целый ряд опасностей для растений – сильное обезвоживание и иссушение, ожоги, разрушение хлорофилла, необратимые расстройства дыхания и других физиологических процессов, наконец, тепловую денатурацию белков, коагуляцию цитоплазмы и гибель [15].

Для оценки степени устойчивости древесных растений к высоким температурам в наших исследованиях использовался метод Ф. Ф. Мацкова. Шкала повреждений принята та же, что и в предыдущем методе сушевых камер. Результаты, полученные в ходе испытания образцов листьев к

действию повышенных температур, приведены в таблице 3. Для расчета итогового балла повреждения использовалась следующая формула:

$$D_{dt} = \frac{(d_1 \cdot 1 + d_2 \cdot 2 + d_3 \cdot 3 + d_4 \cdot 4 + d_5 \cdot 5)}{5},$$

где D_{dt} – итоговый балл поврежденности листовых пластинок высокими температурами; $d_1 \dots d_5$ – балл повреждения при каждой температуре, 1...5 – коэффициенты воздействующих температур 40, 50, 60, 70, 80.

Наименьшей исследуемой температурой воздействия была +40°С. Эту температуру выдержи-

вают практически все древесные виды, а признаки феофитинизации довольно редкие. При $+50^{\circ}\text{C}$ наиболее выраженные повреждения наблюдаются у ивы белой и сумаха.

Температура воздуха в $40-50^{\circ}\text{C}$ может достигать вблизи зданий летом в ясную погоду на солнечной стороне улиц, что при совместном действии с выхлопными газами автотранспорта вызывает ожоги у листьев растений.

При температуре $+60^{\circ}\text{C}$ признаки повреждения наблюдаются у всех видов, но с различной интенсивностью. Температура $+80^{\circ}\text{C}$ является летальной для всех исследуемых видов древесных растений.

По степени жароустойчивости мы разделили все виды на три группы: 1) высокая – $D_{dt} \leq 10$ (21 % видов); 2) средняя – $10 < D_{dt} < 14$ (54 % видов); 3) низкая – $D_{dt} \geq 14$ (25 % видов).

Тем не менее, как отмечают Н. С. Петин и Ю. Г. Молотковский [14] резкая граница между жароустойчивыми и нежароустойчивыми растениями отсутствует, что подтверждается рядом исследований.

Необходимо обратить внимание и на то, что жаростойкость зависит от внутренних и внешних факторов [22]. Еще В. Ф. Альтергот [1] указывал, что среди факторов, затрудняющих сброс листьями излишнего тепла, все большее значение приобретает запыление их поверхности дорожной, промышленной пылью и твердыми налетами и повреждение растений токсическими газообразными соединениями промышленно-транспортного происхождения.

Таким образом, в условиях г. Воронежа, где ПДКм.р. в воздухе по пыли превышают в 3-4 раза, температура листьев в жаркую сухую погоду может увеличиваться до высоких отметок по причине их значительной запыленности.

При оценке устойчивости растений к действию высоких температур необходимо учитывать, что жаровыносливость значительно ниже у растений молодых и в начале вегетации, когда деревья и кустарники покрыты молодой листвой. Наоборот, у взрослых растений и в более поздние сроки вегетации жаровыносливость значительно повышается.

Количество исследований, посвященных изучению жароустойчивости древесных растений, сравнительно невелико. Так, В. П. Тарабрин [17] при изучении устойчивости древесных растений к разным неблагоприятным факторам среды в условиях города Донецка установил, что способность растений переносить высокие температуры

зависит от температурного порога гибели тканей. Определение жароустойчивости листьев в полевых условиях показало, что наиболее высокий температурный порог у дуба черешчатого ($+50^{\circ}$), среднее положение занимает клен платановидный и липа мелколистная ($+48^{\circ}$), ниже температурный порог у белой акации, каштана конского и тополя Болле ($+46^{\circ}$). Однако степень жароустойчивости указанных видов не соответствует их температурным порогам. У белой акации и тополя Болле (довольно низкий температурный порог гибели тканей) ожоги листьев бывают незначительными даже в самые жаркие периоды лета, тогда как липа и клен (средние значения температурного порога) сильно страдают.

