

УДК 574:504.064:477.25

Е.Г. Тюлькова¹, Л.П. Авдашкова²¹канд. биол. наук, доц. каф. товароведения*Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации*²канд. физ.-мат. наук, доц. каф. информационно-вычислительных систем*Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации*e-mail: tut-3@mail.ru

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАСТИТЕЛЬНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. ГОМЕЛЯ)

*Представлены результаты исследований адаптивного потенциала древесных растений к техногенному влиянию с учетом морфометрических параметров листовой пластинки. Установлено, что морфометрический механизм адаптации листовых пластинок достоверно отличался снижением длины и ширины листа в техногенных зонах по сравнению с контрольной группой образцов в 1,1 – 1,7 раза. Реализация адаптивного потенциала параметров листа березы повислой *Betula pendula* в техногенной зоне находилась в пределах 14,4% – 94,9%; клена остролистного *Acer platanoides* – 16,3% – 85,4%; тополя белого *Populus alba* – 3,0% – 74,3%. В селитебных зонах величина адаптивного потенциала морфометрии листа березы повислой *Betula pendula* варьировала в пределах 37,6% – 68,9%; листа клена остролистного *Acer platanoides* – 71,2% – 77,8%; тополя белого *Populus alba* – 8,2% – 25,6%. На основании исследования морфометрии листьев сформирован следующий ряд снижения величины реализации адаптивного потенциала исследуемых древесных растений в техногенных условиях и селитебных зонах: клен остролистный *Acer platanoides* > береза повислая *Betula pendula* > тополь белый *Populus alba*.*

Введение

Экологическая ситуация в Республике Беларусь за последние годы в целом является благополучной [1]. Однако в городах Гомельской области наблюдается тенденция увеличения общего объема выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников с 252,5 тыс. т в 2010 г. до 311,1 тыс. т в 2015 г. и объема выбросов на квадратный километр территории с 2 052 кг до 2 467 кг при снижении выбросов от мобильных источников (3 193 кг в 2010 г. и 2 626 кг в 2015 г.). Возросло количество диоксида серы в выбросах с 18,9 тыс. т до 21,8 тыс. т за период 2010–2015 гг. Это, с одной стороны, может иметь негативные последствия для развития городских древесных растений (появление пятнистости листьев, омертвевших участков на них, преждевременное пожелтение листьев, замедление роста, сильное опущение), а с другой – повышает актуальность исследования их функциональной поливариантности, формирующей адаптивный потенциал как основы выживания и успешного развития под влиянием негативных факторов городской среды [2].

В настоящее время специфика отношений в системе «древесные растения – город» предусматривает разнонаправленные изменения размерных характеристик листовых пластинок древесных растений в условиях влияния выбросов промышленных предприятий по сравнению с фоновыми условиями [3–5]; ксерофитизацию, упрощение флористического и фитоценотического разнообразия, утрату ресурсной ценности растений [6]. Кроме того, техногенное влияние промышленных предприятий может привести к повышенному концентрированию тех или иных техногенных элементов и увеличению зольности листового аппарата древесных растений в промышленной зоне по сравнению с селитебной, рекреационной и транспортной зоной [7–11], хотя это не всегда обнаруживается [11]. При этом изучению механизмов адаптации растений к техногенному влиянию уделяется недостаточное внимание. Поэтому целью работы явилось исследование адаптивного потенциала отдельных древесных растений, произрастающих на территории различных функциональных зон г. Гомеля.

Материал и методы исследований

Для исследования механизма реализации адаптивного потенциала древесных растений был выбран такой критерий, как морфометрия листовой пластинки, так как размерные характеристики листового аппарата актуальны для прогнозирования изменения фитоценозов под влиянием техногенных элементов. В качестве объектов для определения морфометрических параметров и зольности были выбраны листья ряда видов местных древесных растений: береза повислая *Betula pendula*, тополь белый *Populus alba*, клен остролистный *Acer platanoides*. Пробы листьев отбирали на территориях промышленных предприятий г. Гомеля, которые являются узловыми точками в западной промышленной зоне города. Эта зона была выбрана потому, что она отличается наибольшим объемом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с северной и южной промышленными зонами. Основной вклад в загрязнение атмосферы города здесь вносят ОАО «Гомельский химический завод», ТЭЦ-2, ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит», ОАО «Гомельский домостроительный комбинат, западная котельная, ОАО «Гомельский радиозавод», ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей имени П.К. Пономаренко».

