

## Зольность и морфометрические параметры листьев древесных растений как индикаторы загрязнения окружающей среды (на примере г. Гомеля)

Е.Г. ТЮЛЬКОВА

Представлены результаты определения длины, ширины и зольности листовых пластинок березы повислой, тополя белого и клена остролистного, произрастающих на территории промышленных предприятий западной и северной промышленной зоны г. Гомеля. В результате исследований установлено, что увеличение степени техногенного воздействия промышленных предприятий достоверно способствует снижению морфометрических параметров листовых пластинок древесных растений и росту зольности в них, что может быть использовано с целью фитоиндикации техногенного загрязнения региона. **Ключевые слова:** техногенное воздействие, индикаторы, древесные растения, длина листовой пластинки, ширина листовой пластинки, зольность.

The results sheet plates length, width and ash-content determination of hanging birch, white poplar and maple on territory industrial enterprises west and north industrial area Gomel are presented in the article. The studies found that the increase in the degree of anthropogenic impact of industry significantly contributes to the reduction in morphometric parameters of the leaf blades of woody plants and the growth of the ash content in them that can be used for the purpose of phytoindication technogenic pollution in the region. **Keywords:** technogenic influence, indicators, arboreal plants, length of sheet plate, width of sheet plate, ash-content.

**Введение.** Зола – остаток, получаемый после удаления органических веществ и содержащий целый ряд нелетучих оксидов так называемых зольных элементов (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn и др.).

Содержание зольных элементов в листьях различных видов растений в первую очередь определяется генотипически внутренними структурными особенностями самого растения и внешними характеристиками качества окружающей среды. Установлено, что к факторам внешней среды, определяющим зольный состав растительных тканей, относятся температурный режим, режим увлажнения, солевой режим, кислотность и богатство почв азотом, режим затенения. Таким образом, по результатам определения зольности листьев древесных растений можно судить об их приспособленности к данным конкретным условиям произрастания [1], [2], [3]. При этом, чем выше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям окружающей среды. Кроме того, важным является тот факт, что зольность растительности позволяет получить представление о степени техногенного загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглотельную способность растений, и, следовательно, является ярким фитоиндикационным признаком загрязнения атмосферы, хотя при проведении исследований в конкретном регионе это не всегда подтверждается [4]. Также показатель содержания зольных веществ в листьях и листовом опаде важен как в аспекте химизма самого растения, так и с позиций дальнейшего поступления минеральных веществ из фитомассы в прочие компоненты экосистемы [4]. Негативным моментом данного аспекта является то, что повышенное количество зольных элементов может привести к изменению проницаемости клеточных мембран растительных клеток, замедлению развития корневой системы, появлению точек и пятен на поверхности листа и т. д.

Следует отметить, что в направлении исследования проблемы фитоиндикации в настоящее время также проведены исследования по изучению изменения морфологических параметров растений – площади листовой пластинки, ее длины, ширины, длины жилок, черешка, количества устьиц – под влиянием антропогенного воздействия [5], [6]; разрабатываются методы фитоиндикации антропогенного воздействия, основанные на выявлении ассиметрии листьев и определении в листовой пластинке длины второй от основания жилки второго порядка [7].

Таким образом, комплексное исследование тенденций изменения морфометрических параметров листовых пластинок и величины зольности растительности, произрастающей в условиях техногенного воздействия, актуально с точки зрения фитоиндикационного выявления степени загрязнения атмосферы конкретного региона Республики Беларусь – г. Гомеля, поскольку г. Гомель является достаточно крупным промышленным и транспортным центром Беларуси областного масштаба.

**Материал и методы.** В качестве объектов для определения морфометрических параметров и содержания зольных элементов были выбраны листья ряда видов местных древесных растений: береза повислая *Betula pendula*, тополь белый *Populus deltoides*, клен остролистный *Acer platanoides*.

Пробы листьев отбирали на территориях промышленных предприятий западной и северной промышленной зоны, различающихся уровнем техногенного загрязнения воздуха с учетом величины общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по каждому конкретному предприятию.

Отбор проводили в течение вегетационного периода (август 2015 г.) с отдельно стоящих деревьев (не менее 5–7 в каждой точке) приблизительно одного возраста с высоты 1,5 м. С каждого опытного дерева срывали по 20 неповрежденных максимально развитых листьев, у которых определяли длину, ширину листовой пластинки и величину среднеквадратического отклонения для данных параметров.

