

УДК 582.4/9.02+[582.4/9:574.21]

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПО ИХ ГАМЕТОЦИДНОМУ ВЛИЯНИЮ НА ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ

Ибрагимова Э. Э.

РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, evelina_biol@mail.ru

Исследовалось влияние аэротехногенных поллютантов на мужскую генеративную сферу многолетних древесных растений, произрастающих вдоль автотрасс с различной интенсивностью движения. Выявлена пониженная продукция фертильной пыльцы у изученных растений. По результатам исследования предложена экологическая классификация растений по степени их чувствительности и толерантности к аэротехногенным поллютантам.

Ключевые слова: пыльца, фертильность, стерильность, генеративная система, аэротехногенное загрязнение, экологическая классификация.

ВВЕДЕНИЕ

В середине прошлого столетия резко обострились проблемы, связанные с техногенной деятельностью человека: произошло загрязнение атмосферы, природных вод, почвы токсическими и мутагенными соединениями и созданы опасные токсико-экологические ситуации, приводящие к глубоким изменениям в окружающей среде и влияющие на флору, фауну Земли и здоровье человека [1]. Антропогенное воздействие на биосферу создает ситуацию острого экологического кризиса, признаком которого, с биосферной точки зрения, является нарушение баланса между фотоавтотрофным и гетеротрофным звеньями экосистемы. Данный факт явился решающим в расширении масштабов экологических исследований по изучению действия техногенных загрязнений на биоценозы. Поскольку растения являются первым звеном трофической системы – продуцентами кислорода и органического вещества, им в экологических исследованиях уделяется наибольшее внимание. В этом отношении преимущество имеют растения природных мест обитания. В отличие от лабораторных тест-объектов, организмы, извлеченные из естественных местообитаний, демонстрируют реакции на весь спектр химических, физических, климатических факторов, характерных для данной экосистемы. Развитие зеленых насаждений урбаноземов протекает во многом в искусственных условиях, что приводит к сильному угнетению их функционального состояния, за развитием которого следят при использовании физико-химических и биологических методов оценки состояния среды обитания человека [2].

Биоиндикация – метод определения степени загрязненности геофизических сред с помощью живых организмов, называемых биоиндикаторами. К числу преимуществ биоиндикации перед инструментальными методами следует отнести ее относительно высокую скорость, низкую стоимость и возможность

характеризовать состояние среды за длительный промежуток времени [3, 4]. Для подобного рода исследований могут с успехом использоваться растительные организмы в качестве тест-систем (фитоиндикация) как биомониторы неблагоприятной экологической обстановки [5, 6, 7]. Важность таких исследований очевидна, так как растения составляют 99% всей биомассы Земли и являются первым звеном ведущих к человеку трофических цепочек [8]. В связи с этим Ладонин В.Ф. и Алиев А.М. [9] предлагают использовать различные модификации метода биологической индикации с использованием тест-растений, обладающих максимально выраженной чувствительностью к различным загрязнителям, так как по чувствительности биометод сопоставим с инструментальными методами, а иногда и превосходит их.

Поскольку одной из самых чувствительных систем в живом организме является репродуктивная, органы репродукции растений могут использоваться в экологических исследованиях в качестве биомониторов на гаметоцидное действие различных поллютантов [6, 7, 10, 11].

В связи с этим целью данного исследований явилась оценка последствий аэротехногенного загрязнения окружающей среды выбросами автомобильного транспорта по их гаметоцидному влиянию на популяции растений, произрастающих вдоль автострад.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили генеративные органы, собранные с деревьев, произрастающих в придорожной зоне автострад г. Симферополя с различной интенсивностью движения (вариант 1 – интенсивное движение автотранспорта, вариант 2 – очень интенсивное движение). Контрольным вариантом служили цветки, собранные с тех же видов растений, произрастающих в зонах отсутствия автомобильного движения.