Селитебная зона города в данных исследованиях представлена территорией многоэтажной и индивидуальной застройки. При этом зона многоэтажной застройки прилегала к западной промышленной зоне, а индивидуальной – к северной, которая характеризуется минимальным объемом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с западной и южной промышленными зонами.

Фоновыми условиями явилась парковая зона. Отбор листьев проводили в течение вегетационного периода (июль–август 2016 г.) с отдельно стоящих деревьев (не менее 3–5 в каждой точке) приблизительно одного возраста с высоты 1,5 м. С каждого опытного дерева срывали по 20–25 неповрежденных максимально развитых листьев, у которых определяли длину, ширину листовой пластинки и величину стандартного отклонения для данных параметров. Математическую обработку цифрового материала выполняли в Excel. Адаптивный потенциал (%) определяли графическим методом по кривым вариабельности фитоиндикаторных признаков техногенных территорий относительно кривых вариабельности контрольного объекта в фоновых условиях как процент площади перекрывания признаков техногенных зон от площади кривой вариабельности контрольного тест-объекта [13].

Результаты исследований и их обсуждение

Отбор проб растительного материала в зонах влияния нескольких промышленных предприятий, селитебных и фоновых территориях позволил оценить диапазон изменений морфометрических параметров древесных растений при развитии в условиях с различной степенью техногенной нагрузки.

Результаты определения морфометрических параметров листовых пластинок исследуемых древесных растений представлены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы 1, влияние техногенеза на рост листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* сказывалось в различной степени по сравнению с фоновыми условиями. Следует отметить, что исследуемые промышленные предприятия, расположенные в таблице в порядке снижения общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, различаются спецификой промышленного производства. Поэтому их можно сгруппировать в несколько групп с учетом преобладающих соединений в выбросах.

Так, ТЭЦ-2 и ОАО «Гомельский домостроительный комбинат» характеризуются наличием в выбросах оксидов азота; ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» и ОАО «Гомельский радиозавод» – оксидов углерода и органических соединений (аро-

Таблица 1. – Морфометрические параметры листовой пластинки древесных растений, см

Место отбора проб	Береза повислая <i>Betula pendula</i>		Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>		Тополь белый <i>Populus alba</i>	
	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
Промышленная зона						
Гомельский химический завод	$4,40 \pm 0,003$ 0,53	$3,71 \pm 0,003$ 0,50	$9,76 \pm 0,009$ 1,67	$12,45 \pm 0,011$ 2,0	–	–
ТЭЦ-2	$5,74 \pm 0,003$ 0,64	$4,72 \pm 0,003$ 0,47	$13,41 \pm 0,012$ 2,05	$16,65 \pm 0,014$ 2,41	$8,27 \pm 0,005$ 1,01	$5,63 \pm 0,004$ 0,68
Гомельский литейный завод «Центролит»	$5,16 \pm 0,003$ 0,51	$4,64 \pm 0,003$ 0,54	$11,46 \pm 0,009$ 1,69	$15,06 \pm 0,011$ 1,95	$7,08 \pm 0,005$ 0,81	$6,53 \pm 0,004$ 0,77
Гомельский домостроительный комбинат	$5,71 \pm 0,004$ 0,67	$4,40 \pm 0,003$ 0,52	$12,87 \pm 0,013$ 2,20	$16,36 \pm 0,012$ 1,95	$8,03 \pm 0,007$ 1,27	$7,24 \pm 0,008$ 1,33
Западная котельная	$5,17 \pm 0,003$ 0,53	$4,05 \pm 0,002$ 0,39	$12,77 \pm 0,008$ 1,34	$16,0 \pm 0,015$ 2,58	$7,97 \pm 0,004$ 0,66	$5,31 \pm 0,003$ 0,51
Гомельский радиозавод	$5,19 \pm 0,003$ 0,59	$4,19 \pm 0,002$ 0,39	$12,31 \pm 0,008$ 1,44	$15,82 \pm 0,012$ 2,06	$7,13 \pm 0,004$ 0,72	$4,72 \pm 0,003$ 0,47
Гомельский завод пусковых двигателей	$6,31 \pm 0,005$ 0,95	$4,80 \pm 0,004$ 0,71	$11,33 \pm 0,010$ 1,65	$15,44 \pm 0,014$ 2,43	$6,84 \pm 0,007$ 1,15	$6,53 \pm 0,015$ 2,50
Селитебная зона						
Многоэтажная застройка	$5,23 \pm 0,003$ 0,51	$4,38 \pm 0,002$ 0,36	$13,58 \pm 0,013$ 2,21	$15,80 \pm 0,014$ 2,39	$6,40 \pm 0,005$ 0,74	$6,17 \pm 0,008$ 1,20
Частная застройка	$5,64 \pm 0,004$ 0,63	$4,49 \pm 0,003$ 0,61	$12,89 \pm 0,013$ 2,02	$16,30 \pm 0,016$ 2,57	$6,57 \pm 0,005$ 0,87	$6,0 \pm 0,007$ 1,23
Фоновая территория						
Парковая зона	$6,37 \pm 0,005$ 0,83	$4,87 \pm 0,003$ 0,45	$14,14 \pm 0,008$ 1,48	$17,45 \pm 0,012$ 2,16	$8,37 \pm 0,004$ 0,72	$8,12 \pm 0,004$ 0,66

