

УДК 574.24

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ г. МОГИЛЕВА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТЬИЦ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS*)

О. В. Поворова

старший преподаватель

Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова

В. А. Левинская

доцент

Белорусско-Российский университет (Могилев)

*Проведен анализ числа устьиц на поперечных срезах листьев *Pinus sylvestris*, произрастающих в условиях промышленного города, методами прикладной статистики. Доказано статистически значимое различие числа устьиц в районах сочетанного действия продуктов сгорания топлива автомашин и поллютантов промышленного происхождения по сравнению с контролем.*

*Показатель числа устьиц может быть использован в качестве биоиндикатора газоустойчивости *Pinus sylvestris*, рекомендован при озеленении урбанизированных территорий для выбора газоустойчивых видов растений и в экологическом мониторинге их среды обитания.*

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), число устьиц, продукты сгорания топлива автомашин, поллютанты промышленного города, проверка гипотез, непараметрические критерии, критерий Краскелла-Уоллиса, критерий Манна-Уитни.

Введение

Устьица хвойных растений спрятаны глубоко под эпидермисом [1], что позволяет в урбанизированных условиях среды обитания снизить расход воды зимой на испарение, а летом — во время повышенной температуры. Устьичные ямки заполняют восковые структуры, изменяют скорость испарения в зависимости от собственной влажности, морфологической структуры [2]. Факторы внешней и внутренней среды прямо и косвенно воздействуют на устьичный аппарат, вызывая в замыкающих клетках преобразования, приводящие к изменению тургора. Высокая влажность около корней в почве способствует открыванию устьиц. Пониженная влажность воздуха способствует транспирации, так как градиент влажности между межклетниками и окружающей средой увеличен [3]. Повышение влажности, наоборот, подавляет транспирацию. Негативное влияние оказывают газообразные загрязняющие вещества. В промышленных зонах повышается температура и падает влажность воздуха. Газообразные загрязняющие вещества попадают в листья при газообмене через открытые устьица, нарушается регуляторная функция замыкающих клеток, токсичные вещества накапливаются в межклетниках и через клеточные стенки проникают к клеткам мезофилла [4]. Через устьица одним и тем же путем происходит транспирация и получение диоксида углерода растением для фотосинтеза. Растение регулирует “грань голода и жажды” — при недостатке влаги растение закрывает устьица, значит сокращается поступление CO_2 и в целом фотосинтез. При открытых устьицах транспирация усиливается, поступает диоксид углерода.

© Поворова О. В., 2019

© Левинская В. А., 2019



Выключение устьиц как газовоспринимающего аппарата позволяет растениям адаптироваться и сохраняться в городах. Газочувствительность отражает скорость и степень проявления у растений патологической реакции при воздействии газа. Газоустойчивость определяют как способность растения противостоять действию газов, сохраняя нормальный рост и развитие. Определение показателей газоустойчивости/чувствительности Сосны обыкновенной применимо в биомониторинге среды обитания растения. Для характеристики газоустойчивости/чувствительности определяют число устьиц [5]. Число устьиц у одного и того же вида голосеменных может различаться по годам в зависимости от экологических факторов, от освещенности и влажности, варьирует в течении вегетации [6]. Чем больше освещенность, тем больше плотность устьиц на единицу поверхности хвои по сравнению с теневой хвоей. Максимальную плотность устьиц отмечают для интродуцентов, эндемичные виды имеют наименьшие показатели числа устьиц. У Сосны сибирской в горах Алтая с повышением высоты произрастания растения число устьиц не изменяется, но повышается плотность клеток мезофилла на одно устьице, наращивается ассимилирующая поверхность как приспособление для лучшей фиксации CO_2 с увеличением высоты произрастания [2].