Для цитологического анализа отбирались мужские генеративные органы (цветки, соцветия) растений в период массового цветения. В качестве объектов исследований были использованы следующие виды древесных растений: *Armeniaca vulgaris* Lam., *Prunus divaricata* Ledeb., *Cerasus vulgaris* Mill., *Salix babylonica* L., *Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Juglans regia* L., *Malus domestica* Borkh.

Собранный с указанных зон материал фиксировали в уксуснокислом спирте (3:1), а затем, после промывки в 70%-ном спирте, переносили в 80%-ный этиловый спирт, где хранили до цитологического анализа. Фертильность пыльцевых зерен определяли йодным методом на временных давленных препаратах [12]. С каждого вида растений из каждой зоны изучали не менее 5000 штук пыльцевых зерен. Полученные данные для сравнения приводили к интенсивным показателям [13]. Статистическую обработку данных проводили с использованием статистической программы «Statistica 6.0» и пакета прикладных программ «Microsoft Excel 2000». В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные данные свидетельствуют о том, что у растений изученных экотопов имеются достоверные отличия по показателям фертильности (стерильности) мужского гаметофита. В таблице 1 представлены данные стерильности пыльцевых зерен растений, произрастающих в контрольном экотопе. Диапазон спонтанного уровня стерильности пыльцевых зерен отмечался в пределах от 2% (*A. platanoides* L.) до 18% (*S. babylonica* L.).

Таблица 1
Стерильность пыльцы растений, собранных в экологически чистой зоне

№	Название растения	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы		
		кол-во	$\bar{x} \pm S_x$	%	кол-во	$\bar{x} \pm S_x$	%
1.	<i>A. vulgaris</i> Lam.	4584	15,53±0,33	84,9	817	2,77±0,14	15,1
2.	<i>P. divaricata</i> Ledeb.	5576	18,71±0,32	91,7	501	1,68±0,11	8,3
3.	<i>C. vulgaris</i> Mill.	7400	18,73±0,28	88,7	939	2,38±0,09	11,3
4.	<i>S. babylonica</i> L.	6626	19,04±0,26	82,0	1456	4,18±0,15	18,0
5.	<i>A. hippocastanum</i> L.	6653	22,25±0,30	92,0	579	1,94±0,09	8,0
6.	<i>A. platanoides</i> L.	8002	21,34±0,13	98,0	165	0,44±0,04	2,0
7.	<i>J. regia</i> L.	6936	23,20±0,39	95,9	293	0,98±0,08	4,1
8.	<i>M. domestica</i> Borkh.	6814	22,71±0,24	87,4	983	3,28±0,13	12,6

Однако показатели индуцированного уровня стерильности пыльцевых зерен резко возрастали у изученных растений, произрастающих вдоль автострад с различной интенсивностью движения автотранспорта. Полученные показатели характеризуются высоким уровнем значимости различий с контрольной выборкой по критерию Стьюдента – $p < 0,001$. Так у *A. vulgaris* Lam. количество abortивных пыльцевых зерен возросло в 1,9 раза (вариант 1) и 3,5 раза (вариант 2) по сравнению с контрольным экотопом. У *A. platanoides* L. также отмечалось резкое увеличение продукции стерильной пыльцы – в 6,4 раза и в 10,3 раза по сравнению с контролем. У *P. divaricata* Ledeb. индуцированный уровень стерильности увеличивался в 7,2 (вариант 1) и 5,5 (вариант 2) раза соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что количество abortивных пыльцевых зерен у *P. divaricata* Ledeb. из экотопа со средним уровнем загрязнения превышает аналогичный показатель из экотопа с высоким уровнем загрязнения, характеризующимся более интенсивным движением автотранспорта. Аналогичное проявление гаметоцидного действия выхлопных газов на генеративную систему изученных растений отмечалось и для *A. hippocastanum* L. – в 4,9 и в 3,5 раза; *J. regia* L. – в 10,3 и в 5,2 раза соответственно. По-видимому, данное явление может быть следствием того, что мужская генеративная сфера исследуемых растений реагирует на загрязнение атмосферного воздуха при достижении определенного критического уровня поллютантов независимо от их концентрации (табл. 1, 2).