Примечание: в числителе представлены средние значения параметров; в знаменателе – стандартное отклонение по параметрам

матических углеводов, ацетона, алканов, алкенов, спиртов); выбросы ОАО «Гомельский химический завод», который отличается максимальным количеством выбросов по сравнению с другими предприятиями, содержат оксиды серы, газообразные соединения фтора. Производство ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей имени П.К. Пономаренко» в настоящее время характеризуется незначительными выбросами загрязняющих вещества (по веществам 1 класса опасности – менее 1 кг в год). Возможно, это явилось причиной того, что длина и ширина листьев вблизи этого предприятия больше всего приближалась к фоновым условиям по сравнению с остальными образцами, тогда как влияние химического завода обусловило минимальные в наших исследованиях размеры листа.

В пределах градиента исследуемой техногенной нагрузки наблюдалось наличие более длинных листьев березы повислой *Betula pendula*, произрастающей на территории ТЭЦ-2 и ОАО «Гомельский домостроительный комбинат». Сопоставление полученных данных с известными литературными сведениями позволяет объяснить этот факт влиянием соединений отдельных химических элементов (например, азота), содержащихся в выбросах и выступающих в роли катализаторов при делении клеток листовой пластинки [3].

В целом морфометрический механизм адаптации листовых пластинок, сформировавшийся под влиянием промышленных предприятий, отличался снижением размеров по сравнению с контрольной группой образцов в среднем в 1,1–1,6 раз. Полученные результаты согласуются с литературными данными и характеризуют направленность адаптивных изменений в сторону минимизации функций метаболизма, что проявляется в торможении ростовых процессов в виде уменьшения морфометрических размеров листа [2].

Иная ситуация прослеживалась с изменением морфометрии на селитебной территории. Как уже отмечалось, в качестве селитебных зон были выбраны многоэтажная застройка, прилегающая к западной промышленной зоне, и индивидуальная, расположенная на территории северной промышленной зоны с минимальным общим объемом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Здесь у листьев березы повислой *Betula pendula*, которая используется для озеленения селитебных территорий, во всех случаях наблюдалось снижение длины и ширины по сравнению с фоновыми условиями и увеличение почти в половине случаев – по сравнению с промышленной зоной. В остальных случаях сравнения с промышленной зоной рост и развитие листового аппарата в жилой застройке города, вероятно, сдерживало наличие интенсивного транспорта в современной городской среде, влияние которого может обуславливать снижение параметров листа почти вдвое по сравнению с контрольной территорией [4].

Клен остролистный *Acer platanoides* является одним из самых распространенных представителей древесных растений в городских условиях с широкой листовой пластинкой. В среднем фоновые морфометрические параметры листьев клена остролистного *Acer platanoides* превышали размеры с территории промышленной зоны, однако по сравнению с березой повислой *Betula pendula* это превышение менее выражено (максимально – в 1,3 раза). Различия в параметрах листовой пластинки в селитебной и контрольной зонах выражено еще в меньшей степени, что может свидетельствовать о достаточной высокой устойчивости к техногенному воздействию и реализации адаптационного потенциала клена остролистного *Acer platanoides*.

