

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства

СОХРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

МАТЕРИАЛЫ 7-го МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕЩАНИЯ
ПО СОХРАНЕНИЮ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства

Пушкино, Россия

20-22 сентября 2022

Пушкино – 2022

УДК 630.165.3

ББК 28.54

С68

Сохранение лесных генетических ресурсов [Электронный ресурс] : матер. 7-го Международного совещания по сохранению лесных генетических ресурсов; 20-22 сентября, 2022, Пушкино Московской обл. / Под общ. ред. канд. биол. наук М.М. Паленовой. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2022. – 76 с. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Сборник содержит тезисы и материалы пленарных, секционных и стеновых докладов, посвященных вопросам изучения, сохранения, рационального использования и селекции лесных генетических ресурсов, представленных на 7-м Международном совещании по сохранению лесных генетических ресурсов, которое проходило во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства с 20 по 22 сентября 2022 г. (Пушкино Московской обл., Россия).

Цель совещания – обсуждение ведущими учеными и специалистами в области лесной генетики и селекции актуальных вопросов сохранения, рационального использования и селекции лесных генетических ресурсов.

Рабочие языки конференции – русский и английский.

Текстовое электронное издание

Conservation of forest genetic resources. Proceedings of 7th international meeting on forest genetic resource conservation (September 20-22, 2022, All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino, Russia) /General editor candidate of biological sciences Palenova M. – Pushkino, VNIIILM, 2022 – 76 p – 1 CD-ROM – Title from title screen – E-text.

The proceedings comprise abstracts and materials of plenary, session and poster papers focused on forest genetic resource studies, conservation, rational use and breeding presented at 7th international meeting on forest genetic resource conservation (September 20-22, 2022, All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino, Russia).

The purpose of the meeting is to discuss topical issues of conservation, rational use and breeding of forest genetic resources by leading scientists and specialists in the field of forest genetics and breeding.

The working languages of the conference are Russian and English.

E-text publication

ISBN 978-5-94219-285-3

Минимальные системные требования:

Компьютер (процессор AMD, Intel от 1 ГГц, 100 Мб HDD, ОЗУ от 1 Гб, CD-ROM, видеоадаптер от 1024 Мб) или аналог; ОС – Windows Vista/7/8/10 или аналог; ПО — Adobe Acrobat Reader или аналог.

Организации – участники совещания

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

- .. ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
- .. ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ, СЕЛЕКЦИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ
- .. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
- .. РОССИЙСКИЙ ЦЕНТР ЗАЩИТЫ ЛЕСА
- .. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

- .. НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ
- .. ВАВИЛОВСКОЕ ОБЩЕСТВО ГЕНЕТИКОВ И СЕЛЕКЦИОНЕРОВ
- .. ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ГЕНЕТИКИ им. Н. И. ВАВИЛОВА РАН
- .. ИНСТИТУТ ЛЕСОВЕДЕНИЯ РАН
- .. ФИЦ КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СО РАН
- .. ИНСТИТУТ ЛЕСА им. В. Н. СУКАЧЕВА СО РАН
- .. ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ИНСТИТУТА ЛЕСА им. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН
- .. ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО РАН
- .. ФИЦ КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
- .. ИНСТИТУТ ЛЕСА ФИЦ КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
- .. ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УрО РАН
- .. ФИЦ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ АРКТИКИ им. Н.П. ЛАВЕРОВА УрО РАН
- .. БОТАНИЧЕСКИЙ САД УрО РАН
- .. АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
- .. ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ РАДИОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

- .. БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Г.Ф.МОРОЗОВА
- .. НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В. ЛОМОНОСОВА
- .. СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ им. М.Ф.РЕШЕТНЕВА
- .. СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
- .. УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
- .. УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА

ИНСТИТУТ ЛЕСА НАН БЕЛАРУСИ (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

КАЗАХСКИЙ НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И АГРОЛЕСОМЕЛТОРАЦИИ им. А.Н.БУКЕЙХАНА (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

НАЗАРБАЕВ УНИВЕРСИТЕТ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

БОТАНИЧЕСКИЙ САД ИМ. Э.ГАРЕЕВА НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

ТРАНСИЛЬВАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РУМЫНИЯ)

Организаторы совещания

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
ВСЕРОССИЙСКИЙ НИИ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Международный научный и программный комитет

Мартынюк А.А., д. с-х. н., проф., академик РАН, директор ФБУ ВНИИЛМ (председатель)

Тараканов В.В., д. б. н., проф., директор Западно-Сибирского филиала Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Новосибирский государственный аграрный университет (сопредседатель)

Крутовский К.В., к. б. н., проф., Гёттингенский университет (Германия), Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Сибирский федеральный университет (сопредседатель)

Горошкевич С.Н., д. б. н., Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Драгавцев В.А., д. б. н., проф., академик РАН, Агрофизический научно-исследовательский институт ФАНО

Муратова Е.Н., д. б. н., проф., Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Падутов В.Е., д. б. н., чл.-корр., Институт леса НАН Беларуси

Паленова М.М., к. б. н., Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства

Политов Д.В., д. б. н., Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН

Семериков В.Л., д. б. н., Институт экологии растений и животных УрО РАН

Царев А.П., д. б. н., проф., Петрозаводский государственный университет

Янбаев Ю.А., д. б. н., проф., Башкирский государственный университет

Организационный комитет совещания

Председатель оргкомитета:

Родин С.А. – д. с.-х. н., проф., академик РАН, заместитель директора ВНИИЛМ по научной работе

Сопредседатели оргкомитета:

Мартынюк А.А. – д. с-х. н., проф., академик РАН, директор ФБУ ВНИИЛМ

Паленова М.М. – к. б. н., заведующий отделом аналитических исследований состояния и динамики лесов ВНИИЛМ

Раздайводин А.Н. – заведующий отделом радиационной экологии и экотоксикологии леса ВНИИЛМ

Члены оргкомитета:

Дороничев Н.Н. – начальник отдела информационных технологий

Сафонова Г.Н. – начальник издательского отдела

Ромашкин Д.Ю. – заведующий лабораторией радиационной экологии отдела радиационной экологии и экотоксикологии леса

Жидков А.Н. – к.б.н., в.н.с. отдела радиационной экологии и экотоксикологии леса

Ромашкина И.В. – к.б.н., в.н.с. отдела радиационной экологии и экотоксикологии леса

Роянова Н.В. – ведущий инженер издательского отдела

Кузнецова Е.Б. – ведущий инженер издательского отдела

Лебедев А.Г. – инженер-программист отдела информационных технологий

Сочнева Н.Д. – вед. инженер отдела аналитических исследований состояния и динамики лесов

20-22 сентября 2022 г. в г. Пушкино Московской обл. на базе ФБУ ВНИИЛМ состоялось Международное совещание по сохранению лесных генетических ресурсов (далее – Совещание).

Совещание стало седьмым из цикла международных научных встреч, ранее проводимых в формате Международных совещаний по сохранению лесных генетических ресурсов: 2007 – Барнаул, Алтайский край; 2009 г. – Новосибирск, Новосибирская область; 2011 г. – Красноярск, Красноярский край; 2015 г. – Барнаул, Алтайский край; 2017 г. – Гомель, Республика Беларусь; 2019 – Щучинск, Республика Казахстан.

Цель мероприятия – обсуждение ведущими учеными и специалистами в области лесной генетики и селекции актуальных вопросов сохранения, рационального использования и селекции лесных генетических ресурсов.

Задачи Совещания: повышение информированности российских и зарубежных специалистов об исследованиях в области лесной генетики и селекции, анализ актуальных направлений селекции лесных древесных растений, роли традиционных и новых методов и подходов в оценке, мониторинге и сохранении лесных генетических ресурсов, выявлении факторов, определяющих генетические процессы в популяциях древесных растений в условиях глобального изменения климата и антропогенного воздействия, рассмотрение тенденций и перспектив развития данных направлений, укрепление связей между академическими и ведомственными исследовательскими организациями и учреждениями высшей школы.

В рамках Совещания представлены доклады по следующим направлениям:

- сохранение лесных генетических ресурсов в условиях глобального изменения климата и антропогенного воздействия;
- филогеография и генетика популяций древесных и кустарниковых растений;
- актуальные направления селекции лесных древесных растений;
- лесная геномика, биотехнология и радиационная экология;
- управление лесными генетическими ресурсами.

В настоящий сборник вошли тезисы и материалы докладов Совещания, предоставленные авторами. Материалы размещены в алфавитном порядке. Отобранные научным комитетом Совещания доклады будут опубликованы в журнале *Лесохозяйственная информация* в 2023 г. Программа Совещания и презентации представлены на веб-сайте по адресу: <http://vniilm.ru/>

Организаторы выражают свою признательность всем коллегам, приславшим материалы и тезисы докладов, принявшим личное участие в Совещании с пленарными, секционными и постерными докладами. В будущем мы надеемся на продолжение традиции проведения международных совещаний по сохранению лесных генетических ресурсов.

Научный и Организационный комитеты Совещания

Оглавление

<i>Андреев А.Е., Баранова А.И., Калько Г.В.</i>	
Влияет ли загрязнение тяжелыми металлами на генетическое разнообразие ели европейской?	9
<i>Бажина Е.В., Седаева М.И</i>	
Особенности мейоза <i>P. tiggo</i> при интродукции в дендрарии Института леса СО РАН.....	9
<i>Боронникова С.В., Чертов Н.В., Жуланов А.А., Пыстогова Н.А., Нечаева Ю.И., Календарь Р.Н</i>	
Генетическое разнообразие и идентификация популяций хвойных растений на Урале.....	10
<i>Галибина Н.А., Игнатенко Р.В., Еришова М. А., Никерова К.М., Чирва О.В.</i>	
Соматический эмбриогенез сосны обыкновенной в условиях Карелии: проблемы и пути их решения	11
<i>Залесов С.В.</i>	
Проблемы лесных генетических резерватов.....	12
<i>Князева С.Г.</i>	
Морфолого-анатомические особенности хвои вариаций можжевельника обыкновенного (<i>Juniperus communis L.</i>).....	13
<i>Корчагин О.М., Машкина О.С., Табацкая Т.М.</i>	
Лесная биотехнология в сохранении лесных генетических ресурсов	14
<i>Крекова Я.А., Чеботько Н.К., Каган Д.И.</i>	
Селекционно-генетическая оценка и молекулярная паспортизация клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной Северного Казахстана	14
<i>Кузнецова Г.В.</i>	
Структура урожая кедровых сосен на клоновой плантации в Красноярской лесостепи	15
<i>Кузнецова Н.Ф.</i>	
Изменение климата и состояние лесостепных популяций сосны обыкновенной Русской равнины	16
<i>Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А.</i>	
Водоудерживающая способность хвои у климатипов сосны обыкновенной в географических культурах	16
<i>Медведева С.О., Черепанова О.Е., Толкач О.В., Пономарев В.И., Малосиева Г.В.</i>	
Анализ региона <i>ITS 1-2</i> ядерной рибосомальной ДНК.....	18
<i>Мельчакова Е.В., Малеева Н.А.</i>	
Генетическое разнообразие естественных популяций сосны обыкновенной северной части Республики Карелия	18

<i>Нечаев А.А.</i>	
Калина Саржента на Дальнем Востоке России: ягодная продуктивность, ресурсы, рациональное освоение	19
<i>Паленова М.М.</i>	
Международная повестка в области лесных генетических ресурсов	20
<i>Панкратов В.К., Рахимжанов А.Н., Залесов С.В.</i>	
Перспективные интродуценты для лесоразведения в зеленой зоне г. Нур-Султана.....	21
<i>Падутов В.Е., Ивановская С.И., Каган Д.И.</i>	
Влияние лесохозяйственной деятельности на генетическое разнообразие сосняков Беларуси.....	25
<i>Разумный В.В., Дедюрина Е. А.</i>	
Создание и развитие объектов лесного семеноводства и сохранение генофонда лесных пород Крыма.....	27
<i>Раевский Б.В.</i>	
Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород в странах северной Европы и европейской части России	27
<i>Рогозин М.В.</i>	
Что не так в наших представлениях о формировании плюсовых деревьев и естественном изреживании насаждений.....	28
<i>Семериков В. Л., Семерикова С.А., Семериков Н.В., Шуваев Д.Н.</i>	
Генетическая изменчивость, филогеография и четвертичная история сибирских хвойных	29
<i>Семерикова С.А., Подергина С.М., Паниковская К.А., Семериков Н. В., Шуваев Д.Н., Семериков В. Л.</i>	
Генетическая структура и филогеография европейских широколиственных видов деревьев (рода <i>Quercus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Alnus</i> , <i>Ulmus</i>) в восточной части ареала	34
<i>Слипец А.А., Арефьева М.А., Антонова Т.И.</i>	
Результаты работ по генетическому контролю за оборотом репродуктивного материала лесных растений при воспроизводстве лесов на территории Российской Федерации.	37
<i>Сухих Т.В., Шеллер М.А., Ибе А.А.</i>	
Видовая идентификация фитопатогенных грибов в лесных питомниках Красноярского края и Республики Хакасия	37
<i>Тараканов В.В., Бородинцева Л.И., Гончарова Т.В., Третьякова Р.А.</i>	
Лесное селекционное семеноводство в период «мобилизационной экономики»	39
<i>Тараканов В. В., Роговцев Р.В., Дубовик Д.С., Фахрутдинова В В., Гончарова Т.В., Рязанова Е.К.</i>	
Потенциал исследований географических культур хвойных пород в решении проблем популяционной биологии и лесного семеноводства.....	42

<i>Тихонова И.В., Исаков И.Ю., Исаков Ю.Н.</i>	
Оценка чувствительности радиального роста у потомства разных по самофертильности деревьев сосны обыкновенной.....	44
<i>Тихонова Н.А., Тихонова И.В., Тараканов В.В.</i>	
Структура изменчивости клонов сосны обыкновенной по водоудерживающей способности хвои	45
<i>Трегубов О.В., Корчагин О.М., Вариводина И.Н., Мизин Ю.А.</i>	
Современное состояние лесных культур сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в условиях лесостепной зоны Европейской части Российской Федерации	46
<i>Третьякова И.Н., Пак М.Э., Титаева Д.В., Фром А.П.</i>	
Лесоразведение хвойных через биотехнологию соматического эмбриогенеза <i>in vitro</i>	47
<i>Третьякова Р.А., Паркина О.В., Якубенко О.Е., Якубенко А.А.</i>	
Биометрические показатели саженцев хвойных пород с разным типом корневой системы.....	48
<i>Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А., Лаур Н.В.</i>	
Полевой эксперимент как контроль надежности прогнозов в лесной селекции.....	49
<i>Чеботарева В.В., Чеботарев П.А, Стороженко В.Г.</i>	
Воспроизводство дубрав для сохранения генофонда коренной дубовой формации лесостепной зоны Европейской России	50
<i>Чеботько Н.К., Крекова Я.А., Ефименкова М.А.</i>	
Современное состояние и перспективы лесной селекции в Казахстане.....	53
<i>Чупров А.В., Наквасина Е.Н.</i>	
Результаты 40-летних географических культур сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) для уточнения региональных проблем лесного семеноводства в Архангельской области.....	59
<i>Шейкина О.В.</i>	
<i>SSR-анализ плюсовых деревьев сосны обыкновенной из Республики Марий Эл....</i>	59
<i>Sheller M., Ciocîrlan T., Mikhaylov P., Kulakov S., Kulakova N., Ibe A., Sukhikh T., Curtu A. L.</i>	
Genetic diversity of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) populations from Southern mountain forest zone in Middle Siberia	64
<i>Shuvaev D.N., Ibe A. A., Sukhikh T.V., Sheller M.A., Shilkina E.A.</i>	
Illegal logging of Scots pine in the Middle Siberia. Is there anyway solution to the problem using genetic approaches?.....	65
<i>Экарт А.К., Семерикова С.А., Кравченко А.Н., Ларионова А.Я.</i>	
Генетическая структура и филогения <i>Tilia nasczokinii</i> stepanov	74

Влияет ли загрязнение тяжелыми металлами на генетическое разнообразие ели европейской?

Андреев А.Е.¹, Баранова А.И.², Калько Г.В.³

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, аспирант (Санкт-Петербург, Россия) alexander_597@mail.ru

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, лаборант-исследователь; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, студент (Санкт-Петербург, Россия) al.baranova2019@mail.ru

³Кандидат биологических наук, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, зав. лабораторией (Санкт-Петербург, Россия) gkalko@spb-niilh.ru

Работа посвящена оценке влияния на генетическое разнообразие ели европейской в микросателлитных локусах техногенных загрязнений тяжелыми металлами. Объекты исследований – пробные площади в Ленинградской области вблизи металлургического предприятия ООО «Орион-Спецсплав-Гатчина» (Гатчинское лесничество) (Гатчина1) и вблизи автотрасс в Тосненском районе (Любанское лесничество) (Гатчина2). Метод исследования – анализ полиморфизма в ядерных EST-SSR локусах. Загрязненность пробных площадей тяжелыми металлами Mn, Zn, Cu, Fe, Pb, Cr, Ni, Cd установлена по их содержанию в хвое ели. На основе полученных данных, а также числа эффективных аллелей (N_e), индекса разнообразия Шеннона (I), наблюдаемой (H_o) и ожидаемой гетерозиготности (H_e), индексов фиксации F , в том числе F_{ST} , при попарном сравнении популяций, можно утверждать, что пробные площади Гатчина1 и Гатчина2, наиболее загрязненные тяжелыми металлами и близкие к источнику загрязнения в г. Гатчине, имеют некоторую степень обособленности от других популяций в Гатчинском и Тосненском районах, расположенных на расстоянии 19–38 км от них.

Ключевые слова: ель европейская, микросателлиты, структура популяции, тяжелые металлы

Особенности мейоза *P. tiggo* при интродукции в дендрарии Института леса СО РАН

Бажина Е.В.¹, Седаева М.И.²

¹Кандидат биологических наук, Институт леса СО РАН, genetics@ksc.krasn.ru

²Кандидат биологических наук, Институт леса СО РАН, msedaeva@ksc.krasn.ru

При изучении адаптивных реакций растений особенный интерес имеет изучение микроспорогенеза. Одним из наиболее уязвимых и восприимчивых к воздействию факторов внешней среды периодов в онтогенезе растений является мейоз при микроспорогенезе, находящийся под контролем сотен генов, большинство стадий которого у хвойных чувствительны к изменениям температуры и другим факторам среды (Christiansen, 1960, Ekberg et al., 1972, Eriksson, 1968, Kantor, Chira, 1965, Mergen, Lester, 1961, Голубовская, 1975, 1985, Богданов, 2003). В работе представлены результаты исследования особенностей мейоза сосны горной

(*P. mugo* Turra), широко распространенной в горных системах Европы (в Пиренеях, Альпах, Апеннинах, Абруццах, Балканах, Карпатах), при интродукции в условиях Средней Сибири (дендрарий Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск). Семена *P. mugo* (г. Ольденбург, Германия) были высажены в Дендрарии Института леса (ИЛ) в 1979 г. Климат региона резко континентальный, дендрарий относится к восточносибирскому варианту южно-таежной подзоны. Почва в дендрарии – дерново-карбонатная, характеризуется слабощелочной (близкой к нейтральной по рН солевому) реакцией среды, с невысоким содержанием гумуса и низкой степенью подвижности азота.

Мейоз у сосны горной при интродукции проходит по классическому типу, с образованием 12 бивалентов хромосом. Деления в микроспороцитах начинаются при накоплении суммы эффективных температур 124,8 °С (2022 г.), биваленты в основном правильно расходятся к противоположным полюсам. Для сосны горной, как и для некоторых других хвойных видов, характерна высокая степень асинхронности делений. Мейоз при интродукции проходит стремительно, что, вероятно, обуславливает чрезвычайно низкое количество аномалий. В подавляющем большинстве изученных клеток мейоз проходил регулярно, аномалии отмечены на стадиях мета- и анафазы первого деления, диад (микроядра), ана- и телофазы второго деления, тетрад (триады). Аномалии, как правило, элиминируются на стадиях интеркинеза. Тем не менее крайне редко наблюдались гигантские (сросшиеся) пыльцевые зерна (ПЗ) с четырьмя воздушными мешками и мелкие, диаметром более чем в 2 раза меньше нормальных ПЗ. Однако в целом размеры пыльцевых зерен характеризуются низким уровнем изменчивости (6,3–7,5%).

Жизнеспособность пыльцы сосны горной в Дендрарии ИЛ стабильно достаточно высокая: более 90% ПЗ давали положительную реакцию на основное питательное вещество – крахмал, прорастали и формировали пыльцевые трубки (Седаева, Бажина, 2021).

Таким образом, мужские генеративные структуры сосны горной характеризуются высокой степенью адаптивности развития и пластичностью, что, возможно, характерно для всего р. *Pinus*.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00540.

Ключевые слова: сосна горная, мейоз, интродукция, микроспорогенез, адаптация.

