

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского
Серия «Биология, химия» Том 19 (58). 2006. № 2. С. 4-25.

УДК 582.4/.9.02+[582.4/.9:574.21]

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА НА ЖИЗНеспособность ПЫЛЬЦЫ И СЕМЯН *ACER PLATANOIDES*

Ибрагимова Э.Э., Баличиева Д.В.

Увеличение во всех компонентах биосфера количества доступных для живых организмов форм тяжелых металлов и радионуклидов делает актуальным анализ последствий этих, обусловленных развитием человеческой цивилизации, процессов на состояние окружающей среды. Особенно важны такие исследования в отношении растений, составляющих 99% всей биомассы Земли и являющихся первым звеном ведущих к человеку трофических цепочек [1]. Многолетние растения в городах развиваются в условиях значительного угнетения. Очень многие фитоценозы испытывают антропогенную нагрузку, в основном вблизи дорог, в зоне влияния промышленных предприятий, а также в районе населенных пунктов. Наиболее опасным и интенсивным источником загрязнения атмосферы многих городов является автомобильный транспорт [2]. При определении в почве общего содержания Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr и Zn было выявлено повышенное аккумулирование Pb, Ni, Cr, Cu и Zn в почве придорожной зоны вдоль автострады, что является последствием высокой эмиссии вредных выбросов автотранспорта [3]. Установлено, что присутствие большей части Fe, Zn, Cu и Pb в верхнем слое городских почв обусловлено аэрозольными выпадениями [4].

Следовательно, почвенный покров городских территорий подвергается коренному преобразованию за счет загрязнения аэрополлютантами, обогащения тяжелыми металлами, а также загрязнения бытовыми отходами. Известно, что тяжелые металлы в воздухе и в почвах токсически действуют на растения [5 – 7]. Исследование состояния лесов индустриального района и результаты биохимических анализов отобранных растительных проб свидетельствуют о широком распространении кумулятивного типа ослабления и усыхания насаждений под действием токсических эмиссий. Это приводит к постепенному снижению резистентности деревьев в процессе их хронического отравления [8]. Установлено что у древесных растений биогеоценозов, произрастающих в зоне постоянного аэротехногенного загрязнения, угнетается процесс плодо- и семяобразования, снижается масса семян, их доброкачественность и жизнеспособность. Рекомендовано показатели плодоношения и доброкачественности семян использовать для фитоиндикации степени негативного действия загрязнения окружающей среды на биогеоценозы [9, 10]. Установлено, что воздушные поллютанты влияют на генетическую структуру древесных популяций, воздействуя на генетическую систему через различные популяционно-генетические процессы [11]. Популяция является индикатором состояния окружающей среды [12].

В связи с этим особую актуальность приобретают исследования антропогенных фитоценозов, находящихся в условиях техногенного стресса с целью изучения влияния различных экотоксикантов на репродуктивную систему и процессы размножения многолетних растений.

Целью данного исследования явилось изучение влияния автотранспортной нагрузки на жизнеспособность пыльцы и семян популяций *Acer platanoides*, произрастающих вдоль автотрасс с различной интенсивностью движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали популяции клёна обыкновенного, или остролистного (*Acer platanoides*), произрастающие в г. Симферополе в районах, характеризующихся различной степенью автотранспортной нагрузки.

Материалом для исследований служили генеративные органы (цветы и плоды), собранные с деревьев, произрастающих в придорожной зоне автострад с различной интенсивностью движения г. Симферополя. Контрольным вариантом служили цветы и плоды, собранные с растений, произрастающих в зоне отсутствия автомобильного движения.

Собранный с указанных зон репродуктивный материал (цветы многолетних древесных растений) фиксировали в уксусно-алкогольном растворе (3:1), а затем, после промывки в 70%-ном спирте, переносили в 80%-ный этиловый спирт, где хранили до цитогенетического анализа. Фертильность пыльцевых зёрен определяли йодным методом на временных давленых препаратах [13]. Изучение морфологической структуры пыльцевых зерен проводили при помощи системы морфометрического анализа изображений, включающей микроскоп "Zeiss", видеокамеру "SunKwang" и персональный компьютер. Жизнеспособность семян определяли по методу Нелиубова А.А. [14]. Семенную продуктивность соцветия определяли по методу Мининой Е.Г. и Третьяковой И.Н. [15], разработанному для хвойных растений, и используемому нами для *Acer platanoides*. В каждом соцветии развивается различное количество семян, в связи с чем при расчете семенной продуктивности учитывали число веточек, несущих плоды и число недоразвитых, то есть лишенных плодов. Так как в норме на каждой плодовой веточке развивается два семени, то при расчете семенной продуктивности соцветия учитывали число плодовых веточек, несущих семена, уменьшенное вдвое. Интенсивность движения автотранспорта устанавливали путем подсчета автомобилей различных видов на протяжении суток (утром, днем и вечером) в трехкратной повторности по десять минут в течение 10 дней. Полученные данные приводили к усредненным показателям и затем подсчитывали суточную нагрузку [16]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ "Microsoft Excel 2000". В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых в исследовании изменений использовали t-критерий Стьюдента [17].