Кроме того, как следует из результатов таблицы 1, величины стандартного отклонения по длине и ширине листа в 61 % сравнений характеризуются более высоким значением в промышленной и селитебных зонах по сравнению с фоновыми условиями. Это указывает на то, что техногенный фактор активно не сдерживает формирование рассматриваемых параметров клена остролистного в отличие от березы повислой и их

частоты не концентрируются в области своих средних значений. Однако, с другой стороны, из представленных в литературе данных следует, что виды с широкими листовыми пластинками являются чувствительными к атмосферному загрязнению [6]. Возможно, этим объясняется развитие краевого некроза листьев в отдельных случаях (материал, собранный на территории ОАО «Гомельский химический завод»), одной из причин которого является сильное воздействие неблагоприятных факторов внешней среды.

Тополь белый *Populus alba*, как и в целом семейство ивовых, способен выявлять биодоступность элементов в почвах за счет широко распространенной корневой системы, высокого уровня потребления водных ресурсов и значимого показателя емкости поглощения микроэлементов. Также известно, что листья тополя являются токсикотолерантами, проявляют стойкость по отношению к почвенному загрязнению и устойчивость против дыма и газов [14]. С другой стороны, тополь имеет плотные листья с сосудистой системой сетевой формы в виде одной доминирующей жилки, от которой отходят вторичные сосудистые пучки. Это позволяет эффективно улавливать и сохранять значительное количество частиц из атмосферы.

Результаты наших исследований, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что морфометрический механизм адаптации листовых пластинок тополя белого *Populus alba* характеризовался угнетением обменных процессов и, как следствие, уменьшением размеров в промышленной и селитебной зоне по сравнению с фоновой группой образцов в среднем в 1,2–1,7 раз. Причем в техногенных условиях наблюдалось наличие более узкой формы листьев по сравнению с представителями контрольной группы, а в селитебной – более короткой по сравнению с промышленной зоной.

Что касается величин стандартного отклонения длины и ширины листа тополя белого *Populus alba*, то степень техногенного влияния привела как к их группированию в пределах среднего значения (в 56 % случаев), так и к разбросу от средней величины (в 44 % сравнений), что, возможно, явилось следствием токсикотолерантности этого представителя древесных растений. В целом с учетом тенденций изменения морфометрических параметров листа для тополя белого *Populus alba* характерно уменьшение размеров листовой пластинки под влиянием техногенного воздействия.

Достоверность различий между морфометрическими параметрами листовых пластинок древесных растений, произрастающих на территории промышленных предприятий, селитебных и фоновых зон, оценивалась с помощью дисперсионного анализа (таблица 2).

Таблица 2. – Результаты дисперсионного анализа длины и ширины листовой пластинки древесных растений

Исследуемые древесные растения	Значения F-критерия для параметров листовой пластинки	
	длина	ширина
Промышленная-фоновая зона		
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	213,79	210,76
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	72,05	55,14
Тополь белый <i>Populus alba</i>	57,0	92,80
Селитебная-фоновая зона		
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	95,10	60,97
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	56,21	40,11
Тополь белый <i>Populus alba</i>	55,43	66,45

Примечание: $F_{критич.} (8, 1154) = 1,95$ при $p \leq 0,05$ для березы повислой и клена остролистного; $F_{критич.} (7, 981) = 2,10$ при $p \leq 0,05$ тополя белого.

Результаты анализа дисперсионных комплексов, включающих величину длины и ширины листовой пластинки древесных растений, произрастающих на исследуемых территориях с различной степенью техногенной нагрузки, а также в парке и пригороде свидетельствуют о том, что значение F-критерия превышает F-критическое для длины и ширины всех исследованных образцов во всех случаях. Таким образом, морфометрические параметры листовой пластинки древесных растений статистически достоверно различаются при действии различной величины техногенного загрязнения на их формирование, что подтверждает возможность использования данного критерия для индикации загрязнения атмосферного воздуха и характеристики механизмов адаптации растительности к техногенному влиянию.

С целью определения величины адаптивного потенциала для каждого морфометрического параметра листовой пластинки (длина, ширина) каждого из деревьев всех исследуемых территорий на первом этапе была проверена гипотеза о нормальном распределении с помощью критерия Пирсона с уровнем значимости 0,05.

В результате доказа-но, что все величины распределены по нормальному закону во всех случаях, за исключением листа клена остролистного *Acer platanoides* на территории частной застройки города (критическое значение статистики хи-квадрат составляет 18,3; наблюдаемые значения представлены в таблице 3).