Генетическое разнообразие и идентификация популяций хвойных растений на Урале

Боронникова С. В¹., Чертов Н. В²., Жуланов А. А.³, Пыстогова Н. А.⁴,
Нечаева Ю. И.⁵, Календарь Р.Н.⁶

¹Доктор биологических наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, заведующий кафедрой ботаники и генетики растений (Пермь, Россия), SVBoronnikova@yandex.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, инженер кафедры ботаники и генетики растений, аспирант (Пермь, Россия), syper.gall@mail.ru

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, аспирант кафедры ботаники и генетики растений (Пермь, Россия), aumakua.ru@gmail.com

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, инженер кафедры ботаники и генетики растений (Пермь, Россия), n.pystogova9@yandex.ru

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, инженер кафедры ботаники и генетики растений (Пермь, Россия), ulia-2012@mail.ru

⁶ Кандидат биологических наук, профессор, частное учреждение «Национальная лаборатория Астана», Назарбаев Университет, ведущий научный сотрудник лаборатории биоинформатики и системной биологии (Нур-Султан, Республика Казахстан), ruslan.kalendar@nu.edu.kz

Устойчивое использование и сохранение лесных ресурсов должно осуществляться с детальным изучением основных лесообразующих видов растений. Хвойные растения составляют основу экосистем бореальных лесов и имеют большое экономическое значение. Генетическое разнообразие изучено у 6 популяций *Pinus sylvestris* L., у 6 популяций *Pinus sibirica* Du Tour, у 10 популяций *Larix sibirica* Ledeb., расположенных на Урале. Установлено, что изученные виды характеризуются высокими показателями генетического разнообразия: *P. sylvestris* ($I = 0,249$; $H_E = 0,163$; $n_e = 1,270$); *P. sibirica* ($I = 0,225$; $H_E = 0,148$; $n_e = 1,248$); *L. sibirica* ($I = 0,304$ $H_E = 0,202$; $n_e = 1,471$). Для 5 изученных популяций сосны обыкновенной и 5 популяций *L. sibirica* были установлены идентификационные ISSR- и SNP-маркеры, составлены молекулярно-генетические формулы, а также проведена апробация предлагаемого подхода идентификации хвойных растений на популяционном уровне, получен патент.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, молекулярно-генетическая идентификация, *Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour, *Larix sibirica* Ledeb

Соматический эмбриогенез сосны обыкновенной в условиях Карелии: проблемы и пути их решения

Галибина Н. А.¹, Игнатенко Р. В.², Ершова М. А.³ Никерова К. М.⁴, Чирва О. В.⁵

¹Доктор биологических наук, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», зам. директора по научной работе (Петрозаводск, Россия), galibina@krc.karelia.ru

²Кандидат биологических наук, Отдел комплексных научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», старший научный сотрудник, руководитель лаборатории (Петрозаводск, Россия), oceanc-9@mail.ru

³Отдел комплексных научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», младший научный сотрудник (Петрозаводск, Россия), maria_ershova_karc@mail.ru

⁴Кандидат биологических наук, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», старший научный сотрудник, руководитель лаборатории (Петрозаводск, Россия), knikerova@yandex.ru

⁵Отдел комплексных научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» младший научный сотрудник (Петрозаводск, Россия), tchirva.olga@yandex.ru

Объектами изучения являются растения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на лесосеменной плантации первого порядка (ЛСП I) (подзона средней тайги). В докладе обсуждаются основные направления долговременных исследований на территории Европейского Севера России по разработке научных основ получения и сохранения уникальных генотипов хвойных растений. На основании комплексных исследований деревьев сосны выявлены (1) быстро- и медленнорастущие генотипы, различающиеся по интенсивности деления камбимальных инициалей; (2) генотипы с максимальным и минимальным содержанием экстрактивных веществ, придающих древесине устойчивость к биодеградации. Подобраны условия культивирования зиготических зародышей сосны в условиях Карелии. На основании комплексного исследования клонов сосны на ЛСП I выбраны генотипы с предположительно высоким репродуктивным потенциалом, которые в дальнейшем предполагается использовать в соматическом эмбриогенезе.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, эмбриогенез, Карелия, лесосеменные плантации.

Проблемы лесных генетических резерватов

Залесов С.В.

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет, заведующий кафедрой лесоводства (Екатеринбург, Россия) Zalesovsv@m.usfeu.ru

Цель исследования – анализ современного состояния ЛГР на территории лесного фонда Свердловской области и разработка на этой основе предложений по проведению в них лесоводственных мероприятий. В качестве объектов исследований были использованы ЛГР, выделенные ранее на территории Свердловской области. В процессе исследований выполнен анализ научной и ведомственной литературы по проблеме выделения ЛГР и ведению хозяйства в них. На основе анализа действующих нормативно-правовых документов установлены возможности научно-обоснованного ведения хозяйства на территории ЛГР и предложены пути улучшения состояния древостоев, произрастающих на их территории.

Отсутствие нормативно-правовой базы по ведению лесного хозяйства на территории лесных генетических резерватов приводит к старению и ухудшению санитарного состояния древостоев. Показано, что в результате этого значительная часть лесных генетических резерватов утратила свое целевое назначение. Для сохранения уникальных объектов предлагается разработать комплекс мероприятий по уходу за ними.

Ключевые слова: генетические ресурсы, генетические резерваты, рубки ухода, омоложение древостоев.

Морфолого-анатомические особенности хвои вариаций можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.)

Князева С.Г.

Кандидат биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение Федеральный исследовательский центр Сибирского отделения Российской академии наук (Красноярск, Россия) knyazevas@mail.ru

Проведено исследование ряда анатомических и морфологических признаков хвои 4-х вариаций можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.). Известно, что по соотношению между площадью центрального проводящего пучка к площади поперечного сечения хвои (коэффициент Нестеровича) можно судить о состоянии растительного организма в тех или иных условиях произрастания и выявить принадлежность их к той или иной экологической группе. Нами проверена возможность использования этого коэффициента для можжевельника. Были исследованы 25 природных популяций можжевельника обыкновенного, принадлежащих к четырем подвидам: *J. communis* L. var. *communis*, *J. communis* var. *depressa*, *J. communis* var. *oblonga*, *J. communis* var. *saxatilis*. Некоторые ботаники относят можжевельник обыкновенный к мезофитам, предлагающим умеренно увлажненные почвы, другие к ксеромезофитам и мезоксерофитам и даже к мезопсихрофитам, обитающим на переувлажненных холодными водами почвами.

Недостаток влаги является одним из лимитирующих факторов распространения можжевельника. Изучение хвои всех изученных популяций можжевельников показала ряд приспособлений, позволяющих им расти даже в условиях физиологической сухости: вечная мерзлота, болота, высокогорья.

По коэффициенту Нестеровича популяции *J. communis* var. *oblonga* можно отнести к ксеромезофитам, но при этом у них самая длинная хвоя. Северные и высокогорные популяции *J. communis* var. *saxatilis* и *J. communis* var. *depressa* по коэффициенту относятся к мезофитам, но имеют самую короткую хвоя. Растения *J. communis* L. var. *communis* имеют промежуточные значения признаков.

При изучении анатомии и морфологии хвои выявлен ряд микроэволюционных адаптивных механизмов, позволяющих можжевельнику обыкновенному иметь широкий ареал и произрастать в разных экологических условиях. Популяции можжевельника формируют разные стратегии для выживания в условиях недостатка влаги: у мезопсихрофитов наблюдается уменьшение длины и толщины хвои, увеличение размеров смоляного канала, у ксеромезофитов увеличивается количество обкладочных клеток, размеры проводящего пучка, толщины хвои.

Ключевые слова: можжевельник, анатомия, изменчивость

Лесная биотехнология в сохранении лесных генетических ресурсов

Корчагин О.М.¹, Машкина О.С.², Табацкая Т.М.³

¹Кандидат биологических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, временно исполняющий обязанности директора (Воронеж, Россия), omkorchagin@mail.ru

²Кандидат биологических наук, доцент, Воронежский государственный университет, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, зав. лабораторией (Воронеж, Россия), mashkinaos@mail.ru

³Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, старший научный сотрудник (Воронеж, Россия), tatyana.tabacky@gmail.com

Показана возможность долгосрочного (от 1 года до 30 лет) хранения *in vitro* клонов (в виде микрорастений) ценных генотипов березы, тополя, осины и ивы с сохранением их биотехнологических параметров, генетических и селекционных (при высадке растений в почву) особенностей исходных экземпляров. Использование коллекции *in vitro* обеспечивает сохранение *ex situ* представителей ценного генофонда лиственных древесных растений, повышает эффективность выращивания качественного посадочного материала (в том числе снижает сроки его получения и себестоимость) для создания лесных культур целевого назначения. Обсуждаются проблемы взаимодействия между институтами, имеющими подобные коллекции.

Ключевые слова: коллекция клонов лиственных древесных растений, питательные среды без гормонов, тестирование *in vitro* и *ex vitro*

Селекционно-генетическая оценка и молекулярная паспортизация клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной Северного Казахстана

Крекова Я.А.¹, Чеботко Н.К.², Каган Д.И.³

¹Кандидат сельскохозяйственных наук, PhD, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букеихана, зав. отделом селекции (Щучинск, Казахстан), yana24.ru@mail.ru

²Кандидат сельскохозяйственных наук, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букеихана, ведущий научный сотрудник (Щучинск, Казахстан), chebotkon@mail.ru

³Кандидат биологических наук, Институт леса Национальной академии наук Беларусь, зав. лабораторией лесных генетических ресурсов (Гомель, Беларусь), quercus-beloruss@mail.ru

Приведены результаты селекционно-генетической оценки и молекулярной паспортизации клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной. Объекты исследования расположены в Акмолинской области Северного Казахстана. Проанализированы показатели роста клонов в высоту, по диаметру ствола и кроны. Даны оценка качественных признаков клонов. На основе изоферментного и микросателлитного анализа определены их генотипы, а также частоты встречаемости выявленных аллелей. Установлено соответствие рамет исследуемым клонам.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, высота, диаметр, крона, генотип.

Структура урожая кедровых сосен на клоновой плантации в Красноярской лесостепи

Кузнецова Г.В.

Кандидат биологических наук, доцент, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
(Российская Федерация), galva@ksc.krasn.ru

Одним из основных методов селекционного улучшения лесообразующих хвойных видов является использование их внутрипопуляционного разнообразия. Наследственные особенности у видов обнаруживаются в зависимости от географического и экологического происхождения семян. Достоверным и надежным методом исследования внутривидовой изменчивости древесных растений является создание географических культур семенного и вегетативного происхождения. Изучение вегетативного потомства для оценки наследственных свойств является несомненно лучшим: при вегетативном размножении сохраняются и более устойчиво проявляются генеративные особенности материнских деревьев, так как все клоны находятся в одинаковых условиях влаги и минерального питания за счет корневой системы местного подвоя.

Уникальная коллекция клонов кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) разного происхождения и кедра европейского (*Pinus cembra* L.) созданных в Красноярской лесостепи в 1963–1965 гг. стала объектом всестороннего изучения биологии семеношения кедра сибирского. Полученные нами многолетние данные семеношения прививок кедра в Красноярской лесостепи позволили выявить на плантации наличие клонов с высокой генеративной продуктивностью. Морфологические особенности генеративных органов – один из основных генетически обусловленных признаков, используемых при изучении изменчивости и оценки различных клонов. Для селекции, особенно клоновой, главными являются такие признаки, как форма, размеры шишек, вес семян и их качество (Ирошников, 1974). Особи кедра сибирского с крупными шишками имеют ускоренное развитие всех генеративных и вегетативных органов у потомства (Титов, 1950).

На клоновой плантации изучены основные элементы структуры урожая (размеры шишек, количество развитых и недоразвитых чешуй и семян, масса 1 000 семян) клонов кедровых сосен, показана их генеративная способность. Результаты исследования шишек и семян кедра сибирского разных популяций показали, что высокие показатели урожая имеют клоны кедра сибирского из Красноярского края, Томской и Тюменской областей, Восточного Казахстана. Семена этих клонов преобладают в общем урожае клоновой плантации.

На клоновой плантации кедра также проведен сравнительный анализ морфометрических показателей женских шишек у маточных деревьев и их клонового потомства. Наши исследования показали, что вегетативное потомство кедра сибирского в возрасте 22 лет на прививочной плантации формирует макростробилы, не уступающие по совокупности морфометрических признаков (масса семян в одной

шишке, количество семенных чешуй, количество семян в шишке, масса 1 000 семян) материнским деревьям. Формируемые женские шишки прививок кедра сибирского и кедра европейского не уступают по размерам и качеству семян соответствующим материнским деревьям. При этом образование доброкачественных семян является одним из критериев успешности интродукции вида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ Правительством Красноярского края и Краевым фондом науки в рамках научного проекта № 19-44-240005 и проекта № 20-05-00540

Ключевые слова: кедровые сосны, семеношение, морфометрические показатели, коллекция клонов.

Изменение климата и состояние лесостепных популяций сосны обыкновенной Русской равнины

Кузнецова Н.Ф.

Кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (Воронеж, Россия) nfsenyuk@mail.ru

Рассмотрены проблемы изменения климата и последствий его воздействия на сосновые леса лесостепного района Центрально-Черноземного региона. Анализ среднегодовых температур показал, что в начале XXI в. регион вступил в фазу быстрых климатических изменений. Потепление климата, 8-летняя тепловая волна и засухи вызвали в 2015 г. переход сосны обыкновенной из равновесного в слабонеравновесное состояние. Установлено, что для возврата в равновесие данному виду потребовалось 3 оптимальных года. В настоящее время северная и центральная популяции находятся в положении устойчивого равновесия, жизненное состояние южной лесостепной более низкое – неустойчивого равновесия.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесостепь, потепление климата, жизненное состояние.

Водоудерживающая способность хвои у климатипов сосны обыкновенной в географических культурах

Кузьмин С.Р.¹, Кузьмина Н.А.²

¹Кандидат сельскохозяйственных наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, Россия), skr_7@mail.ru

²Кандидат биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, Россия), kuz@ksc.krasn.ru

Одним из физиологических факторов, характеризующих устойчивость растений к неблагоприятным условиям роста, является общее содержание воды в листьях и их водоотдача. С устойчивостью к обезвоживанию листьев и хвои связаны

зимостойкость вида, его габитуальные параметры. В связи с этим показатели дегидратации могут использоваться в качестве критерия отбора и диагностического метода устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды, в том числе к засухе.

В результате года исследования 2-летней хвои, собранной у деревьев шести климатипов сосны, в условиях песчаной почвы в географических культурах в Средней Сибири выявлены различия по темпам потери влаги хвоей. Исследовались контрастные по месту происхождения климатипы: северо-енисейский, богучанский и минусинский из Красноярского края, кяхтинский с юга Бурятии, абазинский из Хакасии и балгазынский из Тывы. Установлено, что хвоя балгазынского климатипа теряет влагу медленнее остальных. Первые 20% влаги у балгазынского климатипа были потеряны только на третьи сутки сушки, у остальных это произошло на 1-2 дня раньше. Общая потеря 40% массы хвоей у абазинского и балгазынского климатипов произошла позднее остальных – на 9-е и 10-е сутки. Быстрее всех 40% массы потерял минусинский климатип – на 2-е сутки наблюдений, северо-енисейский – на 3-и, богучанский – на 4-е и кяхтинский – на 8-е сутки сушки. Наибольшая потеря массы (60%) отмечается на 8-е и 10-е сутки у минусинского и богучанского климатипов.

Минусинский климатип – единственный из исследованных, место происхождение которого находится в котловине, приуроченной к местам расположения ленточных боров. Материнские деревья этого климатипа находятся в теплых климатических условиях и не испытывают дефицита влаги из-за благоприятных гидротермических грунтовых условий. Это, в свою очередь, приводит и к наибольшим показателям длины хвои. Наличие же длинной хвои не является признаком того, что хвоя будет быстрее терять воду. Так, абазинский и балгазынский климатипы, хвоя которых не уступает или в некоторых случаях превышает по длине значения местного богучанского климатипа, теряют влагу медленнее остальных. Причиной этого являются структурные особенности, которые унаследованы от материнских деревьев, сформировавшихся в условиях предгорных территорий, расположенных в условиях южных широт с высокими суммами температур и высокими вероятностями возникновения дефицита влаги. У этих климатипов испарение и потеря влаги идут медленнее из-за необходимости запасания влаги за счет ее связывания в компактных анатомических структурах, исключающих наличие больших пустых полостей как в ксилеме, так и в других тканях. Северо-енисейский климатип, самый северный из всех исследованных, имеет наименьшие размеры хвои и в начале исследований теряет влагу быстрее южных, но в последующие сутки наблюдений теряет ее меньше, чем минусинский и богучанский. Вероятно, это обусловлено отсутствием крупных просветов в клетках в отличие от богучанского и минусинского климатипов.

Таким образом, между климатипами проявляется дифференциация по характеру потери влаги хвоей при высыхании. Предполагается, что это связано, в

первую очередь, с анатомическим строением и физиологическими процессами деревьев, обусловленными генетическими особенностями климатических экотипов, сформированными в условиях произрастания материнских насаждений.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, климатипы, географические культуры, водоудерживающая способность.

Анализ региона ITS 1-2-ядерной рибосомальной ДНК *Betula turkestanica*, *B. tianschanica*, *B. procurva*

Медведева С.О.¹, Черепанова О.Е.², Толкач О.В.³, Пономарев В.И.⁴, Малосиева Г.В.⁵

¹ Ботанический сад УрО РАН (Екатеринбург, Россия), so.medvedeva@gmail.com

² Кандидат биологических наук, Ботанический сад УрО РАН (Екатеринбург, Россия), botgarden.olga@gmail.com

³ Доктор сельскохозяйственных наук, Ботанический сад УрО РАН (Екатеринбург, Россия), tolkach_o_v@mail.ru

⁴Доктор биологических наук, Ботанический сад УрО РАН (Екатеринбург, Россия), v_i_ponomarev@mail.ru

⁵Ботанический сад им. Э. Гареева НАН КР, (Бишкек, Кыргызская Республика), gareev100@mail.ru

Приведены предварительные результаты анализа ядерной рибосомальной ДНК региона ITS 1-2 *Betula turkestanica*, *Betula tianschanica*, *Betula procurva*, которые относятся к секции *Betula* (белые березы). Ареал этих видов приурочен к горной системе юго-востока Средней Азии (Памиро-Алтай). *B. procurva* имеет дизъюнктивный ареал, а также встречается изолированно от основного ареала в горной части Урала (зона бореальных лесов и Зауральская лесостепь). Из-за высокой морфологической изменчивости рода *Betula* возникают сомнения в правильности таксономического статуса *B. turkestanica*, *B. tianschanica*, *B. procurva*. Изменчивость маркера ITS позволила хорошо различить эти близкородственные виды. Выявлена дивергенция *B. procurva* из дизъюнктивной части ареала на Урале по сравнению с основным ареалом.

Ключевые слова: *Betula*, ITS маркер, ядерная рибосомальная ДНК, филогенетический анализ, таксономия

Генетическое разнообразие естественных популяций сосны обыкновенной северной части Республики Карелии

Мельчакова Е.В.¹, Малеева Н.А.²

¹Начальник отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов Филиала ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Ленинградской области» (Санкт-Петербург, Россия), melchakovaev@rcfh.ru

² Инженер I категории отдела мониторинга состояния лесных генетических ресурсов Филиала ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Ленинградской области» (Санкт-Петербург, Россия), maleevana@bk.ru

В исследовании оценили генетическое разнообразие и структуру популяции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), используя 13 микросателлитных локусов в 5 популяциях из северной части Республики Карелии. Анализ показал высокое аллельное разнообразие популяции сосны обыкновенной на исследованных участках, хотя по степени равномерности распределения аллельных вариантов внутри выборок все исследуемые популяции достаточно однородны. Результат АМОВА-анализа показал относительно невысокий уровень межпопуляционной дифференциации, внутри популяции изменчивость составляет 93%, а межпопуляционная доля изменчивости – 7 %. По результатам кластерного анализа, проведённого на основе матрицы генетических расстояний М. Неи, выявлена популяционная структура *P. sylvestris* в северной части Карелии. Все изученные популяции были подразделены на две большие группы.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., естественные популяции, генетическая структура, ПЦР, микросателлиты, генетическое разнообразие, EST-SSR.

Калина Саржента на Дальнем Востоке России: ягодная продуктивность, ресурсы, рациональное освоение

Нечаев А.А.

Кандидат биологических наук, Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ведущий научный сотрудник (Хабаровск, Российская Федерация), dvniih@gmail.com

В статье приведены данные по фитохимическому составу, фармакологическому действию, полезным свойствам, распространению, экологии, ягодной продуктивности, биологическим запасам плодов (ягод), нормативам учета и заготовки плодов, правилам сбора пищевого и лекарственного сырья калины Саржента *Viburnum sargentii* Koehne на Дальнем Востоке России. Среднегодовой биологический запас плодов калины Саржента оценивается как минимум в 35 тыс. т (в сырой массе). В угодьях производственного (экономически доступного) фонда он составляет 7,0 тыс. т сырой массы, а максимально возможный сбор – 5,6 тыс. т. Из общего биологического запаса плодов калины 13 тыс. т сосредоточено на территории Приморского края, 10 тыс. т в Хабаровском крае, 8 тыс. т в Амурской области, 3 тыс. т в Сахалинской области и 1 тыс. т в Еврейской автономной области.

Ключевые слова: Дальний Восток России, калина Саржента (*Viburnum sargentii* Koehne), полезные свойства, распространение, экология, ягодная продуктивность, биологический запас плодов, нормативы учета и заготовки плодов, правила сбора сырья.

Международная повестка в области лесных генетических ресурсов

Паленова М.М.

Кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заведующий отделом аналитических исследований (Пушкино, Московская обл., Российская Федерация), mvvp@mail.ru.

Дан обзор и представлены Глобальные инструменты работы Комиссии по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства ФАО (Комиссия). Работа Комиссии направлена на достижение международного консенсуса в отношении принципов устойчивого использования и сохранения генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства и справедливого и равноправного распределения выгод от их использования.

Глобальными инструментами работы Комиссии являются: глобальные оценки, международные соглашения, глобальные планы действий и другие инструменты, которые играют важную роль в решении проблем сохранения, использования и передачи биологического разнообразия/генетических материалов на региональном, национальном и международном уровне. Глобальные оценки являются важнейшим инструментом работы Комиссии и проводятся ФАО при широком участии заинтересованных сторон и при ведущей роли стран. Они основываются на национальных оценках состояния генетических ресурсов, их использования, факторов, влияющих на их эрозию, оценке проблем и возможностей, связанных с сохранением и рациональным использованием генетических ресурсов в целях содействия укреплению продовольственной безопасности и улучшению качества питания. Многолетняя программа работы Комиссии предусматривает регулярные обновления глобальных оценок и других инструментов.

