

УДК 574:504.054(571.151-25)

Г.Г. Соколова
А.А. Ерёмкина

G.G. Sokolova
A.A. Eremina

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ Г. ГОРНО-АЛТАЙСКА

THE INFLUENCE OF AIR POLLUTION ON THE DEVELOPMENT OF WOODY PLANT LEAVES UNDER CONDITIONS OF GORNO-ALTAYSK CITY

В статье рассматриваются результаты исследования влияния загрязнения воздушной среды г. Горно-Алтайска на морфологические параметры листовых органов клена ясенелистного, липы сердцевидной и березы повислой. Отмечены четкие тенденции влияния загрязнения, приводящего к увеличению длины, ширины и площади листьев; уменьшению количества жилок первого порядка. В местах наибольшего загрязнения воздушной среды отмечены повреждения листовых пластинок в виде точечного и пятнистого некрозов, мертвой верхушки и мертвого края листа. Выявлены изменения типичной формы листа. По степени уменьшения устойчивости установлен следующий ряд древесных пород: береза повислая – липа сердцевидная – клен ясенелистный.

В настоящее время исследования городской среды и связанные с ними теоретические и прикладные экологические проблемы необычайно актуальны, так как города становятся основной средой обитания человека. Интенсивное насыщение атмосферы городов газообразными и пылевидными отходами транспортных средств и промышленных предприятий вызывает ухудшение условий существования живых организмов, создает угрозу здоровью населения, способствует нарушению микроклимата.

Отсутствие крупных промышленных предприятий в г. Горно-Алтайске, расположение в сравнительно чистом природном комплексе, небольшая численность населения должны были обеспечить экологически чистую обстановку данной территории. Однако по условиям рассеивания вредных примесей в атмосфере территория г. Горно-Алтайска входит в неблагоприятную зону, т. к. город расположен в долине, окруженной со всех сторон горами. Одной из характерных климатических особенностей долины является образование воздушных инверсий: холодный воздух спускается с гор и подтекает под теплый. Выбрасываемые загрязняющие вещества оказываются сосредоточенными в приземном слое воздуха. Преобладающая скорость ветра в городе составляет 2 м/сек. При таких условиях выноса и рассеивания выбросов практически не происходит, что способствует накоплению загрязняющих веществ в приземной атмосфере (Информационный бюллетень ..., 2005). Все это способствует накоплению всех составляющих выбросов и, как следствие, аккумуляции в природных средах, главным образом, в снеговом покрове и почвах, а также донных осадках и растениях.

Основным фактором ухудшения качества атмосферного воздуха в городе является значительный рост числа автотранспортных средств, что приводит к нарастающему загрязнению улиц. Другими значимыми источниками поступления загрязняющих веществ служат многочисленные котельные (36), автозаправочные станции, завод железобетонных материалов (Робертус, 2004).

Состояние растительного покрова на территории г. Горно-Алтайска, оцененное по суммарному показателю поглощения и показателю биохимической контрастности, характеризуется, в основном, как малоблагополучное и напряженное. На большей части агломерации отмечается сниженная поглощающая способность растений.

В условиях городской среды насаждения древесных растений выполняют роль фитофильтров, очищая воздух от токсикантов путем механического осаждения твердых частиц, частичного поглощения и детоксикации токсикантов. Вопросы устойчивости древесных растений к различным типам загрязнения окружающей среды остаются до сих пор слабоизученными. Возникает проблема выяснения степени устойчивости растений, используемых в озеленении города к действию атмосферных токсикантов.

Наглядными морфометрическими показателями состояния древесных популяций являются: длина и ширина листовой пластинки, площадь листовой поверхности, изменение количества жилок первого порядка листовой пластинки, отражающие все многообразие действующих факторов (Николаевский и др., 1998;

Соколова, Тиньгаева, 2008).

Целью нашей работы является изучение влияния загрязнения атмосферного воздуха на древесные растения в г. Горно-Алтайске. Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

Оценить изменение ширины, длины и площади листьев, количества жилок первого порядка у липы сердцевидной (*Tilia cordata*), березы повислой (*Betula pendula*) и клена ясенелистного (*Acer negundo*) в зависимости от условий произрастания и степени загрязнения.

Выявить типы повреждений листовых пластинок липы сердцевидной, березы повислой и клена ясенелистного в зависимости от условий произрастания и степени загрязнения.

