

УДК 504.3.054:574.21:581.491(476.6)

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТЬИЧНОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA*) В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ЩЕЛОЧНОГО ТИПА

М. Н. ВАШКЕВИЧ

научный сотрудник

Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси

П. Н. БЕЛЫЙ

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси

Введение. Изучение количественных характеристик устьичного аппарата растений относятся к одному из наиболее информативных, наглядных и простых в применении в практике мониторинговых исследований. Цель настоящей работы – изучение количественных характеристик устьичного аппарата березы повислой (*Betula pendula* Roth) как одного из критериев морфологической устойчивости растений и потенциального индикатора техногенной нагрузки в зоне влияния выбросов щелочного типа.

Материал и методы. Объектом исследования являлась береза повислая в пределах заложённых временных пробных площадей вокруг предприятий по производству цемента на территории Гродненской и Могилевской областей. Изучение устьичного аппарата проводили методом отпечатков по Полаччи.

Результаты и их обсуждение. Установлено изменение числа устьиц и их размеров у березы повислой в условиях повышенной атмосферической нагрузки. У всех исследованных образцов, отобранных в зонах влияния выбросов, проявлялась “классическая” ответная реакция, выражающаяся в возрастании плотности устьиц в условиях атмосферного загрязнения. Размерные характеристики замыкающих клеток в условиях загрязнения не всегда показывали четко выраженные различия в сравнении с фоновыми.

Заключение. Изученные показатели (плотность устьиц, размеры устьиц) отражают реакцию древесных растений на степень загрязнения окружающей среды в условиях щелочного загрязнения и их можно рекомендовать, как для оценки состояния лесных сообществ, примыкающих к источникам загрязнения, так и защитных зеленых насаждений (в системе мониторинга урбоэкосистем).

Ключевые слова: экологический мониторинг, *Betulaceae*, эпидермальный комплекс листа, цементное производство, Волковисский район, Костюковичский район.

Введение

Изучение динамики флоры, прогнозирование процессов развития экосистем – важнейшая задача, которая позволяет осуществить один из вариантов биомониторинга, наблюдение за состоянием биологического разнообразия растений, так как они являются важнейшим санитарно-гигиеническим, градостроительным и эстетическим компонентом ландшафта. Цементная промышленность – базовая отрасль в комплексе отраслей, производящих строительные материалы. Роль цемента в современном строительстве очень велика, его ничем невозможно равноценно заменить. Несмотря на всю важность цементного производства, оно имеет ряд недостатков, в том числе, и в экологическом

© Вашкевич М. Н., 2019

© Белый П. Н., 2019

плане. Прежде всего, она характеризуется значительными объемами как твердых, так и газообразных загрязняющих веществ. Количество пыли, ежегодно осаждающейся на поверхности ассимилирующих органов деревьев и кустарников, почвы и живого напочвенного покрова, может достигать 10% от всего производства цемента и составлять до 0,25 т на 1 км² [1]. Цементная пыль содержит от 10 до 40% кальция в виде оксида, карбоната, легкогидролизуемых силикатов, до 2,0–2,2% калия и характеризуется высокой мелиорирующей способностью, особенно на кислых почвах легкого гранулометрического состава [2]. Выбросы цементных производств оказывают влияние на все компоненты природной среды. Цементные частицы имеют слабощелочную реакцию, и при взаимодействии с осадками образуется щелочь, нарушающая биохимические процессы в хлоропластах, а образующаяся впоследствии цементная корка резко нарушает тепловой баланс органов ассимиляции и увеличивает потери растений на дыхание [3]. Поэтому по степени фитотоксичности некоторые исследователи [4] располагают цементную пыль сразу за пылью цинкового и алюминиевого производств.

Одним из главных индикаторов влияния промышленных выбросов на окружающую природную среду является растительность, так как именно она, благодаря высокой чувствительности к антропогенному воздействию, первой принимает на себя воздействие техногенного пресса. Пылевые частицы забивают устьичный аппарат растений, приводят к ухудшению их жизненного состояния, что отражается в темпах роста и развития растений [5]. Изучению влияния на древесные и их компоненты техногенных загрязнителей, имеющих кислую химическую реакцию, у нас в республике посвящены многочисленные исследования [6–8]. Оценка влияния промышленных щелочных загрязнений на все компоненты лесных биогеоценозов в Беларуси ранее не выполнялась.