Доклад «Состояние генетических ресурсов лесов в мире» (2014) был сформирован на основе информации, собранной в ходе подготовки национальных докладов и тематических исследований. Это была первая глобальная оценка состояния мировых лесных генетических ресурсов. Подготовка доклада помогла Рабочей группе и Комиссии идентифицировать приоритеты, которые были отражены в Глобальном плане действий по сохранению, рациональному использованию и развитию лесных генетических ресурсов. В настоящее время Комиссия ведет работу по подготовке второго доклада «Состояние лесных генетических ресурсов в мире». ФАО представит проект второй глобальной оценки на рассмотрение Рабочей группой и Комиссией соответственно в 2022 и 2023 гг.

Ключевые слова: лесные генетические ресурсы, глобальные инструменты, ЦУР, Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства ФАО.

Перспективные интродуценты для лесоразведения в зеленой зоне г. Нур-Султана

Панкратов В.К.¹, Рахимжанов А.Н.², Залесов С.В.³

¹Магистр, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, младший научный сотрудник (Щучинск, Республика Казахстан) pankratov93_1993@mail.ru

²Кандидат сельскохозяйственных наук, доктор Phd, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, председатель Правления (Щучинск, Республика Казахстан)

³Доктор сельскохозяйственных наук, Уральский государственный лесотехнический университет, кафедра лесоводства, заведующий (Екатеринбург, Россия) Zalesovsv@m.usfeu.ru

На сегодняшний день трудно представить выращивание высокопроизводительных устойчивых насаждений без использования древесных интродуцентов. Введение в состав местных древостоев интродуцентов позволяет не только увеличить биологическое разнообразие, но и создаст условия для получения востребованных на рынке сортиментов, сформировать устойчивые насаждения, эффективно выполняющие целевые функции. Не случайно введению интродуцированных древесных видов посвящено значительное количество научных публикаций [1-3]. В то же время многие вопросы, касающиеся интродукции древесных растений, до настоящего времени не решены. В частности, из-за недостаточной изученности перспективности завозимых интродуцентов значительная их часть гибнет в первые годы после посадки, что дискредитирует саму идею интродукции в лесном хозяйстве.

Кроме того, активный, никем не контролируемый завоз древесных интродуцентов вызывает беспокойство в плане высадки агрессивных инвазивных видов. К последним многие ученые относят клен американский (*Acer negundo* L.), облепиху крушиновидную (*Hippophae rhamnoides* L.), робинию ложноакацевую (*Robinia pseudoacacia* L.) и др. [4, 5].

Особенно значима роль древесных видов интродуцентов в районах с жесткими лесорастительными условиями, где видовой состав местных (aborигенных) видов крайне ограничен. Если в эксплуатационных лесах ограниченное количество видов древесных пород не так проблематично, то в защитных, прежде всего в рекреационных, можно сформировать эстетически привлекательные ландшафтные композиции лишь при наличии существенного разнообразия хвойных и лиственных древесных пород.

Перенос столицы Республики Казахстан из Алматы в Астану (ныне Нур-Султан) вызвал необходимость создания вокруг новой столицы санитарно-защитной зоны с целью улучшения климата. Кроме того, создание санитарно-защитной зоны обеспечивало условия для комфортного отдыха населения.

Проблема состояла в том, что Астана располагалася в степной зоне, подзоне сухой типчаково-ковыльной степи. Для района создания санитарно-защитной зоны характерен резко континентальный климат со значительным дефицитом влажности, сильными ветрами, суровыми малоснежными и продолжительными

зимами, резкими сменами температур в течение года и суток. Для высаживаемых растений большую опасность представляют также поздние весенние и ранние осенние заморозки.

Несмотря на то что около 70% осадков выпадает в летний период, испарение превышает поступление осадков, годовая сумма которых составляет в среднем 300 мм. Для района характерны частые засухи, суховеи, пыльные бури. Несоответствие выпадающих осадков обилию тепла приводит к иссушению почвы, особенно весной и в начале лета. Не следует забывать, что при недостаточной влагозарядке в малоснежные зимы при сильных морозах и ветрах наблюдается вымерзание тканей у древесных растений.

Цель исследований – поиск перспективных видов, сортов и форм древесных растений для лесоразведения в санитарно-защитной зоне Нур-Султана.

Исследования проводили на территории Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Жасыл Аймак» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (РГП «Жасыл Аймак»).

Перспективность древесных интродуцентов для лесоразведения и озеленения исследовалась в арборетуме «Ак Кайын» (РГП «Жасыл Аймак»). Арборетум был заложен в 2000 г. на площади 1,5 га. Для определения перспективности высаживали по 10 экземпляров каждого таксона (вида, сорта, формы).

При определении перспективности конкретного таксона использовалась методика Главного ботанического сада [6], модернизированная сотрудниками ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» [7, 8].

При подборе таксонов для лесоразведения и озеленения учитывалось, что почвы санитарно-защитной зоны характеризуются значительной мозаичностью. Известно, что мощность оглаженного корнедоступного слоя почвы, ограниченная глубиной залегания угнетающих токсичных концентраций вредных легкорастворимых солей, является лимитирующим фактором, влияющим на рост, состояние и продолжительность жизни древесной растительности. Все многообразие почв санитарно-защитной зоны можно условно разделить на четыре группы (категории) лесопригодности:

I – лесопригодные, II – ограниченно лесопригодные, III – условно лесопригодные и IV – нелесопригодные. Ранее выполненными исследованиями установлено, что на территории санитарно-защитной зоны лишь 23 % площадей относится к группе лесопригодных, на которых возможно выращивание основных видов засухоустойчивых древесных пород.

На ограниченно лесопригодных почвах могут произрастать вяз приземистый (*Ulmus punila* L.), клен татарский (*Acer tataricum* L.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), груша лесная (*Pyrus pyraster* (L.) Burgsd.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), бузина красная (*Sambucus racemose* L.), вишня степная (*Cerasus fruticose*

Pall.). На условно лесопригодных почвах возможно выращивание лоха узколистного (*Elacagnus angustifolia* L.), лоха серебристого (*E. Argentea* Pursh.), караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.), жимолости татарской (*Lonicera tatarica* L.), смородины золотистой (*Ribes anreum* Pursh.). Почвы четвертой группы для лесоразведения непригодны без проведения коренной рекультивации [9, 10].

Для испытания перспективности посадки в арборетуме «Ак кайын» было отобрано 132 таксона, у каждого из которых были впоследствии проанализированы такие показатели, как: сохранность, степень ежегодного вызревания побегов, зимостойкость, сохранение габитуса, побегообразовательная способность, прирост растений в высоту, способность к генетическому развитию, возможные способы размножения в культуре. Указанная методика определения перспективности древесных растений хорошо зарекомендовала себя в условиях Северного Казахстана [11-13].

К сожалению, выполненные исследования следует считать предварительными. Последнее объясняется тем, что многие виды за период исследования (менее 20 лет) не вступили в фазу плодоношения, а следовательно, установить возможность размножения их семенным путем невозможно.

Однако даже предварительные результаты дают основание исключить ряд таксонов из лесокультурной практики в районе исследований, а другие использовать при создании лесных культур.

Всего исследованиями были охвачены древесные интродуценты из 25 семейств, 62 родов, 118 видов. Другими словами, было проанализировано на предмет перспективности интродукции 132 таксона (вида, формы, сорта).

Исследованиями установлена непригодность 27 таксонов. Большинство из них характеризуется низкой зимостойкостью и выпало в первые годы после посадки. 11 таксонов были оценены как неперспективные. Данные виды характеризовались, прежде всего, низкими зимостойкостью и побегообразовательной способностью, а также потерей габитуса.

В группу малоперспективных вошли 12 таксонов. Они лучше, чем непригодные и неперспективные, переносят зимние холода. Однако у них наблюдается обмерзание побегов, и они плохо сохраняют габитус.

Оценку менее перспективные получили 30 таксонов. У большинства из них с увеличением возраста возможно повышение зимостойкости. При использовании в озеленении таксоны этой группы могут быть использованы с учетом подбора микроклимата на участке формирования зеленых композиций. Ряд видов, в частности туя западная (*Thuja occidentalis* L.), нуждаются в весенний период в защите от солнечных ожогов.

В группу перспективные вошли 29 таксонов, которые могут использоваться в озеленении и лесоразведении при недостатке посадочного материала самых перспективных таксонов. В группу самых перспективных вошло 23 таксона: Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb), Лиственница даурская (Гмелина) (*Larix*

Gmelinii Rupr.), Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*) включая формы пирамидальная (*P. Sylvestris f. Fastigiata L.*) и шаровидная (*P. Sylvestris «Globosa viridis» L.*), Можжевельник казацкий (*Juniperus sabina L.*), Береза повислая (*Betula pendula Roth.*), Тополь белый (*Populus alba L.*), Ива древовидная (козья) (*Salix caprea L.*), Вяз мелколистный (приземистый) (*Ulmus pumila L.*), Вяз гладкий (*Ulmus laevis Pall.*), Яблоня сибирская (Палласа) (*Malus Pallasiana Juz.*), Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*) (таксоны из г. Щучинска и г. Астаны), Боярышник Арнольда (*Crataegus Arnoldii*), Черемуха обыкновенная (птичья) (*Padus avium Mill.*), Акация желтая (карагана древовидная) (*Caragana arborescens Lam.*), Клен ясенелистный (*Acer negundo L.*), Жимолость татарская (*Lonicera tatarica L.*), Лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia L.*), Кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus Sohlecht.*), Селитрянка Шобера (*Nitraria Scoberti L.*).

Естественно, что все таксоны, включенные в группу самые перспективные, могут широко использоваться в озеленении и лесоразведении в санитарно-защитной зоне Нур-Султана.

Выводы

1. Создание санитарно-защитной (зеленой) зоны вокруг Нур-Султана позволяет существенно улучшить климатические условия и создать благоприятную обстановку для проживания и отдыха жителей города.

2. Несмотря на жесткие лесорастительные условия, отобрано 23 таксона древесных растений, которые могут широко использоваться при озеленении города и лесоразведении в санитарно-защитной зоне.

3. При недостатке посадочного материала самых перспективных видов, сортов и форм в озеленении и лесоразведении можно использовать 29 таксонов перспективных для вышеуказанных целей.

4. При использовании самых перспективных и перспективных интродуцентов в лесокультурной практике необходимо учитывать мозаичность почвенных условий. На участках лесопригодных почв следует создавать лесные массивы, которые послужат каркасом санитарно-защитной зоны. На ограниченно и условно лесопригодных почвах целесообразно создание насаждений из наиболее устойчивых видов, а на нелесопригодных почвах целесообразно расположить объекты рекреационной инфраструктуры или оставить их под открытые формы ландшафта.

Ключевые слова: лесоразведение, озеленение, интродуценты, перспективность, устойчивость.

Список источников

1. Арборетум лесного питомника «Ак кайын» РГП «Жасыл Аймак» [Электронный ресурс] / Ж.О. Суюндиков, А.В. Данчева, С.В. Залесов, М.Р. Ражанов, А.Н. Рахимжанов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 92 с. – Режим доступа: <http://clar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6618/Arboretum>

2. Крекова Я.А. Интродукция и акклиматизация хвойных в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов. – Нур-Султан : ТОО «КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана», 2020. 212 с.

3. Крекова Я.А. Оценка декоративных признаков у видов рода *Picea* Dieter в Северном Казахстане / [Электронный ресурс] Я.А. Крекова, А.В. Данчева, С.В. Залесов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.Ru/121-17204>.
4. Виноградова Ю.К. Черная книга флоры Средней России / Ю.К. Виноградова, С.Р. Майоров, Л.В. Хорун. – М. : ГЕОС, 2009. – 494 с.
5. Брагинец Л.А. Инвазийный потенциал адвентивных агриофитов дендрофлоры города Костаная и его окрестностей / Л.А. Брагинец // Леса России и хозяйство в них. – 2017. – № 1 (60). – С. 41-49.
6. Куприянов А.Н. Интродукция растений / А.Н. Куприянов. – Кемерово: Кузбасвузиздат, 2004. 96 с.
7. Гусев А.В. Методика определения перспективности интродукции древесных растений / А.В. Гусев, С.В. Залесов, Д.Н. Сарсекова // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020. – Ч. 2. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – С. 272-275.
8. Залесов С.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири / С.В. Залесов, Е.П. Платонов, А.В. Гусев // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4 (83). – С. 56-58.
9. Азбаев Б.О. Почвы зеленой зоны г. Астана и классификация их по лесопригодности / Б.О. Азбаев, А.Н. Рахимжанов, М.Р. Ражанов // Леса России и хозяйство в них, 2013. № 1 (44). С. 12-14.
10. Залесов С.В. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности / С.В. Залесов, О.В. Толкач, И.А. Фрейберг, А.Ф. Черноусова // Экология и промышленность России. – Т. 2. – 2017. – № 9. – С. 42-47.
11. Крекова Я.А. Особенности развития крон у видов рода *Picea* Dietr в условиях Северного Казахстана (на базе арборетума ТОО «КазНИИЛХА») / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Аграрный вестник Урала, 2015. № 10 (140). С. 52-56.
12. Крекова Я.А. Рост интродуцированных видов лиственниц (*Larix* Mill.) в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 9 (75). – Ч.2. – С. 21-25. DOI: <https://doi.org/10.23670/YRJ. 2018. 75.9.028>.
13. Крекова Я.А. Изменчивость основных таксационных и морфологических показателей ели (*Picea* Dietr.) интродуцированных в Северный Казахстан / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, Н.К. Чебатько // Вестник науки Казахского аграрного университета им. С. Сейфуллина. – 2019. – № 1 (100). – С. 67-76.

Влияние лесохозяйственной деятельности на генетическое разнообразие сосняков Беларуси

Падутов В.Е.¹, Ивановская С.И.², Каган Д.И.³

¹Член-корреспондент НАН Беларуси

² Кандидат биологических наук, Институт леса НАН Беларуси (Гомель, Беларусь), forestgen@mail.ru

³ Кандидат биологических наук, Институт леса НАН Беларуси (Гомель, Беларусь), forestgen@mail.ru

На состояние лесных генетических ресурсов негативное влияние оказывают разные факторы, однако определяющее воздействие среди них имеют антропогенные. В совокупности антропогенные факторы могут вызывать изменения,

которые не совпадают с характером и темпами природного исторического развития видов, с направлением естественного эволюционного процесса.

При проведении генетического анализа объектов сохранения генофонда сосны обыкновенной разной категории защитности и насаждений естественного происхождения лесов хозяйственного использования установлена взаимосвязь между степенью лесохозяйственной деятельности в насаждениях и величиной генетического разнообразия. Генетическое разнообразие возрастает по мере снижения интенсивности лесохозяйственной деятельности: леса хозяйственного использования (H_e – 0,240; H_o – 0,247) → плюсовые лесные насаждения (H_e – 0,253; H_o – 0,258) → лесные генетические резерваты (H_e – 0,261; H_o – 0,270) → древостой НП «Беловежская пуща» (H_e – 0,260; H_o – 0,276), что указывает на определенную степень влияния антропогенного фактора на значения популяционно-генетических параметров насаждений сосны обыкновенной. Следует отметить, что значения показателей H_e и H_o в объектах сохранения генофонда достоверно ($P<0,01$) превышают таковые в лесах хозяйственного использования.

Проведение всего комплекса лесохозяйственных мероприятий в эксплуатационных лесах оказывает влияние на возрастную динамику такого популяционно-генетического параметра, как уровень гетерозиготности. В насаждениях сосны обыкновенной с ограниченной лесохозяйственной деятельностью (плюсовые насаждения) проявляется тенденция к положительной корреляции между возрастом и величиной наблюданной гетерозиготности. Рассчитанные коэффициенты корреляции (r) свидетельствуют о наличии достоверной прямой связи между величиной параметра наблюданной гетерозиготности и возрастом древостоя, как в случае отдельных насаждений ($r=0,849$), так и по классам возраста ($r=0,942$). В то же время в насаждениях эксплуатационных лесов корреляция для этих признаков выявлена не была (коэффициент корреляции для отдельных насаждений составил 0,269, для классов возраста – 0,221), что позволяет говорить о нарушении естественного хода популяционных процессов в результате лесохозяйственной деятельности.

Рубки с целью заготовки древесины являются самой активной формой воздействия на все компоненты лесного сообщества. Наиболее перспективными при ведении экологически ориентированного лесного хозяйства признаны постепенные рубки, так как направлены на естественное возобновление леса. Вопрос сохранения генетического разнообразия и структуры популяции при различных видах постепенных рубок в настоящее время практически не изучен. Оценка генофонда насаждений сосны обыкновенной на различных этапах проведения плюсно- и равномерно постепенных рубок показала, что оптимальными для сохранения генофонда и генетической структуры исходных древостоев являются плюсно-постепенные рубки с целью заготовки древесины, так как при их проведении не происходит снижения генетического разнообразия и изменения генетической структуры насаждений.

Таким образом, лесохозяйственная деятельность оказывает негативное влияние на уровень генетической изменчивости, а также на исторически складывающиеся естественные процессы в природных популяциях сосны обыкновенной. Однако применение полосно-постепенных рубок с целью заготовки древесины содействует снижению отрицательного воздействия на сохранение генофонда на этом этапе.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, сосняки, Беларусь, сохранение генофонда.

Создание и развитие объектов лесного семеноводства и сохранение генофонда лесных пород Крыма

Разумный В.В.¹, Дедюрина Е.А.²

¹Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Республики Крым», инженер 1 категории отдела Крымская лесосеменная станция (Бахчисарай, Республика Крым, Россия) vladimir.razumnyj@mail.ru

²Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Республики Крым», директор (Бахчисарай, Республика Крым, Россия) dedurinaea@rcfh.ru

Приводятся данные по площадям объектов лесного семеноводства на территории Крымского полуострова с использованием документов актуального законодательства Российской Федерации, лесного планирования, а также официальных сведений о наличии лесосеменных объектов и научных публикаций. Сделан вывод о необходимости проведения единовременной инвентаризации селекционно-семеноводческих объектов, по результатам которой можно подготовить рекомендации по дальнейшему использованию существующих объектов лесного семеноводства и развитию лесного семеноводства для сохранения устойчивого лесовосстановления крымских лесов и их ценного генофонда.

Ключевые слова: лесосеменная база, плюсовое дерево, плюсовые насаждения, генетические резерваты, лесосеменные плантации, постоянные лесосеменные участки.

Современное состояние селекции и семеноводства хвойных пород в странах Северной Европы и европейской части России

Раевский Б.В.

Доктор сельскохозяйственных наук, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук" (Петрозаводск, Российской Федерации), raevsky@krc.karelia.ru

В странах Северной Европы, а именно в Швеции и Финляндии, за последние 40-50 лет полностью завершен первый (начальный) цикл плюсовой селекции

сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst), а также активно осуществляются работы по выполнению второго цикла. В аспекте селекционного семеноводства это означает постепенный вывод из эксплуатации лесосеменных плантаций I порядка и замену их на ЛСП повышенной генетической ценности – I,5 и II порядков. К середине XXI столетия генетический выигрыш от селекционной работы в лесоводственном аспекте прогнозируется на уровне 20-25% повышения продуктивности вновь создаваемых искусственных древостоев по запасу стволовой древесины. В Европейской части России в последней трети XX столетия были проведены успешные и местами достаточно масштабные работы по фенотипическому отбору в естественных насаждениях плюсовых деревьев и закладке лесосеменных плантаций I порядка. Однако, даже первый цикл плюсовой селекции так и не был завершен. Для достижения прогресса в этом необходимо разработать федеральную программу по сохранению и рациональному использованию лесных генетических ресурсов РФ вкупе с рядом подпрограмм по генетическим исследованиям и селекции важнейших видов-лесообразователей с учетом современных достижений в области молекулярной генетики и биотехнологии.

Ключевые слова: лесная селекция, лесосеменные плантации, селекционное семеноводство, плюсовые деревья, Швеция, Финляндия, Россия

Что не так в наших представлениях о формировании плюсовых деревьев и естественном изреживании насаждений

Рогозин М.В.

Доктор биологических наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, профессор (г. Пермь, Российская Федерация) rog-mikhail@yandex.ru

В Пермском крае на 24 заложенных пробных площадях изучали 55-летние культуры сосны 1Б класса бонитета полнотой 0,84–1,05 на площади 1,9 га с густотой, рассчитанной для 30 лет 1 153–2 207 шт./га. Провели картирование деревьев в программе «ArcMap 10» и рассчитали полигоны питания 1 980 живых и 336 отпавших деревьев. Установлено, что рассчитанная площадь питания в возрасте 30 лет повлияла на диаметр живых деревьев в 55 лет на $9,4 \pm 0,02\%$ и на диаметр отпавших деревьев – на 1,8%. Отпад происходил при любой площади питания. Так как на рост дерева площадь питания влияет менее чем на 10%, то в этот период на её увеличение будут реагировать также около 10 % деревьев. Поэтому прореживания в этом возрасте неэффективны, и регулировать густоту и направлять развитие древостоя по продуктивным моделям следует раньше, по-видимому, в возрасте 15–20 лет. На 9 пробных площадях на территории 0,64 га изучали 136 деревьев-лидеров с превышением диаметра на 20% и геоактивные зоны 5 типов. Было

выяснено, что в поясах комфорта этих зон сформировалось 76% таких деревьев, и они получали благоприятные излучения от этих зон. Из оставшихся без подпитки их энергиями 13% таких деревьев имели большие площади питания и только 11 % деревьев-лидеров выросли крупными за счёт собственных усилий, возможно, за счёт хорошего генотипа, так как их площади питания были менее средних. Они интересны для лесной селекции и в плане эволюции вида.

Ключевые слова: древостой, естественное изреживание, площади питания, плюсовые деревья.

