

УДК 581.48:581.5:582.475.2

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ
ЖЕНСКИХ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ И КАЧЕСТВО СЕМЯН
PINUS SYLVESTRIS L.**

Ибрагимова Э.Э.

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Украина
E-mail: evelina_biol@mail.ru*

В статье представлены данные по влиянию техногенного загрязнения на жизнеспособность женских генеративных органов и качество семян *Pinus sylvestris* L. Установлено, что у популяций, произрастающих вдоль автотрассы с высокой интенсивностью движения, формируются мелкие макростробилы, снижается их семенная продуктивность и формируются семена низкого качества.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., генеративные органы, семенная продуктивность, загрязнение.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия неконтролируемый объем выбросов загрязняющих веществ антропогенного характера представляет реальную угрозу для экологического состояния окружающей природной среды. В экосистемах представители биоценозов испытывают воздействие многих стрессов природного, антропогенного и техногенного происхождения, причем роль последних непрерывно возрастает. В этой связи актуальной становится экологическая оценка состояния окружающей среды техногенных зон с учетом выявления изменений у представителей биоценозов, что положено в основу биоиндикации [1]. В экологических исследованиях для биоиндикации техногенной нагрузки часто используется оценка состояния различных видов древесных пород [2-4], определяемая цитогенетическими, биохимическими, морфометрическими методами [5, 6]. В подобного рода исследованиях большое внимание уделяется голосеменным растениям [7-10] генеративная сфера которых чувствительна к действию аэрополлютантов, что проявляется в снижении качества формируемой пыльцы [11–15] и процессах семяношения [16, 17]. В связи с этим изучение генеративных органов хвойных видов для оценки степени негативного влияния техногенных факторов представляет значительный научный и практический интерес. В данном отношении сосна обыкновенная является прекрасным объектом как для дендроклиматических исследований (отчетливые границы между годичными слоями, долговечность, слабое влияние плодоношения на динамику прироста), так и для дендроиндикации (обладает высокой чувствительностью и характерной

реакцией на загрязнение атмосферы различной интенсивности). Кроме того, сосна обыкновенная по распространенности является одной из доминирующих культур в городских и пригородных насаждениях [18]. Установлено, что на уровне ассимиляционной и генеративной подсистем отрицательное влияние урбосреды на данную культуру проявляется в уменьшении морфометрических и весовых показателей ассимилирующих органов, сокращении продолжительности жизни хвои, усилении дефолиации, изменении морфометрических и морфологических показателей генеративных органов, повышенной гибели семенных зачатков и эмбрионов, уменьшении количества и качества семян, снижении всхожести пыльцы в результате увеличения продукции аномальных пыльцевых зерен [19].

Степень нарушения биогеоценозов, отдельных составляющих биосферу компонентов, определяют путем сравнения их по ряду признаков и характеристик с ненарушенными экосистемами, по динамике поддающихся учету изменений [18]. В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение влияния техногенного загрязнения на женскую генеративную сферу и качество семян популяций *Pinus sylvestris* L., произрастающих в зонах с различным уровнем антропогенной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов для исследования выбраны популяции *Pinus sylvestris* L., произрастающие в зонах с различной техногенной нагрузкой: 1 зона (контроль) – пригородная территория г. Симферополя, находящаяся на значительном расстоянии от техногенных источников загрязнения. Визуальная оценка жизненного состояния популяции позволила определить ее как здоровую. 2 зона – ул. Севастопольская г. Симферополя, характеризующаяся высокой автотранспортной нагрузкой. На данной территории в насаждениях обнаружены суховершинные деревья с усыханием боковых побегов, искривлением кроны, имеющие новообразования, напоминающие «ведьмины метлы», формирование которых является результатом нарушения апикального доминирования вследствие мутаций [20]. В побегах обнаружены выраженные симптомы усыхания (некроз и хлороз хвои, усыхание побегов, почек и микростробилов), являющиеся следствием загрязнения атмосферы техногенными поллютантами [6].

Материалом для исследований служили генеративные органы (женские шишки), собранные с деревьев, произрастающих в указанных зонах.

Краткая характеристика строения макростробилов *Pinus sylvestris* L.

Женские шишки образуются на верхушках молодых побегов и достигают относительно больших размеров (6 и более см). Макростробилы имеют центральную ось, на которой в пазухах развитых кроющих чешуй вырастают укороченные побеги с недоразвитыми мегаспорофиллами, называемые семенными чешуями. Кроющие чешуи могут быть больше или меньше семенных. Кроющая и семенная чешуи женской шишки срастаются в одну деревянистую чешую. Семенные чешуи представляют редуцированные спороносные побеги. На верхней стороне семенных чешуй находятся две обратные семяпочки. Следовательно,

женская шишка – это группа укороченных метаморфизированных боковых побегов, находящихся на общей оси. Семена чаще с кожистым или перепончатым крылом, благодаря чему способны переноситься ветром [21].