Таблица 2

Стерильность пыльцы растений, произрастающих в придорожной зоне
(средний уровень загрязнения, вариант 1)

№	Название растения	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы		
		кол-во	$\bar{x} \pm S_x^-$	%	кол-во	$\bar{x} \pm S_x^-$	%
1.	<i>A. vulgaris</i> Lam.	5381	18,30±0,29*	69,9	2315	7,87±0,23*	30,1
2.	<i>P. divaricata</i> Ledeb.	3344	12,20±0,30*	40,6	4883	17,82±0,27*	59,3
3.	<i>C. vulgaris</i> Mill.	4298	17,19±0,31*	63,5	2474	9,89±0,26*	36,5
4.	<i>S. babylonica</i> L.	3793	13,07±0,25*	50,7	3681	12,69±0,23*	49,3
5.	<i>A. hippocastanum</i> L.	5566	17,23±0,28*	61,1	3538	10,95±0,21*	38,9
6.	<i>A. platanoides</i> L.	5795	18,82±0,17*	87,1	859	2,79±0,07*	12,9
7.	<i>J. regia</i> L.	4639	15,89±0,42*	58,9	3242	11,10±0,54*	41,1
8.	<i>M. domestica</i> Borkh.	4821	16,07±0,25*	59,0	3348	11,16±0,26*	41,0

Примечание к таблице: * – отличия от контроля достоверны при $p < 0,001$.

Таблица 3

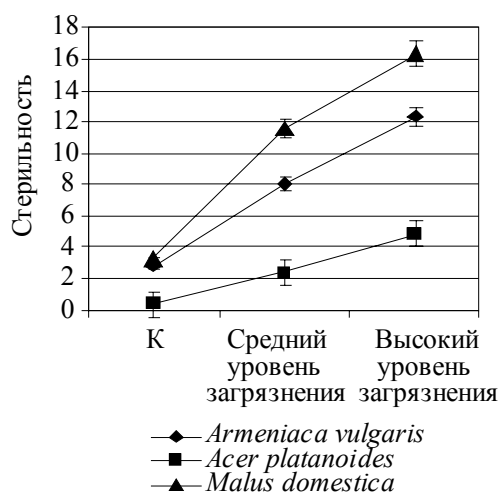
Стерильность пыльцы многолетних растений, произрастающих в придорожной зоне
(высокий уровень загрязнения, вариант 2)

№	Название растения	Фертильность пыльцы			Стерильность пыльцы		
		кол-во	$\bar{x} \pm S_x^-$	%	кол-во	$\bar{x} \pm S_x^-$	%
1.	<i>A. vulgaris</i> Lam.	3112	10,69±0,39*	46,4	3599	12,37±0,33*	53,6
2.	<i>P. divaricata</i> Ledeb.	3888	14,40±0,40*	54,7	3225	11,94±0,37*	45,3
3.	<i>C. vulgaris</i> Mill.	3646	13,81±0,29*	60,0	2433	9,21±0,25*	40,0
4.	<i>S. babylonica</i> L.	4743	14,59±0,26*	52,6	4264	13,12±0,26*	47,4
5.	<i>A. hippocastanum</i> L.	5551	17,03±0,29*	72,3	2130	6,53±0,21*	27,7
6.	<i>A. platanoides</i> L.	5591	18,57±0,12*	79,4	1453	4,83±0,11*	20,6
7.	<i>J. regia</i> L.	5180	18,57±0,44*	79,1	1370	4,91±0,23*	20,9
8.	<i>M. domestica</i> Borkh.	3069	11,94±0,28*	42,2	4196	16,32±0,30*	57,8