Генетическая изменчивость, филогеография и четвертичная история сибирских хвойных

Семериков В.Л.¹, Семерикова С.А.², Семериков Н.В.³, Шуваев Д.Н.⁴

¹ Доктор биологических наук, Институт экологии растений и животных УрО РАН, зав. лаб. (Екатеринбург, Российская Федерация), semerikov@ipae.uran.ru

² Кандидат биологических наук, Институт экологии растений и животных УрО РАН, с. н. с. (Екатеринбург, Российская Федерация), s.a.semerikova@ipae.uran.ru

³ Ботанический сад УрО РАН, м.н.с (Екатеринбург, Российская Федерация), semerikov2014@mail.ru

⁴ Институт экологии растений и животных УрО РАН, старший инженер (Екатеринбург, Российская Федерация), denis.shuvaev@gmail.com

Ледниковые циклы плейстоцена оказывали глубокое воздействие на биоту Северного полушария. В наиболее неблагоприятные интервалы непрерывная таежная зона исчезала, и лесные виды сохранялись в ограниченных ледниковых убежищах, вновь распространяясь в межледниковых. Эти процессы отражаются в палеонтологических данных, в климатических реконструкциях и в структуре современной генетической изменчивости видов, формирующих растительные сообщества. Генетическая изменчивость видов содержит информацию о расположении ледниковых рефугиумов, направлениях миграций и гибридных контактах ранее изолированных популяций. Для её анализа используются как ядерные маркеры, наследуемые от обоих родителей (микросателлиты, снипы и т.п.), так и маркеры, имеющие материнское наследование; в случае хвойных это мтДНК. Большинство биогеографических исследований предполагает изучение одного вида, однако, для реконструкции динамики биомов представляет безусловный интерес анализ структуры генетической изменчивости и биогеографии одновременно нескольких экологически важных видов, отличающихся экологическими свойствами, эволюционной историей и структурой ареалов.

В настоящее время накоплены существенные филогенетические и палеонтологические данные по большинству лесообразующих бореальных видов Северной Евразии. В данном сообщении мы приводим их краткий обзор и делаем попытку их сопоставления для более всесторонней характеристики позднеплейстоценовой истории таежных лесов Сибири и Восточной Европы.

Ели сибирская и европейская распространены в Северной Евразии почти непрерывно от Западной Европы до Тихого океана без видимой границы между видами. Форма семенной чешуи и размер шишки, дифференцирующие европейскую и сибирскую ели по данным П.П. Попова (2003) постепенно меняются с юго-запада на северо-восток от Карпат до северо-востока Западной Сибири, что объясняется как адаптацией к климатическому градиенту, так и интрогрессивной гибридизацией между чистыми *P. abies* и *P. obovata*. Последнее также следует из аллозимных данных в работе Krutovskii and Bergmann (1995). Исследование изменчивости митохондриальной ДНК существенно детализировало картину (Tolefsrud et al., 2015; Tsuda et al., 2016). Было выявлено 3 основных кластера митотипов: первый соответствовал *P. obovata*, а два других – *P. abies*, из которых южный содержал митотипы, найденные в Альпах, Карпатах и Балканах и северный – в популяциях Русской равнины, Скандинавии, Урала и Западной Сибири к западу от Оби и Иртыша. Необходимо отметить, что северный кластер митотипов *P. abies* более близок к *P. obovata*, чем к южному кластеру *P. abies*. По данным изменчивости ядерных маркеров – микросателлитных локусов, кластерный анализ STRUCTURE при $K=2$ отделил *P. obovata* от *P. abies* примерно по западному склону Урала, с широкой переходной полосой, протянувшейся до Оби. При $K=3$, в *P. abies* выделился кластер, примерно соответствующий северному кластеру по митохондриальным данным.

Мы можем интерпретировать это следующим образом: современный северный кластер митохондриальной ДНК *P. abies* возник в результате расселения *P. obovata* на Урал и далее на всю Русскую равнину. В дальнейшем, в климатической обстановке, благоприятствующей более теплолюбивой *P. abies*, последняя вытеснила *P. obovata* на Русской равнине и на Урале путем интрогрессивной гибридизации. Вероятно, во время ледниковых максимумов существовало не менее трех основных ледниковых рефугиумов ели сибирской и Европейской – горы Южной Сибири, горы Южной Европы и Урал, откуда ель расселялась, вероятно по Русской равнине и в Скандинавию.

Лиственница сибирская распространена в Сибири, на Урале и севере Русской равнины. На основе морфологии шишек разделена на Л. Сукачева, произрастающую к западу от р. Оби, и Л. сибирскую. Это деление подтверждается данными митохондриальной, хлоропластной ДНК, аллозимами и AFLP (Semerikov et al., 1999, 2003, 2013, 2019). Сходство состава митотипов популяций севера Сибири и популяций северного склона Саян указывают на последний район, как на источник колонизации севера Сибири. Одновременно присутствие на севере Западной Сибири некоторых эндемичных митотипов свидетельствует о возможном выживании лиственницы во время последнего ледникового максимума.

Ареалы пихты сибирской и сосны сибирской (кедра) сходны с ареалом лиственницы сибирской, отличаясь меньшим продвижением на север и юг, ввиду

повышенной чувствительности к многолетней мерзлоте, недостатку тепла и влаги. Это особенно характерно для пихты.

Исследования генетической изменчивости пихты сибирской с помощью аллозимных локусов, хлоропластных мокросателлитов, AFLP и митохондриальных маркеров (Семерикова, Семериков, 2006, 2007, 2011, Semerikov et al., 2019) выявили особенности географического распределения частот аллелей ядерных маркеров, гаплотипов цитоплазматических геномов, соответствующие дифференциации вида на несколько групп, включая Алтай и Западный Саян, Восточный Саян с Прибайкальем, юг Кузнецкого Алатау и Урал с Русской равниной. Такая структура может быть интерпретирована как указание на сохранение вида во время ледниковых максимумов в изолированных рефугиумах. При этом общий митохондриальный митотип и сходство частот ядерных локусов прибайкальской группы популяций и популяций енисейской части Сибири, севера Западной Сибири и севера Урала свидетельствует о недавнем, возможно после-LGM (последний ледниковый максимум), распространении пихты из прибайкальского рефугиума на всю эту территорию. Присутствие на Урале двух митотипов (из трех обнаруженных в Южной Сибири) можно объяснить проникновением пихты на Урал, имевшем место неоднократно и из разных регионов юга Сибири. Исследование изменчивости nSSR (Semerikov et al., unpublished) с помощью STRUCTURE выявило при $K=3$ следующие группы: Алтай с Салаиром, Прибайкалье с Восточным Саяном и Урал. популяции Кузнецкого Алатау, Западного Саяна и западной части Восточного Саяна содержали смесь генов первых двух кластеров.

Исследование кедра с помощью митохондриальных маркеров и ядерных микросателлитных локусов (Shuvaev et al., unpublished) выявило генетическую структуру, напоминающую таковую у лиственницы и пихты сибирской. Было выявлено три митотипа, соответствующие Алтае-Саянской области, Восточному Саяну и Прибайкалью и Кузнецкому Алатау. Причем гаплотип Кузнецкого Алатау также был найден на большей части севера Сибири и на Урале, что соответствует, во-первых, колонизации Урала из Кузнецкого Алатау и во-вторых, послеледниковой колонизации севера Сибири также из Кузнецкого Алатау. Дополнительная информация была получена путем исследования изменчивости nSSR. STRUCTURE, при $K=2$, выявил 2 генетического кластера, из которых первый соответствовал Сибири, а второй – Уралу. Причем в Западной Сибири популяции имели примесь уральского кластера вплоть до Среднего Приобья, что позволяет проследить послеледниковые генетические потоки и оценить вклад уральского и сибирского источников послеледниковой реколонизации в генетический пул.

Сосна обыкновенная резко отличается от остальных сибирских хвойных по своим экологическим свойствам и эволюционной истории. Имея ареал, протянувшийся от Пиренейского п-ва до Тихого океана, она устойчива к низким и высоким температурам, к засухе и бедным почвам. Однако она более чувствительна, чем

остальные сибирские хвойные, к недостатку летнего тепла и не выносит много-летней мерзлоты. Возможно, с этим связано то, что центр её генетического разнообразия находится в Европе, а в Сибири располагается периферия. Популяционные исследования сосны обыкновенной по аллозимным (Санников, Петрова, 2012), хлоропластным микросателлитам (Семериков и др, 2014) и митохондриальным маркерам (Semerikov et al., 2018) выявили снижение генетического разнообразия в восточном направлении. Число митотипов снижается от 7 в западной части России до 2-х на Урале, а восточнее Сургута остается только один гаплотип. Очевидно, такая структура может быть обусловлена миграцией сосны из Западной Европы на восток с постепенной потерей изменчивости в силу эффекта основателя. Однако старт этой колонизации был дан, вероятно, задолго до последнего ледникового максимума и сосна обыкновенная могла переживать этот интервал в некоторых районах на востоке ареала. Например – в уральском рефугиуме. Интересные новые данные были получены при исследовании популяций сосны обыкновенной с помощью nSSR (Semerikov et al., unpublished). На Русской равнине, на Урале и в Сибири с помощью STRUCTURE выделяется 2 частично перекрывающихся генетических кластера, из которых один соответствует югу и западу Русской равнины, части Урала и западу Западной Сибири (до Иртыша), а второй соответствует большей части Сибири, Монголии, Северному Уралу и северу Русской равнины. Такая конфигурация указывает на то, что вероятно уральский рефугиум был источником послеледникового распространения сосны как на восток, так и на северо-запад.

Таким образом, имеющаяся картина генетической структуры всех сибирских хвойных указывает на наличии в плейстоцене крайне неблагоприятных интервалов, во время которых данные виды сохранялись только в рефугиумах горных районов Южной Сибири и Южной Европы. Последующие ледниковые фазы были менее критичными, и эти виды могли выживать также в более северных рефугиумах, включая Урал. Причем возраст колонизации этими видами Урала намного превышает последний ледниковый максимум, о чем свидетельствует наличие собственных митотипов в уральских популяциях ели, лиственницы и сосны обыкновенной, а также наличие специфичных генетических кластеров, выявляемых по микросателлитным данным у всех изученных видов. При общей схеме послеледниковой реколонизации северной части ареала из южных рефугиумов, виды различаются источниками расселения в виде той или иной горной системы Южной Сибири и это может быть связано со многими факторами и главным образом со случайностью. Другим важным аспектом является способностью конкретного вида переживать ледниковую фазу не только в южных рефугиумах (пихта, кедр), но и во вторичных, более северных рефугиумах, как лиственница, очевидно сохранявшаяся во время LGM в некоторых районах Нижней и Средней Оби.

Работа поддержана РНФ, проект 22-24-00665

Ключевые слова: бореальные хвойные, Восточная Европа, Урал, Сибирь, популяционно-генетическая структура, митохондриальная ДНК, ядерные микросателлиты, филогеография

Список источников

Попов, П.П. Структура и дифференциация популяций ели на Востоке Европы по показателям формы семенных чешуй и длины шишек / П. П. Попов // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтования. – 2012. – № 12. – С. 81-91. – EDN PFADLZ.

Санников, С.Н. Филогенеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. / С.Н. Санников, И.В. Петрова // Экология. – 2012. – №. 4. – С. 252-252.

Полиморфизм микросателлитных локусов хлоропластной ДНК сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Азии и Восточной Европе / В.Л. Семериков В. Л. [и др.] // Генетика. – 2014. – Т. 50. – №. 6. – С. 660-660.

Семерикова, С.А. Генетическая изменчивость и дифференциация популяций пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) по аллозимным локусам / С.А. Семерикова, В.Л. Семериков // Генетика. – 2006. – Т.42, № 6. – С. 783-792.

Семерикова, С.А. Изменчивость хлоропластных микросателлитных локусов у пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и двух дальневосточных видов пихт *A. nephrolepis* (Trautv.) Maxim. и *A. sachalinensis* Fr. Schmidt. / С.А. Семерикова, В.Л. Семериков // Генетика. – 2007. – Т. 43. – № 12. – С. 1637-1646.

Семерикова, С.А. Генетическая изменчивость пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), изученная по AFLP маркерам / С.А. Семерикова, В.Л. Семериков // Генетика. – 2011. – Т. 47. – № 2. – С. 272–278.

Krutovskii, K. V. Introgressive hybridization and phylogenetic relationships between Norway, *Picea abies* (L.) Karst., and Siberian, *P. obovata* Ledeb., spruce species studied by isozyme loci / Krutovskii, K. V. & Bergmann, F. // Heredity. – 1995. – 74: 464–480.

Late Quaternary history of North Eurasian Norway spruce (*Picea abies*) and Siberian spruce (*Picea obovata*) inferred from macrofossils, pollen and cytoplasmic DNA variation / Tollefsrud, M.M., Latałowa, M., van der Knaap, W.O., Brochmann, C., Sperisen, C. // Journal of Biogeography. 2015. – 42(8). – С. 1431-1442.

The extent and meaning of hybridization and introgression between Siberian spruce (*Picea obovata*) and Norway spruce (*Picea abies*): cryptic refugia as stepping stones to the west? / Tsuda, Y., Chen, J., Stocks, M., Källman, T., Sønstebo, J.H., Parducci, L., Semerikov, V., Sperisen, C., Politov, D., Ronkainen, T., Välijanta, M., Vendramin, G.G., Tollefsrud, M.M., Lascoux, M. // Molecular ecology. 2016. – 25 (12). – P. 2773-2789. doi: 10.1111/mec.13654

Semerikov V, Lascoux M (2003) Nuclear and cytoplasmic variation within and between Eurasian *Larix* (Pinaceae) species // American Journal of Botany. – 2013. – 90: 1113–1123.

Semerikov VL, Semerikov LF, Lascoux M (1999) Intra and Interspecific Allozyme Variability in Eurasian *Larix* Mil. L. species // Heredity. 1999. – 82: 193–204.

Semerikov, V. L., Semerikova, S. A., & Putintseva, Y. A. (2018) Colonization history of Scots pine in Eastern Europe and North Asia based on mitochondrial DNA variation // Tree Genet. Genom. – 2018. – 14(1): 1-8.

Semerikov, V.L., Semerikova, S.A., Putintseva, Y.A., Oreshkova, N.V., Krutovsky, K.V. (2019) Mitochondrial DNA in Siberian conifers indicates multiple postglacial colonization centers // Canadian Journal of Forest Research. – 2019. – 49(8). P. 875-883.

Semerikov, N. V., Petrova, I. V., Sannikov, S. N., Semerikova, S. A., Tashev, A. N., Lascoux, M., & Semerikov, V. L. (2020). Cytoplasmic DNA variation does not support a recent contribution of *Pinus sylvestris* L. from the Caucasus to the main range // Tree Genetics & Genomes. – 2020. – 16(4): 1-11.

Генетическая структура и филогеография европейских широколиственных видов деревьев (рода *Quercus*, *Tilia*, *Alnus*, *Ulmus*) в восточной части ареала

Семерикова С.А.¹, Подергина С.М.², Паниковская К.А.³, Семериков Н.В.⁴,
Шуваев Д.Н.⁵, Семериков В.Л.⁶

¹ Кандидат биологических наук, Институт экологии растений и животных УрО РАН, с.н.с. (Екатеринбург, Российская Федерация), s.a.semerikova@ipae.uran.ru

² Магистрант, Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация), s.podergina@mail.ru

³ Институт экологии растений и животных УрО РАН, инженер-исследователь, (Екатеринбург, Российская Федерация), ksenia.panikovskaya@gmail.com

⁴ Ботанический сад УрО РАН, м. н. с (Екатеринбург, Российская Федерация), semerikov2014@mail.ru

⁵ Институт экологии растений и животных УрО РАН, старший инженер (Екатеринбург, Российская Федерация), denis.shuvaev@gmail.com

⁶ Доктор биологических наук, Институт экологии растений и животных УрО РАН, зав. лаб. (Екатеринбург, Россия) semerikov@ipae.uran.ru

Восточная Европа и восточное Причерноморье представляют собой наиболее периферийные анклавы европейской лесной биоты. При хорошей изученности генетической изменчивости, филогеографии и истории представителей европейской дендрофлоры умеренного климата на территории Западной Европы, восточная часть области их распространения во многом оставалась неисследованной. В ряде работ по филогеографии европейских лесных видов немногочисленными выборками была представлена восточная часть ареалов дуба, ольхи и липы (Petit et al., 2002; Ekhvaia et al., 2018; Havrdova et al., 2015; Logan et al., 2018). Однако в большинстве исследований Русская равнина, Урал, Сибирь, Крым и Кавказ оставались не изученными, хотя разнообразие условий и отсутствие значительных ледниковых покровов во время последнего оледенения делают в это время вероятным выживание широколиственных пород в некоторых, особенно в горных, районах.

Мы представляем широкомасштабное исследование генетического разнообразия и структуры изменчивости европейских широколиственных видов деревьев в восточной части ареала, включая Русскую равнину, Урал, Балканский п-в и крымско-кавказский регион. В работе использовалась хлоропластная ДНК (хпДНК), которая имеет у покрытосеменных растений материнский тип наследования. При этом использовались секвенирование, рестриктный анализ и хлоропластные микросателлиты (cpSSR). Для видов дуба и ольхи также исследовалась изменчивость ядерных микросателлитных локусов (nSSR).

У дуба черешчатого (*Q. robur* L.) и родственных ему видов (*Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. pubescens* Willd.) структура изменчивости хлоропластной ДНК проанализирована в 107 популяционных выборках (1 600 образцов). На основе секвенирования пяти фрагментов хпДНК обнаружен 21 гаплотип, определено их взаимоотношение и географическое распространение. Изменчивость 18 ядерных микросателлитных локусов (Guichoux et al., 2011) изучена в 52 популяционных выборках дубов.

С помощью секвенирования и рестриктного анализа была исследована изменчивость пяти хлоропластных фрагментов в 76 популяциях липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и близких таксонов. Анализ изменчивости двух хлоропластных фрагментов в 49 популяциях вяза шершавого (*Ulmus glabra* Huds.) выявил 11 гаплотипов. У видов ольхи исследована изменчивость трех хпДНК фрагментов и восьми хлоропластных микросателлитных локусов. Всего было изучено 26 выборок ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Graeth.) и 10 выборок ольхи серой (*A. incana* (L.) Moench.). Для большинства популяций был проведен анализ изменчивости 19 nSSR локусов (для *A. glutinosa*) и 14 локусов (для *A. incana*), ранее применявшихся для исследования ольхи в Европе (Havrdova et al., 2015; Mandak et al., 2016).

Для всех исследованных таксонов определены взаимоотношения гаплотипов и их место в пластидной филогенетии родов. Построены филогенетические деревья и сети гаплотипов, с включением в анализ гаплотипов из других районов распространения и гаплотипов близкородственных видов. Установлена принадлежность гаплотипов, выявленных в восточной части ареала, к нескольким дивергентным филогенетическим линиям.

Географическое распределение гаплотипов показывает наличие генетической структуры как между исследованными регионами, так и внутри регионов для всех широколистенных древесных пород. В восточноевропейской части ареала выявлена резкая дифференциация популяций по составу хпДНК гаплотипов. Для всех видов наблюдалось снижение изменчивости на востоке ареала. На Русской равнине и Урале у дуба черешчатого и липы мелколистной было обнаружено по два преобладающих гаплотипа, эндемичных для данной области, которые при этом отсутствовали в более западных регионах, где разнообразие хпДНК было намного выше. Данная картина распределения изменчивости соответствует колонизации северо-востока ареала в результате послеледникового расселения как из европейских рефугиумов лесной растительности, так и из рефугиумов, располагавшихся непосредственно на востоке ареала (Семерикова и др., 2020, 2021). Анализ структуры изменчивости ядерных маркеров у дуба подтверждает дифференциацию восточно-европейских популяций дуба черешчатого в направлении с запада на восток.

В крымско-кавказском регионе, при выраженному увеличении генетического разнообразия, наблюдается значительная генетическая дифференциация и обособление от основного ареала популяций широколистенных видов. Для робуroidных дубов региона характерны хлоропластные гаплотипы, неродственные гаплотипам основной части ареала, что говорит об их исторически длительном изолированном существовании этих частей ареала. В то же время наличие общих и родственных гаплотипов демонстрирует тесные исторические связи крымско-кавказских популяций дуба и ольхи с Малой Азией и Балканами и, в случае липы и вяза, – с Восточной Азией.

Структура изменчивости между регионами по ядерным маркерам во многом соответствует дифференциации, полученной по хлоропластным маркерам. Согласно данным изменчивости nSSR маркеров, у дуба черешчатого наиболее выраженные различия наблюдаются между популяциями северной части ареала и кавказскими выборками. Сходная структура была показана для таксонов ольхи: подвид ольхи черной *Alnus glutinosa* ssp. *barbata*, характерный для Кавказа, отделился по данным nSSR от *A. glutinosa* ssp. *glutinosa* основного ареала. Одновременно наблюдалось значительная дифференциация популяций ольхи серой *A. incana* основного ареала и Кавказа.

На Северном Кавказе и в Крыму для исследуемых видов наблюдалось географическое разделение по составу хлоропластных гаплотипов в направлении с запада на восток, что свидетельствует о длительном существовании одновременно во многих областях, при частичной изоляции последних друг от друга. В крымско-кавказском регионе, кроме повышенного разнообразия и дифференциации популяций, наблюдается присутствие гаплотипов дивергентных филогенетических линий. Так, у таксонов *Tilia* на Кавказе было выявлено 14 гаплотипов из четырех дивергентных линий, и обнаружены уникальные, предковые для большинства евразийских видов лип гаплотипы, что свидетельствует о древнем проникновении липы в кавказский регион и сохранении там её популяций.

