

already present elements. The system idea requires system description of evolutionary process, i.e. description and subsequent account of intracommunications of adjusting. Existence of group adaptations specifies on insufficiency of genocentrical conception of evolution. **Conclusions.** Therefore, the effect of group in population shows up in its original polarization on certain signs that can gain a foothold genetically.

Key words: Emergency, microevolution, systemology.

ПАРДАЕВА Е.Ю.^{1,2}, МАШКИНА О.С.^{1,2}, КУЗНЕЦОВА Н.Ф.²

¹Воронежский государственный университет

Россия, 394006, г. Воронеж, ул. Университетская площадь, 1, e-mail: elena.pardaeva@mail.ru

²ФГУП НИИ лесной генетики и селекции

Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105, ilgis@lesgen.vrn.ru

ИЗУЧЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ И ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Загрязнение окружающей среды – одна из актуальных и важных проблем современности. С конца XX – начала XXI веков намечается тенденция к глобальному потеплению климата. Интенсивность потепления для территории России за последние сто лет в среднем составила 0,9°C [1]. Установлено, что среднегодовая температура приземного воздуха в России возросла на 0,4°C за период 1990-2000 гг. По прогнозам данный тренд сохранится до 2010-2015 гг., что приведёт к росту среднегодовой температуры на $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ [2].

У сосны обыкновенной, одной из основ-

ных лесобразующих пород России, наиболее чувствительна к засухе генеративная сфера [3]. Изучение показателей семенной продуктивности и цитогенетических характеристик семенного потомства одних и тех же деревьев в контрастные по погодным условиям годы (2008 – оптимальный и 2010 – год сильной засухи) даст возможность изучить норму и специфику реакции различных генотипов на комплекс факторов стресса и выделить деревья, продуцирующие потомство, толерантное к неблагоприятным воздействиям.

Материалы и методы

В работе использовали семенное потомство деревьев сосны обыкновенной из различных по степени загрязнения мест произрастания: 1. Контроль (Воронежская обл., село Ступино, территория Усманского бора) – экологически благоприятная территория; 2. Защитное насаждение вдоль автотрассы «Воронеж-Дон», подвергающееся хроническому воздействию выхлопных газов автотранспорта и рекреационной нагрузке. Семенной материал от свободного опыления для каждого района заготавливали с 10-ти фенотипически нормальных 40-50-летних деревьев. Чувствительность генеративной сферы к стрессорам (техногенному – выбросы автотранспорта и погодному – засуха) оценивали по показателям семенной продуктивности (полнозернистости (%), числу семян в шишке (шт.),

лабораторной всхожести семян (%)) и цитогенетическим показателям (частоте и спектру патологий митоза (ПМ, %); частоте встречаемости микроядер (%); ядрышковой активности (%)).

Изготовление давленных препаратов проводилось по методике Л.А. Топильской [4] в нашей модификации. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием статистического пакета программ Stadia. Сравнение выборок по частоте ПМ и частоте микроядер проводилось с использованием непараметрических критериев: X-критерия рангов Ван-дер-Вардена, так как данные признаки не подчиняются нормальному распределению. Проверку нормальности распределения осуществляли с использованием критерия хи-квадрат.

Результаты и обсуждения

В течение вегетационного сезона 2010 года на анализированной территории действовало два антициклона. Первый, весенний, пришёлся

на начало мая, в результате чего репродуктивные процессы у сосны были смещены на более ранний период. Второй, летний антициклон

(собственно засуха), начался с конца июня. Таким образом, основное воздействие засуха оказала на две репродуктивные стадии сосны: конец раннего эмбриогенеза, поздний эмбриогенез [5].

Установлено, что в аномально жаркий и сухой 2010 год в обоих районах наблюдалась тенденция снижения (по сравнению с оптимальным 2008 г.) показателей семенной продуктивности и лабораторной всхожести семян, расширение диапазона их изменчивости. Причем, наиболее низкая семенная продуктивность отмечена у потомства деревьев, произрастающих вдоль автотрассы и испытывающих в 2010 г. двойной стресс (техногенный + погодный). Так, в среднем для 10 деревьев число семян в шишке составило $21,3 \pm 0,9$ (против $17,0 \pm 0,8$ в контроле), лабораторная всхожесть семян $57,0 \pm 3,4\%$ и $81,4 \pm 2,2\%$ соответственно. На основе реакции изученных показателей на засуху 2010 года все

деревья были условно разделены на две группы: чувствительные и устойчивые. В группе устойчивых деревьев реакция на неблагоприятные условия была менее выражена и почти не отразилась на их урожайности. Примечательно то, что в оптимальный 2008 год статистически достоверных различий между группой устойчивых и чувствительных деревьев выявлено не было. Это свидетельствует о том, что отбор засухоустойчивых деревьев следует проводить не только в засушливые годы, дифференцирующие деревья по устойчивости генеративной сферы к стрессу.