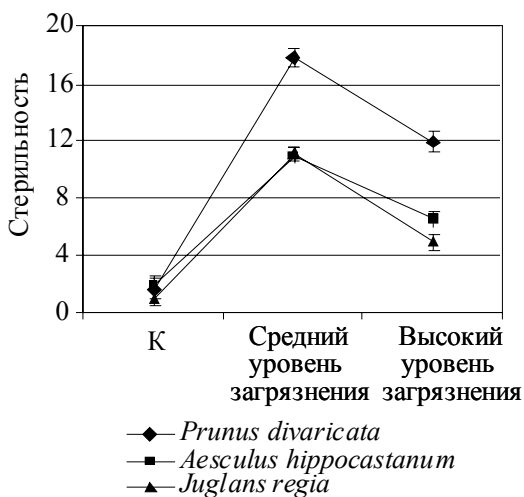
Примечание к таблице: * – отличия от контроля достоверны при $p < 0,001$.

У *M. domestica* Borkh. показатели индуцированной стерильности возрастали в зависимости от степени аэротехногенного загрязнения в зоне произрастания. В частности, количество стерильной пыльцы увеличивалось в 3,2 (вариант 1) и в 4,6 раза (вариант 2) соответственно по сравнению с экологически благоприятной зоной. Изучение реакции генеративной системы *S. babylonica* L. на повышение уровня загрязнения позволило прийти к заключению, что продукция стерильных пыльцевых зерен была практически одинаковой и увеличивалась в 2,7 раза (вариант 1) и 2,6 раза (вариант 2) соответственно. Аналогичное действие повышение уровня загрязнения оказывало и на мужской гаметофит *C. vulgaris* Mill., продукция стерильной пыльцы также практически не менялась – в 3,2 и в 3,5 раза по сравнению с контрольным экотопом. Таким образом, изученные культуры можно

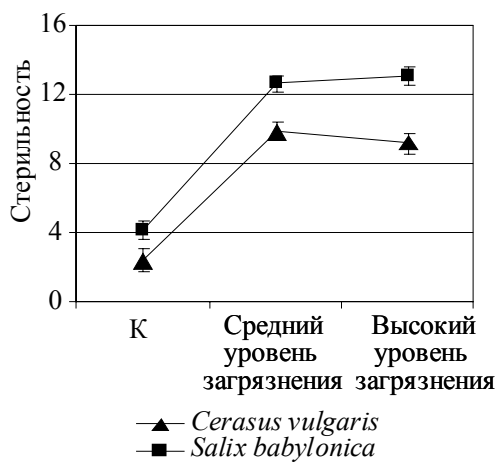
разделить на три экологические группы по чувствительности их мужской генеративной системы к аэротехногенному загрязнению среды: *высокопалиночувствительные* – мужская генеративная система чутко (прямолинейно) реагирует на повышение уровня загрязнения путем увеличения продукции стерильной пыльцы; *среднепалиночувствительные* – мужская генеративная система проявляет повышенную чувствительность к среднему уровню загрязнения; *палинотолерантные* – продукция стерильной пыльцы практически не изменяется с повышением уровня загрязнения (рис. 1).



1



2



3

Рис. 1–3. Экологические группы растений по чувствительности их мужской генеративной системы к аэротехногенному загрязнению среды: 1 – высокопалиночувствительные; 2 – среднепалиночувствительные; 3 – палинотолерантные.

Высокопалиночувствительные культуры могут использоваться в экологических исследованиях для индикации степени аэротехногенного загрязнения. Палинотолерантные растения, в силу своей устойчивости к аэротехногенному прессингу, рекомендуется использовать для озеленения урбоэкосистем.

Наиболее низкий спонтанный уровень стерильности пыльцевых зерен в нашем исследовании выявлен у *Acer platanoides* L. – 2% (фертильность – 98% соответственно). Самым высоким спонтанным уровнем стерильности пыльцы характеризовалась мужская генеративная система *Salix babylonica* L. – 18% (фертильность – 82% соответственно).