Отражением влияния экологических, климатических и почвенных факторов в сочетании с наследственностью являются рост и продуктивность отдельных насаждений. При воздействии неблагоприятных факторов среды у деревьев уменьшаются размеры различных органов (хвои, побегов, шишек). Адаптивные изменения роста, морфогенеза и метаболизма древесных голосеменных растений к стрессу – специфический отклик растений на стрессовые воздействия [7]. Температурный режим в городской среде необычен для растений и определяется специфическим микроклиматом города: суточный ход температур в городе выражен не так резко как в окрестностях, наблюдается ослабление заморозков, удлинение периода с положительной температурой воздуха, дневное нагревание асфальта, каменных стен домов и усиленное тепловое излучение от них ночью [8]. Городские территории представляют собой своеобразные “острова тепла”, которые характеризуются повышенными, по сравнению с фоновыми, температурами [9]. Основной источник загрязняющих веществ в городе – автотранспорт, поэтому на растительность преимущественно воздействуют вещества, содержащиеся в выбросах автотранспорта: оксиды углерода, азота, серы, соединения свинца, углеводороды, сажа, резиновая пыль и ряд других токсичных соединений [10]. Собравшаяся на листьях пыль воздействует путем снижения эффективности солнечного излучения и повышения температуры, а попавшая на почву пыль – через изменения водородного показателя почвы и содержания микроэлементов. В любом крупном городе выбрасывается большое количество CO_2 . В г. Могилеве развита промышленная инфраструктура, поэтому среда характеризуется дополнительными поллютантами промышленного происхождения. Подбирая газоустойчивые виды растений, решаются вопросы озеленения нашей среды обитания и ее биомониторинга.

Цель исследования – определить число устьичных аппаратов Сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в зависимости от экологических факторов урбанизированной среды обитания растений.

Материалы и методы исследований

Для изучения числа устьиц на поперечном срезе игловидного листа *Pinus sylvestris* использовали следующие методы исследования – гистологический метод приготовления временных окрашенных препаратов среза листа, метод микрофотографирования, метод фотосъемки, статистические методы анализа (непараметрические критерии: Краскелла-Уоллеса, Манна-Уитни).

В городе Могилеве мониторинг атмосферного воздуха проводится на стационарных станциях Могилевским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, которые условно подразделяются на “городские фоновые” (жилые районы), “автотранспортные” (вблизи автодорог), “промышленные” (вблизи промышленных предприятий), “смешанные”. Нами места забора проб листьев выбирались таким образом, чтобы были приближены к стационарным постам “Могилевоблгидромет”, а также характеризовали районы наибольшего загрязнения г. Могилева. Выбирались места произрастания деревьев с дополнительной нагрузкой, снижающей уровень доступной почвенной влаги для растения и характеризующей экосистему города, – вытаптывание, асфальтное или плиточное покрытие вдоль мест произрастания голосеменных растений.

Место проведения исследования – г. Могилев, девять групп районов, отличающиеся по показателям антропогенной нагрузки и объединенные по зонам наблюдения:

- фоновые (Ф): микрорайоны “30-лет Победы”, “Восьмой”;
- автотранспортные (Ат): микрорайон “Спутник”, ул. Минское шоссе, ул. Ровчакова, ул. Островского, ул. Первомайская;
- промышленные (П): ул. Челюскинцев;
- смешанные (См): ул. Мовчанского.

В качестве контроля (К) выбраны дер. Любуж (К1 – нет поблизости крупных автодорог, в непосредственной близости к деревьям частные постройки и дороги, ведущие к частным домам, с уплотненным почвенным покрытием) в окрестностях города, микрорайон “Дачный” (К2 – вдоль дорог, ведущих к частным домам с уплотненным гравийным покрытием) в черте города.

Время взятия образцов листьев Сосны обыкновенной и их исследование: солнечные дни в 12 часов (20-22°C / 13-14°C) с одинаковой влажностью воздуха (68-70% / 71-73%) в летний и осенний периоды 2018 г. (июль/октябрь, соответственно). В каждом месте исследований отбирали по пять листьев одинаковой длины с трех деревьев на высоте 150 см и выше от поверхности земли.

В день сбора листьев проводилось их исследование – по всей длине листа делали три тонких поперечных среза листа на предметном стекле лезвием: по середине листа на $\frac{1}{2}$ длины (срез В), на $\frac{1}{4}$ длины листа от вершины листовой пластинки (срез А) и на $\frac{1}{4}$ длины листа от основания листовой пластинки (срез С). На каждый срез капали раствор флороглюцина таким образом, чтобы весь срез был покрыт красителем, затем капали концентрированную соляную кислоту. Микроскопировали (“Биолам”) с покровным стеклом (увеличение $\times 56$). Фотографировали камерой iSight 12 мп iPhone SE. Стенки замыкающих клеток устьиц, эпидерма, гиподерма листа голосеменных растений класса Хвойные одревесневают и окрашиваются в кислой среде флороглюцином в темно-красный цвет, что позволяет четко увидеть и подсчитать число устьиц по периметру поперечного среза листа при увеличении фотографии на мониторе ПК.