Показано, что в потомстве деревьев, произрастающих вдоль автомагистрали «Воронеж-Дон», существенно возрастает частота и расширяется спектр ПМ по сравнению с контролем. Так, в среднем для 10 деревьев частота ПМ в районе автотрассы составила $3,1 \pm 0,2\%$ в 2008 году и $5,7 \pm 0,2\%$ - в 2010 году (таблица).

Таблица. Частота встречаемости патологических митозов и микроядер в семенном потомстве деревьев сосны обыкновенной из различных по степени загрязнения мест произрастания (в контрастные по погодным условиям годы)

Показатели	Усманский бор		Автотрасса «Воронеж-Дон»	
	2008	2010	2008	2010
Патологии митоза, % $\bar{X} \pm S\bar{x}$	$1,4 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2^*$
Микроядра, %	$0,001 \pm 0,001$	$0,04 \pm 0,01^*$	$0,1 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0,01$

Примечание: *различия с 2008г. достоверны при $P < 0,001$

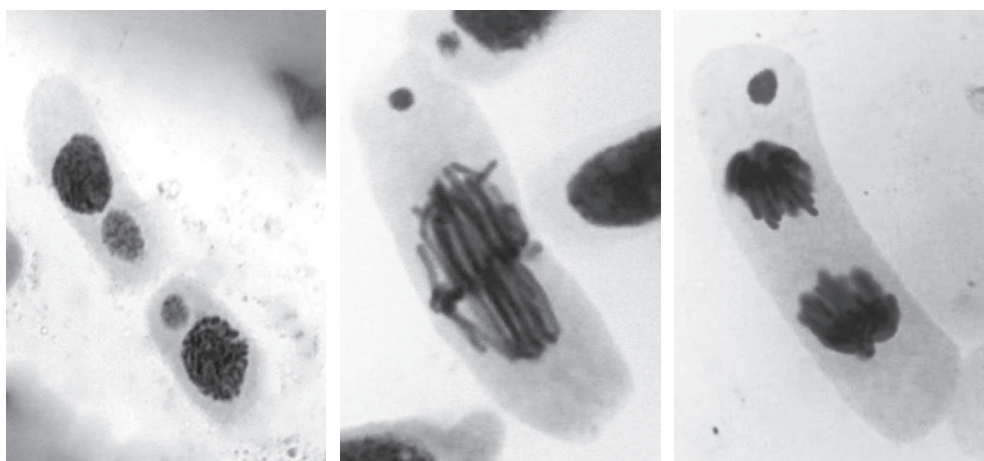
Это в 2-3 раза выше по сравнению с контролем ($1,4 \pm 0,2\%$ в 2008г. и $1,7 \pm 0,1\%$ в 2010 г.) и находится на границе нормальных значений уровня спонтанного мутирования в средней полосе России, принятого за 5% [6, 7]. В районе автотрассы в 2,5 раза увеличился уровень встречаемости микроядер ($0,1 \pm 0,01\%$ против $0,04 \pm 0,01\%$ в контроле). Кроме того, микроядра выявлены не только в интерфазных, но и в делящихся клетках (рисунок 1), что свидетельствует о недостаточной работе репарационных систем клетки в условиях двойного стресса.

При сравнении показателей частоты ПМ по годам (2008 и 2010) достоверных различий между выборками в районе Усманского бора (контроль) не выявлено, тогда как в районе автомагистрали различия в разные годы статистически достоверны и выше в год засухи 2010 го-

да. По-видимому, изменение погодных условий влияет на уровень стрессовой нагрузки на антропогенно загрязненной территории.

Как в контрольном, так и в опытном варианте в год аномальной засухи (2010 г.) между группами чувствительных и устойчивых деревьев по частоте ПМ отмечаются статистически достоверные различия – частота ПМ была выше в семенном потомстве чувствительных деревьев (рисунок 2).

Все встречающиеся типы патологий митоза (выявлено 10 типов) были условно разделены нами на три группы: структурные (хромосомные aberrации), геномные (приводящие к изменению числа хромосом, чаще, к анеуплоидии), множественные (включающие в различном сочетании как структурные, так и геномные нарушения).



1 2 3

Рис. 1. Микроядра в клетках корневой меристемы проростков сосны обыкновенной: 1 – интерфаза; 2 – метафаза; 3 – анафаза. Увеличение $40 \times 1,5 \times 10$



Рис. 2. Частота патологических митозов в семенном потомстве контрастных по чувствительности генеративной сферы к засухе деревьев сосны обыкновенной (чувствительных и устойчивых) из различных мест произрастания, 2010 г.