Таблица 3. – Наблюдаемые значения статистики

Место отбора проб	Исследуемые древесные растения					
	Береза повислая <i>Betula pendula</i>		Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>		Тополь белый <i>Populus alba</i>	
	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
Западная промышленная зона						
Гомельский химический завод	181,29	271,99	159,84	53,79	–	–
ТЭЦ-2	26,92	179,32	1328,64	54,29	70,47	84,47
Гомельский литейный завод «Центролит»	176,99	147,24	19,869	48,27	79,88	61,01
Гомельский домостроительный комбинат	200,47	228,03	46,27	23,97	26,37	24,53
Западная котельная	190,39	180,37	19,44	23,72	26,56	21,24
Гомельский радиозавод	169,12	324,46	1310,43	15,39	118,68	189,75
Гомельский завод пусковых двигателей	54,65	101,96	26,89	13,91	47,15	759,12
Селитебная зона						
Многэтажная застройка	137,52	232,56	22,34	37,23	59,42	81,77
Частная застройка	69,05	148,70	15,04	12,04	125,69	46,52
Фоновая территория						
Парковая зона	118,57	151,91	46,26	27,79	33,66	93,32

Далее на следующем этапе с целью расчета величины адаптивного потенциала было проведено попарное сравнение функций плотностей распределения вероятностей:

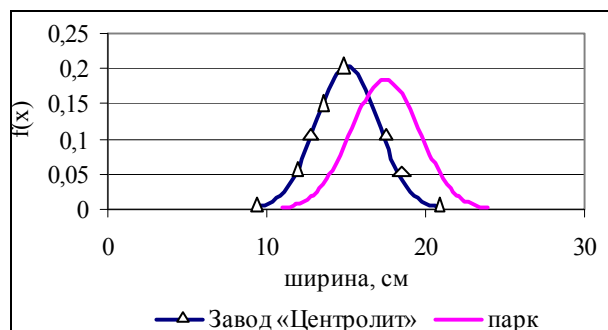
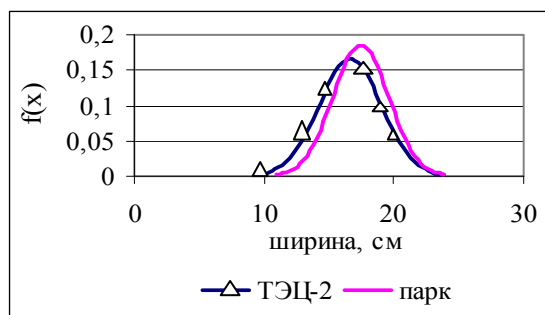
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\cdot\sigma^2}},$$

где a – среднее значение параметра, σ – среднее квадратическое отклонение морфометрических параметров древесных растений техногенных и фоновых условий.

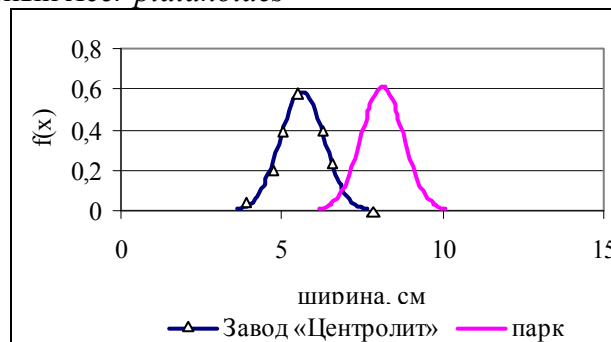
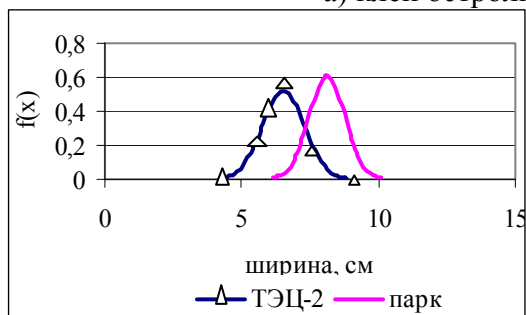
В результате были получены различные по величине площади перекрывания функций плотности распределения длины и ширины листа. В качестве одного из таких примеров на рисунке 1 представлены графики функций законов распределения ширины листа клена остролистного *Acer platanoides* и тополя белого *Populus alba* для пары «ТЭЦ-2 – парковая зона» и пары «ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» – парковая зона» соответственно. Для пары «ТЭЦ-2 – парковая зона» и «ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» – парковая зона» функции плотностей распределения вероятностей представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Законы распределения для ширины листа клена остролистного *Acer platanoides* и тополя белого *Populus alba*