В оценке степени техногенного воздействия на природные экосистемы нельзя рассчитывать лишь на физико-химические показатели атмосферного воздуха и почв, т.к. эти данные не дают полного представления о состоянии окружающей среды. Необходимо использовать принципы биомониторинга, которые предполагают проведение комплексных исследований с применением, в качестве тест-объектов, живых организмов, у которых прослеживается четкая закономерность изменения определенных показателей, в зависимости от интенсивности техногенной нагрузки [9].

Для листьев цветковых растений свойственен закономерно организованный микро-рельеф поверхности. Такая ситуация может свидетельствовать как о случайном проявлении того или иного типа микро-рельефа, так и о его тканеспецифическом характере, когда в ходе гистогенеза эпидермы складываются определенные морфогенетические и морфофункциональные корреляции, отражением которых и является микро-рельеф [10]. Стабильность микро-рельефа, по мнению некоторых исследователей [11; 12], говорит о неслучайном характере его развития. Указанная особенность позволяет использовать характеристики организации микро-рельефа в качестве одного из диагностических признаков в различного рода исследованиях [13–17]. К примеру, широко используются такие признаки, как тип устьичного аппарата и устьичный индекс, размер и форма клеток [18; 19].

Длительное или постоянное воздействие техногенных загрязнителей на растительность вызывает серьезные изменения анатомического строения листьев растений и увеличение их ксерофитизации, которое проявляется в изменении размеров листьев, клеток, толщины эпидермиса, мезофилла, в более мощном развитии механической ткани, увеличении числа устьиц на 1 мм² поверхности листа, уменьшении размеров устьиц [20; 21]. Указанные признаки используются растениями для обеспечения устойчивости к неблагоприятным техногенным факторам [22]. Отмеченные изменения ассимиляционных органов (повышенная плотность размещения устьиц на листовой пластинке, уменьшение их размеров)

являются следствием подавления стадии растяжения клеток из-за недостатка ассимилянтов и нарушения гормональной регуляции роста, вызванного неблагоприятными условиями, в том числе высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха [23; 24]. По этим же причинам у растений происходит замедление роста осевых и боковых побегов, листьев, в целом, хвои (снижение ее сухого и сырого веса, площади), изреживание кроны деревьев вследствие повреждения и опадения листьев, уменьшение возраста листьев на дереве [25]. Степень описанных изменений в анатомическом строении ассимиляционных органов зависит от концентрации и токсичности загрязняющих веществ, а также от длительности их действия и чувствительности видов. Изучение количественных характеристик устьичного аппарата растений относят к одному из наиболее информативных, наглядных и простых в применении в практике мониторинговых исследований. При этом к признакам, наиболее часто используемым для оценки, можно отнести количество устьиц, приходящихся на 1 мм² поверхности листовой пластинки и размеры замыкающих клеток устьиц. Использование указанных стоматографических характеристик листа подкреплено еще и тем, что выявлена статистически достоверная связь между газоустойчивостью растений и числом устьиц на 1 мм² поверхности листьев [26]. Так, у березы повислой в условиях промышленного загрязнения в листовом аппарате, наряду со снижением суммы хлорофиллов, каротиноидов и снижением фотосинтетической активности, наблюдается явление ксероморфоза, проявляющееся в увеличении количества устьиц на 1 мм², а также числа закрытых устьиц [27]. В работе [28] установлено, что устьичный индекс растений березы повислой, произрастающих в черте г. Красноярска, выше, чем у деревьев, произрастающих на удалении 25 км от городской черты, а размеры замыкающих клеток устьиц меньше, нежели в незагрязненных условиях. Кроме того, в этой же работе показано, что влияние техногенных нагрузок проявляется также в ослаблении зависимости между стоматографическими признаками березы повислой.

