

pierwotnych sosny // Prace Inst. Badaw. Lesn. - 1968. - N 365. - P.139 - 150. [53]. Smidt S. Begasungsversuche mit SO₂ und Ozon an jungen Fichten // Eur. J. For. Patrl. - 1984. - N 14. - P. 241 - 243. [54]. Stewart D., Treshow M., Harner F. M. Pathological anatomy of conifer needle necrosis // Can. J. Bot. - 1973. - N 51. - P. 983 - 988. [55]. Tisdale R. A., Wagner M. R. Host stress influences oviposition preference and performance of a pine sawfly // Ecol. Ent. - 1991. - N 16. - P. 371 - 376. [56]. Valentin H. T., Wallner W. E., Wargo P. M. Nutritional changes in host foliage during and after defoliation and their relation to the weight of gypsy moth pupae // Oecologia. - 1983. - Vol. 57. - P. 250, 298 - 302. [57]. Vanderzant E. S. Axenic rearing of the ball weevil on defined diets: amino acid, carbohydrate and mineral requirements // J. Insect Physiol. - 1965. - Vol. 11. - P. 659 - 670. [58]. Villemant C. Influence de la pollution atmospherique sur les populations d'aphide du pin sylvestre en foret de Roumare (Seine-Maritime) // Environ. Pollut. - 1981. - A 24, N 4. - P. 245 - 262. [59]. Werner R. A. Influence of host foliage on development, survival, fecundity and oviposition of the spear-marked black moth, *Rheumoptera hastata* (Lepidoptera: Geometridae) // Can. Entomol. - 1979. - Vol. 3, N 3. - P. 317 - 322.

Поступила 11 июня 1996 г.

УДК 630*424.5/425:630*163:581.16

В.М. ТАРБАЕВА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Тарбаева Вероника Михайловна родилась в 1961 г., окончила в 1983 г. С.-Петербургский государственный университет, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 55 научных работ в области экологии, систематики, анатомии и семеноведения хвойных.



ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ СЕМЯПОЧЕК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ

Дано подробное описание процессов макроспорогенеза и гаметогенеза у сосен, произрастающих в зонах с различной степенью загрязненности и в контроле. Установлены хромосомные нарушения на разных этапах макроспорогенеза при аэротехногенном воздействии.

A detailed description of processes of macrosporogenesis and gametogenesis in Scotch pines growing in the zones of different pollution degree and control has been given. Chromosome anomalies at different stages of macrosporogenesis under arial technogenic effect have been stated.

К атмосферному загрязнению наиболее чувствительна репродуктивная сфера хвойных. Даже при незначительном загрязнении можно наблюдать нарушения процессов мейоза и постмейотических стадий в микро- и макроспорогенезе. В экстремальных условиях Севера лесной зоны репродуктивная деятельность сосны вообще значительно угнетена. Низкие температуры воздуха в течение вегетационного сезона являются причиной различных аномалий при формировании микро- и макроспор, препятствуют нормальному вызреванию семян, что обуславливает их слабую всхожесть [1–3]. Промышленное загрязнение среды является еще одним существенным фактором, лимитирующим генеративный процесс [4, 6–10].

В связи с этим нами были изучены процессы макроспорогенеза и гаметогенеза у сосны обыкновенной на четырех пробных площадях в черничном типе леса, расположенных на разном удалении от источника загрязнения Сыктывкарского лесопромышленного комплекса (СЛПК) в направлении преобладающих ветров и на территории Ляльского лесоэкологического стационара (50 км от СЛПК, контроль). На этих стадиях развивающиеся семяпочки наиболее чувствительны к различным экологическим изменениям, а также к аэротехногенному загрязнению. Образцы макростробилов сосны собирали периодически через 10...12 дн., а на стадиях макроспорогенеза и оплодотворения – через 2 дн., с 5...8 модельных деревьев с южной стороны кроны (в июне – июле направление преобладающих ветров южное). Материал фиксировали и обрабатывали по общепринятым гистологическим методикам [5]. При обработке цифровых данных использованы методы математической статистики.

Массовое пыление сосны в 1992 и 1993 гг. в зоне исследований наблюдалось во второй декаде июня. Изучение семяпочек на всех экспериментальных участках, проведенное 15 июня 1992 г. и 10 июня 1993 г., показало, что практически все они были опылены, а в нуцеллусе шло формирование археспориальной клетки. В 1993 г. основная масса проанализированных семяпочек была опылена уже 10 июня вследствие более ранней весны по сравнению с 1992 г. В этот период в них также проходила дифференциация нуцеллярного тапетума из внутренних слоев нуцеллуса.

