

УДК 634.1

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ОРГАНЫ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

Ибраимова Э.Э.

Одним из наиболее причинных факторов деградации почв и атмосферного воздуха в городских экосистемах является техногенное загрязнение, обусловленное воздействием промышленности, транспорта, а также другими видами антропогенной деятельности [1]. Наиболее опасным и интенсивным источником загрязнения атмосферы многих городов является автомобильный транспорт [2]. В выхлопных газах автомобилей выявлено около 300 различных вредных веществ, среди которых особую опасность представляют оксиды углерода, углеводороды (канцерогенные бензопирены и бензантрацены, формальдегид, бензол), оксиды азота, сажа, свинец, ртуть, диоксид серы, альдегиды [3, 4].

В почве придорожной обочины вдоль автострады выявлено повышенное аккумулярование Pb, Ni, Cr, Cu и Zn, что является последствием большой интенсивности движения автотранспорта [5]. Возрастает также накопление в окружающей среде таких тяжёлых металлов, как кадмий и хром [4]. Прогрессирующее накопление указанных экотоксикантов в окружающей среде может привести к нежелательным экологическим последствиям не только для растительной и животной компоненты городских экосистем, но в конечном итоге и для человека. Установлена зависимость между интенсивностью техногенной нагрузки, частотой и характером заболеваемости населения, особенно детского, проживающего в данной зоне [2].

В литературе приведены данные по влиянию ионов тяжёлых металлов на рост растений, в частности бобов, и прорастание спор, пыльцы и семян амариллиса. Авторы отмечают, что изменения на биохимическом уровне проявляются раньше ростовых показателей. Из физиологических процессов прорастание пыльцы оказалось наиболее чувствительным [6]. Следовательно, наиболее сильное влияние техногенного стресса испытывают генеративные органы растений, в частности органы мужской репродукции, что проявляется в их аномальном развитии и низком качестве формируемой ими пыльцы [7]. Была изучена жизнеспособность пыльцы как биоиндикатора качества воздуха в г. Перуджа (Италия), где движение автотранспорта является главным источником загрязнения воздуха. Для опыта были взяты три местности с различной интенсивностью движения. Установлено, что жизнеспособность пыльцы обратно пропорциональна степени загрязнённости. Математический анализ показал, что главный источник варьирования

жизнеспособности пыльцы зависит от растения, местности и взаимодействие данных факторов высоко достоверно [8].

Проблемы загрязнения объектов окружающей среды являются актуальными и для Крымского региона, транспортно-коммуникационный комплекс которого характеризуется преобладанием автомобильного транспорта, на долю которого приходится большая часть грузовых и пассажирских внутрикрымских перевозок. И хотя плотность сети автодорог в Крыму несколько меньше, чем в целом по Украине, интенсивность их использования на 20 % выше. В целом средняя густота автодорог в расчёте на единицу площади довольно высокая и составляет 244 км/1000 км² (по Украине – 234 км/1000 км²). Функционирование автодорог неизбежно сказывается на состоянии окружающей среды [3].

В связи с этим целью данных исследований явилась оценка последствий аэротехногенного загрязнения окружающей среды выбросами автомобильного транспорта по их гаметоцидному влиянию на плодовые растения, произрастающие вдоль автострад.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами проведено исследование почвенных образцов отобранных вдоль автострад с интенсивным движением автотранспорта. Почвенные образцы, несущие информацию об изучаемой территории, для наилучшей оценки отбирались в случайно выбранных точках в пределах всей изучаемой площади [9]. Отбор осуществлялся с глубины 0–15 см у обочины трассы по ул. Кечкеметская г. Симферополя. В почвенных образцах определяли содержание тяжелых металлов методами атомно-абсорбционной спектрометрии [10] и полярографии [11].

Материалом для исследований служили цветы, собранные с деревьев, произрастающих в придорожной зоне автострады. Контрольным вариантом служили цветы, собранные с тех же видов растений, произрастающих в зонах отсутствия автомобильного движения (дачные участки, фермерские хозяйства).

