

Е.Ю. Колмогорова, В.А. Кайдорина, О.А. Неверова

Институт экологии человека СО РАН

Колмогорова Елена Юрьевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Кемеровский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет более 30 печатных работ по проблеме биоэкологической оценки окружающей среды методами биоиндикации. E-mail: biomonitoring@bk.ru



Кайдорина Виктория Александровна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Кемеровский государственный университет, ведущий инженер-биолог лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет 4 научные статьи в области изучения устойчивости древесных растений в условиях мегаполиса. E-mail: biomonitoring@bk.ru



Неверова Ольга Александровна родилась в 1959 г., окончила в 1981 г. Кемеровский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Общий список печатных работ включает 103 наименования, из них 69 посвящено проблеме фитоиндикации. E-mail: biomonitoring@bk.ru



МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА

Установлено, что у березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития. На молекулярном и клеточном уровнях отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты); на уровне годичных побегов отмечается уменьшение их прироста, числа, площади и массы листьев. По уровню изменения морфо-физиологических показателей березы повислой сделан вывод о различной степени загрязнения исследуемых перекрестков выбросами автотранспорта.

Ключевые слова: береза повислая, выбросы автотранспорта, фотосинтетическая способность, аскорбиновая кислота, ростовые процессы.

Увеличение количества автомобильного транспорта в городах приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. В этом смысле г. Кемерово не является исключением. Выбросы в атмосферу от транспортных средств содержат более 200 соединений загрязняющих веществ, основными из которых являются оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, углеводороды, в том числе наиболее опасный из них бенз(а)пирен, свинец и его соединения и другие вещества [4]. Наибольшая доля загрязнения воздуха и почв от автотранспортных потоков приходится на автомагистрали и перекрестки города.

Общеизвестна средоулучшающая роль зеленых насаждений городов. Растения способны усваивать газообразные токсиканты, накапливать их, выделять в неизменном виде, включать непосредственно в физиолого-биохимический обмен или обезвреживать их в результате деградации до стандартных клеточных мета-

© Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверова О.А., 2012

болитов и углекислого газа. Эта способность растений может быть использована в целях ремедиации городских экосистем. При этом, как правило, такой способностью обладают растения с высокой устойчивостью к загрязнителям.

Для выявления устойчивых видов древесных растений требуется детальное изучение различных аспектов их жизнедеятельности в экологических зонах" отличающихся составом и концентрацией действующих токсикантов. Это позволит в дальнейшем разработать список растений, рекомендованных для создания эффективной системы озеленения различных экологических зон городов с учетом специфики загрязняющих веществ. С другой стороны, зеленые растения можно использовать в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды" в частности" по физиолого-биохимическим и морфометрическим показателям состояния растений можно судить о степени суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду. Преимущество использования фитоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды в сравнении с расчетными методами заключается в том" что по показателям состояния растений можно оценивать степень техногенного воздействия и порог допустимой нагрузки на природные объекты выбросов промпред-приятий" автотранспорта и других источников загрязнения и составлять экологические прогнозы на перспективу.

В связи с вышесказанным для нас представляло интерес изучить жизнедеятельность древесных растений в зоне действия выбросов автотранспорта по мор-фометрическим и физиолого-биохимическим показателям их состояния и сопоставить их с расчетным уровнем загрязнения перекрестков г. Кемерово.

В связи с поставленной целью в задачи исследований входило: оценка интенсивности синтетических процессов у растений" произрастающих вблизи перекрестков города (по содержанию углеводов и аскорбиновой кислоты); изучение динамики сезонного роста боковых побегов и их элементов; сопоставление полученных характеристик жизнедеятельности растений с расчетным уровнем загрязнения перекрестков.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в летний период 2008 г. вблизи двух перекрестков города Кемерово" характеризующихся высокой интенсивностью движения автотранспорта: перекресток 1 - «пр. Октябрьский - ул. Терешковой» и перекресток 2 -«ул. Тухачевского - пр. Химиков». Перекресток 1 располагается в Центральном районе города вблизи коммунального моста" соединяющего право- и левобережные части города. Перекресток 2 находится в Заводском районе города и соединяет дороги" по которым проходит основной поток тяжелого транспорта.