Результаты исследований

Устьичные аппараты напрямую связаны с водным режимом древесных растений и степенью устойчивости к неблагоприятным факторам среды согласно литературным данным. Из внешних факторов наиболее значимы свет, температура, влажность воздуха, водообеспеченность [7]. При хорошем водоснабжении устьица открываются тем шире, чем больше света, в результате продуктивность фотосинтеза выше. При изучении характера влияния водообеспеченности растения на число устьиц мы анализировали листья Сосны обыкновенной, произрастающих в идеальных садоводческих условиях (Рисунок 1 А) для покрытосеменных кустарников и деревьев: периодический полив,

стрижка (не прополка) сорняков для удержания влаги, дотации удобрений по всеосенне-осенним схемам внесения, отсутствие вытаптывания.

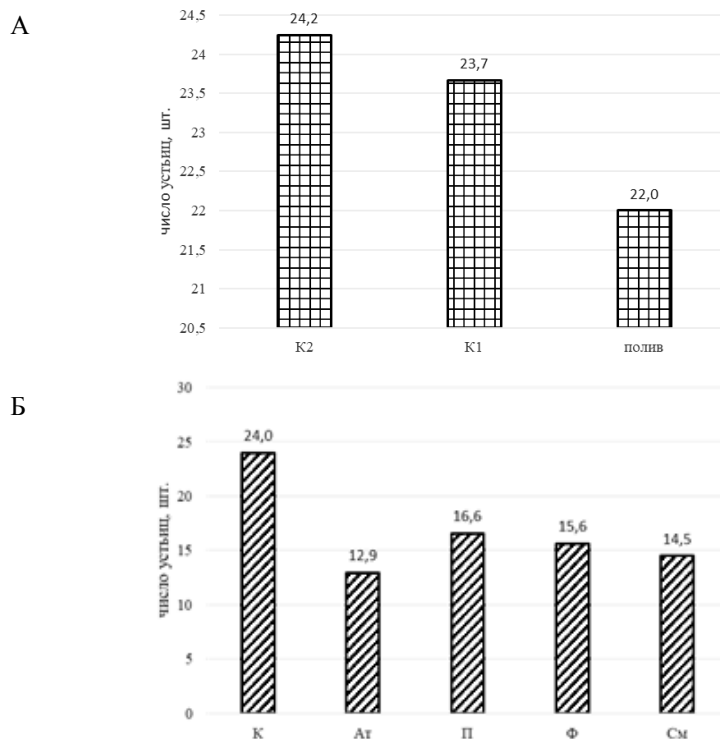


Рисунок 1 – Число устьичных аппаратов в листьях *Pinus sylvestris*, произрастающих в условиях разной степени уплотненности почвенного покрова и достаточного водообеспечения (А), в условиях промышленного города (Б)

Как видно из данных Рисунка 1А, число устьиц увеличивается обратно пропорционально водообеспеченности растения: число устьичных аппаратов больше у тех растений, которые растут вдоль дороги к частным постройкам с гравийным покрытием (К2), чем у тех, которые растут вдоль дорог с уплотненным почвенным покрытием (К1); у растений с периодическим поливом и низкой степенью уплотненности почвенного покрова (полив) число устьиц минимально. Достоверных различий между К1 и К2 не определено на уровне значимости $p = 0,05$ (критерий Манна-Уитни, $U = 810,5$; $p = 0,1$).

Таким образом, чем больше водообеспеченность почвы растений, тем меньше число устьиц в листе, что можно объяснить открытостью устьиц [4; 5; 11] для обеспечения процессов транспирации/газообмена из-за достаточного количества почвенной влаги. В результате снижения почвенной влаги у растений, растущих вдоль дорог с дополнительным покрытием, растение адаптируется для выполнения физиологических функций увеличением числа устьиц, т. к. чтобы листья получили воду, поглощенную корнями, она должна подняться на высоту растения в основном за счет разности давлений. Гравитация в верхних частях деревьев может быть преодолена только за счет уменьшения гидростатического давления из-за диффузии воды через устьица в атмосферу. Поэтому при затрудненном корневом водоснабжении транспирация уменьшается и в листьях меньше доступной воды, а чтобы изменить осмотическое давление в клетках и обеспечить восходящий ток воды с питательными веществами растение увеличивает

количество контактирующих с атмосферой клеток – устьиц (чем больше устьиц на листьях, тем больше лист испаряет воды).

