

УДК 581.1:635.054

**О.Л. Цандекова**

Институт экологии человека СО РАН

Цандекова Оксана Леонидовна родилась в 1970 г., окончила в 1993 г. Кемеровский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет более 20 печатных работ в области биоэкологической оценки окружающей среды методами биоиндикации.  
E-mail: biomonitring@bk.ru.



### **ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА**

Изучены фенологические особенности древесных растений на перекрестках г. Кемерово. Выявлено, что высокая транспортная нагрузка на перекрестках города приводит к ускорению прохождения основных фенологических фаз (цветение, окраска листьев, начало листопада) и сокращению продолжительности вегетации. Установлено, что наибольшую чувствительность к условиям локального загрязнения проявила рябина сибирская, которую предложено использовать в качестве индикатора загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта.

*Ключевые слова:* фенологические фазы развития, древесные растения, выбросы автотранспорта, загрязняющие вещества, перекрестки города Кемерово.

На загрязнение атмосферы г. Кемерово существенную нагрузку оказывает увеличение численности автомобильного транспорта. В выхлопных газах автотранспорта содержится более 200 химических соединений, обладающих токсическим действием. Основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми автотранспортом, считаются оксиды углерода, азота, серы, углеводорода, сажа и соединения свинца. Кроме того, в выбросах автотранспорта содержатся альдегиды (акромин и формальдегид), являющиеся весьма токсичными веществами, а также канцерогенные полициклические ароматические углеводороды, основным представителем которых является бенз(а)пирен. Наибольшая доля загрязнения воздуха и почв от автотранспортных потоков приходится на автомагистрали и перекрестки города [1, 6].

Под действием выбросов автотранспорта у древесных растений появляются некрозы на листьях, наблюдается ускорение усыхания нижних ветвей. В связи с этим древесные растения имеют пониженную декоративность и не выполняют экологических функций, отмечается нарушение феноритмов роста и развития растений, а также сокращаются сроки их жизни [5, 7]. К важнейшим фенологическим фазам в сезонном развитии древесных растений относятся вегетация; начало и конец цветения; созревание плодов, семян;

появление окраски листьев; опадение листьев [2, 8]. Фенологические наблюдения помогают изучить приспособления древесных растений к данным условиям обитания и оценить возможность использования их в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды в городе. Необходимо выявление наиболее устойчивых к загрязнению видов древесных растений, которые могут быть рекомендованы для озеленения в различных экологических зонах.

Цель наших исследований – изучение фенологических особенностей древесных видов растений в условиях действия выбросов автотранспорта и возможности их использования в качестве диагностического признака состояния растений в городской среде.

В задачу исследований входило изучение фенологических особенностей древесных растений в условиях загрязнения выбросами автотранспорта; выявление зависимости между фенологическими показателями и концентрацией загрязняющих веществ (среднегодовых и максимальных разовых) в исследуемых точках (на перекрестках) города.

#### *Объекты и методы исследований*

Исследования проводили в вегетационный период 2007–2009 гг. Объектами исследований служили произрастающие в непосредственной близости от перекрестков г. Кемерово древесные растения – рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.). Рябина сибирская произрастает вблизи перекрестков пр. Октябрьский – ул. Терешковой и пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев, береза повислая – пр. Октябрьский – ул. Терешковой и пр. Химиков – ул. Тухачевского, сирень обыкновенная – пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская. Контрольные площадки располагались в жилом квартале наименее загрязненного Ленинского района.

Средний возраст древесных растений соответствовал среднему генеративному состоянию ( $g^2$ ) [10]. Для фенологической оценки древесных видов в условиях города были отобраны основные фенофазы:  $Пб^2$  – появление зеленого конуса листьев на конце почки;  $Ос^1$  – появление окраски листьев;  $Ол^1$  – начало осеннего листопада;  $Цв^2$  – начало цветения (появление первых раскрывшихся цветков или соцветий);  $Цв^5$  – конец цветения;  $Пл^3$  – наличие плодов. Эти фенофазы позволяют также определять продолжительность вегетации ( $Ол^1$  –  $Пб^2$ ) и цветения ( $Цв^2$  –  $Цв^5$ ) [3, 9]. Опыты проведены в 3-кратной повторности, математическая обработка экспериментальных данных – с использованием компьютерной программы Statistica 6,0.