Далее листья быстро высушивали и методом сухого озоления в муфельной печи определяли содержание золы (повторность – не менее трехкратной для суммарных проб из данной точки наблюдений) [8]. Математическую обработку цифрового материала выполняли в Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Город Гомель является административным центром Гомельской области и важным транспортным и промышленным узлом Республики Беларусь. Это один из самых компактных в республике городов. Компактное расположение городских территорий, кроме массы положительных аспектов, создает ряд экологических проблем. Загрязнение атмосферного воздуха территории города обусловлено влиянием выбросов промышленных предприятий, энергетики, транспорта, крупных производственных комплексов, трансграничным переносом.

С учетом расположения промышленных предприятий и производственных комплексов в городе Гомеле и прилегающих территориях территориально можно выделить три крупные промышленные зоны – северную, западную и южную. В данной работе анализируются растительные образцы с территории западной и северной промышленной зоны, которые наиболее контрастно различаются по величине техногенного воздействия на окружающую среду.

Узловыми промышленными предприятиями западной промышленной зоны являются ОАО «Гомельский радиозавод»; ОАО «Гомельский домостроительный комбинат»; Гомельская ТЭЦ-2; западная котельная; ОАО «Гомельский химический завод»; ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей имени П.К. Пономаренко»; ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит»; северной промышленной зоны – ОАО «Гомельский завод литья и нормалей»; РУП «Гомсельмаш»; СОАО «Гомелькабель»; ОАО «Ратон»; северная котельная.

Перечисленные промышленные предприятия осуществляют различные виды деятельности и в целом создают определенный уровень атмосферного загрязнения. Однако при этом каждое из них вносит неодинаковый вклад в общее атмосферное загрязнение территории города Гомеля и обеспечивает неоднородную ситуацию по характеру загрязнения окружающей среды как по составу загрязнителей, так и по их концентрации.

Так, по мере снижения величины общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятия западной промышленной зоны располагаются следующим образом: ОАО «Гомельский химический завод» (1252,61 г/год); ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит» (179,59 т/год); ОАО «Гомельский домостроительный комбинат» (33,52 т/год); западная котельная (11,79 т/год); ОАО «Гомельский радиозавод» (9,41 т/год); ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей имени П.К. Пономаренко» (незначительные выбросы загрязняющих веществ), т.е. наибольший вклад в атмосферное загрязнение города вносит ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит». По северной промышленной зоне данная тенденция имеет вид: ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (230,26 т/год), РУП «Гомсельмаш» (87,81 т/год), СОАО «Гомелькабель» (73,64 т/год), ОАО «Ратон» (6,27 т/год), северная котельная (4,62 т/год). Таким образом, северная промышленная зона по сравнению с западной зоной характеризуется гораздо меньшим уровнем техногенного воздействия на объекты окружающей среды.

Различная степень техногенной нагрузки на территориях промышленных зон г. Гомеля оказала определенное влияние на формирование морфометрических параметров листовых пластинок древесных растений этих зон (таблица 1–2; промышленные предприятия в таблицах представлены по мере снижения общего объема загрязняющих веществ в атмосферу).

Таблица 1 – Длина и ширина листовая пластинки древесных растений, произрастающих на территории западной промышленной зоны

Исследуемые древесные растения	Параметры листовых пластинок	Промышленные предприятия				
		ОАО «Гомельский химический завод»	ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит»	ОАО «Гомельский домостроительный комбинат»	западная котельная (тополь) / ОАО «Гомельский радиозавод» (клен)	ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей им. П.К. Пономаренко»
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	длина, см	4,02 ± 0,007	4,51 ± 0,009	образцы на территории отсутствовали	образцы на территории отсутствовали	5,0 ± 0,013
	ширина, см	3,5 ± 0,006	3,83 ± 0,007			4,0 ± 0,007
	стандартное отклонение, σ	<u>0,45</u> 0,40	<u>0,64</u> 0,47			<u>0,55</u> 0,50
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	длина, см	образцы на территории отсутствовали	5,73 ± 0,008	6,37 ± 0,011	8,40 ± 0,009	5,39 ± 0,013
	ширина, см		5,90 ± 0,010	6,59 ± 0,011	5,79±	6,85 ± 0,019
	стандартное отклонение, σ		<u>0,57</u> 0,70	<u>0,82</u> 0,85	<u>1,26</u> 0,96	<u>0,77</u> 1,09
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	длина, см	образцы на территории отсутствовали	12,24 ± 0,023	11,4 ± 0,028	8,1 ± 1,013	13,33 ± 0,025
	ширина, см		15,53 ± 0,032	13,61 ± 0,031	10,55 ± 1,606	16,40 ± 0,031
	стандартное отклонение, σ		<u>1,52</u> 2,10	<u>1,95</u> 2,18	<u>1,01</u> 1,61	<u>1,71</u> 2,09