Был проведен анализ автомобильной нагрузки на дорогах по ул. Кечкеметской (зона I) и в районе Железнодорожного вокзала (зона II). Согласно полученным данным, можно прийти к заключению, что в выбранных для исследования районах регистрируется высокая интенсивность движения. Основная масса автотранспорта – легковые автомобили и маршрутные такси. Суммарная оценка загруженности исследуемых районов автомобильным транспортом составила в среднем 28742 автомобиля в сутки по ул. Кечкеметская и 41616 в районе Железнодорожного вокзала соответственно (табл. 1).

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА НА ЖИЗНеспособность

Таблица 1.

Показатели интенсивности движения различных видов автотранспорта в исследованных зонах

Зоны	Время суток, ч.	Вид транспорта				$\Delta \Sigma$
		Легковые автомобили	Маршрутные такси	Автобусы	Грузовые автомобили	
		$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	$\bar{x} \pm S$	
I	$7^{30} - 7^{40}$	148,1±6,05	32,9±1,63	5,1±0,50	4,7±0,53	190,9±7,64
	$12^{30} - 12^{40}$	158,2±5,48	29,5±2,47	3,1±0,58	5,7±0,71	212,3±7,14
	$17^{30} - 17^{40}$	150,7±5,59	23,2±1,77	3,5±0,53	1,1±0,31	196,7±6,76
II	$7^{30} - 7^{40}$	203,5±7,15	85,9±3,68	10,7±0,44	4,7±0,35	304,9±10,82
	$12^{30} - 12^{40}$	196,0±5,03	87,4±2,66	7,4±0,40	4,5±0,61	295,2±6,25
	$17^{30} - 17^{40}$	180,5±3,89	78,1±2,35	7,2±0,46	2,2±0,44	268,0±5,88

Полученные показатели превышают нормативы госстандarta, согласно которым к высокой интенсивности движения относят улицы с нагрузкой 18–27 тыс. автомобилей в сутки [16]. В связи с этим нами ул. Кечкеметская была отнесена к зоне с высокой интенсивностью движения, а район Железнодорожного вокзала – к зоне с очень высокой интенсивностью движения. Полученные данные (табл. 1) свидетельствуют, что поток автомашин в исследованных районах (более 200 авт./ч.) не отвечает санитарным требованиям жилой зоны [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют об очень низком показателе спонтанного уровня стерильности пыльцевых зерен, формируемых мужскими репродуктивными органами деревьев *Acer platanoides* (2%), произрастающих в экологически благоприятной зоне (контроль). Полученные данные согласуются с положением о том, что у растений, произрастающих в благоприятных условиях, почти вся образующаяся пыльца является нормальной и фертильной [19]. Однако показатели стерильности пыльцы достоверно увеличивались в популяциях клена остролистного, произрастающих вдоль автострад с различной интенсивностью движения. Сравнительные данные показателей фертильности (стерильности) пыльцы, формируемой органами мужской репродуктивной системы популяций *Acer platanoides*, произрастающих в различных экологических условиях и испытывающих различный уровень автотранспортной нагрузки представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатели стерильности (фертильности) пыльцы, формируемой органами мужской репродуктивной системы популяций *Acer platanoides*, произрастающих в зонах с различной техногенной нагрузкой

№	Зона	Фертильность пыльцы	Стерильность пыльцы	Ф/С
---	------	---------------------	---------------------	-----

	обследование	кол-во, ед.	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	%	кол-во, ед.	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	%	
1.	Контроль	8002	$21,34 \pm 0,11$	98,0	165	$0,62 \pm 0,03$	2,0	48,5
2.	I	5795	$18,82 \pm 0,13^{***}$	87,1	859	$2,78 \pm 0,06^{***}$	12,9	6,7
3.	II	5591	$18,57 \pm 0,10^{***}$	79,4	1453	$4,84 \pm 0,11^{***}$	20,6	3,8

Примечание: отличия от контроля достоверны при * – $p \leq 0,1$; ** – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$.