Место отбора проб	Исследуемые древесные растения	
	Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	Тополь белый <i>Populus alba</i>
Парк	$f(x) = \frac{1}{2,16\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-17,45)^2}{2 \cdot 2,16^2}}$	$f(x) = \frac{1}{0,66\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-8,12)^2}{2 \cdot 0,66^2}}$
ТЭЦ-2	$f(x) = \frac{1}{2,4\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-16,65)^2}{2 \cdot 2,4^2}}$	$f(x) = \frac{1}{0,77\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-6,53)^2}{2 \cdot 0,77^2}}$
Гомельский литейный завод «Центролит»	$f(x) = \frac{1}{1,95\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-15,06)^2}{2 \cdot 1,95^2}}$	$f(x) = \frac{1}{0,68\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-5,63)^2}{2 \cdot 0,68^2}}$



а) клен остролистный *Acer platanoides*



б) тополь белый *Populus alba*

Рисунок 1. – Графики функций законов распределения ширины листовой пластинки клена остролистного *Acer platanoides* и тополя белого *Populus alba*, произрастающих в техногенных и фоновых условиях

Для нахождения в общем случае точки пересечения графиков функций $f_1(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}}$ и $f_2(x) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}}$ решали уравнение

$$f_1(x) = f_2(x) \Rightarrow \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}} = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}}.$$

После преобразований получили квадратное уравнение

$$(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)x^2 + (2\sigma_2^2 a_1 - 2\sigma_1^2 a_2)x + (\sigma_1^2 a_2^2 - \sigma_2^2 a_1^2 + 2\sigma_2^2 \sigma_1^2 \ln(\sigma_2 / \sigma_1)) = 0.$$

Решения x_1, x_2 ($x_1 < x_2$) уравнений явились точками пересечения графиков.

Площадь общей области, заключенной между графиками и осью ОХ, находили по формуле:

$$S = \Phi\left(\frac{x_1 - a_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{-\infty - a_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{+\infty - a_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a_2}{\sigma_2}\right).$$

Таким образом, площадь для ширины листа клена остролистного, произрастающего на территории ТЭЦ-2, равна 0,8537 (или 85,4 %), а для тополя белого – 0,2625 (или 26,3 %).

Аналогичным образом получены площади для остальных исследуемых показателей древесных растений, позволяющие оценить величину адаптивного потенциала растительности к произрастанию в техногенных условиях (таблица 5).

Таблица 5. – Адаптивный потенциал древесных растений промышленной и селитебной зоны г. Гомеля

Место отбора проб	Исследуемые древесные растения					
	Береза повислая <i>Betula pendula</i>		Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>		Тополь белый <i>Populus alba</i>	
	длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
Западная промышленная зона						
Гомельский химический завод	14,4	22,3	16,3	22,8	–	–
ТЭЦ-2	35,2	79,9	77,9	85,4	40,0	26,3
Гомельский литейный завод «Центролит»	65,3	86,7	39,5	55,8	74,3	6,2
Гомельский домостроительный комбинат	36,2	32,6	62,4	78,9	52,3	15,4
Западная котельная	62,5	62,4	67,7	74,9	70,9	55,9
Гомельский радиозавод	39,8	41,6	52,9	69,8	39,0	3,0
Гомельский завод пусковых двигателей	94,9	78,3	35,0	65,8	39,5	36,8
Селитебная зона						
Многэтажная застройка	37,6	53,5	77,8	71,2	17,6	8,2
Частная застройка	60,4	68,9	–	–	25,6	24,4

Таким образом, исследование закономерностей адаптивной реакции древесных растений в градиенте токсической нагрузки позволило определить направленность адаптивных изменений морфометрических параметров и оценить величину адаптивного потенциала как интегральной величины адаптации к техногенным условиям.

В наших исследованиях реализация адаптивного потенциала длины листа березы повислой *Betula pendula* в техногенной зоне находилась в пределах 14,4–94,9 %, ширины – 22,3–79,9 %; длины листа клена остролистного *Acer platanoides* – 16,3–77,9 %, ширины – 22,8–85,4 %; длины листа тополя белого *Populus alba* – 39,0–74,3 %, ширины – 3,0–55,9 %, т.е. в среднем адаптация фитоиндикаторных показателей клена остролистного оказалась самой высокой. При этом на территории ОАО «Гомельский химический завод» все исследуемые древесные растения характеризовались самой низкой величиной адаптации к техногенному влиянию.