Для оценки влияния условий произрастания на развитие листовых органов липы, березы и клена в г. Горно-Алтайске были заложены 12 участков, отличающихся по степени антропогенной нагрузки и расположенных в непосредственной близости от автозаправочных станций, автодорог, котельных, завода ЖБИ, в парках. В качестве контроля выбран участок, находящийся вне городской черты.

На каждом участке с 10 деревьев отбиралось по 20 листьев. Сбор материала проводился после остановки роста листьев в июле-августе. Объем собранного материала составил по 7200 листовых органов каждого вида растения: липы сердцевидной, березы повислой, клена ясенелистного. Результаты измерения морфометрических показателей листьев обработаны общепринятыми статистическими методами с применением программ Excel 7.0. Достоверность различий проверяли по t-критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

Липа сердцевидная. Минимальная длина листовой пластинки отмечена у деревьев, произрастающих в районе контрольного участка, и составляет $6,92 \pm 0,03$ см. Длина листа липы в парках близка к контролю. Нами отмечена тенденция к увеличению длины листа, в зависимости от степени загрязнения воздушного бассейна города. Максимальная длина листа характерна для лип, произрастающих в районах котельных ($9,21 \pm 0,06$ см) и на участке вблизи завода железобетонных материалов ($9,25 \pm 0,01$ см). В зависимости от степени загрязнения длина листа достоверно увеличивается по сравнению с контролем от 10,56 % (в парках) до 13,37 % около завода ЖБИ (табл. 1).

Таблица 1

Изменение морфологических показателей листьев липы сердцевидной в г. Горно-Алтайске

Точки отбора проб	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см ²	Количество жилок 1-го порядка, шт.
Контроль	$6,92 \pm 0,03$	$6,41 \pm 0,04$	$30,19 \pm 0,20$	$14,53 \pm 0,04$
Парки	$7,37 \pm 0,06$	$6,56 \pm 0,02$	$31,30 \pm 0,05$	$13,67 \pm 0,05$
Автозаправки	$8,66 \pm 0,09$	$8,16 \pm 0,08$	$43,42 \pm 0,29$	$13,52 \pm 0,06$
Автодороги	$8,99 \pm 0,08$	$8,51 \pm 0,06$	$47,19 \pm 0,32$	$13,48 \pm 0,06$
Котельные	$9,21 \pm 0,06$	$8,57 \pm 0,06$	$49,76 \pm 0,44$	$13,27 \pm 0,07$
Завод ЖБИ	$9,25 \pm 0,01$	$8,91 \pm 0,02$	$52,82 \pm 0,53$	$12,75 \pm 0,06$

Примеч.: $7,37 \pm 0,06$ – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Минимальная ширина листьев липы отмечена на контрольном участке ($6,41 \pm 0,04$) см и в парках ($6,56 \pm 0,02$ см). Максимальная ширина листьев выявлена у липы, произрастающей на участках, расположенных в непосредственной близости с котельными ($8,57 \pm 0,06$ см) и заводом ЖБИ ($8,91 \pm 0,02$ см). Ширина листовой пластинки липы сердцевидной по сравнению с контролем достоверно увеличивается от 10,24 % (в парках) до 13,37 % (в районе завода ЖБИ) и 13,90 % (в районе котельных).

Площадь листовой пластинки липы минимальна в районе контрольного участка и составляет $30,19 \pm 0,20$ см², затем по возрастанию площади листа располагаются парки, участки вблизи котельных, автозаправочные станции, автодороги и железобетонный завод. В зависимости от условий произрастания и степени загрязнения площадь листовой пластинки липы увеличивается по сравнению с контролем в парках на 10,37 %, вблизи котельных – на 14,38 %, у автозаправочных станций – на 15,63 %, автодорог – на 16,48 % и в районе завода железобетонных материалов – на 17,49 % (табл. 1).

Сильная загрязненность атмосферного воздуха вызывает резкое увеличение площади листовой пластинки липы на исследуемых нами участках, что соответствует имеющимся в литературе данным (Неверова, 2001). Увеличение площади листа позволяет компенсировать уменьшение количества хлорофилла при разрушении его за счет влияния загрязняющих веществ.