При изучении влияния аэротехногенного загрязнения на генеративные органы растений, произрастающих в зоне интенсивного движения автотранспорта (средний уровень загрязнения), самый высокий показатель индуцированного уровня стерильности пыльцы был выявлен у *P. divaricata* Ledeb., количество стерильных зерен которой составило 59,4% от общего количества продуцируемой генеративными органами пыльцы. Довольно высоким уровнем толерантности к гаметоцидному действию выхлопных газов автотранспорта в нашем исследовании характеризовался *A. platanoides* L., количество abortивной пыльцы которого составило 12,9% от общего числа изученных пыльцевых зерен. По показателю индуцированной стерильности пыльцы, изученные многолетние растения расположились в следующей последовательности: *Prunus divaricata* Ledeb. > *Salix babylonica* L. > *Juglans regia* L. > *Malus domestica* Borkh. > *Aesculus hippocastanum* L. > *Cerasus vulgaris* Mill. > *Armeniaca vulgaris* Lam. > *Acer platanoides* L.

Изучение растений, произрастающих во втором экотопе, характеризующимся повышенной автотранспортной нагрузкой, дало следующие результаты. Наиболее высоким индуцированным уровнем стерильности мужского гаметофита характеризовались популяции *M. domestica* Borkh. Количество продуцируемой генеративными органами abortивной пыльцы составило 57,8% от общего числа изученных гамет. Как и в первом варианте исследования, самый низкий уровень индуцированной стерильности пыльцы выявлен у *A. platanoides* L. (20,6%). По показателю индуцированного уровня стерильности пыльцевых зерен, изученные культуры расположились в следующей последовательности: *Malus domestica* Borkh. > *Armeniaca vulgaris* Lam. > *Salix babylonica* L. > *Prunus divaricata* Ledeb. > *Cerasus vulgaris* Mill. > *Aesculus hippocastanum* L. > *Juglans regia* L. > *Acer platanoides* L.

Проведенные исследования показали, что аэротехногенные поллютанты оказывают выраженное гаметоцидное влияние на мужскую генеративную сферу изученных многолетних растений, проявляющееся в повышенной продукции abortивной пыльцы.

ВЫВОДЫ

Мужские генеративные органы изученных растений реагируют на аэротехногенное загрязнение путем увеличения количества abortивной пыльцы.

Для *Prunus divaricata* Ledeb., *Salix babylonica* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Juglans regia* L., *Cerasus vulgaris* Mill. характерно увеличение количества стерильных пыльцевых зерен независимо от степени аэротехногенного загрязнения, о чем свидетельствует превышение количества стерильных пыльцевых зерен в первом варианте (интенсивное движение) по сравнению со вторым вариантом, характеризующимся очень интенсивным движением (*Salix babylonica* L., *Cerasus vulgaris* Mill.). Генеративные органы *Armeniaca vulgaris* Lam., *Acer platanoides* L.,

Malus domestica Borkh. реагируют на повышение аэротехногенной нагрузки путем уменьшения продукции фертильных пыльцевых зерен и увеличения abortивной пыльцы.

Предложена экологическая классификация высших растений по степени чувствительности и толерантности их генеративной системы к токсическому влиянию аэротехногенных поллютантов. Высокопалиночувствительные культуры могут использоваться в экологических исследованиях для индикации степени аэротехногенного загрязнения. Палинотолерантные – для озеленения урбозкосистем.