Гидрологический режим территорий городов характеризуется ограниченным поступлением воды в почву из-за асфальтовых покрытий, хотя зачастую в черте города осадков выпадает больше, чем в пригородах. Большая часть влаги теряется для растений, поступая в канализационную систему. Кроме того, водный режим растений в городе осложняется повышенной сухостью воздуха, перегревом запыленных листьев и влиянием загрязняющих веществ на целостность устьичного аппарата [1; 12]. Изолированно растущие деревья в городских условиях страдают от перегрева листовой поверхности и потери воды путем транспирации. Таким образом, города представляют собой более “сухие” территории на фоне окружающего природного ландшафта.

В г. Могилеве некоторые предприятия располагаются в жилых районах. Поэтому трудно выделить районы «чисто» промышленные или «чисто» жилые. Одна и та же станция может быть отнесена и к промышленной, и к жилой, и к автотранспортной, поскольку она может размещаться в жилом районе, вблизи автодорог и вблизи крупных источников выбросов. Особенностью промышленного города Могилева является низкий уровень озеленения, поэтому мест произрастания Сосны обыкновенной в городской черте мало. Выбирались места произрастания деревьев с дополнительной нагрузкой, снижающей уровень доступной почвенной влаги для растения и характеризующей экосистему города, – вытаптывание, асфальтное или плиточное покрытие вдоль мест произрастания хвойных растений. На Рисунке 1Б представлены результаты анализа числа устьичных аппаратов в листьях Сосны обыкновенной в зависимости от воздействия факторов среды промышленного города.

Меньше всего устьиц (13 шт.) определено в листьях растений, произрастающих в условиях с большой пропускной способностью автотранспорта (Ат, без учета ул. Первомайская), где в 1,9 раз меньше устьиц по сравнению с контрольными участками. В листьях растений, произрастающих в микрорайонах фонового наблюдения (Ф), число устьиц в 1,5 раза меньше по сравнению с К. В промышленной зоне наблюдения (П) и смешанной зоне (См) число устьиц в 1,4 и 1,7 раз, соответственно, меньше по сравнению с контролем, составив 16,6 и 14,5 шт. Таким образом, самое низкое число устьичных аппаратов определено в местах произрастания с максимальным движением автотранспорта и сочетанным действием выхлопных газов средней напряженности движения автотранспорта и поллютантов промышленного происхождения.

Среди улиц зоны наблюдения Ат (Рисунок 1Б) ул. Первомайская не учитывалась в связи с тем, что на ней сокращен поток автомобилей личного пользования из-за его переноса на параллельную улицу (вдоль автовокзала) для обеспечения движения общественного городского транспорта, основным видом которого в нашем городе является троллейбусное движение как наиболее экологически чистый вид городского автотранспорта, что и отразилось на изучаемых показателях (Рисунок 2).

Как видно из диаграмм Рисунка 2, число устьиц в листьях Сосны обыкновенной, произрастающих в условиях сниженного транспортного движения по ул. Первомайской, составляет 21,3 шт, что в 1,6-1,7 раза достоверно выше по сравнению с числом устьиц в листьях деревьев, произрастающих в других районах с дополнительными поллютантами, образующимися при сгорании топлива автомашин (таблица 1).