Количество жилок первого порядка варьирует в незначительных пределах, однако, прослеживается явная тенденция к уменьшению количества жилок листа липы в сильно загрязненных участках. По сравнению с контрольным участком, на котором количество жилок у листьев липы составляет $14,53 \pm 0,04$ шт., нами выявлено значительное снижение величины признака у лип в парках, на участках вблизи автодорог, автозаправок, завода железобетонных материалов и котельных. Причем количество жилок первого порядка липы сердцевидной сокращается по сравнению с контролем от 9,41 % (в парках) до 9,28 % – вблизи автозаправочных станций (табл. 1).

Под влиянием различных веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, происходит видимое повреждение листьев. В процессе изучения поверхности листа липы сердцевидной нами было выявлено 5 типов повреждений: точечный и пятнистый некроз, мертвый край листа и мертвая верхушка, изменение формы листа (табл. 2). Точечному некрозу в большей степени подвергаются листья лип, произрастающих вблизи автодорог, котельных и завода ЖБИ (10–16 %); пятнистому некрозу – липы, произрастающие в аналогичных местах обитания, но степень повреждения их меньше (4–8 %). Мертвый край листа, мертвая верхушка листа и изменение формы листа не обнаружены у лип. Наибольшая степень повреждения характерны для лип, растущих вдоль автодорог (18–20 %).

Таблица 2

Повреждения листа липы сердцевидной, %

Типы повреждений	Точки отбора проб					
	Контроль	Парки	Заправки	Автодороги	Завод ЖБИ	Котельные
Точечный некроз	1	2	10	16	13	15
Пятнистый некроз	–	1	4	8	8	6
Мертвый край листа	–	–	12	18	12	15
Мертвая верхушка	–	–	5	20	8	7
Изменение формы листа	–	–	11	20	17	14

Береза повислая. Минимальная длина листовых пластинок отмечена у деревьев, произрастающих в районе контрольного участка ($5,46 \pm 0,04$ см). Максимальная длина листа березы выявлена нами у деревьев в районе ЖБИ ($6,50 \pm 0,06$ см) и на участках вблизи котельных ($6,64 \pm 0,05$ см). В зависимости от степени загрязнения длина листа березы достоверно увеличивается по сравнению с контролем от 11,03 % (в парках) до 12,16 % в районе котельных (табл. 3).

Таблица 3

Изменение морфологических показателей листьев березы повислой в г. Горно-Алтайске

Точки отбора проб	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см ²	Количество жилок 1-го порядка
Контроль	$5,46 \pm 0,04$	$3,8 \pm 0,03$	$18,74 \pm 0,03$	$12,04 \pm 0,02$
Парки	$6,02 \pm 0,05$	$4,66 \pm 0,04$	$20,12 \pm 0,05$	$11,46 \pm 0,08$
Автозаправки	$6,28 \pm 0,07$	$5,37 \pm 0,05$	$21,02 \pm 0,17$	$11,09 \pm 0,09$
Автодороги	$6,47 \pm 0,05$	$5,61 \pm 0,04$	$23,26 \pm 0,15$	$10,99 \pm 0,08$
Котельные	$6,50 \pm 0,06$	$5,74 \pm 0,04$	$23,48 \pm 0,12$	$10,59 \pm 0,09$
Завод ЖБИ	$6,64 \pm 0,05$	$5,83 \pm 0,06$	$23,57 \pm 0,14$	$10,56 \pm 0,10$

Примеч.: $6,02 \pm 0,05$ – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Минимальная ширина листьев березы отмечена на контрольном участке ($3,8 \pm 0,03$ см), максимальное значение ширины листьев выявлено у деревьев, произрастающих на участках, расположенных в непосредственной близости с заводом ЖБИ ($5,83 \pm 0,06$ см). В зависимости от степени загрязнения ширина листа березы достоверно увеличивается по сравнению с контролем от 12,26 % (в парках) до 15,34 % в районе завода ЖБИ.

Площадь листа минимальна в районе контрольного участка и составляет $18,74 \pm 0,03 \text{ см}^2$, максимальная величины площади листа березы отмечены в районах автодорог, котельных и завода ЖБИ, где площадь листа увеличивается по сравнению с контролем от 11,21 % до 12,58 % (табл. 3).