Применение характеристики устьичного аппарата растений в исследовании влияния выбросов цементных производств представляется полезным в плане того, что не всегда ответные реакции растений на данный тип загрязнения являются однонаправленными и, кроме того, проявляются не сразу, а в течение длительного периода воздействия. Так, попытки экспериментального внесения высоких доз (3–20 т/га) извести в качестве мелiorанта в целях поддержания газоустойчивости и восстановления лесных экосистем часто приводили к отрицательным результатам на уровне всего биогеоценоза: происходили коренные изменения в структуре популяций грибов, бактерий, почвенной фауны, происходило полное исчезновение мохообразных и лишайников, трансформировался видовой состав напочвенного покрова (повышалась доля участия степных видов) [29]. Влияние известкования на продуктивность древостоя было не однонаправленным. Положительный эффект чаще всего наблюдался в молодых древостоях, отрицательный – в старовозрастных. Часто положительное влияние на древостой было краткосрочным: положительный эффект в последствии пропадал независимо от вносимой дозы (2–10 т/га) [30].

Цель исследования – изучение количественных характеристик устьичного аппарата березы повислой (*Betula pendula Roth*) как одного из критериев морфологической устойчивости растений и потенциального индикатора техногенной нагрузки (на основании морфологических изменений устьиц) в зоне влияния выбросов щелочного типа ОАО “Красносельскстройматериалы” (Гродненская обл.) и ОАО “Белорусский цементный завод” (Могилевская обл.).

Материал и методы исследований

Исследования осуществлялись на территории Гродненской и Могилевской областей, где расположены промышленные предприятия по производству цемента –

ОАО “Красносельскстройматериалы” (КСМ) и ОАО “Белорусский цементный завод” (БЦЗ). КСМ – старейшее и самое большое предприятие цементной промышленности Беларуси по многим параметрам, но, в первую очередь, по объему производства цемента и ширине ассортимента выпускаемой продукции. В мае 2012 г. введены новые линии по производству цемента “сухим” способом, поэтому в структуре производства цемента 90% приходится на портландцемент, около 10% – на другие его виды. Особенность Белорусского цементного завода заключается в том, что производство цемента здесь ведется “сухим” способом на мергелях 22–32%-ой влажности, которые добываются в собственных карьерах “Высокое” и “Коммунары западные”.

Объектом исследования являлась береза повислая – одна из наиболее распространенных лесообразующих пород на территории Республики Беларусь.

Для получения комплексной информации о влиянии хронического щелочного загрязнения воздуха на состояние природной среды, вокруг заводов КСМ и БЦЗ была заложена серия временных пробных площадей с преобладанием сосны обыкновенной III–IV класса возраста. Контрольные стационары, имеющие сходные лесорастительные условия и таксационные характеристики, располагались для КСМ – в пределах Национального парка “Беловежская Пуща” (вблизи северо-восточной границы заповедной территории) при удаленности от завода около 40 км (52°54'39"N, 24°20'55"E), для БЦЗ – на территории Хотимского лесничества ГЛХУ “Костюковичский лесхоз” при удаленности от завода около 40 км (53°20'60"N, 32°35'35"E) (таблица 1). Пробы растительного материала были отобраны на различном удалении от КСМ и БЦЗ по трем направлениям: север, юг и юго-восток. С целью нивелирования влияния условий местопроизрастания растений на изучаемые характеристики эпидермального комплекса березы повислой растительные образцы для анализа отбирались преимущественно в пределах организованных временных стационаров. В каждой исследуемой точке листья отбирались как минимум с 3-х особей, находящихся в генеративном онтогенетическом состоянии. Для анализа отбирали взрослые, закончившие фазу интенсивного роста, листья.

Таблица 1 – Места отбора растительных образцов для определения показателей состояния устьичного аппарата

| П/П | Расположение |
|-----------------------------|---|
| БЦЗ, Ю, 50 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 50 м к югу от завода |
| БЦЗ, Ю, 100 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 100 м к югу от завода |
| БЦЗ, Ю, 150 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 150 м к югу от завода |
| БЦЗ, Ю, 200 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 200 м к югу от завода |
| БЦЗ, Ю, 700 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 700 м к югу от завода |
| БЦЗ, Ю, 1000 м, опушка | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 1 км к югу от завода, опушка леса |
| БЦЗ, Ю, 1100 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 1 км 100 м к югу от завода |
| БЦЗ, ЮВ, 100 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 100 м к юго-востоку от завода |
| БЦЗ, ЮВ, 1700 м, опушка | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 1 км 700 м к юго-востоку от завода, опушка леса |
| БЦЗ, ЮВ, 1750 м, за опушкой | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 1 км 750 м к юго-востоку от завода, за опушкой леса |
| БЦЗ, ЮВ, 2000 м | Могилевская обл., Костюковичский р-н, БЦЗ, 2 км к юго-востоку от завода |
| БЦЗ, контроль | Могилевская обл., Хотимский р-н, ГЛХУ “Костюковичский лесхоз”, Хотимское л-во, 40 км к востоку от БЦЗ |