Объектом исследований являлась береза повислая" широко представленная в зеленых насаждениях г. Кемерово. Площадки наблюдений располагались вблизи изучаемых перекрестков, а контрольные - в жилом квартале Ленинского района, который является минимально загрязненным районом города.

Выборка растений составляла 10 деревьев на каждой исследуемой площадке (средневозрастное генеративное состояние - g^2) [6]. Физиолого-биохимические показатели определяли в динамике - каждые 10 дней за вегетацию, для чего выбирали 5 деревьев хорошего и удовлетворительного жизненного состояния. Фотосинтетическую способность определяли бескамерным методом, который позволяет рассчитать интенсивность процесса по количеству углеводов, образующихся в листьях на каждый грамм их исходного содержания за определенный период экспозиции на свету [1]. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях определяли по ГОСТ 24556-89 [2]. Физиолого-биохимические анализы выполнены в 5-крат-

ной повторности. Морфобиометрические исследования проводили на 10 модельных деревьях, у которых метили по 10 ветвей нижней трети кроны дерева по периметру. Сезонный прирост боковых побегов в длину измеряли каждые 10 дней с помощью железной линейки с точностью до 0,1 см. Количество листьев на годичном побеге подсчитывали в шт. В конце вегетации массу листьев годичных побегов взвешивали на весах с точностью до 0,1 г, площадь листьев высчитывали с учетом высечек (1x1 см) по методике И.В. Кармановой [3].

Результаты и их обсуждение

Количество выбросов от автотранспортных потоков тяжело поддается подсчету и не всегда отражает объективную картину загрязнения в связи с меняющейся картиной транспортной нагрузки перекрестков по годам. В таблице 1 приведены данные моделирования загрязнения атмосферного воздуха, проведенного на основе данных инвентаризации выбросов в сумме от стационарных и передвижных источников, с учетом климатических параметров, влияющих на распространение примесей в атмосфере – направления и скорости ветра, состояния устойчивости атмосферы.

Таблица 1

Концентрации загрязняющих веществ вблизи исследуемых перекрестков города Кемерово (в долях ПДК)

Перекрестки	Pb	NO ₂	SO ₂	CO	Бенз(а)-пирен	Сажа	Формальдегид	Бензин
Средние максимально разовые концентрации загрязняющих веществ								
пр. Химиков – ул. Тухачевского	1,710	5,970	0,100	2,190	0,640	0,120	0,190	0,260
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	5,530	4,150	0,330	6,260	1,850	0,370	0,520	0,720
ПДК _р , мг/м ³	0,001	0,085	0,500	5,000	0,00001	0,150	0,036	5,000
Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ								
пр. Химиков – ул. Тухачевского	0,300	1,790	0,430	0,310	0,570	0,100	0,270	0,080
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	0,400	3,040	0,660	0,570	0,620	0,120	0,400	0,150
ПДК _с , мг/м ³	0,0003	0,040	0,050	3,000	0,000001	0,050	0,003	1,500

Примечание. Для каждого вещества взята концентрация, усредненная по всем расчетным точкам на перекрестке.

Данные табл. 1 показывают, что по средним максимально разовым концентрациям загрязняющих веществ имеет место превышение ПДК по свинцу (5,97–4,15 ПДК), оксиду углерода (2,19–6,26 ПДК) и диоксиду азота (5,97–4,15 ПДК) на перекрестках «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» соответственно. На последнем перекрестке имеет место превышение по бенз(а)пирену (1,85 ПДК). По среднегодовым концентрациям на изучаемых перекрестках имеет место превышение ПДК по диоксиду азота (в 1,79 и 3,04 раза соответственно на перекрестках «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой»). На основе полученных данных рассчитан комплексный показатель загрязнения атмосферы (КП). Установлено, что наиболее загрязнен перекресток «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» (КП=6). На перекрестке «пр. Химиков – ул. Тухачевского КП=4.

Оценка состояния березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков позволила выявить следующие закономерности.

Кривая значений синтеза углеводов в листьях как контрольных, так и опытных групп растений носит сходный характер с минимумами в начале и в конце вегетации и максимумами в июле. К концу вегетации скорость синтеза углеводов снижается вследствие старения листьев.