Примечание: – стандартное отклонение в числителе – по длине листовой пластинки, в знаменателе – по ширине.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что в большинстве случаев средняя длина и средняя ширина листовых пластинок (за исключением длины листовой пластинки тополя белого) увеличивается в направлении от территории химического завода к заводу пусковых двигателей, что, возможно, связано с действием более благоприятных с экологической точки зрения условий формирования листовых пластинок в менее загрязненной области. Кроме того, среднеквадратическое отклонение как длины, так и ширины листовой пластинки исследованных древесных растений (за исключением среднеквадратического отклонения ширины клена остролистного) достаточно четко и резко увеличивается для обоих параметров в выше обозначенном направлении. Вероятно, это явилось следствием действия стабилизирующего отбора, обеспечивающего концентрацию длины и ширины листа в области средних величин на территории с высоким техногенным влиянием.

Что касается северной промышленной зоны, то в этом регионе тенденция изменения длины, ширины листовых пластинок и величины среднеквадратического отклонения этих параметров четко проявлялась только для клена остролистного (таблица 2).

Таблица 2 – Длина и ширина листовая пластинка древесных растений, произрастающих на территории северной промышленной зоны

Исследуемые древесные растения	Параметры листовых пластинок	Промышленные предприятия			
		ОАО «Гомельский завод литья и нормалей»	РУП «Гомсельмаш» (береза) / северная котельная (тополь)	СОАО «Гомелькабель»	ОАО «Ратон»
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	длина, см	5,82 ± 0,008	6,78 ± 0,019	6,23 ± 0,009	5,39 ± 0,008
	ширина, см	4,41 ± 0,006	5,44 ± 0,006	4,25 ± 0,005	4,67 ± 0,005
	стандартное отклонение, σ	<u>0,56</u> 0,42	<u>1,38</u> 0,47	<u>0,89</u> 0,50	<u>0,53</u> 0,34
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	длина, см	8,66 ± 0,020	8,05 ± 0,012	7,03 ± 0,012	7,79 ± 0,013
	ширина, см	8,99 ± 0,015	8,92 ± 0,023	7,03 ± 0,014	6,69 ± 0,011
	стандартное отклонение, σ	<u>1,38</u> 0,99	<u>0,86</u> 1,58	<u>0,81</u> 0,93	<u>0,87</u> 0,75
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	длина, см	9,14 ± 0,012	образцы на территории отсутствовали	образцы на территории отсутствовали	10,23 ± 0,019
	ширина, см	11,04 ± 0,025			12,70 ± 0,030
	стандартное отклонение, σ	<u>0,69</u> 1,47			<u>1,39</u> 2,16

Примечание – стандартное отклонение в числителе – по длине листовой пластинки, в знаменателе – по ширине.

Полученные результаты возможно связаны с тем, что только сильное техногенное воздействие влияет на снижение размеров листовых пластинок древесных растений при их формировании. В других случаях доминирующим является влияние иных экологических факторов среды.

Достоверность различий между морфометрическими параметрами листовых пластинок древесных растений, произрастающих на территории промышленных предприятий и зон с различным уровнем техногенного влияния, оценивалась с помощью дисперсионного анализа (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа длины и ширины листовой пластинки древесных растений, произрастающих на территории западной и северной промышленной зоны