Окончание таблицы 1

| ПП | Расположение |
|-----------------|--|
| КСМ, Ю, 50 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 50 м к югу от завода |
| КСМ, Ю, 100 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 100 м к югу от завода |
| КСМ, Ю, 350 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 350 м к югу от завода |
| КСМ, ЮВ, 30 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 30 м к юго-востоку от завода |
| КСМ, ЮВ, 150 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 150 м к юго-востоку от завода |
| КСМ, ЮВ, 750 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 750 м к юго-востоку от завода |
| КСМ, ЮВ, 1500 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 1500 м к юго-востоку от завода |
| КСМ, С, 350 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 350 м к северу от завода |
| КСМ, С, 500 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 500 м к северу от завода |
| КСМ, С, 1000 м | Гродненская обл., Волковысский р-н, КСМ, 1 км к северу от завода |
| КСМ, контроль | Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ «НП «Беловежская Пуца»», Порозовское л-во |

Из каждой партии листьев рандомизированно отбиралось 10 экземпляров, у которых в дальнейшем изучались стоматографические характеристики эпидермиса. Изучение устьичного аппарата проводили методом отпечатков по Полаччи [31]. Слепки эпидермы предварительно просматривали под микроскопом Daffodil MCX100 (Micros, Austria) при увеличении 10×10 в проходящем свете, затем фотографировали с помощью цифровой камеры Levenhuk M1400 PLUS (Levenhuk, USA). Учет количества устьиц, приходящихся на 1 мм^2 поверхности листовой пластинки, проводили на нижней стороне листа. Для получения достоверных данных о числе устьиц, приближающихся к средним значениям, изучали слепки средней трети части листа между краем и центральной жилкой [32]. Помимо подсчета количества устьиц на единицу площади исследовали еще 2 признака: длину и ширину устьиц. Замеры устьиц осуществляли на микрофотографиях с помощью программы Levenhuk TopView (Levenhuk, USA). Определение количества устьиц в эпидермисе листа производилось в 30-кратной повторности, размеров устьиц – в 50-кратной повторности для каждого образца. Статистическую обработку проводили с помощью общепринятых методов [33].

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных исследований было установлено, что у березы повислой по мере возрастания уровня техногенной нагрузки в некоторых случаях наблюдается тенденция к увеличению устьичного количества устьиц. Так, по мере приближения к заводу КСМ в юго-восточном направлении, количество устьиц возрастало с $110,90 \pm 3,79$ шт/мм² (на расстоянии 750 м от завода) и достигало максимальных значений в непосредственной близости от завода – $139,40 \pm 10,66$ шт/мм² (на расстоянии 30 м) (таблица 2). Несмотря на то, что в южном направлении от завода КСМ данная закономерность не наблюдалась, значение показателей плотности устьиц было достоверно выше, нежели в контрольных условиях.