Для установления связи между устойчивостью древесных растений к высоким температурам (метод Мацкова), устойчивостью к «суховею» (метод суховейных камер) и водоудерживающей способностью нами был проведен кластерный анализ с использованием статистического пакета STADIA 7.0.

Рассмотрим результаты кластеризации в 3-мерном пространстве признаков, приведенные на рис. 2. На дендрограмме по вертикальной оси отложено расстояние для каждого шага выполнения агломеративного иерархического алгоритма классификации. По горизонтальной оси показаны сгруппированные виды, в соответствии с порядковыми номерами таблицы 1.

Виды древесных растений были разбиты на четыре группы. В первый кластер входит 7 видов (25 % от числа исследуемых), для которых характерна средняя устойчивость к действию «суховея», средняя степень повреждаемости высокими температурами и средняя водоудерживающая способность. К таким видам относятся ясень зеленый, береза повислая, вяз гладкий и шершавый, липа крупнолистная. Следует отметить, что группа липа мелколистная - катальпа бигнониевидная примыкает к указанным объектам на уровне 0,70, так как эти породы имеют пониженную водоудерживающую способность.

Во вторую кластерную группу входят 7 объектов (25 %), а именно: сумах оленерогий, орех маньчжурский, ясень пенсильванский, рябина обыкновенная, клен серебристый, бархат амурский. Данные породы имеют среднюю или низкую устойчивость к «суховею», среднюю жароустойчивость и водоудерживающую способность. В этот кластер входит и тополь черный на уровне агломерации 1,47, который имеет повышенную водоудерживающую способность.