Макроспорогенез у сосны в контроле протекал в течение 15 дн. Наиболее продолжительной была профазы I, которая в 1992 г. длилась более 10 дн. в результате неблагоприятных погодных условий в этот период. В норме профазы I завершалась разрушением ядерной оболочки и появлением веретена деления. В метафазе I биваленты расположены на нитях веретена в центре макроспороцита. В анафазе I начиналось перемещение хромосом к полюсам, где образовывались

Таблица 1

**Характеристика пробных площадей
в лесах Сыктывкарского промышленного района***

№ участка	Удаление от СЛПК, км	Направление	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета
Контроль	50	С	9С1Б + Е	50	III
1	3	В	8Е2С + Б	80	III
2	1	С - 3	8С2Е	80	III
3	8	Ю	8С2Е + Б	50	III
4**	20	Ю	-	50	-

* Данные отчета «Мониторинг антропогенных и техногенных трансформаций в лесных экосистемах Севера» (Сыктывкар, 1992).

** Лесные парки внутри городских кварталов Сыктывкара.

ядра, а между ними закладывалась клеточная перегородка. Обычно халазальная клетка диады несколько крупнее микропилярной. Затем ядра халазальной или обеих клеток приступали ко второму делению. В результате двух последовательных делений формировались линейные триады или тетрады макроспор (триады наблюдались чаще). У микропилярной клетки диады сразу после ее образования были заметны признаки дегенерации, и она не приступала ко второму делению.

На опытных участках (табл. 1) макроспорогенез в 1992 - 1993 гг. протекал без значительных нарушений. Практически в каждой исследованной семяпочке (с начала июля 1992 г. до конца июля 1993 г.) были обнаружены сформированные одноядерные женские гаметофиты (зародышевые мешки), затем приступившие к делению. В некоторых случаях отмечена дегенерация халазальной макроспоры, что приводило впоследствии к гибели всей семяпочки. Иногда наблюдалась остановка в развитии семяпочек в результате отсутствия пыльцы на нуцеллусе. Согласно полученным данным, в 1992 г. нарушения в мейозе (более 1 %) обнаружены только на участках 1, 2 и 3 - соответственно 5, 3 и 4 % (табл.1, 2).

Таблица 2

**Общее количество хромосомных нарушений семяпочек
в макростврилах сосны при аэротехногенном воздействии**

№ участка	Число изученных семяпочек		
	общее	с аномалиями в макроспорогенезе, %	некротированных в конце мейоза, %
Контроль	300	1,0	0,2
1	200	5,0	8,0
2	300	3,0	9,0
3	150	4,0	4,0
4	200	2,5	1,5

Данные нарушения в течение макроспорогенеза приводили в основном к дегенерации макроспороцита. Остановка развития происходила на разных этапах макроспорогенеза в результате лизиса хроматина в профазе I и метафазе I, неравномерного расхождения хромосом к полюсам в анафазе I, дегенерации обоих ядер диады, разрушения ядра халазальной макроспоры триады (рис.1).

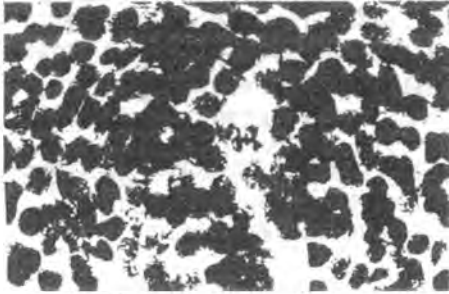
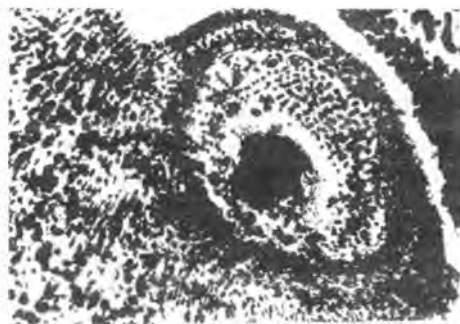


Рис. 1. Нарушения в макроспорогенезе сосны: остановка в развитии макроспороцита на стадии метафазы I (агглютинация хроматина) (участок 2)