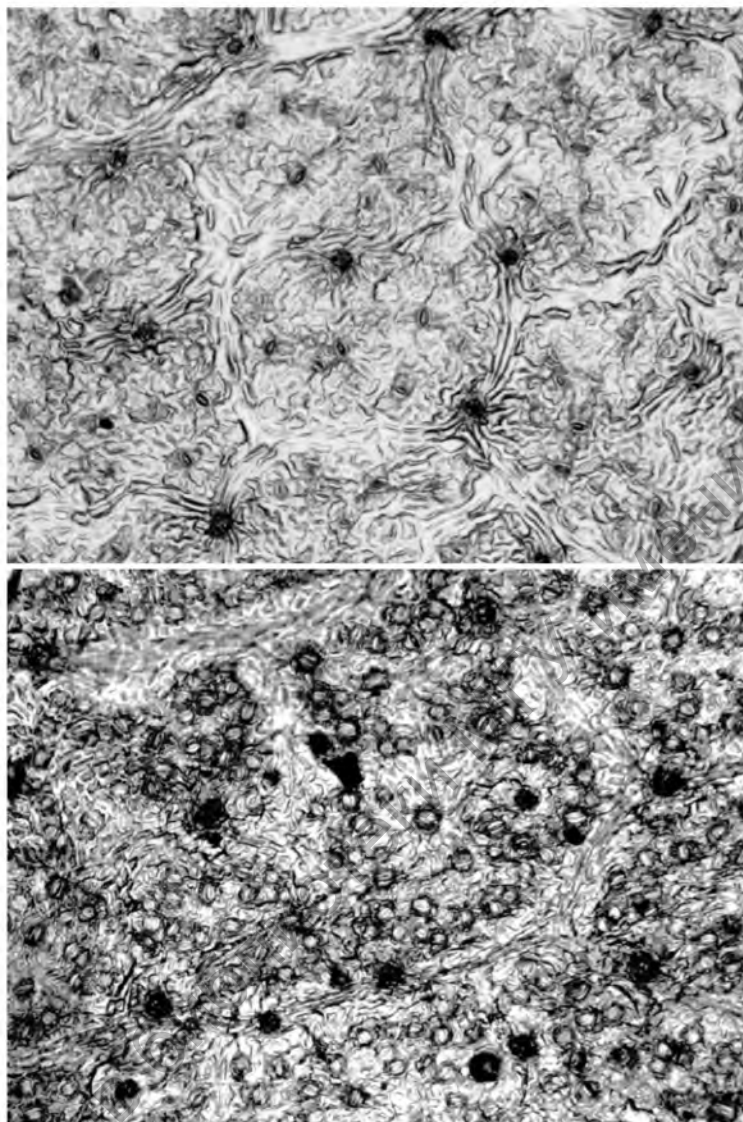
Таблица 2 – Количественные характеристики устьичного аппарата березы повислой на различном удалении от цементных заводов

| П/П | Количество устьиц, шт/мм ² , среднее | Размеры устьиц, мкм | |
|-----------------------------|---|---------------------|-------------|
| | | Длина | Ширина |
| КСМ, Ю, 100 м | 115,40±7,30 | 29,50±0,53* | 19,80±0,48* |
| КСМ, Ю, 350 м | 121,80±7,09 | 32,30±0,64* | 20,80±0,43* |
| КСМ, ЮВ, 30 м | 139,40±10,66 | 33,40±0,78 | 21,30±0,53* |
| КСМ, ЮВ, 150 м | 131,10±5,67 | 37,60±0,87 | 26,16±0,55 |
| КСМ, ЮВ, 750 м | 110,90±3,79 | 37,80±0,66 | 23,98±0,44 |
| КСМ, С, 350 м | 128,50±3,05 | 32,30±0,74* | 21,24±0,49* |
| КСМ, С, 500 м | 139,30±6,63 | 32,50±0,75* | 22,67±0,38 |
| КСМ, контроль | 93,20±4,43 | 31,00±0,58 | 20,12±0,51 |
| БЦЗ, Ю, 50 м | 138,52±6,62 | 34,32±0,53 | 22,11±0,36 |
| БЦЗ, Ю, 100 м | 111,76±2,41 | 31,66±0,78 | 18,62±0,47* |
| БЦЗ, Ю, 150 м | 131,86±4,53 | 34,44±0,92 | 19,80±0,55 |
| БЦЗ, Ю, 200 м | 126,48±3,09 | 33,50±0,66 | 21,12±0,53 |
| БЦЗ, Ю, 700 м | 127,10±4,36 | 32,27±0,88 | 20,36±0,45 |
| БЦЗ, Ю, 1000 м, опушка | 119,71±2,28 | 30,15±0,71 | 19,42±0,36 |
| БЦЗ, Ю, 1100 м | 109,33±2,32 | 32,23±0,91 | 22,04±0,64 |
| БЦЗ, ЮВ, 100 м | 134,81±3,23 | 34,77±0,54 | 23,94±0,59 |
| БЦЗ, ЮВ, 1700 м, опушка | 146,86±2,86 | 34,27±0,57 | 21,13±0,37 |
| БЦЗ, ЮВ, 1750 м, за опушкой | 121,62±4,77 | 35,07±0,65 | 21,59±0,37 |
| БЦЗ, ЮВ, 2000 м | 122,76±3,38 | 35,90±0,72 | 21,05±0,34 |
| БЦЗ, контроль | 104,62±3,38 | 27,01±0,51 | 17,57±0,48 |

Примечание: * – статистически не значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем

Сходная тенденция повышения значений плотности устьиц была характерна также для березы повислой, произрастающей в окрестностях БЦЗ (таблица 2): в южном направлении от завода количество устьиц варьировало от 109,33±2,32 (на удалении 1 км 100 м) до 138,52±6,62 шт/мм² (в непосредственной близости от завода – 50 м), в юго-восточном направлении количество устьиц на единицу поверхности повышалось по мере приближения к источнику выбросов от 122,76±3,38 (2 км от завода) до 134,81±3,23 шт/мм² (100 м).