Показана уникальность популяций широколиственных пород в Крыму, выраженная в присутствии эндемичных гаплотипов и сниженном, по сравнению с Кавказом, разнообразии, а также значительной дифференциации от кавказских популяций по ядерным маркерам. В Крыму у ольхи и вяза отмечается по одному гаплотипу, которые не найдены за пределами полуострова, что может быть связано с прохождением популяций через «бутылочное горлышко». Крымский cpSSR-гаплотип ольхи был близок гаплотипам Кавказа, при этом анализ ядерных nSSR маркеров показал генетически промежуточное положение крымских популяций между Кавказом и Восточной Европой, что свидетельствует о гибридном происхождении популяций ольхи черной в Крыму. Промежуточный, переходный характер популяций широколиственных видов в Крыму подтвержден также для дуба по хлоропластным и ядерным маркерам. Присутствие эндемичных гаплотипов дуба в Крыму, сходных с гаплотипами Малой Азии, свидетельствует о давнем проникновении дуба на полуостров и о наличии рефугиума в горных лесных районах Крыма. При этом Восточный Крым и Западный Кавказ имеют общий гаплотип, что означает периодические миграции дуба между Крымом и Кавказом.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 22-24-00667, [https://rscf.ru/project/22-24-00667/»](https://rscf.ru/project/22-24-00667/).

Ключевые слова: широколиственные древесные породы, Восточная Европа, Кавказ, Крым, популяционно-генетическая структура, хлоропластная ДНК, ядерные микросателлиты, филогеография

Список источников

Семерикова С.А., Исаков И.Ю., Семериков В.Л. Изменчивость хлоропластной ДНК и филогеография дуба черешчатого *Quercus robur* L. в восточной части ареала // Генетика. – 2021. – Т. 57. – № 1. – С. 56–71.

Семерикова С.А., Исаков И.Ю., Семериков В.Л. Изменчивость хлоропластной ДНК отражает историю *Tilia cordata* s. l. в восточной части ареала // Генетика. – 2020. – Т. 56. – № 2. – С. 188–200.

Ekhvaia J., Simeone M. C., Silakadze N., Abdaladze O. Morphological diversity and phylogeography of the Georgian durmast oak (*Q. petraea* subsp *iberica*) and related Caucasian oak species in Georgia (South Caucasus) // Tree Genet. Genom. – 2018. V. 14. № 2.

Guichoux E., Lagache L., Wagner S., Léger P., Petit R.J. Two highly validated multiplexes (12-plex and 8-plex) for species delimitation and parentage analysis in oaks (*Quercus* spp.) // Molecular Ecology Resources. – 2011. – V. 11. – P. 578–585.

Havrdova A., Douda J., Krak K., Vit P. et al. Higher genetic diversity in recolonized areas than in refugia of *Alnus glutinosa* triggered by continent-wide lineage admixture // Mol Ecol. – 2015. – V. 24. – № 18. – P. 4759–4777.

Logan S.A., Chytry M., Wolff K. Genetic diversity and demographic history of the Siberian lime (*Tilia sibirica*) // Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. – 2018. – V. 33. – P. 9–17. doi:10.1016/j.ppees.2018.04.005

Mandak B., Havrdova A., Krak K., Hadincova V. [et al.]. Recent similarity in distribution ranges does not mean a similar postglacial history: a phylogeographical study of the boreal tree species *Alnus incana* based on microsatellite and chloroplast DNA variation // New Phytol. – 2016. – V. 210. – № 4. – P. 1395–1407.

Petit R.J., Csaikl U.M., Bordacs S. [et al.]. Chloroplast DNA variation in European white oaks – phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations // Forest Ecol. Management. – 2002. – V. 156. – № 1–3. – P. 5–26.

Результаты работ по генетическому контролю за оборотом репродуктивного материала лесных растений при воспроизводстве лесов на территории Российской Федерации

Слипец А.А.¹, Арефьева М.А.¹, Антонова Т.И.¹

¹ Федеральное бюджетное учреждение «Российский центр защиты леса»
(Пушкино, Россия) kosachevaaa@rcfh.ru, arefevama@rcfh.ru, antonovati@rcfh.ru

Подход, используемый нами в работе, состоит в том, что имеется возможность контролировать происхождение семян путем использования накопленной информации, содержащей генетические данные взрослых насаждений, происхождение которых достоверно известно, и сравнения этой информации с генетическими данными семян сомнительного происхождения. Для осуществления контроля за оборотом репродуктивного материала лесных растений были применены ядерные микросателлиты (nrSSR).

Ключевые слова: репродуктивный материал, микросателлиты, генетическое сходство.

Видовая идентификация фитопатогенных грибов в лесных питомниках Красноярского края и Республики Хакасия

Сухих Т.В.¹, Шеллер М.А.^{1,2}, Ибе А.А.¹

¹ Российский центр защиты леса, Центр защиты леса Красноярского края (Красноярск, Россия) suhihtv@rcfh.ru; shellerma@rcfh.ru; ibeaa@rcfh.ru

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (Красноярск, Россия) shellerma@rcfh.ru

Одной из основных проблем, связанных с выращиванием посадочного материала в лесных питомниках, является воздействие грибных инфекций на растения, часто приводящих к массовой гибели сеянцев и саженцев, что значительно снижает выход стандартного посадочного материала и отражается на эффективности и рентабельности ведения лесохозяйственного производства. В 2022 г. в рамках работ по оценке фитосанитарного состояния посадочного материала и

насаждений было проведено фитопатологическое обследование двух лесных питомников, расположенных в Красноярском крае и Республике Хакасия. Идентификация видового состава патогенных организмов проводилась современными методами молекулярно-генетической диагностики. Объектами исследования служили сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – это одна из основных пород, используемых в Сибири для целей лесовосстановления. В питомниках были отобраны 1–3-летние растения, имеющие признаки заболеваний (пятнистость, усыхание, побурение, пожелтение и т.п.). В ходе генетического анализа использовались универсальные праймеры ITS1 и ITS4, фланкирующие регион рДНК: 18SpPHK-BTC1-5,8S-pPHK-BTC2-28SpPHK (White et al., 1990). Секвенирование фрагментов ДНК было проведено на генетическом анализаторе ABI PRISM 310 (Applied Biosystems, США) по методике фирмы производителя. Полученные в результате секвенирования данные использовались для видовой идентификации грибов в базе NCBI.

По данным молекулярно-генетической диагностики, в лесном питомнике Красноярского края выявлены представители 3 видов патогенных и условно-патогенных грибов: *Rhizoctonia* sp., *Darkera* (= *Phoma*) *parca* H.S. Whitney, J. Reid & Pirozynski, *Sclerotinia nivalis* I. Saito. В питомнике на территории Республики Хакасии были обнаружены 5 фитопатогенов: *Lophodermium sediticosum* Minter, Staley & Millar, *Coleosporium senecionis* (Persoon) Fries, *Cladosporium cladosporioides* (Fresenius) de Vries, *Cladosporium herbarum* (Persoon) Link, *Ascochyta* sp. По частоте встречаемости доминировали такие фитопатогенные грибы, как *D. parca* и представители рода *Cladosporium*. Их удельное обилие составило 50% (Красноярский питомник) и 82% (Хакасский питомник) соответственно от всех идентифицированных микромицетов.

Проведенный ДНК-анализ лесных питомников показал, что данный метод является перспективным при проведении фитосанитарного мониторинга, а его применение с классическими методами микроскопии позволяет проводить на современном уровне комплексную диагностику фитопатогенных грибов в посадочном материале.

Ключевые слова: фитопатогенные грибы, лесные питомники, Республика Хакасия, ДНК-анализ.

Список источников

White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J., and White T.J. (eds.). PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. – San Diego : Acad. Press, 1990. – P. 315–322.

Лесное селекционное семеноводство в период «мобилизационной экономики»

Тараканов В. В.¹, Бородинцева Л. И.², Гончарова Т. В.³, Третьякова Р.А.⁴

¹Доктор сельскохозяйственных наук, ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, заведующий лабораторией; Новосибирский ГАУ, профессор (Новосибирск, Российская Федерация), tarh012@mail.ru

²Кандидат сельскохозяйственных наук, ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, старший научный сотрудник (Новосибирск, Российская Федерация)

³ Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Новосибирской области», заместитель начальника отдела; Новосибирский ГАУ, аспирант (Новосибирск, Российская Федерация), tato4ka0909@mail.ru

⁴ Новосибирский ГАУ, аспирант (Новосибирск, Российская Федерация) rtretyakova@yandex.ru

Лесное селекционное семеноводство – наукоёмкая отрасль лесного хозяйства, нацеленная на производство селекционно улучшенных семян с целью повышения продуктивности и качества лесов. Длительный онтогенез и позднее вступление в фазу половой репродукции лесообразующих пород существенно удлиняют сроки отбора генетически лучших вариантов и выведения сортов. В соответствии с нормативными документами, с учётом проблемы «ранней диагностики», только на выявление генетически лучших быстрорастущих потомств наиболее ценных хвойных пород (сосны, лиственницы, ели) в испытательных культурах плюс-деревьев необходимо не менее 50–60 лет (Указания, 2000). Альтернативой может стать выявление на ранних этапах онтогенеза перспективных генотипов, содержащих гены повышенной интенсивности роста, с помощью методов молекулярной генетики/геномики, а также их ускоренное клонирование методами культуры клеток и тканей. Однако эта дорогостоящая альтернатива упирается в ряд нерешённых проблем и до сих пор не реализована, несмотря на усиленное финансирование этого направления в ущерб «традиционному».

Тем не менее с учётом большого объёма селекционно-семеноводческих объектов, созданных в рамках программ по лесному семеноводству, а также необходимости развивать «биотехнологии будущего» эти направления следует продолжать в соответствии с имеющимся бюджетом, существенно перераспределив его в пользу традиционных схем и методов селекции. Вместе с тем, принимая во внимание особенности политической и экономической ситуации, следует задуматься и о других направлениях, которые могут дать существенную отдачу в более сжатые сроки и при более скромных вложениях. Они вполне «назрели». В качестве примера возьмём отбор сосны обыкновенной на скорость роста и перечислим основные факты и соображения, которые могут быть положены в основу «мобилизационного направления».

1. Принципиальная возможность более ранней диагностики лучших генотипов, чем было принято считать на начальном этапе развития селекции древес-

ных. Она подтверждена рядом экспериментов (Рогозин, 2016; Бондаренко, Жигунов, 2016; Тараканов и др., 2021), особенно в условиях обострённой конкуренции деревьев за свет и питание (Маслаков, 1984).

2. Применение «ступенчатого» отбора лучших/элитных деревьев по ходу онтогенеза потомства испытываемых плюс-деревьев. Если потенциальный период активного роста деревьев условно разделить на ранний и поздний отрезки, то можно выделить 3 типа онтогенеза, отличительными особенностями которых являются: (1) интенсивный рост на раннем отрезке; (2) интенсивный рост на позднем; (3) равномерный рост. Если отбор быстрорастущих особей проводить в несколько этапов (напр., в 10, 20 и 30 лет), то в 10–20-летнем возрасте будут отобраны лидирующие деревья 1 и 3 типов онтогенеза (будут исключены из испытаний деревья 2-го типа), а в 30-летний период из оставшихся деревьев будут отобраны как самые перспективные скорее всего только деревья 3-го типа, сохраняющие своё лидерство на всём протяжении онтогенеза. Лучшие деревья раннего этапа отбора могут быть использованы для ускоренного получения фитомассы, а позднего – для ускоренного получения деловой древесины.

3. Мировой опыт показывает, что селекционно-улучшенный посадочный материал хвойных пород рационально использовать для создания лесосырьевых плантаций, на которых получение деловых сортиментов возможно уже к возрасту 50-70 лет (Шутов и др., 2007). Важно, что такие плантации создаются на высоком агрофоне при оптимально сниженной густоте около 2 тыс. шт./га. Эти особенности предопределяют соответствующие изменения в методиках отбора плюс-деревьев и закладки испытательных культур. Отбор плюс-деревьев целесообразно осуществлять в лучших лесорастительных условиях в возрасте 40-60 лет, что исключит также отрицательное влияние «рубок на прииск», которые начинаются с 61 года. А создание испытательных культур целесообразно совмещать с закладкой лесосырьевых плантаций, то есть создавать их как часть лесосырьевых плантаций на наиболее выровненных по условиям участках площади. Это максимально сблизит лесорастительные условия испытаний с условиями выращивания селекционно-улучшенных лесов (уменьшит отрицательные последствия взаимодействий «генотип-среда»), а также существенно снизит затраты на закладку испытательных культур.

4. С учётом огромных площадей лесов и ограниченности кадров лесных селекционеров России к работе по селекционному облагораживанию лесов необходимо привлекать специалистов лесного хозяйства, вооружив их методами, которые близки по их методической простоте и эффективности методам народной селекции. К ним относятся метод «плантационно-обсеменительных культур» и популяционная селекция, в том числе на базе плюс-насаждений (Тараканов и др., 2001; 2014).

Комплекс рассмотренных методов позволит ускорить процесс получения селекционно улучшенных семян лесных пород в 1,5-2 раза.

В заключение отметим несколько организационных моментов.

Первый из них относится к разработке лесосеменного районирования. Основу для этого должны давать карты пространственной популяционной структуры видов. К сожалению, такого рода исследования после ухода из жизни выдающихся популяционных биологов (Н.В. Глотова, Л.Ф. Семерикова, А.И. Видякина) практически перестали осуществляться. Ошибочно полагать, что изучение особенностей внутривидовой изменчивости с применением селективно нейтральных генетических маркеров и анализ географических культур (особенно с учетом отсутствия в них своевременных рубок ухода) позволяют корректно решить эту проблему. (Информативности данных по изменчивости географических культур мы планируем посвятить отдельный доклад.) Нельзя не согласиться с С.Н. Горошкевичем (2008) в том, что самый простой и дешёвый рецепт в этой связи – использование для лесовосстановления семян исключительно из местных насаждений (ценопопуляций). Что касается учёта лесосеменных районов при создании объектов лесного семеноводства, то, по нашему мнению, необходимо руководствоваться значительно более обоснованным «старым» районированием 1982 г.

Второй важнейший момент заключается в необходимости сохранения старых и создания новых лесных генетико-селекционных объектов, без которых невозможна никакая селекция в принципе. Архивы клонов и испытательные культуры следует создавать только при наличии научных кураторов. Крайне важно восстановить все «традиционные» направления селекции и генетики в НИИЛГиС, в котором в доперестроочный период были созданы уникальные объекты генетико-селекционного комплекса наиболее ценных лесных пород.

Ключевые слова: лесная селекция, семеноводство, отбор.

Список источников

Бондаренко, А.С. Оптимизация численности растений в опытах по испытанию семенного потомства плюсовых деревьев ели европейской / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов // Лесоведение. – 2016. – № 3. – С. 187–194.

Горошкевич С.Н. Генофонд кедра сибирского: сохранение, исследование, резервация и использование для селекции сортов / С.Н. Горошкевич // Опыт создания и проблемы развития единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) в Сибири. – Новосибирск : филиал ФГУ "Российский центр защиты леса" ЦЗЛ Новосибирской области, 2008. – С.40-56.

Маслаков, Е.Л. Формирование сосновых молодняков / Е.Л. Маслаков. – М. : Лесная промстя, 1984. – 168 с.

Рогозин, М.В. Программа селекции хвойных в лесосеменном районе / М.В. Рогозин // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 5. – С. 99–106.

Тараканов, В.В. Плантационно-обсеменительные культуры – новый метод восстановления хвойных лесов на крупных гарях / В.В. Тараканов, Ю.Н. Ильичев, Н.Т. Бушков // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 104-109.

Тараканов В.В., Паленова М.М., Паркина О.В., Роговцев Р.В., Третьякова Р.А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 1. – С. 100–143. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.09.

Шутов И.В., Маркова И.А., Омельяненко А.Я., Постников М.В., Товкач Л.Н., Власов Р.В., Подшиваев Е.Е., Сергиенко В.Г. Плантационное лесоводство. – СПб : изд-во полит.ун-та, 2007. - 366 с.

Потенциал исследований географических культур хвойных пород в решении проблем популяционной биологии и лесного семеноводства

Тараканов В.В.¹, Роговцев Р.В.², Дубовик Д.С.³, Фахрутдинова В.В.⁴,
Гончарова Т.В.⁵, Рязанова Е.К.⁶

¹Доктор сельскохозяйственных наук, ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, заведующий лабораторией; Новосибирский ГАУ, профессор (Новосибирск, Российская Федерация), tarh012@mail.ru

²Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Новосибирской области», начальника отдела (Новосибирск, Российская Федерация), rvr79@mail.ru

³ Кандидат географических наук, ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, директор; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, доцент (Новосибирск, Российская Федерация), dubovik.nsk@gmail.com

⁴Кандидат биологических наук, ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, научный сотрудник (Новосибирск, Российская Федерация), u.simanko@gmail.com

⁵Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Новосибирской области», заместитель начальника отдела; Новосибирский ГАУ, аспирант (Новосибирск, Российская Федерация), tato4ka0909@mail.ru

⁶Новосибирский ГАУ, магистрант (Новосибирск, Российская Федерация), eva.ryazanova.99@mail.ru

При реализации самой крупной программы по созданию и изучению географических культур основных лесообразующих пород СССР (Изучение имеющихся и создание ..., 1972) её главным разработчиком и одним из основателей лесного семеноводства Е.П. Проказиным ставились 3 основных задачи: 1) изучение закономерностей географической изменчивости наследственных свойств; 2) отбор лучших климатипов (популяций); 3) разработка лесосеменного районирования лесообразующих пород. Эти ценнейшие объекты могут быть использованы также для других целей: оценки разнообразия норм реакции популяций (Rehfeldt et.al., 2002), изучения влияния генетических особенностей популяций на химический и микробиологический состав почв (Наумова и др., 2009) и др.

Однако использование данных по изменчивости лесообразующих пород в географических культурах имеет определённые ограничения. Первое из них состоит в том, что расстояния между родительскими насаждениями, использованными для сбора семян, как это выяснилось в ходе некоторых более поздних экспериментов (Семериков, 1986; Путенихин и др., 2004; Видякин, 2004; 2015), оказались намного больше размеров (протяжённости) ареалов популяций. Поэтому сопоставление таксационных показателей потомств материнских насаждений с климатическими и почвенно-гидрологическими особенностями произрастания может выявить лишь обобщённые/сглаженные зависимости между ними. На их основе теоретически возможен прогноз динамики наследственно обусловленных таксационных показателей древостоев в зависимости от физико-географических условий среды обитания, но не идентификация пространственных границ между разными популяциями (последний термин мы употребляем в понимании популя-

ционных генетиков; Тимофеев-Ресовский и др., 1973). Даже совпадение таксационных параметров потомств географически удалённых климатипов в испытательных культурах ещё не является доказательством их генетического сходства (принадлежности к одной популяции с общим генофондом). Попытки решить проблему с применением селективно нейтральных генетических маркеров дают заведомо «укрупнённый» размер популяций (напр., Санников и др., 2017), поскольку они отражают существенный перепад в частотах генов вследствие лишь генетико-автоматических процессов. Для решения этой задачи необходимы специальные исследования пространственной популяционной структуры в масштабе ареалов видов, которые необходимо осуществлять с учётом естественной истории их расселения, гетерогенности среды обитания, отражённой в различных схемах районирования (включая «Лесосеменное районирование ...», 1982), и с применением комплекса маркеров «популяционного уровня» (Глотов, 1983; Семериков, 1986; Видякин и др., 2015).

Значительное «маскирующее» влияние на результаты анализа изменчивости таксационных показателей географических культур оказывает также отсутствие или позднее проведение рубок ухода, необходимых для поддержания оптимальной густоты. Это предусматривалось методикой 1972 г., но не было осуществлено в большинстве опытов. Утверждение П.С. Погребняка (1968) о том, что «...максимальная продуктивность вначале принадлежит самой густой посадке, с увеличением возраста она переходит к всё более редким посадкам...», детализированное в «законе развития одноярусных древостоев» (Рогозин, Разин, 2015) было проверено нами на примере географических культур сосны в лесостепной зоне Западной Сибири.

В целом полученные данные подтверждают необходимость срочного проведения на опытной части делянок географических культур 1972 г. рубок ухода и свидетельствуют о целесообразности проведения комплексных исследований пространственной популяционной структуры лесообразующих пород для корректного решения задачи уточнения лесосеменного районирования 1982 г.

Авторы выражают глубокую признательность Министерству природных ресурсов и экологии Новосибирской области за помощь в проведении полевых исследований.

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, густота насаждений, климатипы.

Список источников

Вересин М.М., Ефимов Ю.П., Арефьев Ю.Ф. Справочник по лесному селекционному семеноводству. – М. : Агропромиздат, 1985. – 246 с.

Видякин А.И. Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке европейской части России : автореф. ... докт. биол. наук. 03.00.16 «Экология». – Екатеринбург, 2004. – 48 с.

Видякин А.И., Боронникова С.В., Нечаева Ю.С., Пришнивская Я.В., Бобошина И.В. Генетическая изменчивость, структура и дифференциация популяций сосны обыкновенной (*Pinus*

sylvestris l.) на северо-востоке Русской равнины по данным молекулярно-генетического анализа // Генетика. – 2015. – Т. 51. – № 12. – С. 1401-1409.

Глотов Н.В. Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки // Экология. – 1983. – № 1. – С. 3-10.

Изучение имеющихся и создание новых географических культур. – Пушкино : Госкомлес СССР, 1972. – 52 с.

Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. – М. : Лесн. пром-сть, 1982. – 368 с.

Наумова Н. Б., Макарикова Р. П., Тараканов В. В., Кузьмина Н. А., Новикова Т. Н., Милютин Л. И. Влияние климатипов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сибирский экологический журнал. – 2009. – № 2. – с. 287-292

Погребняк, П.С. Общее лесоводство. – М. : Колос, 1968. – 440 с.

Путенихин В.П., Фарукшина Г.Г., Шигапов З.Х. Лиственница Сукачева на Урале: изменчивость и популяционно-генетическая структура. – М.: Наука, 2004. 276 с.

Рогозин, М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы. Пермь : ПГНИУ, 2015. – 277 с.

Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С., Афонин А.Н., Чернодубов А.И., Егоров Е.В. Генетико-климатологические принципы семенного районирования сосновых лесов России // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 2. – С. 19-30.

Семериков Л.Ф. Популяционная структура древесных растений. – М. : Наука, 1986. – 140 с.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. – М. : Наука, 1973. – 277 с.

Rehfeldt, G. E., Tchekabakova, N. M., Milyutin, L. I. [et.al.]. Assessing population responses to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models. // Global change biology. – 2002. – (8) 912-929.

Оценка чувствительности радиального роста у потомств разных по самофERTильности деревьев сосны обыкновенной

Тихонова И.В.¹, Исаков И.Ю.², Исаков Ю.Н.³

¹Кандидат биологических наук, Западно-Сибирский филиал ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, ст. науч. сотрудник (Новосибирск, Российская Федерация), selection@ksc.krasn.ru

² Кандидат сельскохозяйственных наук, Воронежский государственный лесотехнический университет, доцент (Воронеж, Российская Федерация), labgen@vglta.vrn.ru

³ Доктор биологических наук, Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции, ведущий научный сотрудник (Воронеж, Российская Федерация), labgen@vglta.vrn.ru

Вот уже более 30 лет сотрудниками ВНИИЛГиСбиотех проводятся исследования разных аспектов роста и развития деревьев с разной степенью самофERTильности и их потомства (Исаков, Кузнецова, 1987; Исаков, Семериков, 1997; Кузнецова, 2003; Машкина и др., 2009). В связи с данными о большей устойчивости и большем участии в репродукции самофERTильных деревьев в неблагоприятные годы (Кузнецова, Исаков, 1996; Исаков, 1999; Машкина и др., 2009) большой интерес представляет оценка наследуемости (H^2) изменчивости радиальных приростов у вегетативного и семенного потомства отобранных деревьев (клонов, сибсов и полусибсов).

Данное исследование проведено в 30-летних испытательных культурах и на постоянных лесосеменных участках вегетативного и семенного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной, созданных В.В. Иевлевым и Ю.Н. Исаковым в 1979-1981 гг. в Рамонском участковом лесничестве Воронежского мехлесхоза. Получены достоверные коэффициенты корреляции между средними значениями и индексами радиальных приростов, коэффициентами вариации, коэффициентами чувствительности приростов материнских деревьев и их клонового потомства ($r=0.67-0.78$, $P<0.05$), только по средним значениям приростов – для семенного потомства от самоопыления ($r=0.95$, $P<0.05$), от контролируемого опыления смесью пыльцы ($r = -0.87$, $P<0.05$) соответственно. Таким образом, семенное потомство плюсовых деревьев от свободного опыления существенно отличается по реакции на изменение погодных условий от двух других вариантов размножения выборки плюсовых деревьев. Это в целом согласуется с выводами других исследователей (Видякин, 2007; Тараканов и др., 2001, 2019 Рогозин, 2013).

Ключевые слова: клоны, сибы, полусибы, чувствительность, приrostы

Структура изменчивости клонов сосны обыкновенной по водоудерживающей способности хвои

Тихонова Н.А.¹, Тихонова И.В.², Тараканов В.В.³

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН – ФИЦ КНЦ СО РАН), научный сотрудник (Красноярск, Российская Федерация), ntihonova@ksc.krasn.ru

²Кандидат биологических наук, Западно-Сибирский филиал ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, ст. науч. сотрудник (Новосибирск, Российская Федерация), selection@ksc.krasn.ru

³Доктор биологических наук, Западно-Сибирский филиал ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, зав. лабораторией (Новосибирск, Российская Федерация), tarh012@mail.ru

Среди хвойных видов сосна обыкновенная отличается наибольшей засухоустойчивостью, что обеспечивает большое ее значение для искусственного лесоразведения в южных районах страны с разной целевой направленностью (для защиты почвы от эрозии, территории от ветра, озеленения населенных пунктов, лесных плантаций и др.). Одним из способов экспресс-оценки засухоустойчивости растения является определение водоудерживающей способности листьев (ВУС). Структура изменчивости данного показателя изучалась с целью оценить пределы изменчивости внутри вида и перспективы селекции на засухоустойчивость и возможности прогноза устойчивости природных популяций и культур к повышению засушливости климата на его основе. Исследования включали: вегетативные потомства 15 плюсовых деревьев, отобранных в Приобском бору, по 5 шт. 37-летних рамет, по 20 хвоинок отдельно с побегов текущего и двух предшествующих годов роста (всего 225 образцов). Учтены и другие морфологические и генетические показатели деревьев. Установлено, что у большинства клонов водоудерживающая способность старой хвои снижается, у двух клонов она мало изменилась

по годам, у 8 клонов сокращение ВУС наблюдалось только в трехлетней хвое, 2 клона отличались высокой разнонаправленной изменчивостью признака по годам. Пределы значений отдельных образцов всей выборки составили 37-254 часа испарения 50% влаги ($CV=29\%$), пределы по текущему году роста хвои – 42-156 часов ($CV=20\%$), эндогенная изменчивость внутри рамет изменялась от 9 до 37%, между клонами - 19%. Получены достоверные межклоновые различия по величине ВУС хвои, доля влияния клонов составила 34% ($P<0.0001$).

Ключевые слова: засухоустойчивость, селекция, сосна обыкновенная

Современное состояние лесных культур сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в условиях лесостепной зоны европейской части Российской Федерации

Трегубов О. В.¹, Корчагин О. М.², Вариводина И. Н.³, Мизин Ю. А.⁴

¹Кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, зав. отделом биоразнообразия, рационального лесопользования и лесовыращивания (Воронеж, Российская Федерация), o.v.tregubov@mail.ru

²Кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ВРИО директора (Воронеж, Российская Федерация), om-korchagin@mail.ru

³Кандидат технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, зав. отделом лесной генетики и биотехнологии (Воронеж, Российская Федерация), varivodinna@rambler.ru

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, инженер отдела биоразнообразия, рационального лесопользования и лесовыращивания (Воронеж, Российская Федерация), y_mizin@mail.ru

В работе приведены результаты изучения приживаемости высаженного посадочного материала сосны обыкновенной с закрытой корневой системой (ЗКС) в различных лесорастительных условиях лесостепной зоны лесостепного района Российской Федерации, а также даны предложения в технологию создания лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС районов исследования. Исследования выполнены на основе теоретического анализа отечественной и зарубежной литературы, существующего практического опыта российских и зарубежных специалистов; структурного, функционального и системного анализа и сравнительного анализа полученных результатов. Результаты научных исследований могут быть использованы при совершенствовании работы по созданию лесных культур сосны обыкновенной с ЗКС в различных лесорастительных условиях лесостепной зоны лесостепного района Российской Федерации.

Ключевые слова: лесные культуры, технология создания лесных культур, тип лесорастительных условий, закрытая корневая система, состояние лесных культур, лимитирующие факторы.

Лесоразведение хвойных через биотехнологию соматического эмбриогенеза *in vitro*

Третьякова И.Н., Пак М. Э., Титаева Д.В., Фром А.П.

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, ведущий научный сотрудник (Красноярск, Россия) culture@ksc.krasn.ru

Программа Multi-Varietal Forestry MVF, основанная на применении биотехнологии соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro* является одним из перспективных направлений сортового плантационного лесоразведения. В институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск) разработана биотехнология соматического эмбриогенеза для сибирских видов хвойных: *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Pinus pumila*, *Picea obovata*. Пролиферирующие клеточные линии сохраняют жизнеспособность около года и могут быть криоконсервированы. Длительно пролиферирующие клеточные линии были получены у *Larix sibirica*. Возраст культур достигает 14 и более лет. Между клеточными линиями наблюдалась значительная изменчивость по числу и размеру глобулярных зародышей, способности соматических зародышей созревать и прорастать. У разных клеточных линий на 1 г ЭСМ число глобулярных соматических зародышей колеблется от 2 040 до 11 103, созревает от 10 до 1 220 зародышей. Регенеранты прорастают в ростовой камере, и сеянцы отдельных клеточных линий успешно растут в теплице и далее в почве лесопитомника. Генотипирование клонов по микросателлитным локусам показало полную их генетическую идентичность клеточной линии, из которой они были получены. У клонированных деревьев лиственница сибирской в 7-летнем возрасте произошла закладка генеративных органов. В настоящее время на клонах активно ведутся работы по контролируемому опылению.

Таким образом, соматический эмбриогенез является важной биотехнологией в размножении хвойных видов, в том числе для разработки и производства сортов деревьев с желательными селекционными признаками. Данная технология может быть успешно реализована в крупномасштабном коммерческом производстве. Наиболее важным преимуществом производства хвойных деревьев методом СЭ является то, что эмбриогенные клеточные линии могут быть криогенно сохранены в ювенильном состоянии неограниченно долго, что было невозможно при других методах размножения деревьев. Это позволяет проводить длительные полевые испытания и последующий отбор тестируемых сортов. Разработанная авторами проекта биотехнология соматического эмбриогенеза для *Larix sibirica* и получение ЭСМ, которая подвергается криоконсервации и из которой в любой момент можно получить проростки и затем саженцы, может быть применена с модификациями и для других видов хвойных. В настоящее время необходимо оперативное внедрение многосортового лесного хозяйства (MVF) для плантационного лесовыращивания в России.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-20008, <https://rscf.ru/project/22-14-20008/>, Красноярского краевого фонда науки и при частичной финансовой поддержке базового проекта ИЛ СО РАН «Функционально-динамическая индикация биоразнообразия лесов Сибири» № 0287-2021-0009.

Ключевые слова: соматический эмбриогенез, клонь, культуры *in vitro*, *Larix*

Биометрические показатели саженцев хвойных пород с разным типом корневой системы

Третьякова Р. А.¹, Паркина О. В.², Якубенко О. Е.³, Якубенко А.А.⁴

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», аспирант кафедры лесного хозяйства, (Новосибирск, Российская Федерация), rtretyakova@yandex.ru

²Кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», заведующая кафедрой лесного хозяйства (Новосибирск, Российская Федерация), Parkinaoksana@yandex.ru

³ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», старший преподаватель кафедры лесного хозяйства (Новосибирск, Российская Федерация), o.e.yakubenko@yandex.ru

⁴ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», магистрант кафедры лесного хозяйства (Новосибирск, Российская Федерация), yakubenkoalex@yandex.ru

Изучена вертикально-фракционная структура фитомассы посадочного материала хвойных пород на территории УПХ «Сад Мичуринцев» г. Новосибирска. Представлены биометрические измерения при разных технологиях выращивания. Выполнен сравнительный анализ развития корневой системы сосны кедровой сибирской и ели сибирской открытого и закрытого типа. Установлено, что условия произрастания оказывают влияние на формирование подземной и надземной части посадочного материала.

Ключевые слова: фитомасса, сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*), корневая система открытого типа, корневая система закрытого типа.

Полевой эксперимент как контроль надежности прогнозов в лесной селекции

Царев А.П.¹, Царева Р.П.², Царев В.А.³, Лаур Н.В.⁴.

¹ Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (Воронеж, Российская Федерация), antsa-55@yandex.ru, tsarais42@mail.ru, vad.tsareff@yandex.ru

² Кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ст. науч. сотр. (Воронеж, Российская Федерация), vad.tsareff@yandex.ru

³ Кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии; Воронежский государственный лесотехнический университет, доцент (Воронеж, Российская Федерация)

⁴ Доктор сельскохозяйственных наук, Петрозаводский государственный университет, доцент (Петрозаводск, Российская Федерация) e-mail: laur@petrsu.ru

Многие вопросы плюсовой селекции до сих пор остаются спорными. В частности, десятки лет идут дискуссии об эффективности ее результатов. Цифры приводятся самые разные от 40-50% до 1-5%, и даже 0%. Проблема обусловлена недостаточностью повторений, рандомизации, проведения необходимого количества и качества уходов, охраны и защиты насаждений и в целом соблюдения требований агротехники и рекомендаций методики полевого опыта. В соответствии с вышеизложенным цель данной работы состоит в анализе результатов некоторых реально созданных полевых опытных объектов тополя и в предложениях по их использованию. Изучено 3 секции настоящих тополей с раскидистой или полу-раскидистой кроной, произрастающих на популяции в Семилукском лесопитомнике Воронежской области: черные, включая евро-американские гибриды черных тополей, бальзамические и гибриды настоящих тополей. Полевые исследования позволили установить в каждой секции наиболее продуктивные растения к началу 4-го класса возраста (16 лет). Среди них в секции черных выделен сорт 'Регенерата'; в секции бальзамических – клон *Populus trichocarpa* Torr. et Gray, а в группе гибридов настоящих тополей – гибрид 'Э.с.-38' ('Воронежский Гигант'). Все эти генотипы могут быть рекомендованы для производства древесины, а мужской зимостойкий клон 'Э.с.-38' – в озеленение не только в зоне испытания, но и за ее пределами.

Ключевые слова: селекция, сортоиспытание, тополя, биометрические показатели, наиболее продуктивные клонны и гибридные лесостепи.

Воспроизведение дубрав для сохранения генофонда коренной дубовой формации лесостепной зоны Европейской России

Чеботарева В.В., Чеботарев П.А., Стороженко В.Г.

Институт лесоведения РАН

Проблема усыхания дуба черешчатого в ареалах его коренного произрастания в лесостепной зоне и следующая за ней проблема трансформации дубовых древостоев в смешанные лиственные леса выходит в число наиболее актуальных для лесного хозяйства многих областей лесостепи. Многолетние наблюдения за динамикой структурных изменений дубовых лесов, их состоянием, проводимые в Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН в Воронежской области, доказывают тот факт, что дуб не выдерживает конкуренции с сопутствующими широколиственными породами первой величины – ясенем, клёном остролистным, липой мелколистной и видами подчинённых ярусов – вязом гладким, клёном полевым, клёном татарским, лещиной. Одной из очевидных причин трансформации дубовых лесов в смешанные лиственные древостои является неоспоримый факт многовекового хозяйственного освоения дубовых лесов, методы и способы применения которых часто не отвечают биологии роста и возобновления дуба в коренных условиях его произрастания. Для получения ценной дубовой древесины в дубовых лесах хозяйственно необходимыми являются сплошные рубки, которые далеко не всегда проводятся в оптимальные сроки для плодоношения и естественного порослевого возобновления дуба от оставшихся после сплошных рубок спелых древостоев пней. При естественном ходе зараживания вырубок семенное возобновление дуба, если оно появляется, заглушается порослью сопутствующих пород, кустарниковой и травянистой растительностью. Таким образом, при естественном зараживании вырубок дуб в составе насаждений с каждой последующей генерацией уменьшает свое присутствие, и дубовые древостои трансформируются в лиственные без его участия. В этой связи важным для лесного хозяйства страны в целом является выработка более оптимальной стратегии ведения лесного хозяйства для сохранения присутствия дуба как основной эдификаторной породы в составе древостоев, поддержание генофонда дубовых лесов в районах его коренного произрастания.

В Институте лесоведения РАН, его филиале Теллермановском опытном лесничестве в Воронежской обл. проведены исследования по трем направлениям, обеспечивающим воспроизведение и сохранение генофонда дуба черешчатого в регионах его коренного произрастания в Европейской России.

Первое направление связано с наиболее ответственным и важным для сохранения генофонда дуба методом воспроизведения дубовых древостоев на площадях вырубок спелых и перестойных смешанных с дубом лиственных лесов.

Разработана и применена на практике система воспроизводства дуба, обеспечивающая гарантированное формирование высокопроизводительных дубовых древостоев. В основу предлагаемой системы интенсивного воспроизводства дуба заложена идея единого непрерывного цикла агротехнических и лесохозяйственных мер ухода без разделения их на осветление и прочистки до возраста смыкания дубового полога. При этом исключаются два вида рубок ухода – прореживание и проходные рубки, что значительно удешевляет весь цикл выращивания дубового древостоя. К 15-16 годам роста культур дуб смыкается в межурядьях, полностью занимает все корневое и световое пространство территории посадки, формируются молодняки до 10 единиц дуба в составе, в которых никакие сопутствующие породы не могут с ним конкурировать.

Система интенсивного ухода за лесными культурами дуба.

1. Культуры дуба создаются посевом желудей на глубину 5-8 см по 3-5 штук в лунку с количеством посадочных мест 4 тыс. шт. на 1 га площади и схемой посева $0,7 \times 3,5$ м.

2. Первый агротехнический уход проводится через две недели после посева желудей по краям плужных борозд с целью их очистки от поросли сопутствующих пород.

3. Сразу по окончании агроухода проводится сплошной уход в межурядьях.

4. В это же лето комплекс работ проводится еще дважды – в начале июля и в конце августа, состоящий из ручного агротехнического в рядах и механизированного лесоводственного уходов в межурядьях, с тем лишь отличием, что прополка производится на всю ширину распаханной борозды.

5. В последующие 3 года в течение вегетационного периода проводится по 3 агроухода в рядах и 3 механизированных ухода в межурядьях.

6. В следующие 4 года ручные агро- и механизированные уходы проводятся дважды в сезон вегетации: конец мая и начало августа.

7. Начиная с 9-го года посадки в первые три года механизированный уход в межурядьях проводится один раз в сезон, в последующие годы – через год.

Наряду с уходами в межурядьях, осуществляется оптимизация состава древостоя в рядах с уборкой сопутствующих пород, ослабленных и лишних экземпляров дуба. Экономический эффект с применением полного цикла предлагаемых интенсивных комплексных уходов в среднем составляет 1 587,1 тыс. руб., что более чем в 6 раз перекрывает расходы на создание лесных культур с применением полного объема традиционных рубок ухода.

Второе направление связано с изучением возможности использования желудей, собранных в условиях роста дуба пойменного и солонцового для посева их в условиях роста дуба нагорного. Таким образом делалась попытка решения проблемы длительной периодичности пауз между циклами плодоношениями дуба нагорного – 5-8 лет.

В дубовых древостоях трех основных для Теллермановского леса условий произрастания – высокоствольной нагорной, пойменной и солонцовой выделено 7 морфоформ желудей, различающихся по параметрам длины, ширины и форме нижнего и верхнего конца желудя. Вместе с тем коэффициент формы желудей дуба черешчатого не связан с формовым разнообразием желудей, полученных из разных условий произрастания дубовых древостоев. В эксперименте, в формате предварительного вывода, определена возможность посева желудей, собранных в пойменной дубраве, для создания дубовых насаждений в условиях произрастания дубравы нагорной. Лесовосстановление дубравы нагорной желудями, собранными в условиях дубравы солонцовой, не желательно из-за их слабой приживаемости и малых приростов в высоту сеянцев первого года посева.

Третье направление связано с определением ущерба, причиняемого искусственным посадкам дуба черешчатого копытными животными, а также их сохранности и качественному состоянию. В России проблема зоогенного влияния на воспроизводство дуба в зоне его коренного произрастания особенно обострилась после принятия Лесного кодекса РФ 2006 г., в ч.4 ст.1 которого сказано об "...обеспечении многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребности общества в лесах и лесных ресурсах", что на практике используется как возможность совместного использования лесных площадей под хозяйственную деятельность для разных целей, зачастую взаимно исключающих друг друга, в том числе для ведения охотничьего хозяйства с целевой задачей максимального увеличения поголовья диких животных, приоритетной пищевой базой которых являются именно молодые посадки дуба. В 2018 г. Департаментом природных ресурсов и экологии Воронежской области на основании протокола №1/2018 от 13.04.2018 было подписано охотхозяйственное соглашение о пользовании охотничьими ресурсами общей площадью 7216 га, в том числе на всей территории Теллермановского опытного лесничества в кварталах с 1 по 71 на срок 49 лет – до 2067 г. По данным департамента, на момент подписания соглашения в границах охотничьего угодья обитали копытные животные: лось – 0,28 шт./тыс. га; косуля европейская 0,97 шт./тыс. га; кабан – 0,28 шт./тыс. га. В охотхозяйственном соглашении прописаны максимальные требования к размещению животных, к которым стремится охотхозяйство: лось – до 17,46 шт./тыс. га; олень благородный – до 135,5 шт./тыс. га; косуля европейская – до 339,6 шт./тыс. га; кабан – до 67,7 шт./тыс. га. Это убийственные цифры для уникального лесного массива не только опытного Теллермановского лесничества ИЛАН РАН, но и для всех лесных массивов коренного произрастания дуба черешчатого, в которых совместно ведутся работы по лесовосстановлению и пользованию охотничьими ресурсами! (табл. 1)

В перспективе ущерб, причиняемый копытными, будет только увеличиваться.

В результате повреждений копытными участков лесных культур, созданных на вырубках спелых древостоев, формируются насаждения низкого качества:

комлевые части деревьев повреждены и имеют низкую товарность, за счет объединения центрального верхушечного побега формируются многовершинные стволы, что исключает возможность получения деловой древесины, которая не отвечает главным задачам лесовосстановления – улучшение породного состава, сохранение доминирующей роли дуба, увеличение запаса товарной высококачественной древесины.

Таблица 1. Средние значения повреждений стволов и крон деревьев в дубовых культурах разного возраста

Возраст лесных культур, лет	Количество деревьев с погрызами стволов, % от общего по годам учета			Количество деревьев с объединением крон, % от общего по годам учета		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
1-7 лет	1.6	1.9	2.6	72.9	76.6	84.4
9-11 лет	21.5	37.6	48.8	95.8	95.8	95.8
Всего: от 1 до 11 лет	11.5	19.8	25.7	84.4	86.2	90.1

В условиях коренного произрастания дуба черешчатого совмещение на одной лесной территории лесовосстановительных мероприятий и разведение копытных исключает успешность мероприятий по воспроизводству дуба естественным семенным, искусственным и естественным порослевым путем и является неприемлемым из-за диаметрально противоположных задач, стоящих перед разными лесопользователями. Целью ведения лесного хозяйства в дубраве является выращивание высококачественной древесины при условии сохранения сбалансированного биоразнообразия консортов биогеоценоза и сохранения генофонда коренной породы. Цель ведения охотхозяйства – увеличение численности промысловых животных, для которых дубовые молодняки являются оптимальной кормовой базой.