В контроле женский гаметофит формируется из халазальной макроспоры, которая отличается от других макроспор более крупными размерами и плотностью цитоплазмы. Она содержит крупное ядро с вакуолизированными ядрышками и нитями хроматина. В последующие два-три дня верхние макроспоры дегенерируют, а функциональная макроспора увеличивается, заполняя все пространство. В ее цитоплазме становятся заметны вакуоли. После первого деления в зародышевом мешке вновь образованные ядра женского гаметофита расходятся к противоположным полюсам, а между ними формируется еще одна крупная вакуоль. Последующие деления ядер женского гаметофита происходили симультантно, ядра располагались в пристенном слое цитоплазмы. По мере развития женского гаметофита клетки нуцеллярного тапетума разрушались. К концу вегетационного периода первого года развития семян женский гаметофит был представлен многочисленными ядрами, свободно располагающимися в цитоплазме по его периферии.

На опытных участках в 1992 г. при развитии женского гаметофита наблюдались единичные отклонения от нормы, которые вели в основном к остановке его формирования на разных стадиях. Наиболее часто эти аномалии выявлялись на стадии одноядерных зародышевых мешков. Такие гаметофиты нормально увеличивались в размерах, в них происходила вакуолизация цитоплазмы, но ядро уменьшалось, сжималось, а хроматин в нем обретал вид гомогенного сгустка. Признаки дегенерации ядра были заметны сразу после формирования тетрады или триады. Во время созревания женских гаметофитов их ядра постепенно разрушались, хроматин распадался на отдельные фрагменты. Иногда лизис хроматина ядер происходил на двухъядерной стадии женского гаметофита. В таких семечках наблюдалось интенсивное аномальное разрушение клеток нуцеллярного тапетума. Подобные

Рис. 2. Нарушения в развитии женского гаметофита в молодых шишках сосны: семяпочка с погибшим женским гаметофитом (на свободнойядерной стадии) в конце вегетационного периода (участок 1)



аномалии в ходе формирования женского гаметофита привели к гибели 8, 9 и 4 % исследованных семяпочек на участках 1, 2 и 3 соответственно (табл. 2, рис. 2).

Таким образом, сравнительный анализ процесса опыления у сосны в 1992-1993 гг. показал, что основная масса семяпочек была опылена почти одновременно на всех экспериментальных участках. Макроспорогенез у сосны на всех участках протекал в основном нормально. Повышенный процент аномалий отмечался на участках 1 и 3. Практически все наблюдаемые нарушения в макроспорогенезе приводили к дегенерации семяпочек на всех опытных участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Белецкий И.Б. Плодоношение сосны на Кольском полуострове. - Мурманск, 1968. - 131 с. [2]. Козубов Г.М. Биология плодоношения хвойных на Севере. - Л.: Наука, 1974. - 134 с. [3]. Некрасова Т.П. Особенности лесного семеноводства в Заполярье // Лесн. хоз-во. - 1961. - № 8. - С. 47-49. [4]. Оценка действия двуокиси серы на сосновые насаждения / И.С. Федотов, Р.Т. Карабань, Ф.Н. Тихомиров, Г.И. Сисигина // Лесоведение. - 1983. - № 6. - С. 23-27. [5]. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. - М.: Колос, 1974. - 287 с. [6]. Романовский М.Г., Рябоконт С.М. Выживаемость семяпочек сосны обыкновенной при загрязнении // Генетика. - 1991. - Т. 27, № 6. - С. 1047 - 1058. [7]. Федорков А.Л. Влияние аэротехногенных воздействий на сохранность семяпочек и развитие зародыша сосны обыкновенной // Лесоведение. - 1994. - № 5. - С. 36 - 40. [8]. Федорков А.Л. Микроспорогенез сосны при загрязнении среды в Российской Лапландии // Лесн. журн. - 1995. - № 1. - С. 49 - 54. - (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Houston D., Dochinger L. Effect of ambient air pollution on cone, seed and pollen characteristics in eastern white and red pines // Environ. Pollnt. - 1977. - № 12. - P.1-5. [10]. Mamaev S., Shkarlet O. Effect of air and soil pollution by industrial wastes on the fructification of Scotch pine in the Urales // Mitteil. Forest. Wein. - 1972. - P. 443 - 450.

Поступила 8 января 1996 г.