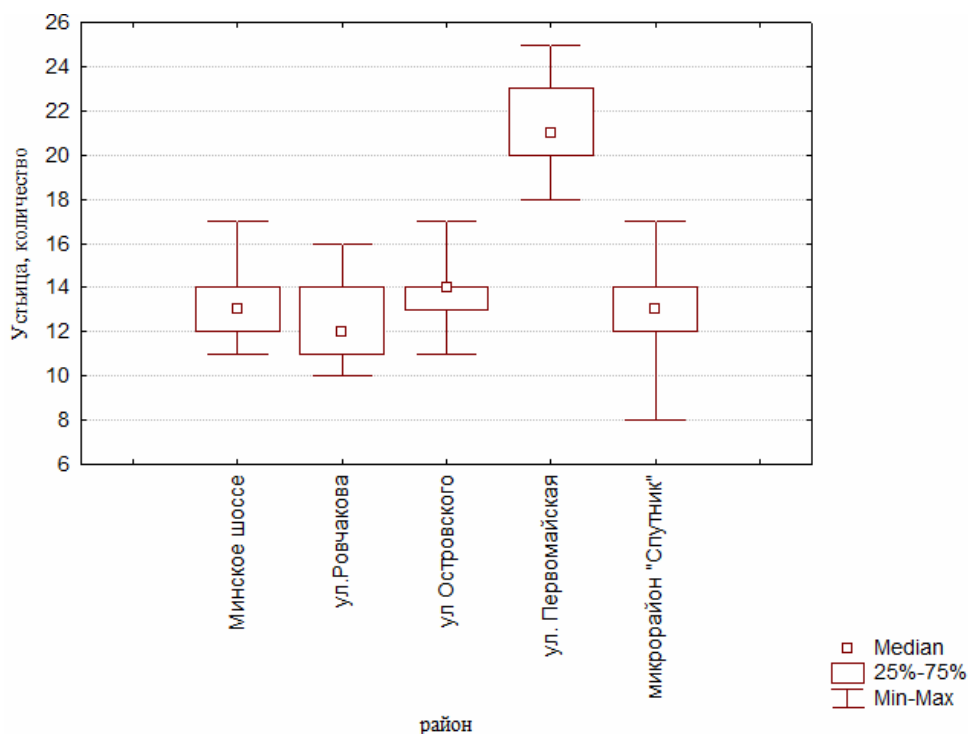


Рисунок 2 – Количественные показатели (шт.) устьиц в районах произрастания *Pinus sylvestris* с дополнительными выбросами продуктов сгорания топлива автомашин

Таблица 1 – Результаты анализа числа устьиц в листьях деревьев в районах произрастания с дополнительными продуктами сгорания топлива автомашин (критерий Манна-Уитни, 45 срезов листьев в каждом районе)

Анализируемые районы	Статистически значимая разница	U	Z	p-level
Микрорайон "Спутник" / ул. Минское шоссе	нет	876,5	1,098	0,2724
Микрорайон "Спутник" / ул. Ровчаково	есть	759,5	2,042	0,0412
Микрорайон "Спутник" / ул. Островского	нет	921,0	-0,738	0,4603
Микрорайон "Спутник" / ул. Первомайская	есть	0,0	-8,171	0,0000
ул. Минское шоссе / ул. Ровчаково	нет	819,5	1,558	1,5833
ул. Минское шоссе / ул. Островского	есть	728,0	-2,296	0,0217
ул. Минское шоссе / ул. Первомайская	есть	0,0	-8,171	0,0000
ул. Ровчаково / ул. Островского	есть	608,0	-3,264	0,0011
ул. Ровчаково / ул. Первомайская	есть	0,0	-8,171	0,0000
ул. Островского / ул. Первомайская	есть	0,0	-8,171	0,0000

В результате статистического непараметрического метода анализа мы получили статистически значимые (таблица 1) различия по числу устьиц в листьях растений, произрастающих в условиях с разной нагрузкой автотранспорта на среду обитания. Таким образом, при уменьшении экологической нагрузки на экосистему города число устьиц растения восстанавливается в пределах генетически predetermined значений. На диаграмме рисунка 3 наглядно видно, что показатель числа устьиц листьев растений на ул. Первомайской в настоящий момент времени сопоставим с показателями контрольных участков.

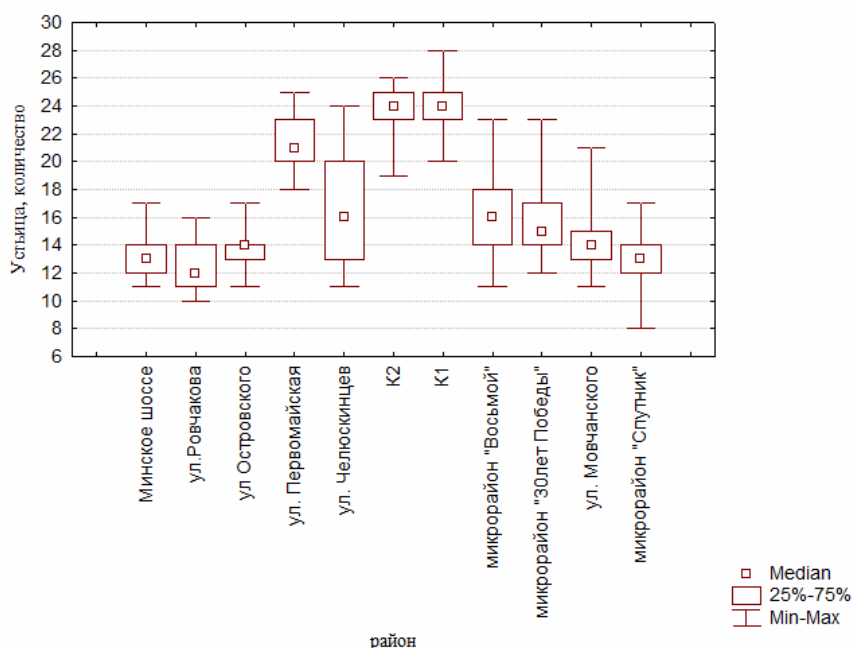


Рисунок 3 – Количественные показатели числа устьиц в листьях *Pinus sylvestris* в зависимости от района произрастания растения

