

АДАПТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Д.С. Степанова, В.А. Савченкова

*Мытищинский филиал Московского государственного
технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Мытищи, Россия*

Аннотация. Устьичный аппарат растений и его роль в определении качества атмосферного воздуха, оценка показателей анатомо-физиологических характеристик листьев некоторых пород деревьев, произрастающих в зоне негативного воздействия от предприятия высокого класса опасности, взаимосвязь количественных показателей устьиц и динамики изменения их размеров с уровнем загрязнения воздушного бассейна, определение способности деревьев *Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Acer platanoides* адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды. В результате проведенных исследований выявлено, что длина и ширина устьиц зависит от экологических условий произрастания, а количество устьиц на 1 мм² возрастает по мере увеличения антропогенной нагрузки. Определение анатомо-морфологических показателей древесной породы примененным в исследовании методом фитоиндикации поможет обеспечить достоверность результатов в области экологического мониторинга. Выявление пород, обладающих наиболее выраженной адаптивной способностью, поможет в выборе ассортимента древесных растений для создания защитных полос и озеленения территорий, подверженных влиянию антропогенных факторов.

Ключевые слова: адаптационная способность, анатомо-морфологические характеристики листовой пластины, антропогенная нагрузка, устьичный аппарат растений, фитоиндикация.

THE ADAPTIVE ABILITY OF SOME WOODY PLANTS GROWING UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE

D.S. Stepanova, V.A. Savchenkova

Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytischki, Russia

Abstract. Stomatal apparatus of plants and its role in determining the quality of atmospheric air, assessment of indicators of anatomical and physiological characteristics of leaves of some tree species growing in the zone of negative impact from a high-risk enterprise, the relationship of quantitative indicators of stomata and the dynamics of changes in their size with the level of pollution of the air basin, determination of the ability of *Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Acer platanoides* to adapt to adverse environmental conditions. As a result of the conducted research, it was revealed that the length and width of stomata depends on the

environmental conditions of growth, and the number of stomata per 1 mm² increases with increasing anthropogenic load. The determination of anatomical and morphological parameters of the tree species by the phytoindication method used in the study will help ensure the reliability of the results in the field of environmental monitoring. The identification of breeds with the most pronounced adaptive ability will help in choosing an assortment of woody plants to create protective strips and landscaping areas affected by anthropogenic factors.

Keywords: adaptive ability, anatomical and morphological characteristics of the leaf plate, anthropogenic load, stomatal apparatus of plants, phytoindication.

Введение

Город Москва является одним из самых развивающихся населенных пунктов России. Несмотря на то, что за последние годы большинство крупных предприятий, являющихся источниками загрязнения атмосферы, были закрыты или перенесены за пределы столицы, уровень загрязнения атмосферного воздуха в Юго-Восточном административном округе г. Москвы по-прежнему высок из-за присутствия в них предприятий высокого класса опасности.

Высокая степень загрязнения, присущая крупным городам, приводит к ослаблению зеленых насаждений, снижению их продуктивности, поражению болезнями и вредителями, и в последствии - усыханию и гибели. Важную роль в проявлении устойчивости растений играет устьичный аппарат листьев, с помощью которого происходит газообмен.

Как уже было установлено ранее экспериментальным путем, для устойчивых видов древесных растений характерно большее число устьиц на 1 мм² поверхности листа [1], а решающую роль в приспособлении растений к загрязнению атмосферного воздуха состоит в их способности регулировать уровень газообмена путем изменения открытия устьичной щели [7].

Под влиянием промышленных газов уменьшается апертура устьиц в течение дня. Степень подобных нарушений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит от концентрации и токсичности газов, а также длительности их действия и чувствительности видов [2]. «Сгущение» устьиц на единице площади листа является следствием мелкоклеточности эпидермиса, а не новообразования устьиц [8]. По мнению В.С. Николаевского [4], увеличение ксероморфности строения фотосинтезирующих органов растений при действии промышленных газов вызвано подавлением фазы растяжения клеток из-за недостатка ассимилятов (ингибирование фотосинтеза) и, возможно, нарушения гормональной регуляции роста. Многочисленные исследования показывают, что этот показатель можно использовать для диагностики суммарного атмосферного загрязнения.

Исследованиями на территории музея-усадьбы Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» (при хроническом загрязнении аммиаком, окислами азота, сероводородом, сернистым газом) показано, что у дуба, березы и липы статистически достоверно увеличивается число устьиц на 1 мм² поверхности листа и уменьшаются их размеры [4].