У указанной культуры изучали морфометрические показатели и массу макростробилов, а также семенную продуктивность и качество семян.

Для оценки семенной продуктивности макростробила использовали методику И.Н. Третьяковой с соавторами [6], согласно которой учитывали следующие элементы строения женской шишки: длину, ширину, число семенных чешуй (общее, развитых), число семян (общее, развитых). Семенную продуктивность макростробила оценивали по числу семенных чешуй, давших семена (всего, развитых). Так как под каждой семенной чешуей развивается две семяпочки, то при расчете семенной продуктивности макростробила учитывали число семенных чешуй, давших семена, уменьшенное вдвое. Семенную продуктивность (A , %) рассчитывали по следующей формуле:

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

где A – семенная продуктивность макростробила, в %; n – число семян (общее, развитых); N – общее число семенных чешуй.

Жизнеспособность семян определяли по методу А.Н. Нелюбова [22]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ “Microsoft Excel 2000”. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t -критерий Стьюдента [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты исследования показали, что между популяциями *Pinus sylvestris* L., произрастающими в разных экологических условиях, имелись существенные различия не только по дендрологическим характеристикам, но и по морфометрическим показателям макростробилов и семенной продуктивности (табл. 1).

Таблица 1.

Сравнительные морфометрические показатели макростробилов *Pinus sylvestris* L., произрастающих в экологически благоприятной зоне (контроль) и вдоль автотрассы (опыт) ()

Зона	высота ширина, см	масса, г	Общее количество, шт.		A , %
			семенных чешуй	семян	
1	$7,39 \pm 0,58$ $5,64 \pm 0,07$	$19,15 \pm 0,44$	$52,77 \pm 0,89$	$31,24 \pm 1,19$	$97,84 \pm 3,13$
2	$6,18 \pm 0,08^*$ $4,94 \pm 0,08^{***}$	$15,69 \pm 0,47^{***}$	$45,13 \pm 1,21^{***}$	$17,42 \pm 0,74^{***}$	$85,17 \pm 2,70^*$ *

Примечание: отличия от контроля достоверны при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Исследование морфометрических показателей макростробилов позволило выявить достоверные отличия между популяциями, произрастающими в разных экологических условиях. Так высота макростробилов популяций опытного варианта снижалась в 1,2 раза ($p < 0,05$) по сравнению с контролем, ширина – в 1,1 раза ($p < 0,001$) соответственно (рис. 1).



Рис. 1. Сравнительные морфометрические показатели макростробилов *Pinus sylvestris* L., произрастающих в экологически благоприятной зоне (контроль) и вдоль автотрассы (опыт).

Особенно сильное влияние аэротехногенные загрязнители оказывали на центральную ось макростробила, что проявлялось в ее существенном укорочении и искривлении (рис. 2).

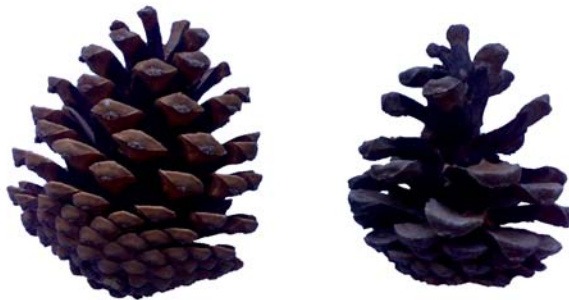


Рис. 2. Сравнительные морфологические показатели макростробилов *Pinus sylvestris* L., произрастающих в экологически благоприятной зоне (контроль) и вдоль автотрассы (опыт).

Наряду с уменьшением морфометрических показателей макростробилов популяций опытного варианта было обнаружено существенное снижение их массы. В среднем величина женских шишек уменьшалась в 1,8 раза ($p < 0,001$) по сравнению с контрольным вариантом. Следовательно, в районах, испытывающих повышенный уровень техногенной нагрузки, отмечается снижение морфометрических показателей и массы макростробилов.