В селитебных зонах величина адаптивного потенциала длины листа березы повислой *Betula pendula* варьировала в пределах 37,6–60,4 %, ширины – 53,5–68,9 %; длины листа клена остролистного *Acer platanoides* составила 77,8 %, ширины – 71,2 %; длины листа тополя белого *Populus alba* – 17,6–25,6 %, ширины – 8,2–24,4 %, т.е. в среднем наблюдается возрастание адаптивного потенциала морфометрии листового аппарата березы повислой *Betula pendula* и клена остролистного *Acer platanoides*. Вероятно, это обусловлено реакцией на снижение степени техногенной нагрузки и незначительной перестройкой в структурной организации листа.

На основании исследования морфометрии листьев сформированы ряды снижения реализации адаптивного потенциала исследуемых древесных растений в техногенных условиях и селитебных зонах: клен остролистный *Acer platanoides* > береза повислая *Betula pendula* > тополь белый *Populus alba*.

В целом необходимо отметить, что величина адаптивного потенциала является информативным показателем приспособленности данных видов к обитанию в условиях техногенного загрязнения окружающей среды.

В перспективе планируется проведение анализа адаптивных возможностей более широкого перечня древесной растительности городов Гомельской области с учетом не только морфометрических параметров, но и зольности биомассы листа.

Заключение

Морфометрический механизм адаптации листовых пластинок исследуемых древесных растений, сформировавшийся под влиянием промышленных предприятий, достоверно отличался снижением длины и ширины листа по сравнению с контрольной группой образцов для березы повислой *Betula pendula* в 1,1–1,6 раза; для клена остролистного *Acer platanoides* в 1,3 раза; для тополя белого *Populus alba* в 1,2–1,7 раза.

При этом, возможно, вследствие влияния соединений отдельных химических элементов, содержащихся в выбросах промышленных и выступающих в роли катализаторов при делении клеток листовой пластинки, в пределах градиента рассматриваемой техногенной нагрузки в отдельных случаях наблюдалось наличие более крупных листьев исследуемых древесных растений (ТЭЦ-2 и ОАО «Гомельский домостроительный комбинат»).

Наличие интенсивного транспорта в селитебных зонах привело не только к снижению размеров листа березы повислой *Betula pendula* и тополя белого *Populus alba* по сравнению с фоновыми условиями, но и в ряде случаев – по сравнению с промышленной зоной.

Величина стандартного отклонения длины и ширины листа свидетельствует о том, что на развитие листового аппарата березы повислой *Betula pendula* техногенный фактор действует активно и в промышленной и селитебных зонах частоты рассматривае-

мых параметров концентрируются в области своих средних значений. Клен остролистный *Acer platanoides* и тополь белый *Populus alba* демонстрировали токсикотолерантность к влиянию сдерживающего фактора, и частоты их морфометрических параметров были как сгруппированы в области средних значений, так и разбросаны в более широком диапазоне величин.

Исследование закономерностей изменения морфометрических параметров и зольности биомассы листа в градиенте токсической нагрузки позволило определить направленность адаптивных изменений рассматриваемых древесных растений и адаптивный потенциал как интегральную величину, их характеризующую.

Реализация адаптивного потенциала длины листа березы повислой *Betula pendula* в техногенной зоне находилась в пределах 14,4–94,9 %, ширины – 22,3–79,9 %; длины листа клена остролистного *Acer platanoides* – 16,3–77,9 %, ширины – 22,8–85,4 %; длины листа тополя белого *Populus alba* – 39,0–74,3 %, ширины – 3,0–55,9 %, т.е. в среднем адаптация фитоиндикаторных показателей клена остролистного оказалась самой высокой. При этом на территории ОАО «Гомельский химический завод» все исследуемые древесные растения характеризовались самой низкой величиной адаптации к техногенному влиянию.

В селитебных зонах величина адаптивного потенциала длины листа березы повислой *Betula pendula* варьировала в пределах 37,6–60,4 %, ширины – 53,5–68,9 %; длины листа клена остролистного *Acer platanoides* составила 77,8 %, ширины – 71,2 %; длины листа тополя белого *Populus alba* – 17,6–25,6 %, ширины – 8,2–24,4 %, т.е. в среднем наблюдается возрастание адаптивного потенциала морфометрии листового аппарата березы повислой *Betula pendula* и клена остролистного *Acer platanoides*. Вероятно, это обусловлено реакцией на снижение степени техногенной нагрузки и незначительной перестройкой в структурной организации листа.