Решение проблемы состоит в регулировании численности на минимально возможных уровнях поголовья копытных и отмены описанного выше положения Лесного Кодекса РФ в регионах коренного произрастания дуба черешчатого.

Ключевые слова: дуб черешчатый. сохранение генофонда, повреждения насаждений, копытные.

Современное состояние и перспективы лесной селекции в Казахстане

Чеботко Н. К.¹, Крекова Я. А.², Ефименкова М. А.³

¹Кандидат сельскохозяйственных наук, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, ведущий научный сотрудник (Щучинск, Казахстан), chebotkon@mail.ru

²Кандидат сельскохозяйственных наук, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, заведующая отделом селекции (Щучинск, Казахстан), yana24.ru@mail.ru

³Заместитель директора РГКП «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр (Щучинск, Казахстан), marinaefimenkova@mail.ru

Главная цель лесной селекции — повышение продуктивности лесных древесных пород, выращивание устойчивых насаждений, обладающих высоким качеством древесины. Другими словами — обеспечить работы по воспроизводству лесов семенами с улучшенными наследственными свойствами. Использование семян с улучшенными наследственными свойствами для лесовосстановления повышает продуктивность и качество лесов на 10-15%. Доля улучшенных семян в общем объеме семенозаготовок в России многие годы остается на уровне 5%. В Западной Европе этот показатель составляет около 20%. В Скандинавских странах (Финляндии и Швеции) лесовосстановительные работы обеспечены семенами с улучшенными наследственными свойствами почти на 90% [1]. Лесной селекции в этих странах уделяется большое внимание, и, в результате, несмотря на высокую себестоимость, селекционный посадочный материал пользуется устойчивым спросом. Для сравнения: стоимость 1 кг семян хвойных пород категории селекционно-улучшенные в Скандинавских странах составляет \$1,5-2 тыс., в России — от 3 до 6 тыс. руб.

Первоначальным и осознанно необходимым этапом всех селекционных работ является создание объектов постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ). В Казахстане отобраны и созданы объекты селекционно-семеноводческого (ССО) и селекционно-генетического (СГО) назначения. В ССО входят лесосеменные плантации (ЛСП), постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ), плюсовые насаждения (ПН), временные лесосеменные участки (ВЛСУ). В СГО включены лесные генетические резерваты, плюсовые деревья, архивы клонов плюсовых деревьев, испытательные культуры, географические культуры. Все вышеперечисленные объекты, которые подлежат особому учету и охране, на территории Казахстана имеются.

Эффективность лесного семеноводства в республике находится на крайне низком уровне. При воспроизводстве лесов только в небольшом количестве (2-3%) общего объема заготавливаемых семян используются улучшенные семена основных лесообразующих пород, заготавливаемых на объектах ПЛСБ. Развитие лесного семеноводства в Казахстане в перспективе должно быть полностью обеспечено улучшенными и сортовыми семенами основных лесообразующих пород. Для этой цели и создается ПЛСБ. Однако в настоящее время при недостатке таких семян в Лесном кодексе РК определено: глава 13, статья 80. Лесное семеноводство «...1. Заготовка лесных семян осуществляется на объектах ПЛСБ, а в случае их недостатка допускается заготовка в нормальных насаждениях. 2. Заготовка лесных семян в минусовых насаждениях и с минусовых деревьев запрещается» [2].

В Казахстане все научные исследования по лесной селекции связаны с Казахским НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана (далее КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана). За 60-летний период существования лаборатории селекции были выполнены работы по отбору и испытанию плюсовых деревьев, географических культур, популяций основных лесообразующих пород. Накоплен практический опыт в создании объектов селекционно-генетического и

селекционно-семеноводческого назначения. До 1991 г. все объекты ПЛСБ находились в ведении КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана, а после образования в мае 1991 г. РГКП «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр» (название в настоящее время) все объекты были переданы ему.

По результатам обследования объектов селекционно-семеноводческих назначения на 01.01.2022, по данным РГКП «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр» (далее РЛССЦ) [3], установлено, что ЛСП заложены из четырех основных лесообразующих видов – общей площадью 47,9 га (табл. 1).

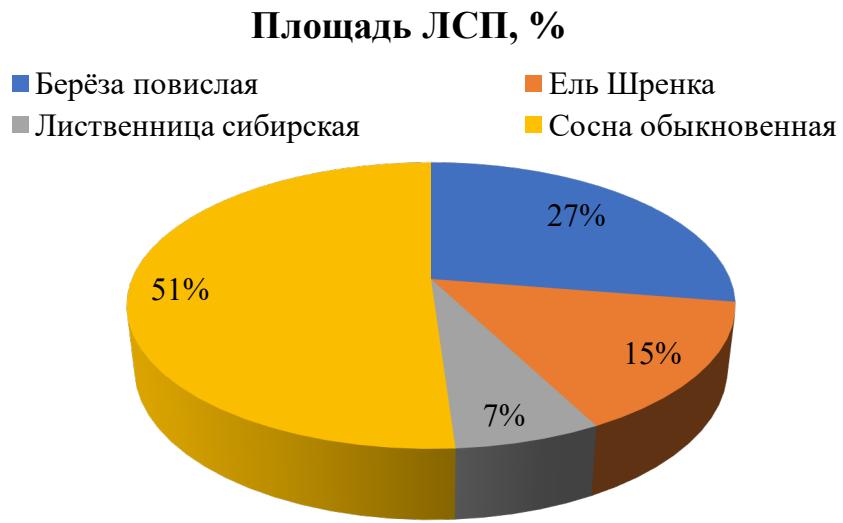
Таблица 1. Объекты селекционно-семеноводческого назначения по основным лесообразующим породам Республики Казахстан по состоянию на 01.01.2022

Порода	ЛСП, га	ПЛСУ, га	Плюсовые насаждения, га
Всего по Республике Казахстан в том числе по породам:	47,9	3 515,05	2 269,9
Абрикос обыкновенный	-	20,6	-
Арча	-	2,0	-
Берёза повислая	13,2	103,8	68,0
Дуб черешчатый	-	42,2	-
Ель обыкновенная	-	1,0	-
Ель сибирская	-	40,2	-
Ель Шренка	7,09	175,2	185,0
Лиственница сибирская	3,15	75,95	99,9
Саксаул чёрный	-	2 470,0	1224,0
Сосна кедровая сибирская	-	-	85,0
Сосна обыкновенная	24,46	583,1	608,0
Яблоня Сиверса	-	1,0	-

Из этой площади 51,1% составляют ЛСП сосны обыкновенной (рис. 1), которые созданы привитым посадочным материалом в Акмолинской области, из них 15 га находятся в филиале Северного региона «РЛССЦ», 5 га в коммунальном государственном учреждении лесного хозяйства (далее КГУЛХ) «Маралдинское», 4,46 га в РГП «Жасыл Аймак». Второе место по занимаемой площади принадлежат ЛСП березы повислой – 13,2 га (27,6% заложенных ЛСП), из них 6,0 га в филиале Северного региона «РЛССЦ» и 7,2 га в РГП «Жасыл Аймак». ЛСП лиственницы сибирской занимает площадь 3,15 га в РГП «Жасыл Аймак». ЛСП ели Шренка созданы на площади 7,09 га в филиале Юго-восточного региона РГКП «РЛССЦ» в Алматинской области. Семена с аттестованных плантаций имеют селекционную категорию «улучшенные».

ПЛСУ основных лесообразующих пород созданы на площади 3 537,8 га, большую часть из которых занимает саксаул черный – 2 470,0 га, что составляет 69,8% площадей ПЛСУ. ПЛСУ саксаула черного сосредоточены в 4-х областях республики: Алматинской, Жамбылской, Кызылординской и Туркестанской. Заложено ПЛСУ саксаула черного – 30,7 и 32,8% в Алматинской и Жамбылской

областях соответственно. Чуть меньше – 27,0% в Кызылординской и 9,5% - Туркестанской областях. Увеличилась площадь ПЛСУ саксаула черного на 115,1 га за счет отведенных новых ПЛСУ в Жамбылской области – Коскудукском КГУ по охране лесов и животного мир (на 407 га), но уменьшились площади ПЛСУ в Алматинской области на 226 га и Кызылординской на 65,9 га из-за их списания вследствие несоответствия требованиям ОСТа 56-35-78.



Распределение площадей ЛСП основных лесообразующих пород

Анализ инвентаризации ЛСП в 2022 г. по сравнению с 2019 г. показал увеличение площадей бересы повислой на 7,2 га, сосны обыкновенной – на 4,46 га и лиственницы сибирской – на 3,15 га. Новые ЛСП указанных пород были заложены в РГП «Жасыл Аймак» Акмолинской области.

На втором месте по занимаемой площади ПЛСУ находится сосна обыкновенная – 583,1 га. Из них 41,9% сосредоточены в Акмолинской области, 23,8% - Костанайской, 16,7% - Карагандинской, 15,8% - Северо-Казахстанской, 1,8% - Западно-Казахстанской областях. Общая площадь созданных ПЛСУ сосны обыкновенной по сравнению с 2019 г. увеличилась на 73,8 га. Эти изменения произошли из-за того, что в Костанайской области в КГУ «Басаманское УЛХ» были отведены новые ПЛСУ сосны на площади 112,8 га, а в Карагандинской было списано 39,0 га из-за несоответствия ОСТ 56-35-78.

ПЛСУ ели Шренка расположены на площади 175,2 га в Алматинской области, из этой площади 61,4% сосредоточены в двух филиалах: Медеуском и Талгарском РГУ «Иле-Алатауский ГНПП», 15,8% - в РГУ «Көлсай көлдері ГНПП», остальные 22,8% ПЛСУ находятся в 4 КГУ ЛХ – Жалагашском, Кегенском, Талдыкорганском и Уйгурском Кызылординской области.

ПЛСУ бересы повислой отведены на площади 103,8 га, большая часть которых расположена в Акмолинской (86,7% занимаемой площади), Костанайской (10,1%) и 3,6% в Северо-Казахстанской областях. ПЛСУ лиственницы сибирской находятся в Акмолинской области – 65,95 га, Восточно-Казахстанской – 10 га.

ПЛСУ дуба черешчатого выделены в Западно-Казахстанской области в двух ГУ по охране лесов и животного мира – Бурлинском (10,4 га) и Январцевском (31,8 га). ПЛСУ ели сибирской заложены в Восточно-Казахстанской области в КГУ «Риддерское УЛХ».

Плюсовые, высокобонитетные насаждения в 2022 г. произрастают на общей площади 2 269,9 га. Большие площади (1 224 га) под плюсовые насаждения саксаула черного отведены в 4 южных областях республики, из которых: в Жамбылской – 484 га (39,5%) от всей площади, Кызылординской – 200 га (16,4%); 240 га – Алматинской (19,6%) и Туркестанской – 300 га (24,5%). Плюсовые насаждения сосны обыкновенной выделены на площади 608,0 га в 5 областях республики. Больше всего выделено плюсовых насаждений сосны обыкновенной на севере Казахстана в Акмолинской области – 237,2 га, Костанайской – 157,5 га, ВКО – 122,1 га, Павлодарской – 53,4 га и Карагандинской области – 37,8 га. По ели Шренка плюсовые насаждения расположены в Алматинской области на площади 185,0 га. Плюсовые насаждения лиственницы сибирской и сосны кедровой сибирской отведены в ВКО на площадях 99,9 и 85,0 га соответственно. По березе повислой под требования «плюсовые насаждения» подошли площади (51,0 га) в Павлодарской и (17,0 га) в Северо-Казахстанской областях.

Созданы объекты СГО назначения, наибольшие площади из которых занимают лесные генетические резерваты (далее ЛГР) – 59 564,7 га по 14 породам (табл. 2).

Самые крупные из них (по саксаулу черному) находятся в 3 ГУЛХ – Жалалгашском, Кызылординском и Шиелийском Кызылординской области, 2 ГУЛХ Туркестанской, 3 ГУЛХ Алматинской областях. ЛГР саксаула белого отведены на площади 3 000 га в КГУ «Жанакоргансое ГУ по охране лесов и животного мира в Кызылординской области. По сосне обыкновенной выделены 4 генетические резервата в ВКО, 3 – Акмолинской и 2 в Павлодарской областях. Ели Шренка отведены 4 участка ЛГР в Алматинской области. ЛГР лиственницы сибирской, сосны кедровой сибирской и пихты сибирской расположены в ВКО. ЛГР турнанги (2 участка) и тугаев (3 участка) находятся в Алматинской области.

Отбор плюсовых деревьев в области ведется с 1963 г. Отобрано 1 210 плюсовых деревьев, по породному составу – береза повислая, ель Шренка, ель сибирская, лиственница сибирская, саксаул черный, сосна обыкновенная, сосна кедровая сибирская, яблоня Сиверса. Закладка архивов клонов плюсовых деревьев целенаправленно проводилась в 1984-1990 гг. по сосне обыкновенной и березе повислой на территории лесного фонда в филиале Северного региона «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр». Созданы испытательные культуры плюсовых деревьев, популяций и гибридов сосны обыкновенной и березы повислой (по березе отсутствуют культуры популяций). Созданы географические культуры березы повислой, лиственницы сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной.

Таблица 2. Объекты селекционно-генетического назначения по Республике Казахстан на 01.01.2022

Порода	Плюсо-вые деревья, шт.	Лесные генети-ческие резер-ваты, га	Геогра-фиче-сие куль-туры, га	Архивы клонов плюсовых деревьев, га	Испыта-тельные культуры популя-ций, га	Испыта-тельные культуры плюсовых деревьев, га	Испыта-тельные культуры гибридов, га
Всего селекционно-ге-нетических объектов по РК	1 210	59 564,7	41,7	8,37	12,4	18,7	7,2
в том числе по породам:							
Абрикос обыкновенный	-	168,0	-	-	-	-	-
Берёза повислая	52	2 177,0	0,9	1,3	-	3,4	2,2
Ель Шренка	157	1 372,0	-	-	-	-	-
Ель сибирская	30	270,0	-	-	-	-	-
Лиственница сибирская	73	843,1	15,1	-	-	-	-
Осина	-	151,5	-	-	-	-	-
Пихта Сибирская	-	1 653,3	4,0	-	-	-	-
Саксаул белый	-	3 000,0	-	-	-	-	-
Саксаул чёрный	284	35 985,0	-	-	-	-	-
Сосна обыкновенная	542	11 626,0	21,7	7,07	12,4	15,3	5,0
Сосна кедровая	50	752,9	-	-	-	-	-
Тугайные леса	-	325,0	-	-	-	-	-
Туранга	-	833,9	-	-	-	-	-
Яблоня Сиверса	22	407,0	-	-	-	-	-

Генетические ресурсы основных лесообразующих пород Казахстана имеют особое значение для селекции и генетики в связи с тем, что произрастают в экстремальных условиях на южной границе их ареалов и характеризуются высокой внутривидовой изменчивостью многих признаков.

Наиболее полные исследования проводятся по сосне обыкновенной. С момента создания опытных объектов по сосне и в течение более 30-летнего испытания её клонового и семенного потомства получены определенные результаты – выделены перспективные клоны и полусибы, получены сорта-клоны на основании фенотипической оценки их продуктивности и устойчивости. Установлено неоднозначное проявление генотипической изменчивости признаков в онтогенезе и выявлены условия (возрастные периоды, погодные условия года, циклические флюктуации климата, агрофоны), благоприятные для их проявления. В настоящее время проводится сбор материала для паспортизации клонового и полусибсового потомства сосны обыкновенной, генотипирования деревьев по микросателитным локусам ядерной ДНК.

Ключевые слова: объекты ПЛСБ, Казахстан, лесообразующая порода, состояние, лесная селекция.

Список источников

- 1 Кобельков, М.Е. Лесное семеноводство на пороге перемен // Лесная Россия. – 2008. – № 9. – С. 4-8.
- 2 Лесной кодекс Республики Казахстан от 08.07.2003 N 477-II.
- 3 Наличие и состояние селекционно-семеноводческих объектов по РК по состоянию на 01.01.2022 (сведения представлены РГКП «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр»).

Результаты 40-летних географических культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для уточнения региональных проблем лесного семеноводства в Архангельской области

Чупров А.В.¹, Наквасина Е.Н.²

¹ Заместитель начальника отдела использования лесов управления лесного хозяйства Минлеспрома АО; аспирант, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация), alexchuprov@mail.ru

²Доктор сельскохозяйственных наук, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация), e.nakvasina@narfu.ru

Северные районы Архангельской области, республик Карелия и Коми, Мурманская область регулярно испытывают недостаток семян лесных растений. Урожай и качественные характеристики семенного материала на северных территориях определяются географическим положением популяций, а также биологическими особенностями сосны. Из всего комплекса условий среди территорий Крайнего Севера генеративный цикл сосны наиболее отзывчив к тепловому режиму. Его влияние сказывается на повторяемости урожайных годов сосны. Промежутки между семенными годами сосны на Севере могут достигать от 10 до 20 лет [7].

Помимо этого актуален вопрос и посевных качеств заготовляемых семян. Так, отмечалось, что порядка половины заготовленного семенного материала, полученного в Мурманской области, было нестандартным [11]. Схожие данные получены и в Архангельской области [1, 7].

В целях восполнения дефицита местного семенного материала на законодательном уровне предусмотрено использование семян лесных растений, заготовленных в границах лесосеменного района, при отсутствии местных [8]. Действующее ранее Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород СССР [9] существенно ограничивало предельные расстояния перемещения семян между регионами страны. Основной частью лесосеменного районирования служил лесосеменной район (в пределах ареала вида), в отдельных случаях разделенный на подрайоны.

Для сосны на территории Архангельской области были выделены Двинско-Мезенский и Верхне-Двинский лесосеменные районы. За границу деления территории области по лесосеменным районам принималась координата 63° северной

широты. В регионе допускалась поставка семян сосны из Карелии, Республики Коми, Вологодской, Ленинградской и Костромских и других областей.

Современное лесосеменное районирование, утвержденное приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 08.10.2015 № 353 «Об установлении лесосеменного районирования» [11] значительно расширило пути трансфера семян, применяемых в лесовосстановлении. Муниципальные районы Архангельской области отнесены к первому лесосеменному району. Кроме того, к первому лесосеменному району отнесены территории Вологодской, Мурманской, Кировской областей и Пермского края. Однако, несмотря на введение в действие современного лесосеменного районирования, стоит отметить, что оно нуждается в доработке с целью сужения границ лесосеменного района для отдельных территорий. Это подтверждается результатами географических культур.

В Архангельской области первые географические культуры сосны были созданы в 1959 и 1963 г. П.И. Войчалем. Опытные объекты периодически обследовались [2], однако, *несмотря на удовлетворительные результаты роста в первые годы жизни, были утрачены по разным причинам*. В 1973 г. приказом «О создании государственной сети географических культур основных лесообразующих пород и уточнении лесосеменного районирования» заложены объекты в 111 пунктах испытания на площади 1 236 га [13], в том числе и в Архангельской области. В настоящее время единственным сохранившимся объектом, который достиг возраста 40 лет, являются географические культуры сосны, расположенные в Плесецком лесничестве.

Стабилизация роста и развития хвойных древесных пород к концу 2 класса возраста, составляющего половину оборота их рубки для региона, позволяет произвести оценку по отбору лучших потомств для лесовосстановления, а также проследить проявление закономерностей их роста и развития. Учитывая возможность изменения наследственных закономерностей с возрастом, считается, что проводить достоверную оценку воспроизводимых пород, в том числе и сосны обыкновенной, лучше не ранее 25 лет (Кузьмина, 2017), что соответствует ранее установленным критериям (Ефимов, 1997) – 1/3 возраста рубки, принятого для региона.

Изучаемые географические культуры сосны заложены в квартале 21 Пуксинского лесничества Плесецкого лесхоза (Пуксинское участковое лесничество Плесецкого лесничества) в 1977–1978 гг. Посадочным материалом для создания объекта исследования служили 2-летние сеянцы сосны, которые выращивались в питомнике лесхоза. Всего при создании объекта исследования было высажено 28 вариантов потомств различных происхождений.

Основой для изучения географических культур служила методика изучения географической вариативности основных лесообразующих пород, разработанная ВНИИЛМ и утвержденная Проблемным советом по лесной генетике, селекции и семеноводству [5].

На учетных рядах определили количество выживших растений от первоначально высаженных и рассчитали показатель приживаемости согласно ГОСТ [3]. Для выявления закономерностей выживаемости потомств в I–II классах возраста использовали данные из паспорта географических культур.

Для отбора перспективных климатипов использовали принцип выражения запаса, как комплексного показателя, в единицах стандартного отклонения (Shutyayev, Giertych, 1997; Matras, 2009). Все испытываемые климатипы по продуктивности (запасу древесины в коре на корню) разделили на четыре группы: I – (ниже -0,5); группа II – (-0,5 – 0); группа III – (0- +0,5); группа IV – (выше +0,5), что применялось нами ранее для оценки происхождений ели [14–16].

Потомство северо- и среднетаежных климатипов в I классе возраста культур отличалось высокой приживаемостью, активный процесс дифференциации начался после 30 лет (рис. 1). Снижение обусловлено отпадом деревьев IV–V классов Крафта. Однако, несмотря на уменьшение показателя, группа северотаежных климатипов по-прежнему занимает лидирующее положение по приживаемости.