Индукрованный уровень стерильности мужского гаметофита изученных растений, произрастающих вдоль автострад с интенсивным движением автотранспорта, возрастал по сравнению с контрольной зоной в 6,4 раза ($p < 0,001$) (рис. 1).

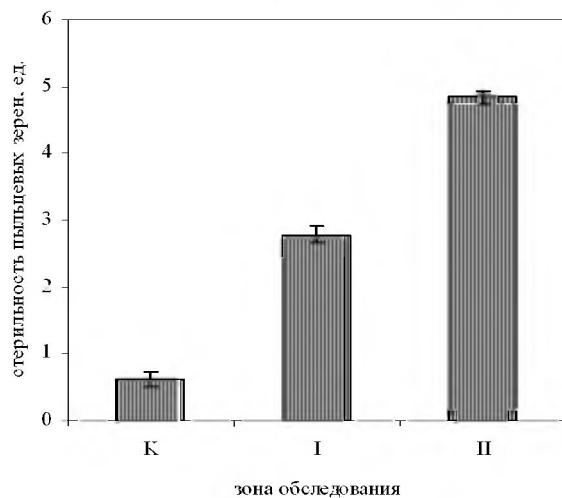


Рис. 1. Показатели стерильности пыльцевых зерен, продуцируемых генеративными органами популяций клена остролистного, произрастающих в контроле (К) и зонах с высокой (I) и очень высокой (II) интенсивностью движения автотранспорта.

Аналогичная картина наблюдалась и во второй зоне исследования, характеризующейся более повышенной транспортной нагрузкой и, как следствие, более высокой токсической эмиссией. Индуцированный уровень стерильности пыльцевых зерен, продуцируемых органами репродукции растительных организмов зоны II, увеличивался по сравнению с контрольной зоной в 10,3 раза ($p < 0,001$).

Различия имелись и между зонами, характеризующимися различной интенсивностью движения. Продукция abortивной пыльцы увеличивалась в зоне с большей автотранспортной нагрузкой в 1,6 раза ($p < 0,001$) по сравнению с зоной I.

На рисунке 2 представлены продукты мужской генеративной сферы популяций *Acer platanoides*, произрастающих в зонах с различной техногенной нагрузкой. Фертильные пыльцевые зерна окрашены в темный цвет, стерильные – бесцветные. Данное явление связано с тем, что

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ

фертильные и стерильные пыльцевые зерна отличаются по содержанию в них крахмала. Фертильная пыльца полностью заполнена крахмалом и окрашивается в темный цвет; стерильная – не имеет его совсем или содержит следы и, соответственно, окрашивается частично или остается бесцветной [13].