В качестве объектов исследований были использованы следующие виды многолетних плодовых растений: абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris*), алыча (*Prunus divaricata*), вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris*), яблоня домашняя (*Malus domestica*), у которых изучали *спонтанную* и *индуцированную стерильность* пыльцевых зёрен.

Собранный с указанных зон репродуктивный материал (цветы плодовых растений) фиксировался в уксуснокислом спирте (3:1), а затем, после промывки в 70%-ном спирте, переносился в 80%-ный этиловый спирт, где хранился до цитогенетического анализа. Фертильность пыльцевых зёрен определяли йодным методом на временных давленных препаратах [12]. С каждого вида растений из каждой зоны изучали не менее 5000 штук пыльцевых зёрен. Изучение морфологической структуры пыльцевых зёрен проводили при помощи системы морфометрического анализа изображений, включающей микроскоп “Zeiss”, видеокамеру “SunKwang” и персональный компьютер. Полученные данные для сравнения приводили к интенсивным показателям [13]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ “Excel”. Расчет

различий контрольных и опытных вариантов проводили методом ф по критерию Фишера [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о довольно высокой загрязненности почв придорожной зоны автострад экотоксикантами. Материалы исследования почвенных образцов на содержание в них тяжелых металлов представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Содержание солей тяжелых металлов в почвенных образцах

Зоны обследования	содержание солей тяжелых металлов, мг/кг		
	Cu	Zn	Pb
Экологически чистая зона (контроль)	<0,005	<0,01	<0,02
Придорожная зона (опыт)	1,9 ± 0,34	44,0 ± 1,16	39,0 ± 1,82
ПДК	3,0	23,0	30,0

Примечание: превышение ПДК

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в контрольной зоне содержание тяжелых металлов ниже чувствительности химического метода их обнаружения. Однако в придорожной зоне регистрируется повышенное содержание цинка и свинца, количество которых превышает ПДК: Zn – в 1,9 раза, Pb – в 1,3 раза; содержание меди – в пределах, установленных санитарно-гигиеническими нормами. Полученные данные являются аргументом в пользу утверждения, что главным источником загрязнения городских почв тяжелыми металлами является автотранспорт [5, 14].

Параллельно проведены исследования по изучению реакции органов мужской репродукции плодовых культур на аэротехногенное загрязнение среды в придорожных зонах интенсивного движения автотранспорта.

В таблице 2 представлены показатели стерильности пыльцевых зёрен растений, произрастающих в контрольной зоне.

Отмечается довольно низкий *спонтанный уровень стерильности* пыльцевых зёрен, диапазон которой отмечается в пределах от 8,3 % (*Prunus divaricata*) до 15,1 % (*Armeniaca vulgaris*). Однако показатели стерильности пыльцы резко возрастают у изученных растений, произрастающих вдоль автострады (табл. 3). *Индукцированный уровень стерильности* пыльцевых зёрен увеличивается у изученных растений в несколько раз по сравнению с контрольным вариантом.

Так, у абрикоса обыкновенного количество абортивных пыльцевых зёрен возрастает в 1,9 раза ($p < 0,001$) по сравнению с контрольным вариантом. У алычи *индуцированный уровень стерильности* увеличивается в 7,2 раза ($p < 0,001$), у яблони и вишни обыкновенной – в 3,2 раза соответственно ($p < 0,001$).