Необходимо отметить, что количество устьиц достигало минимальных значений именно в контрольных условиях Порозовского лесничества Беловежской Пуши (93,20±4,43 шт/мм²), а также Хотимского лесничества Костюковичского лесхоза (104,62±3,38 шт/мм²) и было достоверно ниже, чем в окрестностях изученных цементных заводов (таблица 2, рисунок). Очевидно, что для нормализации газообмена в условиях повышенных уровней загрязнения плотность устьиц возрастает.



Эпидермис нижней стороны листа *Betula pendula* в фоновых условиях (вверху)
и в зоне воздействия выбросов цементных производств (внизу)
(примечание: площадь изображенного фрагмента эпидермиса – 1 мм²)

В отличие от значений плотности устьиц размерные характеристики замыкающих клеток устьичного аппарата березы повислой в условиях загрязнения выбросами КСМ и контрольных условиях не показали значительных различий (таблица 2). Размеры устьиц достоверно отличались от контрольных значений, причем в большую сторону, только в юго-восточном направлении от завода. У деревьев, произрастающих в южном направлении от завода КСМ, не было выявлено достоверных различий в размерных характеристиках устьиц по сравнению с контрольными значениями.

В окрестностях БЦЗ, напротив, значения длины и ширины устьиц оказались значительно больше, чем в контрольных условиях (таблица 2). Вероятно, что данная тенденция

связана с адаптационными механизмами, обеспечивающими большую эффективность в регуляции транспирации растениями (при одновременном увеличении числа устьиц) в условиях техногенного воздействия.

Заключение

Впервые в условиях Беларуси изучены характеристики устьичного аппарата березы повислой в зоне влияния выбросов цементных производств, проведена ординация стоματοграфических параметров вдоль фактора загрязнения. Установлено изменение числа устьиц и их размеров у березы повислой в условиях повышенной атмосферической нагрузки. У всех исследованных образцов, отобранных в зонах влияния выбросов, проявлялась “классическая” ответная реакция, выражающаяся в увеличении значений плотности устьиц в условиях атмосферного загрязнения. При усилении загрязнения наблюдалось увеличение числа устьиц: с 93 до 139 шт/см² (КСМ) и с 104 до 146 шт/см² (БЦЗ). Данная особенность, очевидно, обусловлена тем, что при повышении уровня загрязнения происходит нарушение процесса газообмена листьев с окружающей средой. Увеличение же количества устьиц на единицу площади может являться компенсаторным механизмом, повышающим эффективность регуляции интенсивности газообмена в условиях техногенной нагрузки.

Размерные характеристики замыкающих клеток устьичного аппарата березы повислой в условиях загрязнения выбросами КСМ и контрольных условиях не показали четко выраженных различий размеров в условиях загрязнения щелочного типа. Только в условиях БЦЗ значения длины и ширины устьиц оказались значительно больше (30,15(35,90)×19,42(21,05) мкм), чем в контрольных условиях (27,01×17,57 мкм). Адаптационный потенциал исследованного вида реализуется на различных структурно-функциональных уровнях организации. При увеличении степени промышленного загрязнения происходит усиление ксероморфности листовой пластинки, проявляющееся в возрастании плотности устьиц. Формирование определенной плотности устьиц и, в некоторых случаях, увеличение их размеров связано прежде всего с обеспечением и регулированием процессов газообмена и транспирации, направленных на поддержание оптимальной продуктивности фотосинтеза в условиях загрязнения.