Как видно из рисунка 3, в промышленной зоне (ул. Челюскинцев) наибольший квартильный размах показателя при медианном значении числа устьиц в 16 шт. и в районах с фоновым загрязнением (жилые). Для объяснения данного результата необходимы дальнейшие исследования и анализ показателей влагообеспеченности почвы и влагопотребления растением.

Начиная изучать число устьиц на поперечных срезах, мы обратили внимание, что число устьиц на поперечном срезе листа различается на протяжении длины всего листа – от единичных показателей на вершине и основании листа до самых больших показателей на медиальной зоне листа. Поэтому мы делали три среза по длине листа: на $\frac{1}{2}$ длины листа, на $\frac{1}{4}$ длины игловидного листа от основания и вершины листа (Рисунок 4).

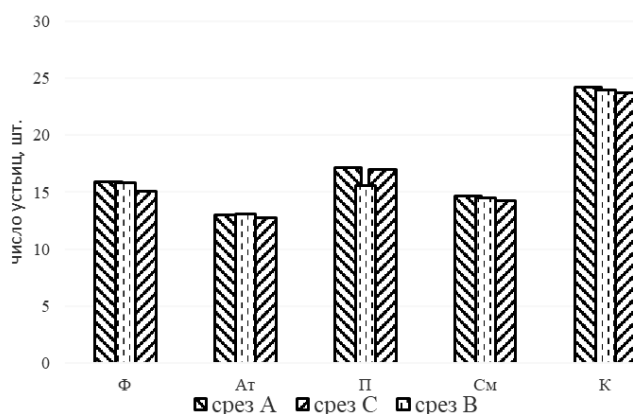


Рисунок 4 – Количественные показатели числа устьиц в листьях *Pinus sylvestris* в зависимости от места гистологического среза по длине листа

В районах контроля, зонах смешанного загрязнения и фонового уровня сохраняется общая тенденция: максимальное число устьиц на срезе А, минимальное – на срезе С, средние показатели – на срезе В. В промышленной зоне наблюдения (ул. Челюскинцев) не сохраняется данная тенденция и имеет значительно более низкие показатели числа устьиц по срезу В (на две единицы) по сравнению со срезами А и С. В районах с автотранспортными поллютантами (микрорайон “Спутник”, ул. Минское шоссе, ул. Ровчакова, ул. Островского) число устьиц в листьях на медиальных срезах самое большое, минимальное – у основания листа. Поскольку объем выборок по каждому из трех срезов мал в каждом районе исследования, проверку гипотезы о равенстве числа устьиц на трех поперечных срезах (А, В, С) по длине листа осуществляли с помощью непараметрического критерия Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты анализа проверки гипотезы о равенстве числа устьиц на поперечных срезах (критерий Kruskal-Wallis)

Район	H (2, N= 45)	p-level
ул. Первомайская	0,5981676	0,7415
K2	0,0458521	0,9773
ул. Челюскинцев	1,422358	0,4911
ул. Мовчанского	0,6355116	0,7278
Микрорайон “Восьмой”	0,7412197	0,6903
Микрорайон “Спутник”	0,1440369	0,9305
Микрорайон “30 лет Победы”	1,502772	0,4717
K1	1,942213	0,3787

В таблице 2 представлены значения критерия H и уровень p, по которому мы делаем вывод о возможности принятия гипотезы при выбранном уровне значимости 0,05. Для всех районов выполняется неравенство $p > 0,05$, а это свидетельствует об отсутствии оснований отвергнуть нулевую гипотезу. Таким образом, число устьиц на трех срезах схоже, поэтому при проведении исследований с целью мониторинга состояния окружающей среды информативным будет один медиальный срез, что значительно облегчит исследования, позволит увеличить число выборки за счет числа листьев и самих деревьев.

Изучая число устьиц в листьях хвойных растений в зависимости от поры года (лето / осень), сложности равенство погодных условий при постановке исследований сложно из-за метеорологических особенностей осеннего периода в нашей страны. При схожих показателях влажности и температуры воздуха на полуденное время в октябре 2018 г. мы взяли пробы листьев только из трех районов, результаты представлены на Рисунке 5.