Таблица 2.
Показатели стерильности пыльцы растений, произрастающих в экологически чистой зоне (контроль)

№	Название растения	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы		
		кол-во, ед.	%	$\bar{x} \pm S_x$	кол-во, ед.	%	$\bar{x} \pm S_x$
1.	Абрикос обыкновенный	4584	84,9	15,53 ± 0,37	817	15,1	2,77 ± 0,14
2.	Алыча	5576	91,7	18,71 ± 0,34	501	8,3	1,68 ± 0,11
3.	Вишня обыкновенная	7400	88,7	18,73 ± 0,29	939	11,3	2,38 ± 0,10
4.	Яблоня домашняя	6814	87,4	22,71 ± 0,23	983	12,6	3,28 ± 0,13

Таблица 3.
Показатели стерильности пыльцы растений, произрастающих в придорожной зоне (опыт)

№	Название растения	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы			Достоверность, $F_{эмп}$
		кол-во, ед.	%	$\bar{x} \pm S_x$	кол-во, ед.	%	$\bar{x} \pm S_x$	
1.	Абрикос обыкновенный	5381	69,9	18,30 ± 0,29	2315	30,1	7,87 ± 0,23	20,5*
2.	Алыча	3344	40,6	12,20 ± 0,32	4883	59,3	17,82 ± 0,40	60,5*
3.	Вишня обыкновенная	4298	63,5	17,19 ± 0,18	2474	36,5	9,89 ± 0,20	37,4*
4.	Яблоня домашняя	4821	59,0	14,50 ± 0,27	3348	41,0	12,10 ± 0,44	41,9*

Примечание: * – отличия от контроля (табл. 2) достоверны при $p < 0,001$.

При изучении влияния техногенного загрязнения на репродуктивные органы растений, произрастающих в зоне интенсивного движения автотранспорта, самый высокий показатель *индуцированного уровня стерильности* пыльцы был выявлен у алычи, количество стерильных зёрен которой составило 59,4 % ($p < 0,001$) от общего количества продуцируемой репродуктивными органами пыльцы. По показателю *индуцированной стерильности* пыльцы, изученные многолетние растения расположились в следующей последовательности: *Prunus divaricata* > *Malus domestica* > *Cerasus vulgaris* > *Armeniaca vulgaris*.

На рис. 1 представлены микрофотографии (увел. 1.1 x 16) продуктов мужской генеративной сферы изученных плодовых культур. Фертильные и стерильные пыльцевые зёрна отличаются по содержанию крахмала; фертильная пыльца

полностью заполнена крахмалом, а стерильная – не имеет его совсем или содержит следы [12]. Соответственно, фертильные пыльцевые зерна имеют темную окраску, стерильные – не окрашенные, либо имеют слабую пигментацию.

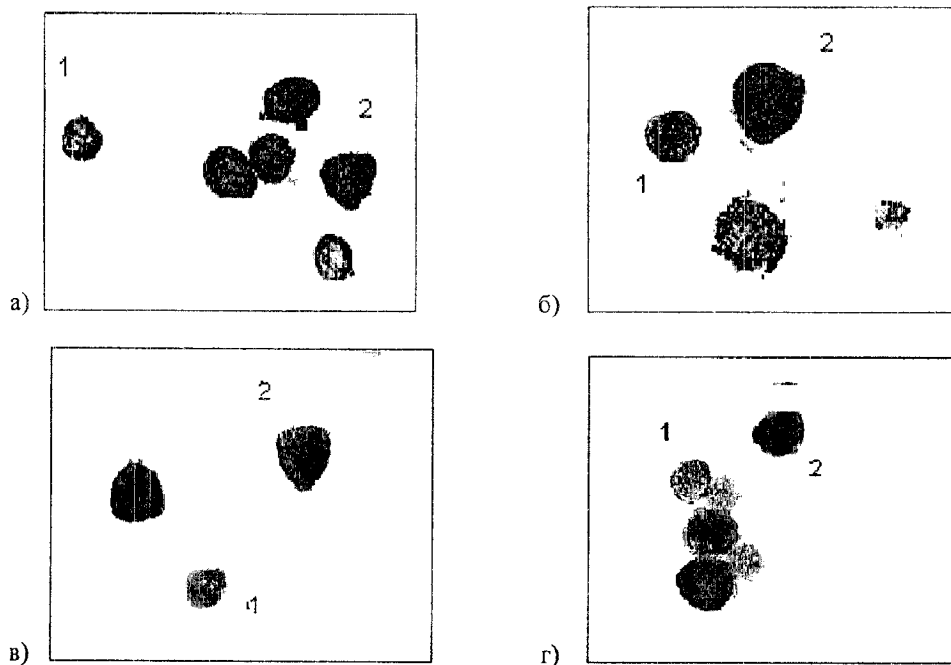


Рис. 1. Пыльцевые зерна (1- стерильная пыльца; 2- фертильная) плодовых растений, произрастающих в придорожной зоне: а) *Malus domestica*; б) *Prunus divaricata*; в) *Armeniaca vulgaris*; г) *Cerasus vulgaris*.