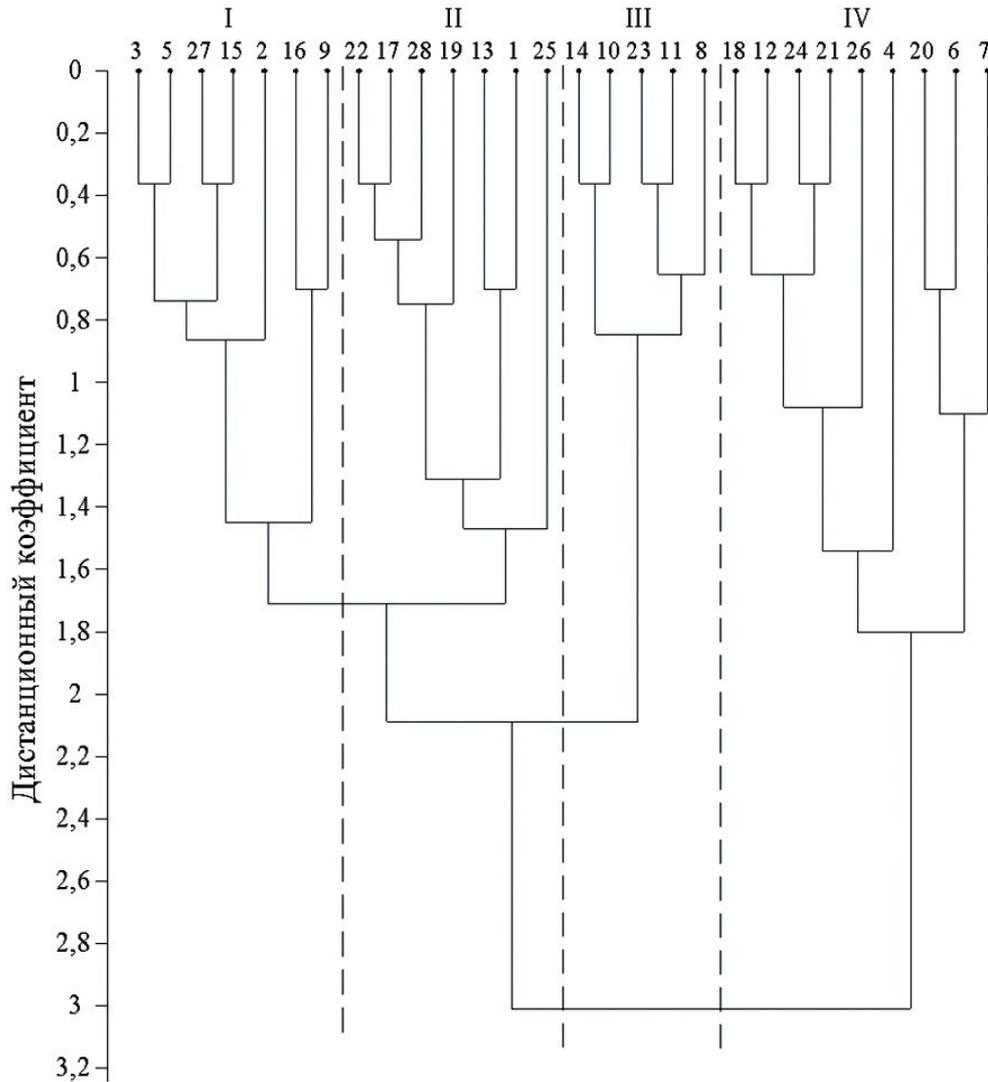


Рис. 2. Дендрограмма иерархической кластеризации в 3-мерном пространстве признаков (устойчивость к «суховею», жароустойчивость, водоудерживающая способность) древесных растений

Древесные растения третьей группы (18%) характеризуются низкой устойчивостью к «суховею» и высоким температурам, водоудерживающая способность также пониженная (клен платановидный, конский каштан, тополь бальзамический, ива белая).

В четвертый таксон входят такие виды, как робиния лжеакация, клен полевой, скумпия, шелковица белая, тополь пирамидально-осокоревый Камышинский, вяз перистоветвистый. Для них характерна высокая устойчивость к действию горячего потока воздуха и высоким температурам и водоудерживающая способность. В данный таксон включены рябина шведская, дуб красный и черешчатый, которым свойственна средняя устойчивость к «суховею» на фоне высокой жаростойкости и водоудерживающей способности.

Исходя из кластерного анализа, можно сделать вывод о том, что древесные растения, имеющие

высокую степень устойчивости к высоким температурам и «суховею» обладают и повышенными водоудерживающими силами. Однако, имеются некоторые отклонения в указанной зависимости, свидетельствующие о наличии и других приспособительных реакций.

Таким образом, жароустойчивость обязательно нужно учитывать при подборе деревьев и кустарников для неблагоприятных в температурном отношении условий произрастания в городских насаждениях.

Согласно нашим исследованиям древесные породы, используемые для озеленения городской среды города Воронежа, можно отнести к четырем группам по степени жароустойчивости: 1) устойчивые (робиния лжеакация, клен полевой, скумпия, шелковица белая, тополь пирамидально-осокоревый Камышинский, вяз перистоветвистый).