#### *Результаты и их обсуждение*

Для выявления степени загрязнения перекрестков выбросами автотранспорта А.А. Быковым [3] осуществлено моделирование среднегодового и максимально разового загрязнения атмосферного воздуха на основе данных инвентаризации выбросов и климатического распределения метеопараметров.

На основании данных моделирования рассчитан комплексный показатель (КП) загрязнения атмосферы:

$$КП = C_1/ПДК_{C1} + C_2/ПДК_{C2} + \dots + C_n/ПДК_{Cn},$$

где С – среднегодовая концентрация;

ПДК<sub>С</sub> – соответствующая среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК).

Индексы 1, 2, 3, ..., n – соответственно относятся к свинцу, диоксиду азота, диоксиду серы, оксиду углерода, бенз(а)пирену, саже и бензину.

По КП суммарного среднегодового загрязнения атмосферы перекрестки города можно распределить в следующем порядке: пр. Химиков – ул. Тухачевского (КП = 4) < пр. Октябрьский – ул. Терешковой (КП = 6) < пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская (КП = 7) < пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев (КП = 10). Как показали расчеты, наиболее загрязнен перекресток пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев.

Данные моделирования среднегодовых и максимально разовых концентраций загрязняющих веществ на исследуемых перекрестках г. Кемерово приведены в табл. 1. Как показывают данные таблицы, на исследуемых перекрестках максимальное превышение ПДК отмечено по свинцу, диоксиду азота, оксиду углерода и бенз(а)пирену. Наиболее существенное превышение среднегодовых и максимально разовых концентраций загрязняющих веществ выявлено на перекрестках пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская и пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев, особенно по свинцу, диоксиду азота и оксиду углерода.

Таблица 1

**Концентрации загрязняющих веществ\* (в долях ПДК)  
на исследуемых перекрестках**

Перекресток	Pb	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	Бенз(а)-пирен	Сажа	Бензин	КП**
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	0,40	3,04	0,66	0,57	0,62	0,12	0,15	6
	5,53	4,15	0,33	6,26	1,85	0,37	0,72	
пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев	0,56	5,66	0,89	0,88	1,02	0,16	0,23	10
	5,77	12,04	0,31	7,49	2,20	0,43	0,95	
пр. Химиков – ул. Тухачевского	0,30	1,79	0,43	0,31	0,57	0,10	0,08	4
	1,71	5,97	0,10	2,19	0,64	0,12	0,26	
пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская	0,49	4,05	0,83	0,67	0,64	0,13	0,17	7
	3,53	7,11	0,18	4,44	1,11	0,20	0,55	
ПДК <sub>С</sub> , мг/м <sup>3</sup>	0,0003	0,040	0,05	3,0	0,000001	0,05	1,5	–
	0,0010	0,085	0,50	5,0	0,000010	0,15	5,0	

\*В числителе приведены среднегодовые концентрации, в знаменателе – средние максимально разовые.

\*\*Рассчитано по среднегодовым показателям.

Анализ результатов фенологических исследований показал, что у исследуемых древесных видов отмечены некоторые отличия в наступлении отдельных фаз развития в контрольной зоне и на изучаемых перекрестках. На контрольном участке ранним началом вегетации характеризовались рябина сибирская (25.04). Максимальный период цветения (20 дн.) и наиболее длительная вегетация были характерны для сирени обыкновенной (167 дн.). У березы повислой отмечался минимальный период цветения (6 дн.). Вблизи изучаемых перекрестков у исследуемых древесных видов наблюдались некоторые различия в наступлении и длительности отдельных фенофаз по сравнению с контролем. Так, более раннее появление зеленого конуса листьев на конце почки наблюдалось у березы повислой (пр. Октябрьский – ул. Терешковой, пр. Химиков – ул. Тухачевского) и рябины сибирской (пр. Октябрьский – ул. Терешковой, пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев) – в среднем на 2 дн.; у сирени обыкновенной (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) – на 3 дн. Наибольшие отклонения от контроля по данному показателю выявлены в 2007 г. у березы повислой на перекрестке пр. Химиков – ул. Тухачевского и сирени обыкновенной (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) – на 4 дн.