Аналогичная картина наблюдается и в отношении фертильных пыльцевых зёрен к стерильным (Ф/С), характеризующим чувствительность репродуктивных органов растений к техногенному загрязнению окружающей среды (табл. 4).

Данный показатель резко снижается у всех изученных растений. Так, у абрикоса обыкновенного отмечается снижение отношения Ф/С в 2,4 раза; у яблони домашней – 4,9 раза; у вишни обыкновенной – в 4,6 раза; у алычи – в 15,8 раза по сравнению с контрольным вариантом (рис. 2).

В нашем исследовании самой чувствительной к загрязнению окружающей среды оказалась репродуктивная система *Prunus divaricata*. Наиболее толерантной из изученных репродуктивных систем к техногенной нагрузке оказалась генеративная сфера *Armeniaca vulgaris*.

Таким образом, репродуктивная система изученных растений оказалась чувствительной к аэротехногенному загрязнению. Следствием неблагоприятного действия повышенных содержаний экотоксикантов на репродуктивные органы *Armeniaca vulgaris*, *Cerasus vulgaris*, *Prunus divaricata*, *Malus domestica* является

уменьшение продукции фертильных пыльцевых зёрен и увеличение abortивной пыльцы.

Таблица 4.

Показатели отношения фертильных пыльцевых зерен к стерильным в контрольном и опытных вариантах

№	Название растения	Ф/С (контроль)	$\bar{x} \pm S_x$	Ф/С (опыт)	$\bar{x} \pm S_x$
1.	Абрикос обыкновенный	5,6	$7,24 \pm 0,31$	2,3	$3,29 \pm 0,17$
2.	Алыча	11,1	$11,03 \pm 0,38$	0,7	$0,74 \pm 0,02$
3.	Вишня обыкновенная	7,9	$9,21 \pm 0,29$	1,7	$2,05 \pm 1,00$
4.	Яблоня домашняя	6,9	$9,11 \pm 0,36$	1,4	$4,91 \pm 0,29$

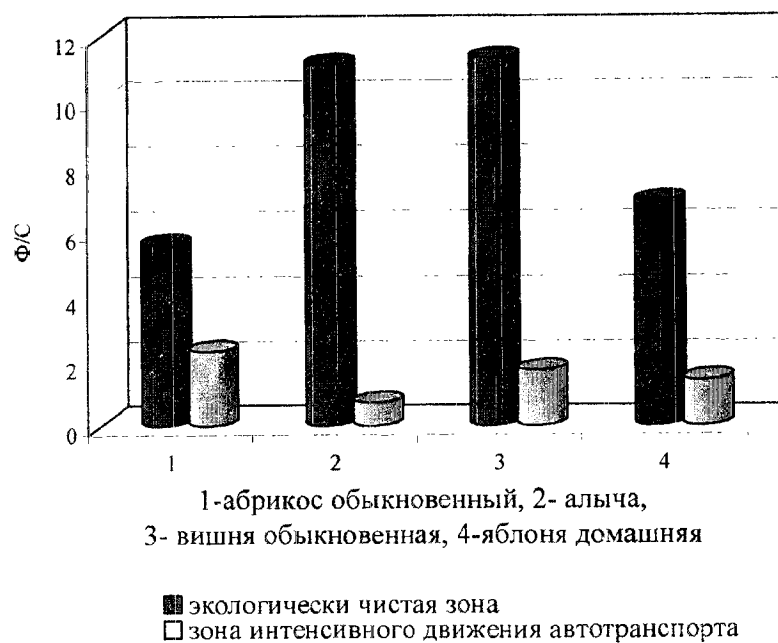


Рис. 2. Сравнительные показатели отношения фертильных пыльцевых зерен к стерильным.