У популяций произрастающих в экологически благоприятной зоне в норме в макростробиле закладывалось в среднем 55 семенных чешуй, дающих 32 семени. Семенная продуктивность макростробила очень высокая – 98%. Данные показатели существенно снижались у популяций сосен, произрастающих вдоль автотрассы. В частности, в макростробиле в среднем закладывалось 45 семенных чешуй, дающих около 18 семян. Семенная продуктивность макростробила достигала 85%. Таким образом, показатели структуры урожая женской шишки у сосны обыкновенной зависят от уровня техногенной нагрузки в местах произрастания. Эти показатели существенно уменьшались у деревьев с признаками деградации. Следует отметить, что женская генеративная сфера довольно толерантна к действию аэрополлютантов, так как при повреждении деревьев образование макростробилов не прекращается и продукция семян продолжается до тех пор пока ветка, несущая шишки, не засыхает полностью. Полученные данные согласуются с литературными, согласно которым у популяций пихты сибирской (*Abies Sibirica* Ledeb.), произрастающих в нарушенных лесных экосистемах, отмечалось образование шишек и семян до непосредственной гибели шишконосных побегов [6].

Параллельно нами было проведено исследование жизнеспособности семян, позволившее определить, что макростробилы популяций сосен, произрастающих вдоль автотрассы, продуцируют в основном стерильные семена (пустые, недоразвитые, без зародыша). Количество фертильных семян было очень низким – 33%. В контрольном варианте продукция фертильных (полнозернистых) семян достигала 78%. По-видимому, данное явление связано с негативным действием аэрополлютантов на женскую генеративную сферу сосны обыкновенной. Вместе с тем литературные данные свидетельствуют, что низкое качество семян может быть следствием недостаточного количества пыльцы или ее низкого качества в результате чего заложившиеся в макростробиле семяпочки деградируют [6]. Следовательно, наряду с анализом женской генеративной сферы необходимо провести детальное исследование мужских генеративных органов, что и ляжет в основу дальнейших наших исследований.

Таким образом, у популяций *Pinus sylvestris* L., произрастающих вдоль дорог с высокой автотранспортной нагрузкой, формируются мелкие макростробилы, снижается их семенная продуктивность и формируются семена низкого качества.

ВЫВОДЫ

1. Выбросы автотранспортных средств оказывают неблагоприятное воздействие на женские генеративные органы *Pinus sylvestris* L., что проявляется в низком качестве формируемых макростробилов и достоверном снижении их морфометрических показателей и массы.
2. Макростробилы популяций сосен, произрастающих вдоль автотрассы, продуцируют в основном стерильные семена, при достоверном снижении продукции фертильных семян.
3. Женская генеративная сфера *Pinus sylvestris* L. довольно толерантна к действию аэрополлютантов, так как при повреждении деревьев образование

макростробилов не прекращается и продукция семян продолжается до тех пор пока ветка, несущая шишки, не усохнет полностью.

4. Повышенная продукция мелких поврежденных макростробилов *Pinus sylvestris* L. может служить показателем неблагоприятной экологической обстановки.