Результаты экспериментов показали, что у деревьев, произрастающих вблизи изучаемых перекрестков, отмечается снижение синтеза углеводов во все сроки наблюдений в сравнении с контролем (рис. 1). Максимальное снижение данного показателя отмечается 5 июля, 15 июля и 14 августа – синтез углеводов в листьях березы падает ниже контрольных значений на 38,8; 38,3; 38,6% и 41,7; 37,8 и 35,1% вблизи перекрестков «пр. Химиков – ул. Тухачевского» и «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» соответственно.

Аскорбиновая кислота относится к вторичным метаболитам, тем не менее, ее содержание отражает уровень синтетических процессов у растений.

Результаты экспериментов показали, что у исследуемых деревьев березы характер кривых содержания аскорбиновой кислоты в течение вегетации во многом сходен с кривой синтеза углеводов – от минимальных значений в мае до максимальных в июле и существенно более низких значений в середине августа. Характер кривых синтеза углеводов и содержания аскорбиновой кислоты во многом определяется интенсивностью ростовых процессов у деревьев в течение вегетации. С началом развития листового аппарата связана инициация синтеза ассимилятов. В период максимального развития листового аппарата (в большинстве случаев в июле) отмечается максимальный синтез и аскорбата, а к концу вегетации (к середине августа) отмечается процесс старения листьев, разрушение хлорофилла и как следствие – замедление синтеза ассимилятов, в том числе и аскорбата.

Анализ экспериментальных данных показал, что у контрольных деревьев березы содержание аскорбата в течение вегетации колеблется в пределах 107,03–149,7 мг/100 г, причем минимальное значение наблюдается 26 мая, а максимальное – 5 июля.

Вблизи изучаемых перекрестков у березы наблюдается снижение синтеза аскорбата во все сроки наблюдений, причем, более низкое содержание аскорбата, по сравнению с контролем отмечается на перекрестке «ул. Терешковой – пр. Октябрьский». На данном перекрестке в сроки наблюдений с 26 мая по 4 августа содержание аскор-

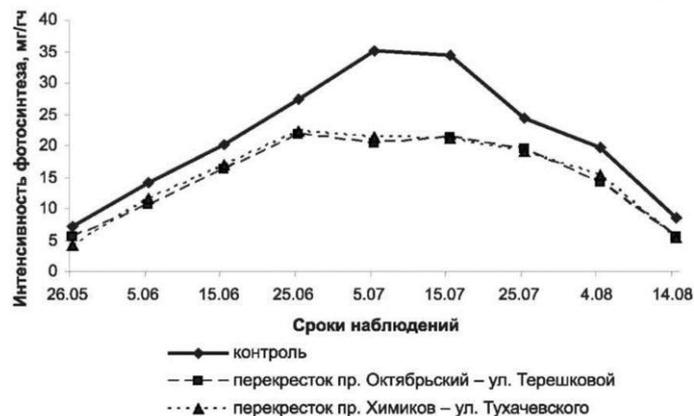


Рис. 1. Интенсивность синтеза углеводов в листьях березы повислой

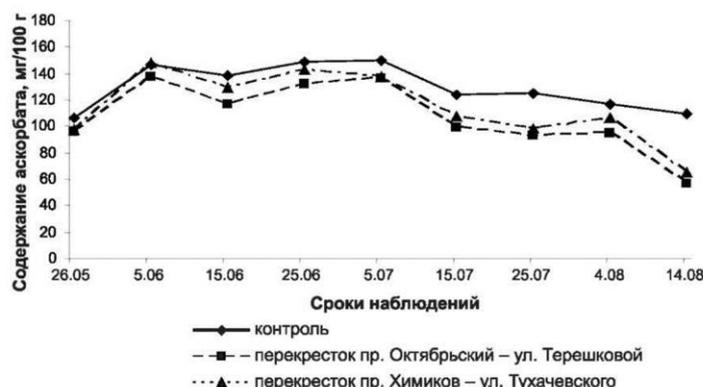


Рис. 2. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города Кемерово

бата снижается на 6,1–25,8%, а к концу вегетации (14 августа) – на 48%. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях березы повислой, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» в те же сроки наблюдений снижается по сравнению с контролем на 4,2–21,8%, а 14 августа на 40,7% (рис. 2). Следует отметить, что достоверное снижение содержания аскорбата у березы опытных вариантов отмечается лишь 14 августа – в период начала осеннего листопада (на перекрестке «ул. Терешковой – пр. Октябрьский» наступление осеннего листопада начинается 14 августа, а на перекрестке «пр. Химиков – ул. Тухачевского» – 12 августа).