Количество жилок первого порядка варьирует в незначительных пределах, но прослеживается явная тенденция к уменьшению количества жилок в загрязненных районах от $12,04 \pm 0,02$ шт. на контрольном участке до $10,56 \pm 0,10$ шт. у деревьев, расположенных вдоль автодорог. Количество жилок первого порядка у листьев березы сокращается по сравнению с контролем от 9,51 % в парках до 9,21 % на участке вблизи завода ЖБИ (табл. 3).

Для листьев березы повислой, произрастающей в условиях г. Горно-Алтайска отмечены видимые повреждения листьев в виде точечного и пятнистого некрозов, мертвого края и мертвой верхушки листа, а также изменение формы листа. Точечный некроз листьев характерен для березы, произрастающей на участках у автодорог, автозаправок, котельных и завода ЖБИ (11–20 %). Пятнистому некрозу березы подвержены в меньшей степени, но также он характерен для местообитаний вблизи источников загрязнения (6–9 %). Мертвый край листа, мертвая верхушка листа и изменение формы листа не обнаружены на контрольном участке и в парке, на остальных участках они присутствуют. Максимальное количество листьев березы с повреждениями отмечены на участках вблизи автодорог – 13–20 % (табл. 4).

Таблица 4

Повреждения листа березы повислой, %

Типы повреждений	Точки отбора проб					
	Контроль	Парки	Заправки	Автодороги	Завод ЖБИ	Котельные
Точечный некроз	2	3	14	20	11	13
Пятнистый некроз	1	5	6	9	8	6
Мертвый край листа	–	–	8	18	16	15
Мертвая верхушка	–	–	7	13	7	7
Изменение формы листа	–	–	9	20	15	14

Клен ясенелистный. Минимальная длина листовой пластинки отмечена у деревьев, произрастающих в районе контрольного участка ($7,48 \pm 0,11 \text{ см}$). Максимальная длина листа характерна для кленов, произрастающих на участках, прилегающих к автодорогам ($8,47 \pm 0,05 \text{ см}$), котельным ($8,47 \pm 0,05 \text{ см}$) и заводу ЖБИ ($8,57 \pm 0,08 \text{ см}$). По сравнению с контролем достоверно увеличивается длина листа от 11,11 % вблизи автозаправок до 11,46 % у завода ЖБИ (табл. 5).

Таблица 5

Изменение морфологических показателей листьев клена ясенелистного в г. Горно-Алтайске

Точки отбора проб	Длина листа, см	Ширина листа, см	Площадь листа, см^2	Количество жилок 1-го порядка
Контроль	$7,48 \pm 0,11$	$5,09 \pm 0,02$	$21,49 \pm 0,02$	$17,91 \pm 0,03$
Парки	$7,65 \pm 0,03$	$5,44 \pm 0,04$	$23,46 \pm 0,05$	$17,53 \pm 0,05$
Автозаправки	$8,31 \pm 0,03$	$5,44 \pm 0,04$	$29,95 \pm 0,24$	$17,19 \pm 0,07$
Автодороги	$8,40 \pm 0,07$	$5,58 \pm 0,05$	$33,5 \pm 0,31$	$17,14 \pm 0,07$
Котельные	$8,47 \pm 0,05$	$5,67 \pm 0,05$	$34,82 \pm 0,43$	$16,74 \pm 0,06$
Завод ЖБИ	$8,57 \pm 0,08$	$5,71 \pm 0,04$	$36,48 \pm 0,33$	$15,4 \pm 0,11$

Примеч.: **$8,31 \pm 0,03$** – значения достоверны при 5%-м уровне значимости.

Минимальная ширина листьев клена отмечена на контрольном участке и составляет $5,09 \pm 0,02 \text{ см}$. Максимальная ширина листьев выявлена у деревьев, произрастающих на участках в непосредственной близости с автодорогами, котельными и заводом ЖБИ. Ширина листовой пластинки клена ясенелистного по

сравнению с контролем увеличивается от 10,69 % в парках и вблизи автозаправок до 11,22 % в районе завода ЖБИ (табл. 5).

Площадь листовой пластинки клена характеризуется минимальными значениями в районе контрольного участка и составляет $21,49 \pm 0,02 \text{ см}^2$. Максимальное увеличение площади листа у клена фиксируется на участках, расположенных в зонах интенсивного загрязнения: в окрестностях котельных ($34,82 \pm 0,43 \text{ см}^2$), вдоль автодорог ($33,5 \pm 0,31 \text{ см}^2$), около завода ЖБИ ($36,48 \pm 0,33 \text{ см}^2$) и автозаправочных станций ($29,95 \pm 0,24 \text{ см}^2$). В зависимости от условий произрастания и степени загрязнения площадь листовой пластинки клена увеличивается по сравнению с контролем от 10,92 % в парках до 16,97 % у завода ЖБИ (табл. 5).