Как видно из данных Рисунка 5, число устьиц в листьях Сосны обыкновенной меньше в 1,2 раза в октябре по сравнению с летним периодом проведения исследований в районах контроля и на ул. Первомайская. Для того, чтобы принять значимыми данные результаты мы провели сравнение внутри районов по сезонам года с помощью теста Вилкоксона (Таблица 3).

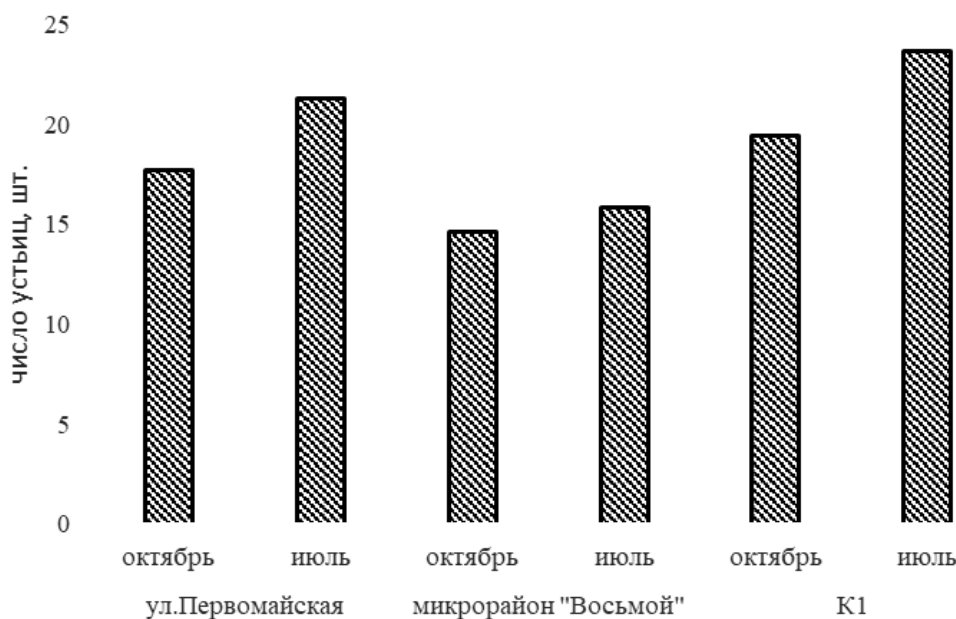


Рисунок 5 – Количественные показатели числа устьиц в листьях *Pinus sylvestris* в зависимости от времени года проведения исследований

Таблица 3 – Результаты анализа проверки гипотезы о равенстве числа устьиц в летне-осенние периоды проведения исследований (тест Вилкоксона)

Осень/лето	Число срезов	T	Z	p-level
ул. Первомайская	45	5,0000	5,443725	0,000000
Микрорайон "Восьмой"	45	23,0000	2,721897	0,006491
К1	45	0,0000	5,510932	0,000000

Как видно из результатов анализа таблицы 3, нулевая гипотеза (различий числа устьиц по сезонам года нет) отклоняется на уровне значимости $< 0,05$. Таким образом, число устьиц в летне-осенний период времени года различно.

При озеленении промышленных центров необходимо учитывать различную степень газоустойчивости древесных пород. Количество устьичных аппаратов показывает степень газочувствительности Сосны обыкновенной и может быть использовано в качестве биоиндикационных методов анализа среды обитания для характеристики уровня загрязненности того района, в котором произрастает древесное растение. Изучение их поможет найти наиболее благоприятную среду для высадки древесных растений, позволит в более ранние сроки проводить научно обоснованные хозяйственные мероприятия по улучшению состояния голосеменных растений и тем самым способствовать повышению их средостабилизирующей роли.

Заключение

На основании проделанной работы мы делаем следующие выводы:

1. На урбанизированных территориях произрастания деревьев в районах с автотранспортной, смешанной нагрузкой число устьиц в листьях в 1,5-1,9 раза меньше по

сравнению с листьями деревьев, произрастающими в районах без дополнительных антропогенных экологических факторов (контрольными районами). Основные факторы внешней среды, влияющие на число устьиц в листьях хвойных растений, – продукты сгорания топлива автомашин.

2. При уменьшении экологической нагрузки на экосистему города число устьиц растения восстанавливается в пределах генетически predetermined значений.

3. Для мониторинга состояния окружающей среды информативным будет проведение исследования числа устьиц на одном поперечном срезе игловидного листа.