Исследуемые древесные растения	Значения F-критерия для параметров листовой пластинки		
	для длины	для ширины	F критич.
<i>Западная промышленная зона</i>			
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	11,28	4,43	$F_{\text{критич.}}(2, 48) = 3,19$ при $p \leq 0,05$
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	50,14	4,39	$F_{\text{критич.}}(3, 48) = 2,80$ при $p \leq 0,05$
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	20,50	20,76	$F_{\text{критич.}}(3, 36) = 2,87$ при $p \leq 0,05$
<i>Западная–северная промышленные зоны</i>			
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	96,55	59,43	$F_{\text{критич.}}(1, 100) = 3,94$ при $p \leq 0,05$
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	21,54	36,45	$F_{\text{критич.}}(1, 102) = 3,93$ при $p \leq$
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	41,21	40,34	$F_{\text{критич.}}(1, 54) = 4,02$ при $p \leq 0,05$

Матрица данных для проведения дисперсионного анализа по каждому из исследованных видов растений содержала величины длины, ширины листовых пластинок с территории промышленных предприятий западной промышленной зоны (таблица 1), а также массив значений в целом по всем предприятиям западной и северной промышленной зоны (таблицы 1 и 2). Достоверность отличий морфометрических параметров листьев с территории северной промышленной зоны не исследовалась, поскольку предварительный анализ величин длины, ширины и стандартного отклонения не выявил тенденций их изменений при действии различной степени техногенной нагрузки (таблица 2).

Результаты анализа дисперсионных комплексов, включающих величину длины и ширины листовой пластинки древесных растений, произрастающих на территориях предприятий исследуемых промышленных зон с различной степенью техногенной нагрузки, 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.

Результаты определения зольности листьев исследуемых древесных растений представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Средняя зольность листовых пластинок древесных растений, произрастающих на территории западной и северной промышленной зоны (в %)

Исследуемые древесные растения	Западная промышленная зона					
	промышленные предприятия					
	ОАО «Гомельский химический завод»	ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит»	ОАО «Гомельский домостроительный комбинат»	западная котельная	ОАО «Гомельский радиозавод»	ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей им.П.К. Пономаренко»
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	8	7	-	-	-	4
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	-	6	10	12	-	17
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	-	10	7	-	10	8
<i>Северная промышленная зона</i>						
Береза повислая <i>Betula pendula</i>	6	5	7	7	-	-
Тополь белый <i>Populus deltoides</i>	9	6	9	8	7	-
Клен остролистный <i>Acer platanoides</i>	10-	-	13	-	-	-

Примечание – отсутствие данных по отдельным предприятиям обозначает отсутствие образцов на этой территории.

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что тополь белый и клен остролистный по сравнению с березой повислой независимо от региона произрастания отличаются более высокой зольностью листовых пластинок, что согласуется с данными других авторов [1].

Следует отметить, что повышенная степень техногенной нагрузки на территорию проявляется в увеличении зольности листовых пластинок в половине исследованных случаев в западной (береза повислая, клен остролистный) и северной промышленной зоне (тополь белый). По остальным образцам такой тенденции не прослеживалось, поэтому для более глубокого исследования данного вопроса проводилось определение зольности листьев других древесных растений с территории рассматриваемых промышленных зон (в западной зоне – липы, акации, сосны, ивы, дуба, каштана; в северной зоне – рябины, каштана, акации, ивы, ореха). Полученные данные использовались для выявления наиболее распространенного класса зольности листьев древесных растений и сравнения между зонами с различным уровнем техногенного влияния (рисунок 1–2).

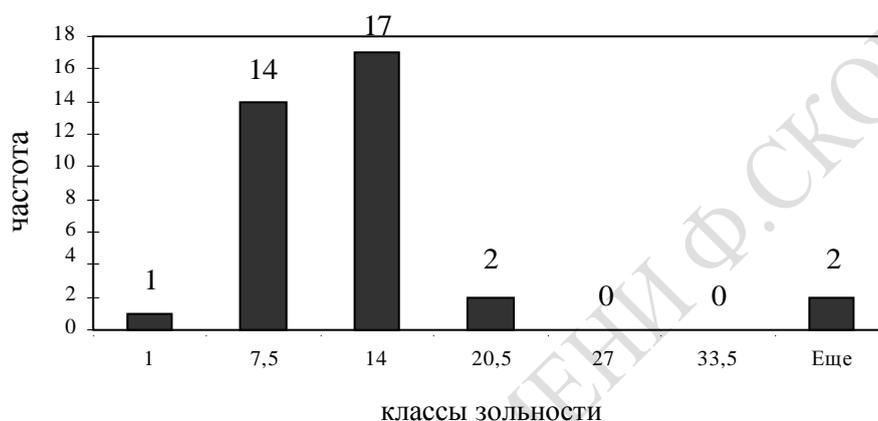


Рисунок 1 – Зольность древесных растений западной промышленной зоны (в %)