тый); 2) среднеустойчивые (ясень зеленый, береза повислая, вяз гладкий и шершавый, липа крупнолистная); 3) слабоустойчивые (сумах оленерогий, орех маньчжурский, ясень пенсильванский, рябина обыкновенная, липа мелколистная, клен серебристый, бархат амурский); 4) неустойчивые (клен платановидный, конский каштан, тополь бальзамический, ива белая).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтергот В. Ф. Действие повышенной температуры на растения в эксперименте и природе / В. Ф. Альтергот. – М. : Наука, 1981. – 56 с.
2. Вазов В. И. Засухи на территории Центрально-Черноземных областей : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / В. И. Вазов. – Воронеж, 1955. – 16 с.
3. Вигоров Л. И. Практикум по физиологии древесных растений / Л. И. Вигоров. – М. : Высш. шк., 1961. – 148 с.
4. Генкель П. А. Современное состояние проблемы засухоустойчивости растений и дальнейшие пути ее изучения / П. А. Генкель // Физиология устойчивости растений (морозоустойчивость, засухоустойчивость и солеустойчивость) : тр. конф., Москва, 3-7 марта 1959 г. – М., 1960. – С. 385-401.
5. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П. А. Генкель. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
6. Заводченков А. Ф. Воронежская область: природа и природные чрезвычайные ситуации / А. Ф. Заводченков, В. И. Федотов. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2005. – 98 с.
7. Костин С. И. Климат / С. И. Костин // Воронежская область. – Воронеж : Воронеж. обл. кн. изд-во, 1952. – Ч. 1 : Природные условия. – С. 99-133.
8. Косулина Л. Г. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды : учеб. пособие / Л. Г. Косулина, Э. К. Луценко, В. А. Аксенова. – Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1993. – 240 с.
9. Кочарян К. С. Ассортимент древесных растений, рекомендуемых в различных типах и категориях озеленения г. Москвы / К. С. Кочарян. – М. : ГУП Мосзеленхоз, 1999. – 204 с.
10. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М. : Наука, 1974. – 128 с.

Михеева Марина Александровна
кандидат географических наук, преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: marin-m@yandex.ru

Федорова Алевтина Ильинична
доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54

11. Кушниренко М. Д. Водный режим и засухоустойчивость плодовых растений / М. Д. Кушниренко. – Кишинев : Картя молдовеняскэ, 1967. – 330 с.

12. Матвеев С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С. М. Матвеев. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 2003. – 272 с.

13. Машинский Л. О. Город и природа (городские зеленые насаждения) / Л. О. Машинский. – М. : Стройиздат, 1973. – 228 с.

14. Петинов Н. С. Защитные реакции жароустойчивых растений при действии высоких температур / Н. С. Петинов, Ю. Г. Молотковский // Физиология растений. – 1957. – Т. 4, вып. 3. – С. 225-233.

15. Радченко С. И. Температурные градиенты среды и растения / С. И. Радченко. – М.-Л. : Наука, 1966. – 390 с.

16. Рубцов В. И. Леса Центрального-Черноземного района // Леса СССР / под ред. А. Б. Жукова. – М. : Наука, 1966. – Т. 3. – С. 107-122.

17. Тарабрин В. П. Водный режим и устойчивость древесных растений к промышленным газам / В. П. Тарабрин // Газоустойчивость растений : сб. ст. / отв. ред. В. С. Николаевский. – Новосибирск, 1980. – С. 18-29.

18. Федорова А. И. Влияние многолетнего изменения температуры воздуха г. Воронежа на древесные растения / А. И. Федорова // Проблемы озеленения крупных городов : материалы XI междунар. науч.-практ. конф., Москва, 6-7 февр. 2008 г. – М., 2008. – С. 113-114.

19. Федорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – М. : ВЛАДОС, 2003. – 287 с.

20. Хрипякова В. Я. Микроклимат большого города / В. Я. Хрипякова // Экологический вестн. Черноземья. – 1999. – Вып. № 7 : Экологические проблемы крупного города. – С. 81-98.

21. Drought Damage in the Park Forests of the City of Helsinki / M. Holopainen [et al.] // Urban Forestry & Urban Greening. – 2006. – Vol. 4, I. 3-4. – P. 145-158.

22. Drunasky N. Quercus Macrocarpa and Q. Prinus Physiological and Morphological Responses to Drought Stress and Their Potential for Urban Forestry / N. Drunasky, D. Struve // Urban Forestry & Urban Greening. – 2006. – V.4, I. 2. – P. 75-83.

Mikheyeva Marina Aleksandrovna
Candidate of Geography, lecturer of department of geocology and environmental monitoring, Voronezh State University, tel. (473) 266-56-54, 8-904-214-67-74, E-mail: marin-m@yandex.ru

Fedorova Alevtina I'linichna
Doctor of Biology, Professor of department of geocology and environmental monitoring, Voronezh State University, tel. (473) 266-56-54