Примечание: различия между группой чувствительных и группой устойчивых деревьев, а также различия по средним значениям с контролем (Усманский бор) достоверны при * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Выявлено, что на территории, подвергающейся хроническому воздействию выбросов автотранспорта, значительно (в 1,8 раз) повышается доля клеток со структурными нарушениями (простые и сложные мосты, фрагменты хромосом, кольцевые хромосомы в метафазе и анафаза) - 37,2% (против 20,2% - в Усманском бору), что свидетельствует о повышении здесь уровня мутационного процесса (рисунок 3).

Причем, только в потомстве деревьев из района автодороги были выявлены клетки с кольцевыми хромосомами, чаще всего возникающие вследствие делеции обоих плеч хро-

сомы. В то же время, перераспределение генетического материала между хромосомами может привести к дополнительному резерву изменчивости, увеличению диапазона нормы реакции организма.

Спектр хромосомных нарушений зависел от генотипических особенностей исходного дерева и его групповой принадлежности (чувствительное/устойчивое). Так, в экологически благоприятном районе (Усманский бор) в аномально засушливый год наиболее широкий спектр ПМ (6-8 типов) наблюдался у чувствительных деревьев по сравнению с устойчивыми (3-6 типа).

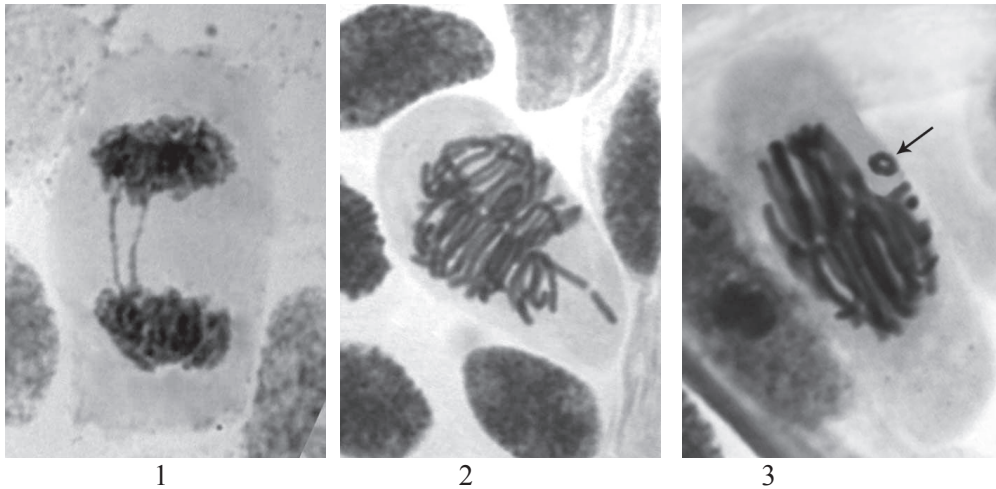


Рис. 3. Структурные нарушения митоза у деревьев, произрастающих вдоль автотрассы «Воронеж-Дон»: 1 – двойной мост в анафазе; 2 – фрагмент хромосомы в метафазе; 3 – кольцевая хромосома в метафазе. Увеличение $40 \times 1,5 \times 10$

Известно, что ядрышковая активность является чувствительным критерием в цитогенетическом мониторинге, причём её возрастание отмечается в экстремальных условиях. Максимально возможное количество ядрышек в клетках сосны обыкновенной – 12 [8, 9]. В контрольном варианте преобладали клетки с 4-6 ядрышками, в районе автотрассы – с 5-7, т.е. ядрышковая активность в обоих районах находится в норме. Однако, в потомстве деревьев, произра-

стающих вдоль автотрассы, отмечено существенное (в 1,8 раз по сравнению с контролем) возрастание количества клеток с максимальным количеством ядрышек (10-12 ядрышек в ядре). Причём, их количество было выше в группе устойчивых деревьев, что может рассматриваться как регуляторный механизм, способствующий усилению белкового метаболизма у деревьев в стрессовых условиях произрастания.

Выводы

В год аномальной засухи (2010 г.) в потомстве деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в районах с различной степенью антропогенной нагрузки (экологически благоприятном и вдоль автотрассы), происходит расширение диапазона изменчивости показателей семенной продуктивности (полнозернистость и число семян в шишке) и цитогенетических показателей (частота и спектр нарушений митоза, частота встречаемости микроядер, ядрышковая

активность). Показано, что реакция различных генотипов на стресс (засуха или выбросы автотранспорта + засуха) в обоих районах неоднозначна, что отражает их различные адаптивные возможности и устойчивость к неблагоприятным воздействиям. На основании полученных данных выделена группа устойчивых деревьев, продуцирующих толерантное потомство к воздействию погодных и техногенных факторов стресса.