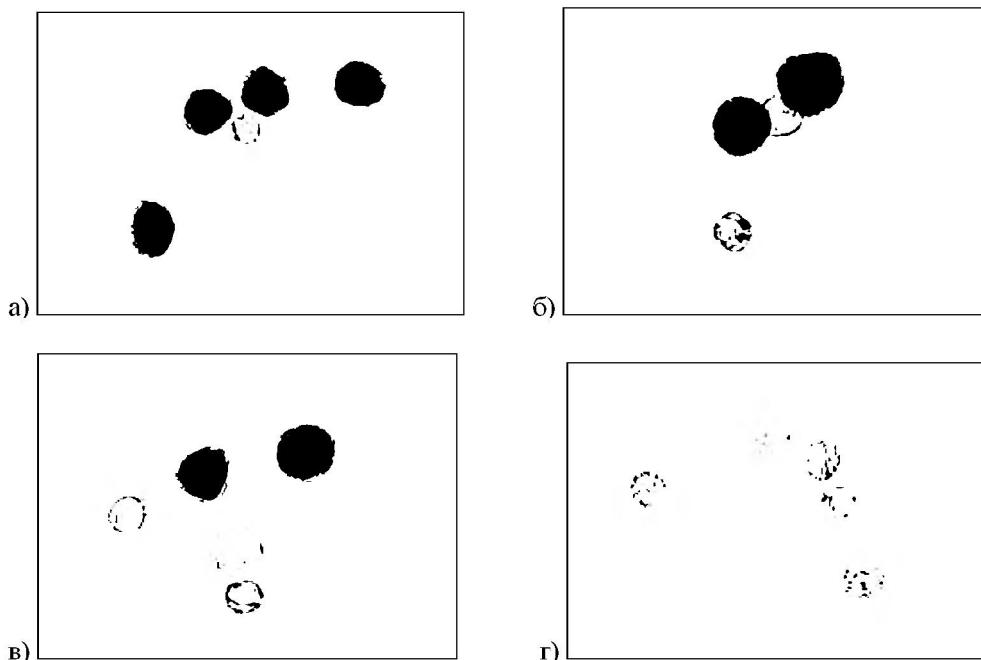


Рис. 2. Мужской гаметофит популяций *Acer platanoides*, произрастающих в различных экологических условиях (фертильная пыльца – темная, стерильная – бесцветная): а) контрольный вариант; б-г) зоны интенсивного движения автотранспорта.

Также нами был рассчитан коэффициент чувствительности органов генеративной сферы растительных организмов к техногенной нагрузке – Φ/C . Данный показатель снижался у растительных организмов техногенной зоны, что является аргументом в пользу утверждения о том, что растительный организм в целом и его репродуктивные органы, в частности мужские, испытывают антропогенную нагрузку. Так, показатель чувствительности (Φ/C) снижался в I варианте исследования в 7,2 раза по сравнению с контролем; во II варианте исследования – в 12,8 раза соответственно. Таким образом, мужская генеративная сфера *Acer platanoides* оказалась очень чувствительной к воздействию аэрополлютантов. Отмечено, что при увеличении автотранспортной нагрузки и, как следствие, воздушных эмиссий экотоксикантов, увеличивается процент abortивной пыльцы.

Таким образом, аэroteхногенное загрязнение среды в районах интенсивного движения автотранспорта оказывает негативное влияние на мужской гаметофит *Acer platanoides*. Показатель стерильности пыльцевых зерен, по-видимому, может использоваться как

биоиндикатор неблагополучной экологической обстановки, когда видимое повреждение спорофита не регистрируется.

Нами было проведено также исследование «здоровья семян», продуцируемых репродуктивными органами популяций растений *Acer platanoides*, испытывающих различную степень техногенной нагрузки. Для оценки степени «здоровья семян», под которым подразумевается не только наличие (или отсутствие) болезнестороннего начала (пораженность грибами, бактериями, вирусами) и поврежденность вредителями, но и показатели общебиологической природы (генотип растения, стойкость против экстремальных условий и др.), модификационных изменений (экологические условия) [20]. Были использованы следующие показатели – количество и качество семян в одном соцветии и их жизнеспособность по каждому варианту исследования (табл. 3).

Таблица 3.
Качественный и количественный анализ семян, продуцируемых популяциями *Acer platanoides*, произрастающих в зонах с различной техногенной нагрузкой

№	Зона обследования	Количество фертильных семян					Количество стерильных семян $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
		Общее $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Жизнеспособных $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	%	Нежизнеспособных $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	%	
1.	Контроль	45,71±1,20	44,30±1,14	96,0	1,41±0,15	4,0	2,53±0,21
2.	I	42,48±1,33	40,64±1,28*	95,6	1,88±0,20	4,4	7,04±0,36***
3.	II	39,58±1,20***	36,37±1,19***	91,9	3,19±0,30***	8,1	8,82±0,37***

Примечание: отличия от контроля достоверны при * – $p \leq 0,1$; ** – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$.

Из представленных данных видно, что в районах с повышенной техногенной нагрузкой увеличивалась продукция стерильных семян – в 2,8 ($p < 0,001$) и в 3,5 ($p < 0,001$) раза соответственно по сравнению с контрольной зоной, что может быть последствием неблагоприятного действия экотоксикантов на процесс плодообразования, связанный с повреждением органов и продуктов мужской и женской репродуктивных систем, продуцирующих некачественный семенной материал. По-видимому, данное явление связано с тем, что нормальное развитие и функционирование женского гаметофита нарушалось вследствие его опыления пыльцевыми зернами низкого качества, что и явилось одной из причин снижения количества полнозернистых семян у растений, произрастающих в районах с повышенной автотранспортной нагрузкой. Анализ жизнеспособности фертильных семян выявил довольно высокий показатель жизнеспособности, находящийся в пределах от 92 ($p < 0,001$) до 96% ($p < 0,05$). Данное явление связано с тем, что опыление женского гаметофита фертильной пыльцой сопровождалось выходом жизнеспособных семян.