4. В осенние периоды проведения работ в области биомониторинга число устьиц на поперечном срезе листа ниже в 1,2 раза по сравнению с летним периодом.

Полученные результаты исследований имеют практическую значимость при проведении со студентами и учащимися мониторинга состояния окружающей среды с использованием тест-объекта “число устьиц на поперечном срезе игловидного листа”:

– академическая значимость – впервые для города Могилева получены закономерности содержания устьиц в поперечных срезах листьев Сосны обыкновенной в зависимости от дополнительных антропогенных факторов среды, сезонов года; значимыми принимать результаты числа устьиц с одного среза;

– практическое применение – возможность использования простого в исполнении, бюджетного, достоверного метода биоиндикации среды обитания;

– воспитательный момент – обучение навыкам проведения научно-исследовательских работ; заинтересованность в изучаемых дисциплинах с практическим применением результатов собственных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Сергейчик, С. А.* Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде / С. А. Сергейчик, Е. А. Сидорович, А. А. Сергейчик. – Минск : Беларуская наука, 1998. – 198 с.
2. *Бавтуто, Г. А.* Ботаника: Морфология и анатомия растений : учеб. пособие / Г. А. Бавтуто, Л. М. Еремін. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2003. – 400 с.
3. *Варлагин, А. В.* Влияние эколого-морфологических факторов на устьичное сопротивление ели европейской / А. В. Варлагин, Н. Н. Выгодская // Лесоведение. – 1993. – № 3. – С. 48–61.
4. *Крамер, П. Д.* Физиология древесных растений / П. Д. Крамер, Т. Т. Козловский. – Москва : Лесн. пром-сть, 1983. – 462 с.
5. *Алехина, Н. Д.* Физиология растений : учебник для студ. вузов / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко ; под ред. И. П. Ермакова. – Москва : Издательский центр “Академия”, 2005. – 640 с.
6. *Сенькина, С. Н.* Транспирация и устьичное сопротивление Сосны обыкновенной в разных условиях произрастания / С. Н. Сенькина // Лесной журнал. – 2009. – № 6. – С. 46–52.
7. *Березина, Н. А.* Экология растений : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. А. Березина. – Москва : Издательский центр “Академия”, 2009. – 400 с.
8. *Федорков, А. Л.* Изменчивость анатомического строения хвои сосны и ее устойчивость к техногенному и климатическому стрессу / А. Л. Федорков // Экология. – 2002. – № 1. – С. 70–72.
9. *Жукова, И. И.* Адаптация растений к условиям окружающей среды : пособие : в 2 ч. / И. И. Жукова. – Могилев : МГУ им. А. А. Кулешова, 2008. – Ч. 1. – 88 с.
10. *Жукова, И. И.* Адаптация растений к условиям окружающей среды : пособие : в 2 ч. / И. И. Жукова. – Могилев МГУ им. А. А. Кулешова, 2009. – Ч. 2. – 68 с.
11. *Kulshrestha, U.* Plant Responses to Air Pollution / U. Kulshrestha, P. Saxena. – Singapore : Springer Verlag, 2016. – 195 с.
12. *Zhenzhu, X.* Elevated-CO₂ Response of Stomata and Its Dependence on Environmental Factors / X. Zhenzhu, Y. Jiang, B. Jia, G. Zhou // Frontiers in Plant Science. – 2016. – № 7. – С. 657.



Поступила в редакцию 21.05.2019 г.

Контакты: povorova@msu.by (Поворова Оксана Викторовна)

viktoriya.livinskaya@mail.ru (Ливинская Виктория Александровна)

Povorova O., Livinskaya V. THE INFLUENCE OF THE URBAN ENVIRONMENT QUALITY IN THE CITY OF MOGILEV ON THE QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF PINE STOMATA (*PINUS SYLVESTRIS*).

The methods of applied statistics have been used to analyze stomata on the cross-sections of Pinus sylvestris leaves growing in an industrial city. A statistically significant difference in the number of stomata in the areas of combined action of combustion products of motor vehicles and pollutants of industrial origin is proved.

The indicator of stomata number can be used as a bioindicator of gas sensitivity of Pinus sylvestris, it is recommended to be considered while choosing gas-resistant species of plants and for ecological monitoring of their habitat.

Keywords: Scots Pine (*Pinus sylvestris*), number of stomata, products of fuel combustion, industrial pollutants, hypothesis testing, nonparametric tests, Cresskill-Wallice criterion, Mann-Whitney test.