На исследуемых перекрестках цветение по сравнению с контролем наступало раньше у сирени обыкновенной – на 1 дн., у березы повислой – на 2 дн., у рябины сибирской – на 3 дн. Максимальные отличия от контроля отмечены в 2009 г. у рябины сибирской, произрастающей на перекрестке пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев (на 6 дн.) и сирени обыкновенной, произрастающей на перекрестке пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская (на 3 дн.).

В очагах локального воздействия выбросов автотранспорта у исследуемых растений по сравнению с контролем выявлено более раннее появление осенней окраски листьев и начало осеннего листопада (табл. 2).

Осенняя окраска листьев у березы повислой наблюдалась раньше в среднем на 2 дн., у рябины сибирской – на 3...4 дн. Начало листопада у рябины и березы, произрастающих вблизи исследуемых перекрестков, наступало раньше на 2...5 дн. У сирени (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) осенняя окраска листьев и начало листопада отмечались на 3...4 дн. раньше. У сирени обыкновенной, несмотря на то, что опадение листьев отмечалось после первых заморозков, большая их часть замерзала на ветвях зелеными. Ускорение прохождения основных фенологических фаз у исследуемых древесных видов привело к сокращению продолжительности вегетации: у березы повислой – в среднем на 5...6 дн.; у сирени обыкновенной – на 6...7 дн.; у рябины сибирской – на 7 дн. Очевидно, данные изменения связаны с локальными загрязнениями выбросами автотранспорта.

По результатам проведенных исследований установлена достоверная отрицательная корреляция между продолжительностью вегетации древесных видов и концентрациями загрязняющих веществ (максимально разовыми и среднегодовыми): у рябины и березы они варьировали в пределах  $-0,61... -0,66$  (при  $p < 0,05$ ,  $N = 90$ ), у сирени – от  $-0,84$  до  $-0,96$  (при  $p < 0,05$ ,  $N = 60$ ).

Таблица 2

## Фенологические даты исследуемых древесных растений

Вид	Пб <sup>2</sup>	Цв <sup>2</sup>	Цв <sup>5</sup>	Пл <sup>3</sup>	Ос <sup>1</sup>	Ол <sup>1</sup>	Ол <sup>1</sup> – Пб <sup>2</sup>	Цв <sup>5</sup> – Цв <sup>2</sup>
Контроль								
Рябина сибирская:								
2007	18.04	16.05	04.06	17.08	14.08	20.08	125	19
2008	04.05	29.05	07.06	22.08	14.08	28.08	116	9
2009	24.04	24.05	04.06	16.08	09.08	30.08	128	11
<i>Среднее</i>	25.04	23.05	05.06	18.08	12.08	26.08	123	13
Береза повислая:								
2007	17.04	15.04	21.04	15.06	10.08	16.08	122	6
2008	06.05	03.05	08.05	20.06	12.08	17.08	103	5
2009	27.04	22.04	28.04	17.06	05.08	16.08	111	6
<i>Среднее</i>	27.04	23.04	29.04	17.06	09.08	16.08	112	6
Сирень обыкновенная:								
2007	02.05	21.05	12.06	15.10	–	17.10	168	22
2008	08.05	23.05	11.06	17.10	–	21.10	166	19
2009	27.04	30.05	19.06	05.10	–	11.10	167	20
<i>Среднее</i>	02.05	25.05	12.06	12.10	–	16.10	167	20
пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев								
Рябина сибирская:								
2007	20.04	19.05	31.05	16.08	12.08	16.08	119	12
2008	06.05	30.05	06.06	22.08	09.08	25.08	111	7
2009	25.04	30.05	05.06	13.08	06.08	21.08	118	6
<i>Среднее</i>	27.04	26.05	04.06	17.08	09.08	21.08	116	8
пр. Октябрьский – ул. Терешковой								
Рябина сибирская:								
2007	19.04	18.05	29.05	13.08	10.08	17.08	121	11
2008	07.05	01.06	08.06	16.08	06.08	23.08	108	7
2009	26.04	28.05	04.06	15.08	08.08	23.08	119	8
<i>Среднее</i>	27.04	26.05	03.06	15.08	08.08	21.08	116	9
Береза повислая:								
2007	20.04	18.04	23.04	16.06	07.08	15.08	118	5
2008	08.05	04.05	09.05	22.06	10.08	14.08	98	5
2009	29.04	24.04	30.04	18.06	05.08	13.08	106	6
<i>Среднее</i>	29.04	25.04	01.05	19.06	07.08	14.08	107	5
пр. Химиков – ул. Тухачевского								
Береза повислая:								
2007	21.04	19.04	23.04	14.06	08.08	13.08	115	4
2008	07.05	04.05	08.05	25.06	08.08	12.08	97	4
2009	28.04	23.04	29.04	17.06	04.08	12.08	106	6
<i>Среднее</i>	29.04	25.04	16.04	19.06	07.08	12.08	106	5
пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская								
Сирень обыкновенная:								
2007	06.05	23.05	11.06	12.10	–	13.10	160	20
2008	10.05	21.05	07.06	14.10	–	18.10	161	17
2009	29.04	02.06	20.06	03.10	–	08.10	162	18
<i>Среднее</i>	05.05	26.05	13.06	10.10	–	13.10	161	18