Параллельно нами была проведена оценка семенной продуктивности ($A, \%$) соцветий *Acer platanoides*, которую рассчитывали по следующей формуле:

$$A = \frac{n}{2N} \cdot 100,$$

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ

где A – семенная продуктивность соцветия, в %; n – число семян (общее, развитых); N – общее число плодовых веточек в соцветии.

Результаты проведенного морфологического анализа соцветий контрольного и опытных вариантов представлены в таблице 4.

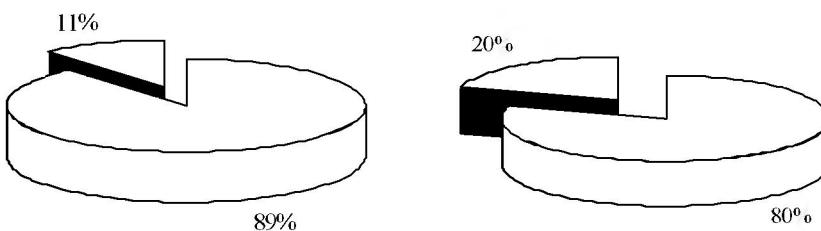
Таблица 4.
**Морфологический анализ соцветий и их продуктивности (A) популяций *Acer platanoides*,
произрастающих в экологически чистой зоне и вдоль автострад**

№	Зона обследования	Количество плодовых веточек в соцветии					$A, \%$
		Общее $\bar{x} \pm S$	С плодами $\bar{x} \pm S$	%	Без плодов $\bar{x} \pm S$	%	
1.	Контроль	27,37±0,73	24,30±0,63	88,8	3,14±0,24	11,2	83,50
2.	I	31,11±0,89**	24,84±0,79	79,8	6,30±0,35***	20,2	68,27
3.	II	33,90±0,65***	24,19±0,64	71,3	9,76±0,42***	28,7	58,38

Примечание: отличия от контроля достоверны при * – $p \leq 0,1$; ** – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$.

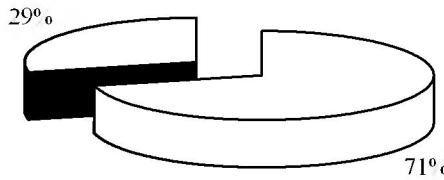
Из представленных в таблице данных видно, что в зонах интенсивного движения автотранспорта регистрировалось незначительное увеличение общего количества плодовых веточек в соцветии – в 1,12 и 1,24 ($p > 0,1$) раза по сравнению с контролем. Возможно, данное явление связано с индивидуальными различиями деревьев в устойчивости к аэробиогенному загрязнению, заключающимся в увеличении числа цветков в соцветии и сохранении высоких показателей продукции плодов. Однако при этом уменьшалось количество плодов на них. Так, в зоне I количество плодов в соцветии уменьшилось на 8,93% ($p < 0,001$) по сравнению с контролем, во II зоне исследования – на 17,43% ($p < 0,001$) соответственно (рис. 5).

Следовательно, по мере увеличения автотранспортной нагрузки и, как следствие, повышении эмиссии загрязняющих веществ, наблюдалось снижение процесса плодообразования, результатом чего явилось снижение семенной продуктивности соцветий популяций клена остролистного, произрастающих вдоль автострад.



1.

2.



3.

Рис. 3. Количество плодовых (веточек с плодами и без плодов) в соцветиях популяций *Acer platanoides*, произрастающих в экологически чистой зоне (1) и вдоль автострад (2, 3).

Популяции *Acer platanoides* в норме характеризуются довольно высоким показателем семенной продуктивности. В экологически благоприятных условиях закладывается в среднем 89% развитых плодов. Однако параметры структуры урожая женской генеративной системы достоверно снижались у популяций *Acer platanoides*, произрастающих вдоль автострад с различной интенсивностью движения. В соцветиях увеличивалось количество плодовых веточек, но сокращался выход развитых семян. Следовательно, показатели структуры урожая соцветий у клена остролистного претерпевали значительные колебания в зависимости от условий произрастания. В зонах повышенной автотранспортной нагрузки увеличивалась продукция стерильных семян.

ВЫВОДЫ

1. Мужская генеративная сфера популяций *Acer platanoides* оказалась чувствительной к воздействию аэрополлютантов, о чем свидетельствует повышение продукции стерильной пыльцы, резкое снижение коэффициента чувствительности органов репродукции, увеличение процента abortивной пыльцы.