На основании проведенных исследований можно заключить, что изученные показатели отражают реакцию древесных растений на степень загрязнения окружающей среды в условиях щелочного загрязнения и их можно рекомендовать, как для оценки состояния лесных сообществ, примыкающих к источникам загрязнения, так и защитных зеленых насаждений (в системе мониторинга урбоэкосистем). По изменениям стоματοграфических характеристик в будущем можно судить о снижении либо повышении уровня техногенной нагрузки. Результаты исследований могут послужить основой при оценке современного состояния растительности и в целом природной среды, а также при разработке научно-практических рекомендаций по защите природной среды в зоне влияния цементных производств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка удельных выбросов тяжелых металлов по категориям источников. Цементное производство / С. В. Какарека [и др.] // Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. – Минск : Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 1998. – С. 85–94.
2. *Шелухо, В. П.* Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.03.03 ; 03.00.16 / В. П. Шелухо ; Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск : БГИТА, 2003. – 34 с.
3. *Соколов, Г. И.* Усыхание лесов около г. Сатки Челябинской области от промышленных воздействий АО “Магнезит” / Г. И. Соколов // Влияние атмосферных загрязнений и других

- антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы : тез. докл. Междунар. науч. конф. : в 2 т. – М. : МГУЛ, 1996. – Т. 2. – С. 35–37.
4. **Griess, O.** Nachweis zusätzlicher Immissionswirkungen durch das DKN-Zoltweg und ihre Quantifizierung in einem Talgebiet des Murwaldes / O. Griess // Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. – Wien, 1980. – 131. – P. 185–188.
 5. **Горчакова, А. Ю.** О сезонном развитии злаков Республики Мордовия / А. Ю. Горчакова // Ботанический журнал. – 2013. – Т. 98. – № 5. – С. 605–621.
 6. Промышленные загрязнения, оценка состояния и оптимизация природной среды городских экосистем / Е. А. Сидорович [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 198 с. : ил.
 7. **Сергейчик, С. А.** Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде / С. А. Сергейчик, Е. А. Сидорович, А. А. Сергейчик. – Минск : Белорусская наука, 1998. – 198 с.
 8. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Е. Г. Бусько [и др.] ; под общ. ред. Е. А. Сидоровича. – Минск : Наука и техника, 1995. – 319 с.
 9. **Бухарина, И. Л.** Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях / И. Л. Бухарина, А. А. Двоглазова. – Ижевск : Удмуртский университет, 2010. – 184 с.
 10. **Паутов, А. А.** Строение и функции перистоматических колец в эпидерме листа цветковых растений / А. А. Паутов, О. В. Яковлева, Ю. О. Сапач // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века : материалы всероссийской конференции (Петрозаводск, 22–27 сентября 2008 г.). – Ч. 1 : Структурная ботаника. Эмбриология и репродуктивная биология ; редкол.: Т. Б. Батыгина [и др.]. – Русское ботаническое общество, Отделение биологических наук Российской академии наук, Карельский научный центр РАН, Санкт-Петербургский научный центр РАН, Петрозаводский государственный университет. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2008. – С. 67–69.
 11. **Ahmad, K. J.** Cuticular striation in *Cestrum* / K. J. Ahmad // Current science. – 1962. – Vol. 31. – P. 388–390.
 12. **Сапач, Ю. О.** К вопросу о постоянстве микрорельефа поверхности листа цветковых растений / Ю. О. Сапач // Герценовские чтения : материалы межвузовской конференции молодых ученых. – Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена (Герценовский университет). – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2005. – С. 30–31.
 13. **Dilcher, D. L.** Approaches to the identification of angiosperm leaf remains / D. L. Dilcher // The Botanical review. – 1974. – Vol. 40, № 1. – P. 1–157.
 14. **Stace, C. A.** The taxonomic importance of the leaf surface / C. A. Stace // Syst. Assoc. – 1984. – Vol. 25. – P. 67–94.
 15. **Wu, H.** Comparative observation on leaf anatomy and pollen of *Vernicia* Lour. and *Aleurites* J. R. et G. Forst / H. Wu // Acta phytotaxon. – 1985. – Vol. 23, № 3. – P. 188–191.
 16. **Головнева, Л. Б.** Позднемеловая флора Сибири : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05 / Л. Б. Головнева ; Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН. – СПб., 2004. – 495 с.
 17. **Veeramohad, R.** Macromorphological and micromorphological studies of four selected *Passiflora* species in Peninsular Malaysia / R. Veeramohad, N. W. Haron // Pak. J. Bot. – 2015. – Vol. 47(2). – P. 485–492.
 18. **Баранова, М. А.** Признаки устьиц в систематике / М. А. Баранова, Т. А. Остроумова // Итоги науки и техники. Сер. Ботаника. – 1987. – Т. 6, вып. 1. – С. 173–192.
 19. **Паутов, А. А.** Структура листа в эволюции тополей / А. А. Паутов. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2002. – 163 с.
 20. **Князева, Е. И.** Газоустойчивость растений в связи с их систематическим положением и морфолого-анатомическими и биологическими особенностями / Е. И. Князева // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сортаменты : сб. работ / Горьков. гос. ун-т, Акад. коммун. хоз-ва им. К. Д. Памфилова ; под общ. ред. Н. П. Красинского. – Москва-Горький, 1950. – С. 111–179.
 21. **Николаевский, В. С.** Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 280 с.