Список литературы

1. Ибрагимова Э.Э. Фитоиндикация как перспективный метод в экологических исследованиях / Э.Э. Ибрагимова // Человек–Природа–Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. Выпуск 1. – Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2008. – С. 46–49.
2. Федоренко С.И. Массовое усыхание тополя бальзамического в зеленых насаждениях Урала / С.И. Федоренко // Исслед. лесов Урала: Матер. науч. чтений, посвященных памяти В.П. Колесникова, Екатеринбург. – Екатеринбург, 1997. – С. 116–118.
3. Попов А.И. Влияние техногенного загрязнения на древесную растительность / А.И. Попов, В.И. Шейкин // Тез. докл. 4 Откр. регион. конф. «Экол. и генет. аспекты флоры и фауны Центр. России», Белгород, 9-11 сент., 1996. – Белгород, 1996. – С. 16–17.
4. 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., Т. 1. – М., 1996. – С. 32–33.
5. Ибрагімова Е.Е. Екологічна оцінка дії техногенних хімічних забруднень на цитогенетичні показники вищих рослин в умовах Криму: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 / Е.Е. Ібрагімова–КНУ. – Київ, 2008. – 20 с.
6. Третьякова И.Н. Репродуктивные процессы у пихты сибирской (*Abies Sibirica* Ledeb.) в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири / И.Н. Третьякова // Успехи совр. биол. – 1997. – Т. 117. – Вып. 4. – С. 480–495.
7. Третьякова И.Н. Репродуктивная стратегия лесных древесных видов в лесных деструктивных экосистемах Сибири / И.Н. Третьякова // Генетика и селекция – на службе лесу: матер. междунар. науч.-практ. конф., 28-29 июня, 1996. – Воронеж, 1997. – С. 72–75.
8. Pukacki P.M. Lipid changes in scots pink (*Pinus sylvestris* L.) tissue response to industrial pollution / Pukacki P. M. // Abstr. 11th Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology, Varna, 7-11 Sept., 1998. – Bulg. J. Plant Physiol. – 1998. – Spec. issue – P. 273.
9. Коба В.П. Исследование некоторых особенностей морфогенеза и прорастания пыльцы *Pinus pallasiana* D. Don. / В.П. Коба // Цитология и генетика. – 2004. – № 3. – С. 38–45.
10. Махнева С.Г. Репродуктивная структура насаждений сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения среды / С.Г. Махнева // Соц.-экон. и экол. пробл. лес. комплекса: междунар. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 1999: тез. докл. – Екатеринбург, 1999. – С. 63.
11. Бессонова В.П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В.П. Бессонова // Экология. – 1992. – № 4. – С. 45–50.
12. Третьякова И.Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И.Н. Третьякова, Н.Е. Носкова // Экология. – 2004. – № 1. – С. 26–33.
13. Качество пыльцы сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения г. Красноярска / И.Н. Третьякова, Е.А. Петрова, И.О. Тедер [и др.] // Проблемы региональной экологии: 2 Всерос. конф. посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. РАН М.А. Лаврентьева, Томск, 15-19 мая, 2000: докл. – 2000. – № 8. – С. 72.
14. Федоров Л.А. Микроспорогенез сосны при загрязнении среды в Российской Лапландии / Л.А. Федоров // Изв. вузов. Лес. ж. – 1995. – № 1. – С. 47–50.
15. Ибрагимова Э.Э., Пыльца *Pinus sylvestris* L. как показатель неблагоприятной экологической обстановки / Э.Э. Ибрагимова, Д.Э. Эмирова // I Міжн. наук.-практ. конф. “Передові наукові розробки – 2006”. Том 6. – Д.: Наука і освіта, 2006. – С. 43–47.
16. Барабин А.И. Влияние атмосферных выбросов Котласского ЦБК на семеношение сосны / А.И. Барабин // Лесной журн. – 1995. – № 4–5. – С. 162–166.

17. Тарбаева В.М. Влияние аэротехногенного загрязнения на развитие семян сосны обыкновенной на ранних стадиях / В.М. Тарбаева // Изв. вузов. Лес. ж. – 1997. – № 5. – С.103–107.
18. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния экосистем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепи: Дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.16 / Матвеев Сергей Михайлович. – Воронеж, 2004. – 456 с.
19. Драган Н.В. Біоекологічні особливості видів роду сосна (*Pinus* L.) в урбанізованому середовищі Правобережного Лісостепу України: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.05 / Н.В. Драган. – НАН України. Нац. ботан. сад ім. М.М.Гришка. – Київ, 2003. – 24 с.
20. Седельникова Т.С. Кариологическое изучение *Pinus sylvestris* (Pinaceae) с «ведьминой метлой», растущей на болоте / Т.С. Седельникова, Е.Н. Муратова // Ботанический журнал. – 2001. – Т. 86, № 12. – С. 50–60.
21. Хржановский В.Г. Основы ботаники с практикумом / Владимир Геннадиевич Хржановский. – М.: Высш. школа, 1969. – 576 с.
22. Практикум по физиологии растений / [Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. и др.] – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
23. Плохинский Н.А. Биометрия / Плохинский Н.А. – М.: МГУ, 1970. – 367 с.

Ібрагімова Е.Е. Вплив техногенного забруднення на життєздатність жіночих генеративних органів й якість насіння *Pinus sylvestris* L. / Е.Е. Ібрагімова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 89-95.

У статті представлені дані впливу техногенного забруднення на життєздатність жіночих генеративних органів й якість насіння *Pinus sylvestris* L. Встановлено, що у популяції, які зростають уздовж автотраси з високою інтенсивністю руху, формуються дрібні макростробіли, знижується їхня насінна продуктивність і формуються насіння низької якості.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., генеративні органи, насінна продуктивність, забруднення.

Ibragimova E.E. Influence of technogenic pollution on viability female generative bodies and quality seeds of *Pinus sylvestris* L./ E.E. Ibragimova // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – V.23 (62). – № 1. – P. 89-95.

This article represents data the influence of technogenic pollution on female generative organs viability and the quality of a *Pinus sylvestris* L. seeds. It is established, that populations, growing along an auto line with high intensity of movement of fine macrostrobiles are formed, their seed efficiency is reduced, and seeds of poor quality are formed.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., generative organs, seed efficiency, pollution.

Поступила в редакцію 15.04.2010 г.