На основании исследования морфометрии листьев сформирован следующий ряд снижения величины реализации адаптивного потенциала исследуемых древесных растений в техногенных условиях и селитебных зонах: клен остролистный *Acer platanoides* > береза повислая *Betula pendula* > тополь белый *Populus alba*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2016. – 248 с.
2. Луцишин, Е. Г. Видовая специфичность адаптации древесных растений техногенно трансформированных урбоэдафотопов / Е. Г. Луцишин, И. К. Тесленко // Ecology and noospherology. – 2015. – Вып. 26. – С. 42–61.
3. Хикматуллина, Г. Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula Pendula* в условиях урбаносреды / Г. Р. Хикматуллина // Вестн. Удмурт. ун-та. – 2013. – Вып. 2. – С. 48–56.
4. Глибовицкая, Н. И. Липа сердцелистная (*Tilia cordata* L.) как биоиндикатор состояния загрязнения урбанизированных территорий тяжелыми металлами / Н. И. Глибовицкая // Ecology and noospherology. – 2013. – Вып. 24. – С. 89–96.
5. Савинцева, Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Л. С. Савинцева ; Вят. гос. с.-х. акад. – Петрозаводск, 2015. – 23 с.
6. Леонова, Ю. М. Антропогенная трансформация растительности в зоне влияния промышленных объектов г. Павлодара : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / Ю. М. Леонова ; Павлодар. гос. ун-т им. С. Торайгырова. – Алматы, 2010. – 22 с.

7. Салтан, Н. В. Особенности химического состава растений локальной зоны воздействия комбината «Североникель» : автореф. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Н. В. Салтан ; Поляр.-альп. ботан. сад-институт КНЦ РАН. – М., 2009. – 22 с.
8. Есенжолова, А. Ж. Листья древесных и кустарниковых растений как биоиндикаторы состояния окружающей среды городов Восточного, Северного и Центрального Казахстана : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / А. Ж. Есенжолова ; Гос. ун-т им. Шакарима. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
9. Кочеткова, А. И. Особенности накопления взвешенных веществ водными растениями *Potamogeton perfoliatus* L., *Ceratophyllum demersum* L. Волгоградского водохранилища / А. И. Кочеткова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 8. – С. 64–68.
10. Heavy metal concentrations in soils, plant leaves and crops grown around dump sites in Lafia Metropolis, Nasarawa State, Nigeria / O. D. Opaluwa [et al.] // *Advances Applied Science Research*. – 2012. – Vol. 3 (2). – P. 780–784.
11. Особенности химического состава фитомассы некоторых дикорастущих и культивируемых древесных растений: к оценке зольного компонента / О. М. Брагина [и др.] // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. – 2014. – № 1 (3). – С. 724–727.
12. Кавеленова, Л. М. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары) / Л. М. Кавеленова, А. Г. Здетовский, А. Я. Огневенко // *Химия растительного сырья*. – 2001 – № 3. – С. 85–90.
13. Интенсивность популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды / В. С. Безель [и др.] // *Экология*. – 2001 – № 6. – С. 447–453.
14. Ялалтдинова, А. Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска : дис. ... канд. геол.-минер. наук : 25.00.36 / А. Р. Ялалтдинова. – Томск, 2015. – 172 л.
15. Ишимова, А. Е. Зольность листьев, хвои и коры древесных растений как индикаторный признак загрязнения воздушного бассейна г. Семей [Электронный ресурс] / А. Е. Ишимова. – Режим доступа: [www. geochemland.ru](http://www.geochemland.ru), свободный. – Дата доступа: 15.10.2016.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.02.2017

Tyulkova E.G., Avdashkova L.P. Vegetation Adaptive Capacity of the Urbanized Territories (on Gomel City Example)

*The article presents the results of woody plants adaptive studies to anthropogenic influence given the leaf blade morphometric parameters. It is established that morphometric adaptation mechanism sheet out of the studied woody plants plates differed significantly decrease the sheet length and width. Based on the leaves morphometry study formed the following series decreasing values implementation of studied woody plants adaptive potential in the technogenic conditions and residential areas: norway maple *Acer platanoides* > silver birch *Betula pendula* > white poplar *Populus alba*.*