Экспериментально также установлено, что в условиях промышленного города (на примере Кемерово) у деревьев лиственных пород увеличивается число устьиц на 1 мм² листовой поверхности, повышается количество закрытых. Увеличение общего количества и

процента закрытых устьиц более выражено у деревьев в районах города, характеризующихся более высокой техногенной нагрузкой, и, следовательно, это явление может рассматриваться как защитная реакция растений на высокое содержание промышленных газов в воздухе.

Таким образом, результаты оценки состояния древесных насаждений в условиях антропогенного загрязнения с использованием анатомо-физиологических характеристик листовых пластинок помогут оценить степень экологического ущерба от предприятий высокого класса опасности.

Цель исследования - оценить целесообразность использования некоторых древесных пород в качестве индикатора санитарного состояния окружающей среды на территории Юго-Восточного административного округа г. Москвы (далее – ЮВАО Москвы). Учитывая цель исследования, определена задача, которую необходимо решить: посчитать количество устьиц и изменение их размеров на единицу площади и, сравнив эти показатели с контролем, получить данные, свидетельствующие о состоянии растения и его адаптационной способности в местах повышенного загрязнения атмосферного воздуха.

Материал и методы исследования. Четыре пробные площади, на которых проводилось исследование (далее – опытные ПП) были заложены в 2023 г. на границе санитарно-защитной зоны [6] Московского нефтеперерабатывающего завода (МНПЗ), на расстоянии 1,5 км от предполагаемого источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а также с учетом направления господствующих в Москве северо-западных ветров. Каждая опытная ПП состояла из 12 средневозрастных деревьев четырех пород – *Betula pendula* Roth. (*Betula p.*), *Populus balsamifera* (*Populus b.*), *Acer negundo* (*Acer n.*), *Acer platanoides* (*Acer p.*). Деревья произрастают на расстоянии от 2 до 5 метров друг от друга, их состояние оценено как удовлетворительное.

Контрольная пробная площадь ПП (далее – контрольная ПП) находилась в центральной части Кузьминского лесопарка, на расстоянии 3 км от предполагаемого источника выбросов загрязняющих веществ, с учетом направления господствующих ветров. Древесная растительность на контрольном участке представлена рябиной обыкновенной, осинкой, ясенем обыкновенным, черемухой обыкновенной, кленом ясенелистным, тополем бальзамическим, кленом остролистным, березой повислой, а также подлеском из поросли перечисленных пород. Сомкнутость крон и густоту посадки можно оценить, как средние. Состояние деревьев на контрольной ПП оценено как хорошее.

В качестве модельных деревьев были выбраны 12 деревьев тех же видов, что и на опытных ПП, но в дальнейшем будут исследованы все древесные породы, произрастающие в зоне воздействия МНПЗ в целях определения наилучшей породы-индикатора, а также той, которая обладает выраженной адаптивной способностью.

Объектом исследования явились лиственные породы деревьев - *Betula p.*, *Populus b.*, *Acer n.*, *Acer p.*, являющиеся самыми распространенными и произрастающие в условиях различных природных ценозов и внутригородских территорий ЮВАО Москвы.

Предметом исследования является количественный показатель устьиц листовых пластинок перечисленных пород, а также размеры (ширина и длина) устьичных щелей.

Оценку анатомо-физиологического состояния листовых пластинок исследуемых видов проводили в августе методом, разработанным на основе стандартных методик,

разработанных Николаевским В.С. [3]. Изучение анатомо-физиологических показателей проводилось путем подсчета количества устьиц на 1 мм^2 с помощью проекционного биологического микроскопа фирмы Reichert. Математическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакета Microsoft Office – Microsoft Excel. Для интерпретации полученных результатов использовался корреляционный анализ.

Для анализа на опытных и контрольной ПП использовали средневозрастные растения. Листья брали из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток (с веток разных направлений, условно - на север, юг, запад, восток) по 10 листьев с каждого дерева на каждом участке. Листья брали примерно одного, среднего для данного вида размера.