*Выводы*

1. Выявлены видовые различия в прохождении основных фаз развития у исследуемых древесных растений в условиях действия выбросов автотранспорта на перекрестках г. Кемерово. Наиболее ранняя вегетация отмечена у рябины сибирской, максимальный период цветения и наиболее длительная вегетация – у сирени обыкновенной. Для березы повислой характерен минимальный период цветения.

2. У древесных растений, произрастающих вблизи перекрестков, отмечено ускорение прохождения основных фенологических фаз (цветение, окраска листьев, начало листопада), что приводит к сокращению продолжительности вегетации. Данные показатели могут быть использованы в качестве диагностического признака состояния растений в городской среде.

3. Наибольшую чувствительность к условиям локального загрязнения выбросами автотранспорта проявила рябина сибирская, наименьшую – береза повислая. Следовательно, рябину сибирскую можно использовать в качестве индикатора на загрязнение перекрестков города выбросами автотранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Р.Р. Биоиндикация загрязнения природной среды с помощью биохимических и флуоресцентных параметров древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1993. 22 с.
2. Бульгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
3. Буторова О.Ф., Шестак К.В. Фенология интродуцентов в дендрарии СибГТУ // Лесн. журн. 2007. № 2. С. 48–53. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Быков А.А. Разработка и применение математических моделей для управления чистотой атмосферы по среднегодовым показателям: автореф. дис. ...канд. хим. наук. М., 1988. 22 с.
5. Дончева А.В., Казаков Л.К., Калуцков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.
6. Материалы к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2005 г.» / Администрация Кемеровской области. Кемерово: ИНТ, 2006. 320 с.
7. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: Экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. С. 121–155.
8. Николаевский В.С., Николаевская Н.Г., Козлова Е.А. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов // Лесн. вестник. 1999. 2 (7) май. С. 76–77.
9. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М., 1999. 193 с.
10. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов европейской части России). Пушино, 1990. 92 с.

Поступила 11.05.10

*O.L. Tsandekova*

Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

**Phenological Characteristics of Wood Types under Conditions of Vehicle Emissions**

Phenological characteristics of wood plants at crossroads of Kemerovo have been studied. The heavy traffic load at the town crossroads was found to cause accelerated undergoing of main phenological phases (blooming, colouring of leaves, beginning of abscission) and shorter duration of vegetation. The most sensitive for the conditions of local pollution proved to be Siberian mountain ash, which is suggested to be used as an indicator of environmental pollution by vehicle emissions.

*Key words:* phenological stages of development, wood plants, vehicle emissions, pollutants, town crossroads Kemerovo.

---