Количество жилок первого порядка у листьев клена варьирует от $17,91 \pm 0,03$ шт. до $15,4 \pm 0,11$ шт. у завода ЖБИ. Выявлена четкая тенденция уменьшения количества жилок в районах максимального загрязнения воздушного бассейна на 8–15% по сравнению с контролем (табл. 5).

Листья клена ясенелистного в районе исследования подвержены различным повреждениям, среди которых обычными являются: точечный и пятнистый некроз, мертвый край листа и мертвая верхушка, изменение формы листа. Точечный некроз листьев клена на контрольном участке составляет 4 %, в парках – 6 %. Количество листьев клена, поврежденных точечным некрозом, увеличивается на загрязненных участках: от 10 % около автозаправочных станций до 21 % у автодорог. Доля листьев, поврежденных пятнистым некрозом, также велика у деревьев, растущих вдоль автодорог, около котельных и автозаправок. Такие повреждения листьев, как мертвый край листа, мертвая верхушка листа и изменение формы листа, не обнаружены на контрольном участке и в парке; на остальных участках они присутствуют. Максимальное отклонение от нормы характерно для районов автодорог, и автозаправок (11–23 %).

Таблица 6

Повреждения листа клена ясенелистного, %

Точки отбора проб						
	Контроль	Парки	Заправки	Автодороги	Завод ЖБИ	Котельные
Типы повреждений						
Точечный некроз	4	6	10	21	13	15
Пятнистый некроз	–	3	4	12	8	6
Мертвый край листа	–	–	17	23	12	15
Мертвая верхушка	–	–	13	20	8	9
Изменение формы листа	–	–	11	18	16	14

Таким образом, в условиях г. Горно-Алтайска на развитие листовых органов растений существенное значение оказывает уровень загрязнения воздушной среды города. Ширина, длина и площадь листьев березы повислой, клена ясенелистного и липы сердцевидной увеличиваются в местах нарастания интенсивности загрязнения. Такой морфологический показатель, как количество жилок первого порядка, у листьев клена, липы и березы, наоборот, с увеличением загрязнения уменьшается.

Для всех древесных пород в г. Горно-Алтайске отмечено повреждение листовых пластинок точечным и пятнистым некрозом. Наибольшая степень повреждения листьев у всех древесных пород характерна для районов котельных, автозаправок, около завода ЖБИ, вдоль автодорог. Наибольшие повреждения в виде мертвой верхушки листа, мертвого края листа и изменение формы листа наблюдается у деревьев на участках, расположенных вдоль автодорог.

В целом по устойчивости к загрязнению воздушной среды в г. Горно-Алтайске древесные породы образуют следующий убывающий ряд: береза – липа – клен.

ЛИТЕРАТУРА

Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Республики Алтай в 2004 г. – № 7. – Майма: Алтай-Гео, 2005. – 238 с.

Неверова О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений. – Новосибирск: Наука, 2001. – 119 с.

Николаевский В.С., Васина И.В., Николаевская Н.Г. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород // Вестник Московского государственного университета леса, 1998. – № 2. – С. 28–40.

Робертус Ю.В. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2004 г. – Горно-Алтайск, 2005. – 103 с.

Соколова Г.Г., Тиньгаева А.А. Биоиндикация загрязнения воздуха в г. Барнауле // Известия АГУ, 2008. – № 3. – С. 19–21.

SUMMARY

The article discusses the results of a study of air pollution influence in Gorno-Altai on the leaf morphological characteristics of *Acer negundo*, *Tilia cordata*, *Betula pendula*. We noted a clear trend of the pollution influence, leading to increased length, width and leaf surface; reducing the number of ribs of the first order. In areas of high air pollution we marked the damages of lamina like pointy and spotty necrosis, dead tops and dead leaf edges. We revealed the changes of the leaf typical form. The degree of reduction of the resistance has the following series of tree species: *Betula pendula* – *Tilia cordata* – *Acer negundo*.