Следовательно, изучение генеративной системы растительных организмов может быть использовано в экологическом мониторинге за объектами окружающей среды, испытывающими различную степень антропогенной нагрузки.

ВЫВОДЫ

1. Нарушение функционирования репродуктивной системы плодовых культур (*Armeniaca vulgaris*, *Prunus divaricata*, *Cerasus vulgaris*, *Malus domestica*) является следствием повышенного уровня техногенной нагрузки.

2. Органы мужской репродукции растений чувствительны к загрязнению окружающей среды, обусловленному выбросами автотранспорта, что проявляется в пониженной продукции фертильных пыльцевых зерен.

3. Установлена высокая чувствительность репродуктивной системы *Prunus divaricata* к аэротехногенному загрязнению.

4. Тест на стерильность пыльцевых зерен может быть использован в экологическом мониторинге растительных объектов, испытывающих различную степень антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Титова В. И., Дабахов М. В., Дабахова Е. В. Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий // Почвоведение. – 2004. – № 10. – С. 1264-1267.
2. Бочаров В. Л., Иванов Ю. В. Эколого-геохимические методы оценки загрязнённости атмосферы малых городов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. – 1997. – № 4. – С. 137–145.
3. Багрова Л. А., Боков В. А., Багров Н. В. // География Крыма: Учеб. пособие для учащихся общеобразова. учеб. заведений – К.: Лыбидь, 2001. – 304 с.
4. Мельников Н. Н., Белан С. Р. Органические соединения хлора в окружающей среде // Агрохимия. – 1998. – № 10. – С. 83-93.
5. Moslehuddin A. Z., Laizoo S., Egashira K. Heavy metal pollution of soils along three major highways in Bangladesh // J. Fac. Agr. / Kyushu Univ. – 1998. – V. 42, № 3-4. – С. 503–508.
6. Кузнецова Н. А. Использование растений в качестве биомониторов // Сб. науч. работ студ. и аспирантов ВГПУ. – 1997. – № 5. – С. 224-234.
7. Третьякова И. Н. Репродуктивные процессы у пихты сибирской (*Abies Sibirica Ledeb*) в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири // Успехи совр. биол. 1997. – Т. 117. – Вып. 4. – С. 480–495.
8. Iannotti O., Mincigrucci G., Bricchi E. Pollen viability as a bio-indicator of air quality // Aerobiologia. – 2000. – V. 16, № 3-4. – С. 361–365.
9. Николаенко А.В. Характеристика единичных почв при различных способах апробирования // Междунар. конф. студ. и аспирантов по фундам. наукам «Ломоносов–96», Москва, 1996: Тез. докл.: Почвоведение. – М., 1996. – С. 61.
10. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве // Методические указания МЗ СССР № 3210-85. Атомно-абсорбционный метод определения меди и цинка. – С. 20.
11. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве // Методические указания МЗ СССР № 1968-79. Полярографический метод определения свинца. – С. 4.
12. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. – М.: Колос 1980. – 304 с.
13. Мерков А. М., Поляков Л. Е. Санитарная статистика. – М.: Медицина, 1974 – 384 с.
14. Плохинский Н. А. Биометрия. Изд-во Московского ун-та, 1970. – 367 с.
15. Lavado R. S., Scheiner J. D., Taboada M. A. Heavy metals in soils of Argentina: Comparison between urban and agricultural soils: Pap. Int. Soil. and Plant Anal. Symp. "Promise Precis. – Past, Present and Future", Minneapolis, Minn. Aug. 2-7, 1997 // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. – 1998. – V. 29, № 11-14. – С. 1913-1917.

Поступила в редакцию 11.04.2006 г.