Подсчет устьиц проводился в лабораторных условиях по методу отпечатков по Молотковскому. На поверхность листовой пластины был нанесен тонкий мазок бесцветного лака. После испарения растворителя образуется пленка, на которой отпечатывается эпидермис с устьицами. Полученные отпечатки помещались под микроскоп с увеличением в 40 раз, где в дальнейшем определялось количество и размер устьиц, а также измерялась ширина и длина устьичных щелей. 1 мм на поле соответствовал 2,09 мкм (следовательно, $1 \text{ мм}^2 = 4,37 \text{ мкм}^2$). При этом винтом слегка меняли фокусировку, чтобы обнаружить все устьица на рассматриваемом участке. Определяли среднее число устьиц в поле зрения микроскопа, исследовав несколько (3-4) полей зрения в разных участках аппарата. Подсчитывали количество устьиц в световом пятне в трех местах на каждом образце. Диаметр поля составляет 19,3 см, следовательно, площадь поля равна:

$$S = 1/4\pi d^2$$

$$S = 1/4 * 3,14 * 19,3^2$$

$$S = 292,4 \text{ см}^2 = 29240 \text{ мм}^2$$

Площадь образцов в среднем составила:

$$S_{\text{обр}} = 29240 * 3(4) * 4,37 / 1000000 = 0,38-0,51 \text{ мм}^2$$

$$1 \text{ мм} = 2,09 \text{ мкм}, 1 \text{ мм}^2 = 4,37 \text{ мкм}^2$$

Результаты исследования и их обсуждение. В настоящих исследованиях были изучены размеры (длина и ширина) и количество устьиц на 1 мм^2 листовой поверхности, показатели которых могут свидетельствовать о наличии в атмосферном воздухе химических элементов, а также характеризовать степень приспособляемости древесных пород к неблагоприятным экологическим условиям.

По результатам подсчета количества устьиц можно сделать вывод, что в условиях антропогенного воздействия число формируемых на поверхности листа устьиц для исследуемых пород увеличивается по сравнению с контролем (рис. 1).

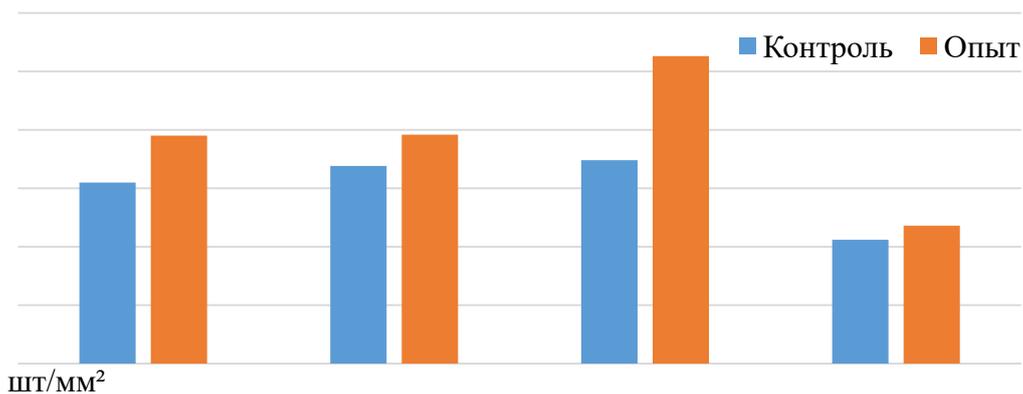


Рисунок 1 – Среднее статистическое количество устьиц исследуемых древесных пород, произрастающих в различных экологических условиях (опытные и контрольная ПП), шт./ мм²

Результаты замеров показали, что у всех исследуемых древесных пород на опытных ПП увеличивается количество устьиц на 1 мм² листовой поверхности по сравнению с исследуемыми деревьями лесопарковой зоны на контрольной ПП: для *Acer n.* - в 1,3 раза, для *Acer p.* - в 1,2 раза. Максимальное увеличение числа устьиц на 1 мм² листовой пластинки (в 1,5 раза) отмечается у *Populus b.*, произрастающего на опытных ПП, что подтверждает общепринятый факт, что данная порода обладает высокой адаптивной способностью. Наименьший количественный показатель (в 1,1 раза) отмечен у *Betula p.* на участках проведения опыта, что может говорить о том, что данная порода плохо реагирует на негативные последствия антропогенной деятельности. Учитывая данную особенность, березу можно использовать в качестве индикатора при анализе флуктуирующей асимметрии листовых пластинок.

В результате проведенных исследований выявлено, что длина и ширина устьиц зависит от условий произрастания (рис. 2). В таблице 1 приведены усредненные статистические данные ширины и длины устьиц.