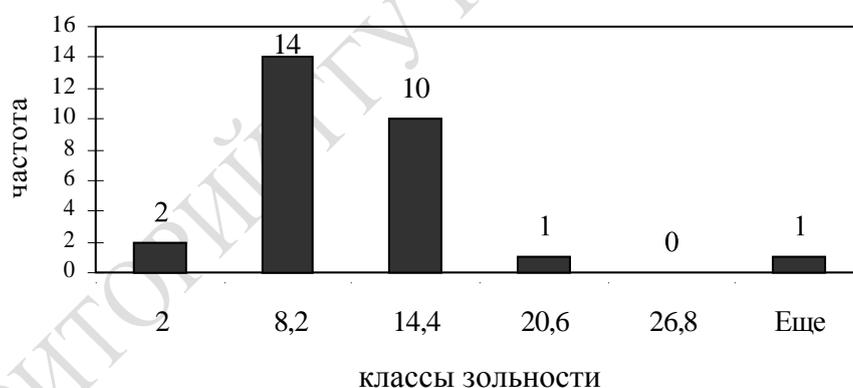


Рисунок 2 – Зольность древесных растений северной промышленной зоны (в %)

Результаты более широкого с точки зрения количества видов древесных растений определения зольности свидетельствуют о том, что на территории западной промышленной зоны наиболее часто встречающейся зольностью является 14 %, тогда как в северной зоне – 8,2 %, что указывает на увеличение показателя зольности листовых пластинок при действии более интенсивного техногенного воздействия. Таким образом, фитокомплекс, включающий определение длины и ширины листовых пластинок, а также их зольность, возможно использовать для индикации атмосферного загрязнения.

В перспективе планируется провести анализ характера корреляционных связей между морфометрическими параметрами исследуемых древесных растений, зольности их листьев и другими экологическими факторами среды (температура, кислотность и солевой режим почвы, освещенность, количество атмосферных осадков).

**Заключение.** Полученные результаты исследования морфометрических параметров листовых пластинок древесных растений и их зольности свидетельствуют о том, что значительный уровень техногенного влияния промышленных предприятий может вызвать снижение длины и ширины листовых пластинок и рост их зольности, что впоследствии негативно сказывается на развитии всего растения в целом.

Автор статьи выражает искреннюю благодарность д.г.н., профессору кафедры почвоведения и земельных информационных систем Белорусского государственного университета Н.К. Чертко и начальнику Гомельской горрайинспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды А.М. Голубеву за помощь в подготовке материала статьи к опубликованию.

### Литература

1. 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). – Дата доступа : 25.03.2016.
2. Есов, Р.А. Солевой режим почвы и зольности растений пухлого солончака на южной подгорной равнине юго-западного Кызылкума [Электронный ресурс] / Р.А. Есов. – Режим доступа : [www.old.kpfu.ru](http://www.old.kpfu.ru). – Дата доступа : 25.03.2016.
3. Есенжолова, А.Ж. Листья древесных и кустарниковых растений как биоиндикаторы загрязнения города Темиртау свинцом и цинком [Электронный ресурс] / А.Ж. Есенжолова. – Режим доступа : [www.cyberleninka.ru](http://www.cyberleninka.ru). – Дата доступа : 27.03.2016.
4. 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.
5. Зиятдинова, К.З. Морфология листьев и побегов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра) / К.З. Зиятдинова, Р.В. Уразгильдин, А.В. Денисова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – № 1 (6), Т. 14. – С. 1466–1469.
6. Хлебова, Л.П. Сравнение морфологических признаков листа выюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.) в условиях городской среды / Л.П. Хлебова, О.В. Ерещенко, Л.А. Кузнецова // Известия Алтайского государственного университета. – № 3, Т. 2. – С. 96–99.
7. Способ сравнительной индикации по флуктуирующей асимметрии листьев березы [Электронный ресурс]: пат. РФ 2556985 / П.М. Мазуркин, Д.В. Семенова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет». – Режим доступа : <http://www.freepatent.ru>. – Дата доступа : 11.10.2015.
8. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 288 с.