Показатель пониженной продукции фертильных пыльцевых зерен может быть использован в экологических исследованиях при мониторинге за объектами окружающей среды, испытывающими различную степень антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Федота А. М. Исследование уровня генетической безопасности городского населения / А. М. Федота, А. Н. Козлов // Цитология и генетика. – 2005. – № 4. – С. 41–44.
2. Авере Д. Оценка состояния городской среды методами биоиндикации (На примере Санкт-Петербурга): дис. на соискание ученой степ. канд. геогр. наук: 25.00.36 / Авере Джики. – СПб., 2004. – 156 с.
3. Израэль Ю. А. Влияние фонового загрязнения природной среды на биоту: проблемы оценки и прогноза / Ю. А. Израэль, Л. М. Филиппова, Г. Э. Инсаров, Ф. Н. Семевский, С. М. Семенов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1982. – Т. 5. – С. 6–18.
4. Ашихмина Т. Я. Биоиндикация и биотестирование природных сред как основа экологического контроля на территории зоны защитных мероприятий объекта по уничтожению химического оружия / Т. Я. Ашихмина, Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова, С. Ю. Огородникова, Т. И. Кочурова, Т. Я. Кантор // Российский химический журнал. – 2007. – Т. LI, № 2. – С. 59–63.
5. Ибрагимова Э. Э. Фитоиндикация как перспективный метод в экологических исследованиях / Э. Э. Ибрагимова // Человек–Природа–Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. – Симферополь, 2008. – Вып. 1. – С. 46–49.
6. Ибрагимова Э. Э. Влияние аэротехногенного загрязнения среды на репродуктивные органы плодовых растений / Э. Э. Ибрагимова // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2006. – Т. 19 (58), № 1. – С. 43–49.
7. Бабушкина Л. Г. Влияние аэротехногенного загрязнения на состояние лесных экосистем Среднего Урала / Л. Г. Бабушкина // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилиз. состояния лесов Центр. и Восточ. Европы: междунар. науч. конф., [Москва, 1996]: тез. докл. – М., 1996. – Т. 1. – С. 32–33.
8. Булгаков Н. Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов / Н. Г. Булгаков // Успехи совр. биологии. – 2002. – Т. 122, № 2. – С. 115–135.
9. Ладонин В. Ф. Экологические аспекты длительного применения удобрений в комплексе с пестицидами / В. Ф. Ладонин, А. М. Алиев // Агрехимия. – 1999. – № 4. – С. 75–80.
10. Третьякова И. Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И. Н. Третьякова, Н. Е. Носкова // Экология. – 2004. – № 1. – С. 26–33.
11. Ібрагімова Е. Е. Екологічна оцінка дії техногенних хімічних забруднень на цитогенетичні показники вищих рослин в умовах Криму: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук / Е. Е. Ібрагімова; Київський національний університет ім. Тараса Шевченка. – К., 2008. – 20 с.
12. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / Паушева Зоя Петровна. – [3-е изд. допол. и перераб.]. – М.: Колос, 1980. – 304 с.

13. Мерков А. М. Санитарная статистика / А. М. Мерков, Л. Е. Поляков. – М.: Медицина, 1974 – 384 с.
14. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 367 с.

Ібрагімова Е. Е. Оцінка наслідків аеротехногенного забруднення навколишнього середовища викидами автомобільного транспорту по їх гаметоцидному впливу на вищі рослини // Екосистеми, їх оптимізація та охорона. Сімферополь: ТНУ, 2010. Вип. 2. С. 192–199.

Досліджувався вплив аеротехногенних поллютантів на чоловічу генеративну сферу багаторічних деревних рослин, що виростають вздовж автотрас із різною інтенсивністю руху. Виявлена знижена продукція фертильного пилка у вивчених рослин. За результатами дослідження запропонована екологічна класифікація рослин по ступені їхньої чутливості й толерантності до аеротехногенних поллютантів.

Ключові слова: пилок, фертильність, стерильність, генеративна система, аеротехногенне забруднення, екологічна класифікація.

Ibragimova E. E. Estimation of consequences of aerotechnogenic pollutions of an environment by emissions of motor transport by them gamethocide influence on higher plants // Optimization and Protection of Ecosystems. Simferopol: TNU, 2010. Iss. 2. P. 192–199.

The influence of aerotechnogenic pollutantions on mans generative sphere of perennial arboreal plants, growing the along highways, with the various intensive traffic was searched. The lowered fertile pollen production of the considered plants is revealed. According to the survey results ecological classification of plants by the degree of their sensitivity and tolerance to the aerotechnogenic pollutants is offered.

Key words: pollen, fertility, sterility, generative system, aerotechnogenic pollutions, ecological classification.

Поступила в редакцію 29.10.2010 г.