Рост является важнейшей характеристикой жизнедеятельности растения.

Понятие «рост» отражает количественные изменения, сопровождающие развитие организма или его частей [5]. Наряду с ростом важнейшей характеристикой жизнедеятельности растений в разных экологических условиях служит интенсивность продукционного процесса, т.е. величина аккумуляции сухого вещества. Количественные методы оценки роста позволяют извлекать максимум информации из таких широко употребляемых величин, как вес и площадь листьев [3]. Расчетный метод используется при изучении связи роста и факторов внешней среды, что позволяет выделить среди характеристик жизнедеятельности слабо и тесно связанные с факторами внешней среды.

Анализ кривых сезонной динамики роста боковых побегов показал, что у березы повислой как опытных, так и контрольных вариантов, максимальный прирост боковых побегов отмечается в период с 15 по 25 июня. В срок с 5 по 15 июля данный показатель у деревьев практически не меняется (рис. 3).

У растений, произрастающих в локальных очагах загрязнения выбросами автотранспорта, снижается скорость роста боковых побегов по сравнению с контрольной группой. Максимальное снижение прироста боковых побегов относительно контроля наблюдалось 25 июня – на 25 и 28% соответственно на перекрестках «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» и «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (рис. 3). В остальные сроки наблюдения отмечено чуть меньшее, но также достоверное снижение прироста: 15 июня на 15,5 и 20%, 5 июля – на 18 и 22% на выше-названных перекрестках соответственно.

Следует отметить, что в динамике за вегетацию прирост боковых побегов березы повислой вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» снижается в большей степени, в сравнении с перекрестком «пр. Октябрьский – ул. Терешковой».

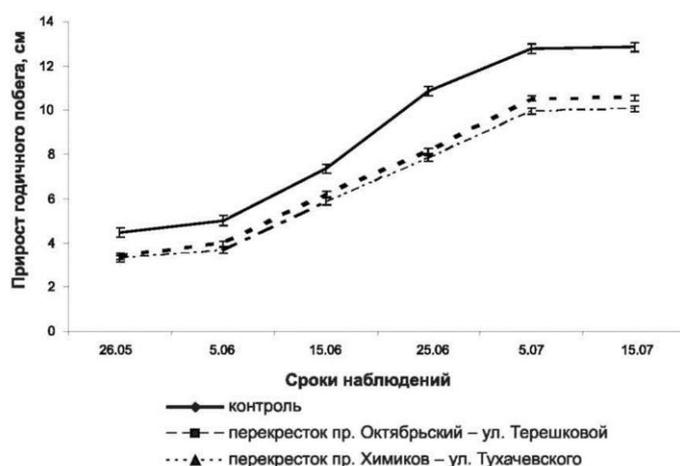


Рис. 3. Динамика сезонного роста боковых побегов березы повислой, произрастающей вблизи перекрестков города Кемерово

Наряду со снижением сезонного прироста боковых побегов у березы, отмечается уменьшение на них количества листьев, их площади и массы, причем в большей степени эти изменения выражены у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (табл. 2).

Таблица 2

Анализ элементов годичного побега у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков

Площадки наблюдения	Количество листьев на годичном побеге, шт.	Площадь листьев годичного побега, см ²	Масса листьев на годичном побеге, г	
			сырая	сухая
Контрольные	8,13±0,14	33,21±0,50	1,33±0,02	1,13±0,02
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	5,38±0,11*	18,83±0,66*	0,75±0,03*	0,55±0,03*
пр. Химиков – ул. Тухачевского	6,42±0,11*	14,70±0,33*	0,59±0,01*	0,39±0,01*

* Отмечены достоверные отличия при $V \geq 0,95$.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития.

На молекулярном и клеточном уровнях отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты); на уровне побегов отмечается снижение их прироста за вегетацию, числа, площади и массы листьев.