22. **Гетко, Н. В.** Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата / Н. В. Гетко. – Минск : Наука и техника, 1989. – 208 с.
23. **Илькун, Г. М.** Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – Киев : Наукова думка, 1978. – 248 с.
24. **Ярмишко, В. Т.** Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В. Т. Ярмишко. – СПб., 1997. – 210 с.
25. **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.
26. **Николаевский, В. С.** О показателях газоустойчивости растений // Труды Института биологии УФАИ. – 1963. – Вып. 31. – С. 31–33.
27. **Неверова, О. А.** Основные пути изменения жизнедеятельности древесных растений в условиях промышленного города / О. А. Неверова // Экология промышленного производства. – 2001. – № 4. – С. 10–14.
28. **Шемберг, М. А.** Морфо-анатомическая структура городских насаждений березы повислой / М. А. Шемберг, Л. Е. Жарко // Ботанические исследования в Сибири. – 1994. – № 2. – С. 151–156.
29. **Лукина, Н. В.** Оптимизация питательного режима почв как фактор восстановления нарушенных лесных экосистем севера / Н. В. Лукина, В. В. Никонов // Лесоведение. – 1999. – № 2. – С. 57–67.
30. **Павлов, Н. Н.** Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И. Н. Павлов ; под ред. Р. Н. Матвеевой. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2005. – 370 с.
31. Практикум по физиологии растений / под ред. И. И. Гунара. – М. : Колос, 1972. – 168 с.
32. **Баранов, П. А.** К методике количественно-анатомического изучения растения. Распределение устьиц / П. А. Баранов // Бюл. Среднеаз. гос. ун-та. – 1924. – № 7. – С. 1–6.
33. **Лакин, Г. Ф.** Биометрия : учеб. пособие / Г. Ф. Лакин ; под ред. В. Е. Дерябина. – М. : Высшая школа, 1990. – 352 с.

Поступила в редакцию 28.02.2019 г.

Контакты: marivashkevich@yandex.by (Вашкевич Марина Николаевна)

pavel.bely@tut.by (Белый Павел Николаевич)

Vashkevich M., Bely P. QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA*) STOMATAL APPARATUS UNDER THE INFLUENCE OF ALKALINE EMISSIONS.

Introduction. *The study of the quantitative characteristics of the stomatal apparatus of plants is considered to be one of the most informative, visual and easy to use in the practice of monitoring studies. The aim of the work is to study the quantitative characteristics of the stomatal apparatus of silver birch (*Betula pendula* Roth) as one of the criteria of plant morphological stability and a potential indicator of technogenic load in the zone under the influence of alkaline emissions.*

Material and methods. *The object of the study is the hanging birch within the temporarily laid test plots around the cement production enterprises in Grodno and Mogilev regions. To study stomatal apparatus the method of fingerprints by Polacchi has been used.*

Findings and their discussion. *The changes in the number of silver birch stomata and their size under the elevated atmospheric load have been found. All the studied samples taken in the emission zones demonstrated a "classical" response resulting in an increase in the stomatal density under the influence of atmospheric pollution. The size characteristics of the guard cells under pollution conditions did not always display clear differences in comparison with the background ones.*

Conclusion. *The studied indicators (stomatal density, stomatal size) reflect the reaction of woody plants to the degree of environmental pollution (alkaline pollution) and can be recommended for assessing the state of forest communities and protective green plantations adjacent to the sources of pollution.*

Keywords: ecological monitoring, *Betulaceae*, leaf epidermal complex, cement production, Volkovysk District, Kostyukovichy District.