Литература

1. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов К.М., Шаталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 5–12.
2. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг., и их влияние на отрасли экономики России / М.: Росгидромет, 2005. – С. 6-8.
3. Кузнецова Н.Ф. Чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к засухе в Воронежской области // Лесоведение. – 2010. – №6. – С. 58–65.
4. Топильская, Л.А., Лучникова С.А., Чувашина Н.П. Изучение соматических и мейотических хромосом смородины на ацетогематоксилиновых давленных препаратах // Бюл. ЦГЛ им. И.В. Мичурина. – 1975. – Вып. 22. – С. 58–61.
5. Кузнецова Н.Ф., Машкина О.С., Пардаева Е.Ю. Морфометрическая и цитогенетическая оценка контрастных по засухоустойчивости форм сосны обыкновенной / Достижения I проблемы генетики, селекции та біотехнології: сб. науч. тр. Киев: Логос, 2012. – С. 469-474.

6. Дорошев С.А. Влияние антропогенных стрессоров на изменчивость цитогенетических показателей у сосны обыкновенной / Дорошев С.А.: автореф. дис. ... канд. биол. наук – Воронеж, 2004. – 23 с.
7. Буторина А.К., Черкашина О.Н., Ермолаева О.В., Чернодубов А.И., Авдеева И.А. Цитогенетический мониторинг аутохтонных лесов Усманского и Хреновского боров // Известия РАН: Серия биологическая. – 2007. – № 4. – С. 508–512.
8. Буторина А.К., Калаев В.Н. Шкала чувствительности критериев цитогенетического мониторинга // Цитология. – 1999. – Т. 41, № 12. – С. 1056–1057.
9. Муратова Е.Н., Седельникова Т.С. Структурные перестройки хромосом и полиморфизм нуклеолярных локусов как факторы устойчивости хвойных в экстремальных условиях / Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: тез. докл. междунар. совещания, 8–13 августа, Красноярск, 1999. – С. 116–117.

PARDAYEVA E.Yu.^{1,2}, MASHKINA O.S.^{1,2}, KUZNETSOVA N.F.²

¹ Voronezh state university

Russia, 394006, Voronezh, Universitetskaya pl. 1, e-mail: elena.pardaeva@mail.ru

² Research institute of forest genetics and breeding

Russia, 394087, Voronezh, Lomonosov str. 105, e-mail: ilgis@lesgen.vrn.ru

THE RESEARCH OF CYTOGENETIC CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEED PROGENY IN DROUGHT AND TECHNOGENIC POLLUTION CONDITIONS

Aims. To research the indices of seed productivity and cytogenetic variability of seed progeny of Scots pine-trees, which are exposed to weathering and technogenic stress factors, to assess the genome stability and to identify the specificity and reaction norms of different genotypes. **Methods.** The sensibility of generative sphere to stress factors was assessed by indices of seed productivity and cytogenetic parameters. **Results.** There were distinguished some groups of sensitive and resistant trees to stress factors based on the indices of seed productivity. It has been shown that cytogenetic indices for groups of sensitive and resistant trees are different. **Conclusions.** It has been found that the response of different genotypes to stress is different in both regions, that is reflected in the degree of their resistance to the adverse environmental conditions.

Key words: Scots pine, seed productivity, cytogenetic characteristics, extreme conditions, bioindication.

САФРОНОВА Л.Д., ПЕТРОСЯН В.Г., СЫЧЕВА В.Б.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Москва, Ленинский проспект, 33, e-mail: ldsafronova@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ Т-КОМПЛЕКСНЫХ ДОМОВЫХ МЫШЕЙ (*MUS MUSCULUS*) ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОИНДИКАЦИИ

В работе представлены новый подход для решения одной из задач экологической генетики на основе использования модели t-комплексных домовых мышей (*Mus musculus*). t-комплекс включает сложную систему генов, которые локализованы в околоцентромерном районе 17 хромосомы домового мыши. Рассмотрены результаты изучения сравнительного анализ частот t-гаплотипов *M. musculus*, обитающих в природных популяциях на территории России и смежных государств, и особей, отобранных из лабораторной коллекции t-комплексных мышей, принадлежащей лаборатории микроэволюции

млекопитающих ИПЭЭ РАН. Кроме этого в работе особое внимание уделяется выявлению факторов, оказывающих влияние на частоту t-гаплотипов в дикой популяции мышей, обитающих в различных экологических условиях среды, изучение частот t-гаплотипов в городских популяциях, а также популяции мышей, подвергшихся действию радиации ЧАС. Полученные результаты помогут продвинуться в решении одной из интересных и значимых задач в биоиндикации экологических условий среды (экологической генетики).

Введение

t-комплекс локализован в проксимальной части 17-й хромосомы и представляет собой

набор из четырех неперекрывающихся инверсий общей протяженностью около 20 сМ, т.е.