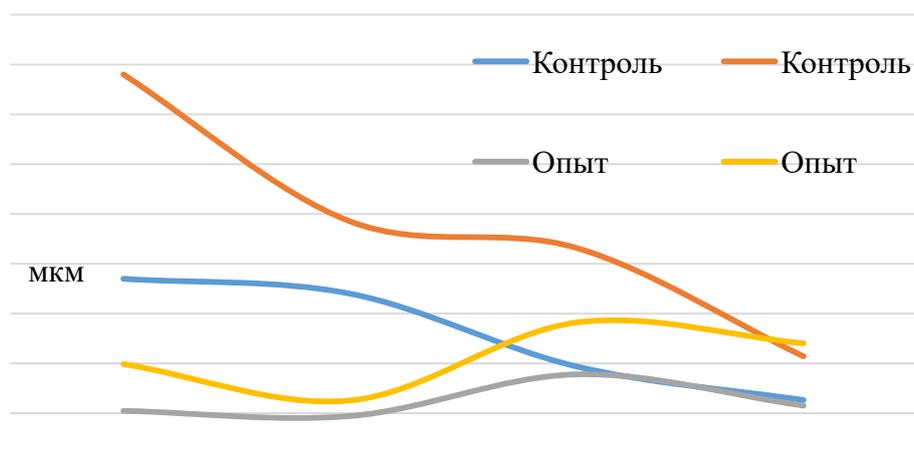


Рисунок 2 – Динамика средних показателей размеров устьиц исследуемых пород в зависимости от экологических условий (опытные и контрольная ПП)

Таблица 1. Сравнительный анализ средних показателей размеров устьиц

Порода	Контроль				Опыт			
	ширина, мкм	средняя ширина, мкм	длина, мкм	средняя длина, мкм	ширина, мкм	средняя ширина, мкм	длина, мкм	средняя длина, мкм
Acer n.	14,0±60,0	37,0	16,0±140,0	78,0	6,3±14,6	10,5	16,7±25,1	19,9
Acer p.	11,0±57,0	34,0	11,0±86,0	48,5	4,2±14,6	9,4	8,4±16,7	12,5
Populus b.	17,3±21,4	19,4	41,2±45,1	43,2	10,5±25,1	17,8	18,8±37,6	28,2
Betula p.	11,0±14,2	12,6	17,0±25,8	21,4	6,3±16,7	11,5	14,6±33,4	24,0

Сравнительный анализ длины и ширины устьиц листьев из разных экологических зон ЮВАО Москвы показал видимое уменьшение их размеров на опытных ПП по сравнению с контрольной ПП, то есть по мере возрастания степени загрязнения воздушной среды. Как уже было установлено ранее экспериментальным путем [4,7], уменьшение апертуры устьиц может рассматриваться как защитная реакция растений на высокое содержание промышленных газов в воздухе [2].

Заключение

Оценка состояния древесных насаждений в условиях антропогенного загрязнения с использованием анатомо-морфологических характеристик листовых пластинок позволяет оценить степень экологического ущерба от предприятий высокого класса опасности. Определение анатомо-морфологических показателей древесной породы примененным в исследовании методом фитоиндикации поможет обеспечить достоверность результатов в области экологического мониторинга. Выявление пород, обладающих наиболее выраженной адаптивной способностью, поможет в выборе ассортимента древесных растений для создания защитных полос и озеленения территорий, подверженных влиянию антропогенных факторов.

В результате проведенного исследования было вычислено среднее количество устьиц на 1 мм² листовой пластинки, а также изменение размеров устьичных щелей в зависимости от экологических условий места произрастания исследуемых древесных пород.

Опытные образцы собраны в зонах с различной степенью воздействия на окружающую среду выбросов предприятия высокого класса опасности с учетом направления господствующих ветров – на границе санитарно-защитной зоны и на удаленном от нее участке лесопарка, где состояние зеленых насаждений оценивается как хорошее.