2. В районах с высокой и очень высокой интенсивностью движения автотранспорта регистрируется снижение семенной продуктивности соцветий и повышенная продукция стерильных семян. Анализ фертильных семян выявил довольно высокий показатель их жизнеспособности.

3. Процессы микроспорогенеза и плодоношения *Acer platanoides* могут использоваться для фитоиндикации качества окружающей среды.

Список литературы

1. Евсеева Т.И., Майстренко Т.А., Гераськин С.А., Белых Е.С., Казакова Е.В. Токсические и цитогенетические эффекты, индуцируемые у *Allium* сера низкими концентрациями Cd и ^{232}Th // Цитология и генетика. – 2005. – № 5. – С. 73-80.
2. Бочаров В. Л., Иванов Ю. В. Эколо-геохимические методы оценки загрязнённости атмосферы малых городов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. – 1997. – № 4. – С. 137-145

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СТРЕССА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ

3. Moslehuddin Abu Zofar, Laizoo Salma, Egashira Kazuhio Heavy metal pollution of soils along three major highways in Bangladesh // J. Fac. Agr. / Kyushu Univ. – 1998. – 42, № 3-4. – С. 503-508.
4. Тютюнник Ю.Г. Зависимость содержания тяжелых металлов в урбанизмах от уровня загрязнения атмосферного воздуха // Геогр. и природ. ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 63-67.
5. Ибрагимова Э.Э. Влияние аэробиогенного загрязнения среды на репродуктивные органы плодовых растений // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – Серия «Биология, химия». – Т. 19 (58). – 2006. – № 1. – С. 43-49.
6. Mohan B.S., Hosetti B.B. Potential phytotoxicity of lead and cadmium to *Lemna minor* grown in sewage stabilization ponds // Environ. Pollut. – 1997. – 98, № 2. – C.233-238.
7. Xiong Z.-T., Hu H.-X., Wang Y.-X., Fu G.-H., Tan Z.-Q., Yan G.-A. Comparative analyses of soil contaminant levels and plant species diversity at developing and disused oil well sites in Qianjiang oilfield. China // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 1997. – 58, № 4. – С. 667-672.
8. Mikhailova T.A., Berezhnaya N.S., Anziferova L.V. The diagnostics of physiological state of tree stands in the Baikal region polluted with industrial emissions // Annu. Symp. "Phys. – Chem. Basis Plant Physiol.", Penza. Febr. 5-8, 1996: Abstr. – Puschino, 1996. – С. 137.
9. Бессонова В.П., Юсыпова Т.И. Влияние загрязнения природной среды на плодоношение древесных растений // Лес. х-во. – 1998. – № 2. – С. 39-40.
10. Zau fal Teresa Flowering biology of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-ideae* in the industrially polluted environment // Acta biol. siles. – 2000. – 34. – С.64-81.
11. Degen B., Scholz F. Ecological genetics in forest ecosystems under stress as analyzed by the simulation model ECO-GENE // Chemosphere. – 1998. – 36, № 4-5. – С. 819-824.
12. Федота А.М., Козлов А.Н. Исследование уровня генетической безопасности городского населения // Цитология и генетика. – 2005. – № 4. – С. 41-44.
13. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
14. Третьяков Н.Н. Карнаухова Т.В., Паничкин Л. А. и др. Практикум по физиологии растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
15. Третьякова Н.Н. Репродуктивные процессы у пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири // Успехи современной биологии. – Т. 117. – Вып. 4. – 1997. – С. 480-495.
16. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Основы экологии» // Сост. Э.Э. Куртсентова – Симферополь: НИЦ КГПУ, 2005. – С. 52-53.
17. Мерков А. М., Поляков Л. Е. Санитарная статистика. – М.: Медицина. 1974 – 384 с.
18. Куликова Т.Н. Влияние автотранспорта на состояние атмосферного воздуха в г. Балашове // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні наукові дослідження – 2006". – Т. 18. – Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С. 53-56.
19. Банникова В.П., Хведенич О.А. Основы эмбриологии растений. – Киев: Наук. думка, 1981. – 164 с.
20. Кіндрук М.О., Слюсаренко О.К., Гечу В.Л. "Здоров'я" насіння та шляхи його поліпшення у практиці насінництва // Вісн. аграр. науки. – 1998. – № 1. – С. 17-20.

Поступила в редакцию 20.04.2006 г.