Однако реакция березы на загрязнение изучаемых перекрестков отличается на различных уровнях ее организации. Так, на молекулярном уровне у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский – ул. Терешковой» (КП=6), отмечается в большей степени снижение синтеза углеводов и аскорбата в сравнении с березой, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков – ул. Тухачевского» (КП=4), однако ростовые и продукционные процессы на уровне побега в большей

степени угнетены у березы, произрастающей на последнем перекрестке. Это выражается в более значительном снижении прироста годичного побега (в среднем за вегетацию ниже контроля на 23,3%, и на 3,8% ниже значений у березы, произрастающей на пер. «пр. Октябрьский - ул. Терешковой»), площади листьев (ниже контроля на 55,7%, и на 12,7% ниже значений у березы, произрастающей на втором перекрестке), сухой массы листьев (ниже контроля на 65,5%, и на 14,5% ниже значений у березы, произрастающей на пер. «пр. Октябрьский - ул. Терешковой»).

Полученные экспериментальные данные позволяют предположить, что различный уровень транспортной нагрузки на изучаемых перекрестках города приводит к различным типам разобщения фотосинтеза и роста, которые посредством донорно-акцепторных отношений (ДАО) характеризуют степень надежности растительного организма как целостной системы. В оптимальных условиях ДАО будут сбалансированы, что можно формализовать в виде следующего выражения: фотосинтез = отток ассимилятов.

Под действием стресс-фактора может наблюдаться разобщение фотосинтеза и роста, при этом нарушения ДАО могут происходить по 2-м типам:

- 1) фотосинтез > оттока ассимилятов;
- 2) фотосинтез < оттока ассимилятов.

В первом случае рост растений будет подавлен в большей степени, нежели фотосинтез. Во втором случае в большей степени подавляется фотосинтез, нежели тормозится рост растений [7]. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Химиков - ул. Тухачевского», нарушения ДАО происходят по первому типу. Это проявляется в преимущественном подавлении у березы ростовых процессов. У березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский - ул. Терешковой» нарушения ДАО происходят по второму типу, что проявляется в большем подавлении синтетических процессов (синтеза углеводов и аскорбиновой кислоты) и в меньшем ростовых.

Выводы

1. Установлено, что у березы повислой, произрастающей вблизи изучаемых перекрестков, выбросы автотранспорта вызывают негативные изменения роста и развития:

- на молекулярном и клеточном уровне отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (углеводов и аскорбиновой кислоты);
- на уровне побегов снижается их сезонный прирост, число, площадь и масса листьев на годичном отрезке побегов.

2. Выявлены различия в морфофизиологических реакциях березы на степень загрязнения от автотранспортных потоков исследуемых перекрестков: у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр. Октябрьский - ул. Терешковой» (КП=6) отмечается в большей степени снижение синтеза углеводов и аскорбата; ростовые и продукционные процессы на уровне побега в большей степени угнетены у березы, произрастающей вблизи перекрестка «пр.Химиков - ул.Тухачевского» (КП=4), что в обоих случаях является проявлением нарушения донорно-акцепторных отношений между фотосинтезом и ростом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков О.Д. Бескамерный способ изучения фотосинтеза. Метод. указ. Л., 1974. 17 с.
2. ГОСТ 24556-89. Методы определения витамина С. М.: Изд-во стандартов, 1989. 15 с.
3. Карманова И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. М.: Наука, 1976. 221 с.
4. Материалы к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2005 году» / Администрация Кемеровской области. Кемерово: ИНТ, 2006. 320 с.
5. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высш. шк., 1989. 464 с.
6. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. и др. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов Европейской части России). Пущино, 1990. 92 с.
7. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений: учебник. М.: Логос, 2001. 224 с.

Поступила 24.08.09

E.Y. Kolmogorova, V.A. Kaydorina, O.A. Neverova
Siberian Division of RAS, Kemerovo Human Ecology Institute

Morphophysiological assessment indices of the woody plants sustainability and pollution of air in Kemerovo

Negative vegetation permutation of the drooping birch (*Betula pendula*) trees growing in traffic zones, caused by the motor transport emissions, have been ascertained. Descent of primary and secondary metabolites (carbohydrates and ascorbic acid) synthesis is noticed. Decrease in number of annotinous sprouts, surface area and foliage mass is registered. Conclusion of air pollution rate in road crossings zones by motor transport emissions is derived.

Key words: drooping birch (*Betula pendula*), motor transport emissions, photosynthetic ability, ascorbic acid, vegetation processes.