Исследование показало, что количество устьиц у *Populus b.* на опытных ПП увеличивается в 1,5 раза по сравнению с показателями контроля, а размеры устьичной щели уменьшаются в 1,1-1,5 раза по мере возрастания степени загрязненности воздуха. В то время, как у *Acer n.* и *Acer p.* - в 1,3 и в 1,2 раза соответственно увеличивается количество устьиц на единицу площади на опытном участке по сравнению с контролем, а размеры устьичной щели уменьшаются в 3,5-3,9 раз, что говорит о большей чувствительности листьев клена к загрязнению воздуха.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в Юго-восточном административном округе г. Москвы, и, в частности, к северо-востоку от Московского нефтеперерабатывающего завода наблюдается изменение анатомо-физиологических характеристик листьев – увеличение количественных показателей устьиц листовых пластинок и уменьшение размеров устьичных щелей.

Однако, увеличение количества устьиц на листовой пластинке, как и изменение анатомии листа, следует рассматривать как адаптацию исследуемых пород деревьев к условиям техногенного загрязнения городской среды. Согласно полученным данным, наиболее хорошей адаптивной способностью обладает *Populus b.*, а деревья *Betula p.*, наоборот, плохо приспособляются к неблагоприятным экологическим условиям.

Исследование биоиндикационных показателей древесных растений в зоне воздействия МНПЗ будет продолжено с целью оценки состояния других лесобразующих пород и определения их адаптационной способности.

Список литературы

1. Беляева, Ю.В. Результаты исследования количества устьиц листовых пластинок *Betula pendula roth.*, произрастающей в условиях антропогенного воздействия (на примере г.о. Тольятти) / Ю.В. Беляева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2015. – Т. 17. – №4. – С. 113 – 115.

2. Неверова О.А. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды = Experience of using bioindicators to estimate the pollution of environment: аналит. обзор / Неверова О. А, Еремеева Н. И. // Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. Наук. Ин-т экологии человека. Новосибирск, 2006. – 88 с. – (Сер. Экология. Вып. 80).

3. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск. Наука. 1979. – 280 с.

4. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский // Мытищи – МГУЛ. 1999. – 193 с.

5. Пирогова Д.В. Адаптация древесных растений к воздействию городской среды / Д.В. Пирогова, Л.Н. Сунцова, Е.М. Иншаков // Хвойные boreальной зоны, XXVI, 2009 - № 2. – С. 222-223.

6. Проектная документация на строительство резервуара нефти РВС №504 объемом 40000 м³ в АО «Газпромнефть-МНПЗ. Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды, 0359.00-ООС, Том 8, 2019, ООО «НПК «Волга-Автоматика» – Москва, 2019.

7. Чуваев П. П. Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений / П. П. Чуваев, Ю. З. Кулагин, Н. В. Гетко // Наука и техника – Минск, 1973.

8. Фролов, А. К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем / А. К. Фролов // СПб. – Наука, 1998 – 328 с.

References

1. Belyaeva, Yu.V. The results of a study of the number of stomata of leaf plates of *Betula pendula* roth., growing under conditions of anthropogenic impact (on the example of the city of Tolyatti) / Yu.V. Belyaeva // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2015. – vol. 17. – No.4. – pp. 113 – 115.
2. Neverova O.A. Experience of using bioindicators in environmental pollution assessment = Experience of using bioindicators to estimate the pollution of environment: an analyte. review / Neverova O. A., Ereemeeva N. I. // State Public Scientific and Technical b-ka of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Sciences'. Human Ecology Institute. Novosibirsk, 2006. – 88 p. – (Ser. Ecology. Issue 80).
3. Nikolaevsky V.S. Biological foundations of plant gas resistance. Novosibirsk. Science. 1979. – 280 p.
4. Nikolaevsky, V. S. Ecological assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phytoindication methods / V. S. Nikolaevsky // Mytishchi – MGUL. 1999. – 193 p
5. Pirogova D.V. Adaptation of woody plants to the effects of the urban environment / D.V. Pirogova, L.N. Suntsova, E.M. Inshakov // Coniferous boreal zones, XXVI, 2009 - No. 2. – pp. 222-223.
6. Project documentation for the construction of the RVS oil reservoir No. 504 with a volume of 40,000 m³ in Gazpromneft-MNPZ JSC. Section 8. List of environmental protection measures, 0359.00-OOS, Volume 8, 2019, NPK Volga-Automatika LLC – Moscow, 2019.
7. Chuvaev P. P. Questions of industrial ecology and plant physiology / P. P. Chuvaev. 3. Kulagin, N. V. Getko // Science and Technology – Minsk, 1973.
8. Frolov, A. K. The environment of a large city and the life of plants in it / A. K. Frolov // St. Petersburg – Nauka, 1998 – 328 p.