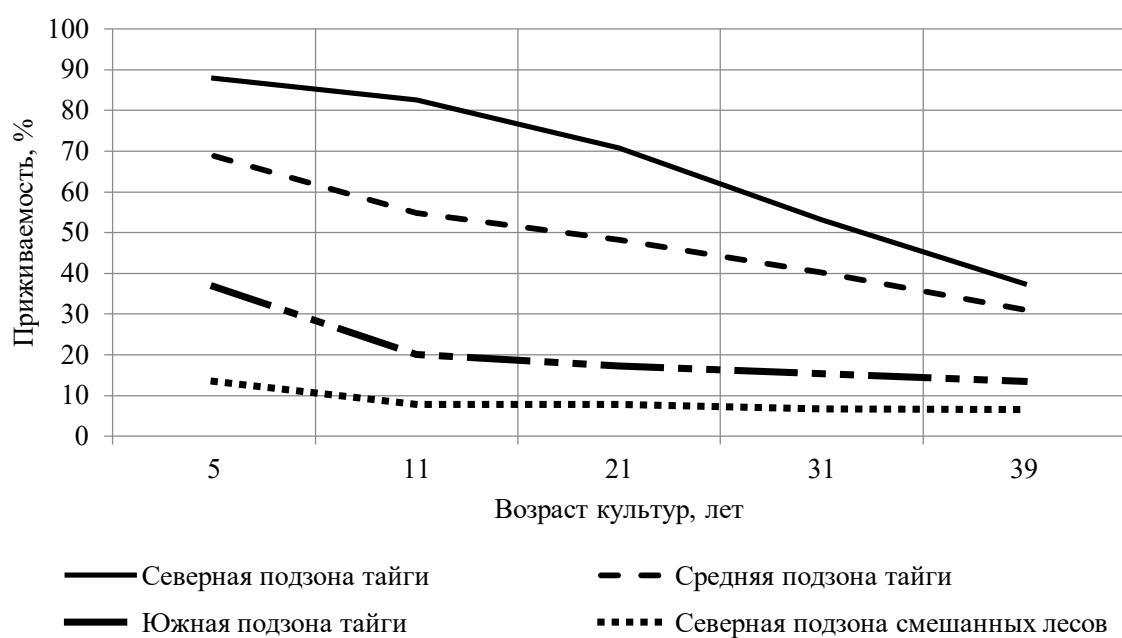


Рисунок 1. Динамика приживаемости сосны обыкновенной из различных лесорастительных подзон в географических культурах Архангельской области

Данные по продуктивности (запасу на 1 га), полученные с помощью стандартного отклонения (рис. 2), как комплексного показателя, свидетельствуют, что лучшими по запасу древесины в единицах стандартного отклонения (III–IV группы) являются северотаежный пинежский (№ 3), среднетаежный вологодский (№ 9), карельские (№ 14, № 15, № 16, № 17) климатипы, а также местный плесецкий климатип (№ 4). Исходные насаждения этих потомств входят в ареал, ограниченный 60–65° с.ш., 36–44° в.д.

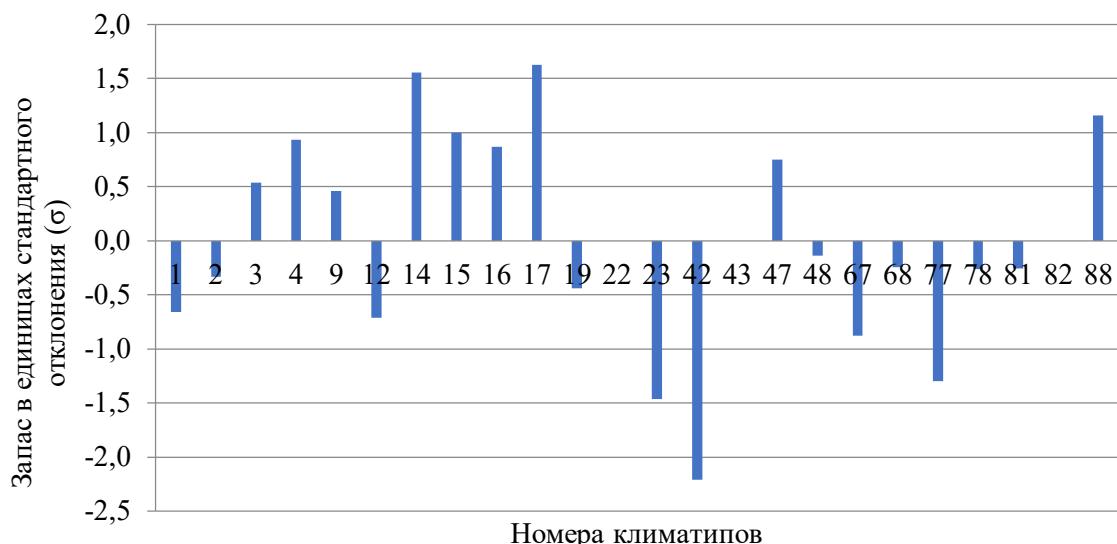


Рисунок 2. Запас древесины в единицах стандартного отклонения (σ) климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области:

1 – Мурманская; 2 – Мурманская; 3 – Архангельская; 4 – Архангельская; 9 – Вологодская; 12 – Карелия; 14 – Карелия; 15 – Карелия; 16 – Карелия; 17 – Карелия; 19 – Ленинградская; 22 – Псковская; 23 – Новгородская; 42 – Калининская; 43 – Московская; 47 – Костромская; 48 – Костромская; 67 – Кировская; 68 – Кировская; 77 – Свердловская; 78 – Свердловская; 81 – Тюменская; 82 – Тюменская; 88 – Томская

На основании полученных данных, можно дать следующие рекомендации по уточнению дальности переброски семян в пределах действующего лесосеменного районирования для Архангельской области.

Для условий Архангельской области следует ограничить использование семян сосны из Мурманской области и Карелии, расположенных севернее 66 параллели, несмотря на то что эти регионы входят в лесосеменной район. Отбирая поставки семян в участковые лесничества Архангельской области в северо-западном направлении к югу, следует ограничиться дальностью перемещения не более 200 км.

По направлению с юга на север допустимое расстояние ввоза семян сосны составляет до 400 км в пределах допустимого по Приказу № 353 лесосеменного района № 1.

В меридиональном направлении перемещение семян в Архангельскую область допускается в пределах $30^0 \dots 43^0$, то есть допустимым расстоянием является от 300 до 1000 км от места конкретного использования семян в пределах лесосеменного района.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесосеменное районирование, географические культуры, оценка продуктивности

Список источников

1. Бедрицкая Т.В. Повышение эффективности культур сосны на Крайнем Севере приемами лесного семеноводства : ввтореф. дисс. ... к. с-х. наук. – М., 1995. – 20 с.
2. Войчаль П.И. О географической изменчивости сосны обыкновенной в пределах Архангельской области // Проблемы повышения продуктивности лесов и перехода на непрерывное ра-

циональное природопользование в свете решений XXVI съезда КПСС : тезисы докладов на все-союзной научно-практической конференции (22-23 ноября 1983, Архангельск). – Архангельск, 1983. – С. 81–82.

3. ГОСТ 17559-82 Лесные культуры. Термины и определения. – Москва : изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

4. Ефимов Ю.П. Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы // Генетика и селекция – на службе лесу: матер. Межд. Научн. конфер. (Воронеж, 28-29 июня 1996 г.). – Воронеж: НИИЛГиС, 1997. – С. 298-307.

5. Изучение имеющихся и создания новых географических культур: программа и методика работ. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. – 52 с.

6. Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Анализ и динамика роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 2. – С. 31-39.

7. Наквасина Е.Н., Улиссова Н.В., Бедрицкая Т.В. Рекомендации по созданию лесосеменных плантаций северных экотипов сосны в более южных климатических условиях / Наквасина Е.Н., Улиссова Н.В., Бедрицкая Т.В. // Архангельск : АИЛХ, 1992. – 20 с.

8. Об утверждении Порядка использования районированных семян лесных растений основных лесных древесных пород. Приказ Минприроды России от 09.11.2020 № 909 // Российская газета. – 2020. – 15 декабря.

9. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. – Москва : Лесная промышленность, 1982. – 336 с.

10. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми, Архангельск: СевНИИЛХ: Правда Севера, 2012. 672 с.

11. Об установлении лесосеменного районирования. Приказ Рослесхоза от 08.10.2015 № 353.

12. Сизов И.И. Разработка агротехники создания лесных культур ели в условиях Мурманской области//Про межут. отчет по теме 227 за 1987 г. – Архангельск:АИЛХ, 1988. – 75 с.

13. Шутяев А.М. Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в СССР (новая серия) / А.М. Шутяев // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: материалы международного симпозиума (25-30 сентября 1989, Воронеж). Дополнительный выпуск. – Москва, 1990. – С. 25–33.

14. Matras J. Growth and development of Polish provenances of *Picea abies* in the IUFRO 1972 experiment // Dendrobiology. - 2009. – Vol. 61. – P. 145-158.

15. Nakvasina Elena N., Volkov Alexey G., Prozherina Nadezhda A. Provenance experiment with spruce (*Picea abies* (L.) Karst. and *P. obovata* (Ledeb.)) in the North of Russia (Arkhangelsk region) // Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry. – 2017. – V. 59 (3): 219-230. DOI: 10.1515/ffp-2017-0023

16. Shutyaev A.M., Giertych M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of (*Pinus sylvestris* L.) // Silvae Genetica. - 1997. – Vol. 4(6). – P. 6-23.

R-анализ плюсовых деревьев сосны обыкновенной из Республики Марий Эл

Шейкина О.В.

Кандидат сельскохозяйственных наук, Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-Ола, Россия) ShejkinaOV@volgatech.net

Приведены результаты сравнительного анализа плюсовых деревьев сосны обыкновенной разных типов условий произрастания и использованием SSR-маркеров. Выявлены достоверные различия в частотах встречаемости аллелей у трех локусов из пяти. Сравниваемые группы плюсовых деревьев характеризовались близкими значениями показателей генетического разнообразия. Показатель генетической подразделенности плюсовых деревьев из разных почвенных условий составил 0,028.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, генетическая изменчивость, микросателлиты.

Genetic diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations from Southern mountain forest zone in Middle Siberia

Marina Sheller^{1, 2, 3, *}, Elena Ciocîrlan³, Pavel Mikhaylov¹, Sergey Kulakov^{1, 4}, Nadezhda Kulakova¹, Aleksey Ibe², Tatyana Sukhikh², Alexandru Lucian Curtu³

¹ Scientific Laboratory of Forest Health, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarskiy Rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660037, Russia

² Department of Monitoring of Forest Genetic Recourses, Branch of the Russian Centre of Forest Health – Centre of Forest Health of Krasnoyarsk krai, 50a/2, Akademgorodok Street, Krasnoyarsk, 660036, Russia

³ Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Transilvania University of Brasov, 1, Sirul Beethoven Street, Brașov, 500123, Romania

⁴ Laboratory of Forest Cultures, Mycology and Phytopathology, Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», 50/28, Akademgorodok Street, Krasnoyarsk, 660036, Russia

* Correspondence: maralexsheller@mail.ru

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the most widespread forest tree species in Russia and is of great ecological and economic importance. Taking into account the intensive exploitation of pine forests in Russia, it is important to monitor the state of Scots pine genetic resources. In our study, we analyzed chloroplast genetic diversity in eight native Scots pine populations located in Southern Siberian mountain forest zone in Middle Siberia. Ten chloroplast microsatellite markers (cpSSRs) were used: PCP45071, CP36567, PCP48256, PCP41131, PCP30277, PCP26106, Pt1254, Pt15169, Pt71936, Pt7268.

The cpSSR analysis yielded a large number of alleles across 80 pine individuals. Seventy cpDNA haplotypes were determined as a combination of the different alleles. The majority of cpDNA haplotypes (90%) was detected only once (i.e. unique cpDNA

haplotypes). Our results showed a high level of genetic diversity ($H_{CP}=0.983$) in all of the studied populations. The information on the chloroplast genetic diversity in the studied Scots pine populations can be used in long-term monitoring of Scots pine genetic resources in Middle Siberia.

Funding: The research was carried out within the State Assignment (theme «Fundamental principles of forest protection from entomo- and phyto- pests in Siberia» No. FFEF 2020-0014) supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Key words: Scots pine, genetic resources, genetic diversity, Middle Siberia.

Illegal logging of Scots pine in the Middle Siberia. Is there anyway solution to the problem using genetic approaches?

Denis Nikolayevich Shubaev¹, Aleksey Aleksandrovich Ibe², Tatyana Valentinovna Sukhikh³,
Marina Aleksandrovna Sheller⁴, Elena Alekseevna Shilkina⁵

¹Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, researcher (Ekaterinburg, Russia) denis.shubaev@gmail.com

²Candidate of Agricultural Sciences, Branch of the Russian Centre of Forest Health—Centre of Forest Health of Krasnoyarsk krai, head of department (Krasnoyarsk, Russia) aaibis@mail.ru

³Branch of the Russian Centre of Forest Health—Centre of Forest Health of Krasnoyarsk krai, engineer (Krasnoyarsk, Russia) cherkesova-tv@yandex.ru

⁴Branch of the Russian Centre of Forest Health—Centre of Forest Health of Krasnoyarsk krai, engineer (Krasnoyarsk, Russia) maralexsheller@mail.ru

⁵Candidate of Biological Sciences, Branch of the Russian Centre of Forest Health—Centre of Forest Health of Krasnoyarsk krai, associate Director (Krasnoyarsk, Russia) shilkinaea@rcfh.ru

Introduction

Illegal loggings in Siberia lead to an enormous deforestation comparable only to devastating forest fires and the wood theft is up to 35% of the total general logging. Among forestry species, Scots pine is of great importance tree for the forest economy and environmental stability in Siberia. The Scots pine range extends across the entirely forest area of Russia and it occupied about 100 millions hectares in the Middle Siberia being one of a major source of the total wood resources. Pine wood is used in the forest production more often than other tree species since it has excellent technical qualities at the same time as easy to process. Therefore, the illegal logging of Scots pine are the serious issue for regions of the Middle Siberia which has encouraged to the development of reactive approaches aimed to the preservation of forest genetic resources and national wealth. Until legal wood can be segregated from illegal wood, it must be assumed that illegal wood will continue to enter the supply chain and that illegal entrepreneurs will continue to be gain to revenue from the illegal exploitation of timber resources.

Genetic approaches to check that a wood entered legally are some of the most accurate and robust analysis. The genetic methods for controlling of illegal logging may generally be categorized in two groups according to the abilities of identification. 1) The

determination of a wood origin is done without an indicative information about the geographic location of illegal logging sites. For example, an identification of wood origin (taken from a logging truck) may be performed at the level of big forest districts or administrative regions. 2) The decision of wood legality can be based on the calculation of the coincidental match probabilities between the genetic profiles of tree trunks and stumps (from cutting area) by pair comparisons. Of course, the former way of wood identification is preferable to the latter since the first no needs an information about locations of illegal loggings. However, the robust geographic specification of individuals based on genetic data requires that interpopulation fixation coefficient (F_{ST}) shall be at least 10%. The lower F_{ST} values do not allow to perform a reliable geo-referencing both individuals and their groups (Ogden et al., 2015). In both the first and the second methods must be provide for a reference database of genotypes. However, we are skeptical of any efforts that might be used for a geographic identification of pine wood by genetic approaches without the exact geographic coordinates of cutting areas. Because the Pleistocene history of Scots pine and gene flow mediated by pollen homogenized of genetic structure and caused a blurring of geographic borders between its populations in the Middle Siberia (Semerikov et al., 2014; 2018).

Therefore, we believe that an alternative solution for the confirmation of legality of pine wood is the pair comparison method between the genetic profiles of tree trunks and stumps, withdrawn from illegal logging sites. The average probability of random matches (PI) (Butler, 2005) among genotypic profiles of wood specimens (tree trunks and stumps) can be the basis for an expert opinion about their belonging to one tree that it will be the main forensic evidence. Forensically investigating need to use highly polymorphic genetic markers to get the very low PI estimates to reduce the probability of false positives. Microsatellite markers (SSRs) are best for this aim because they exposed to high mutation rates and characterized by high allelic diversity. Their features are the very best prerequisites for the development of identification systems which can distinguish unique genotypes. This allows to test and to select the well-reproducible and variable SSRs markers to design an identifying system of pine wood products. There are many microsatellite markers developed for Scots pine or adapted from other coniferous species.

This study aimed to the development of the microsatellite sets to identify the legality of pine wood in the Middle Siberia.

To achieve this goal, it should be necessary to solve the following issues:

1. To perform the screening of nuclear microsatellite markers.
2. To develop multiplex sets of nuclear microsatellite markers.
3. To estimate genetic indices of SSR markers using twenty natural reference populations of Scots pine in the Middle Siberia.
4. To develop the effective protocol of DNA extraction from pine wood.

Materials and methods

In total, 20 populations (600 trees) of Scots pine were sampled in the Middle Siberia as a reference database of genotypes. The genomic DNA was extracted from fresh needles using a standard CTAB-method (Devey et al., 1996). The primary screening of microsatellite markers was performed with 5 geographically remote populations of Scots pine using 65 microsatellite loci (Sebastiani et al., 2012; Fang et al., 2014; Liewlaksaneeyanawin et al., 2004; Ganea et al., 2011). Selected SSRs markers were used for further development of multiplex sets. Amplicons were electrophoresed via a denaturing polyacrylamide gel using electrophoretic cells MODEL S2 (Life Technologies, USA) as described in Elsik et al. (2000). The detection of DNA in polyacrylamide gels was performed by silver staining. Electropherograms were genotyped by two specialists independently.

Development of multiplex sets

Multiplex sets were developed using 16 selected microsatellite markers. A concentration of reference DNA was diluted to mean value 100 ng/μL (since the similar DNA concentrations were produced from the pine wood). This DNA was used as a test template for the multiplex design. The steps of multiplex design were as follows:

1. The search of a common PCR program for all primer pairs was performed using a variation of annealing temperature from 50°C to 58°C by gradient PCR;
2. Multiplex sets increase the possibility of primer complementarity, leading to "primer-dimers". Therefore, we evaluated conformational parameters of primer sequences using OligoEvaluator web-programm (Sigma-Aldrich Co. LLC). The allelic sizes of SSRs loci and fluorescently dyes were selected using Multiplex Manager v1.2 software (Holleley et al., 2009).
3. Signal strength of the fluorescently labelled amplicons within each multiplex set was smoothed by the variations of primer concentrations.

A preliminary verification of all multiplex sets was conducted in a denaturing polyacrylamide gel as described in Elsik et al. (2000). Identity between genetic profiles of samples was also checked for individual loci and multiplex sets.

Nuclear microsatellite markers: genotyping and analysis

Twenty populations of Scots pine (600 trees) were genotyped with new three multiplex sets, designed as M1, M2, M3. Fragment analysis of the amplified loci was conducted on a Nanophore-05 capillary sequencer (Syntol, Russia). Alleles were scored against a S550-10 size standard (orange channel) (Gordiz, RF) with GENEMAPPER 1.95 (Soft Genetics, State College, Pennsylvania, USA).

Genotyping errors were checked using the MICRO-CHECKER 2.2.3 (Oosterhout et al., 2004). The presence of null alleles was checked with the FREENA program (Chapuis et al., 2007). Tests for deviation of the populations from Hardy-Weinberg equilibrium and linkage disequilibrium of SSRs loci were performed in the GENEPOL ON THE WEB software by default settings (Raymond et al., 1995; Rousset, 2008).

The diversity statistics for each population included the mean number of alleles per locus (A), average number of effective alleles (A_e), observed heterozygosity (H_o). The inbreeding coefficients (F_{IS} , F_{ST}) were determined also. All calculations were performed in the GenAlEx 6.5 software (Peakall et al., 2006). The matrix of genetic distances D_A (Nei et al. 1983) was used for the analysis of population clustering with the principal coordinate method. A hierarchical analysis of molecular variance (AMOVA) was performed in the ARLEQUIN 3.5.2 software by 10,000 permutations (Excoffier et al., 2010). Analysis of population genetic structure was carried out through Bayesian clustering method with the STRUCTURE 2.3.4 software (Pritchard et al., 2000). The parameters of the simulation experiment included Admixture and Locprior models (Hubisz et al., 2009). The number of Monte Carlo Markov Chain (MCMC) simulations was 300,000 with the burnin length of 60,000. The total iteration number for each K was 30. The iterations were carried out for K from 1 to 10. The estimation of K was performed using the delta K method (Evanno et al., 2005) in the CLUMPACK web-program (Kopelman et al., 2015). Alignment of cluster assignments across replicate analyses and the graph for the best K values were conducted in the CLUMPACK web-program with the DISTRUCT application.

The power of microsatellite panel in the discrimination of pine genotypes was evaluated with PI and Q indices. Where PI value is the average probability of a match for any genotype (Butler, 2005). And Q value is the average probability of a match for any genotype within N potential individuals.

Sampling of wood and DNA extraction

Pine wood and needles from thirty reference trees (aged 60-80 years) were used for the development of DNA extraction protocol from wood. Wood cores were taken as described below.

There was taken three cores from each tree with the increment borer method. After sampling of three cores from one tree, we washed a hollow bit and an extractor with ethanol (70%) and burned their over the flame of an alcohol lamp.

Cores were placed in the individual polyethylene zip bags and saved in a thermal bag at 4°C before the sending in the lab where all the wood specimens were kept at -70°C. For the external standard of DNA quality from wood we collected needles of the same trees. DNA extraction from fresh needles (50 mg of tissue) was immediately conducted on arrival at the lab in accordance with Devey's protocol. Thus, DNA from needles was as the reference for comparison with methods of DNA extraction from wood. The reference samples were then analyzed with SSR sets to verify the matches of DNA profiles between the wood specimens and the corresponding needle references.

Wood preparation:

The numerous and large resin ducts in pine wood are often located in the late-wood ring. Therefore, we carried out the cross dissection of the sampled cores within the early wood using a sterile razor to escape capture of the resinous late wood. In total,

a sample of the wood chips from each tree amounted to 250 mg for each DNA extraction method. Larger quantities of wood are inappropriate because then a further success for removing polyphenols from DNA becomes unlikely. The wood chips were homogenized to dust using an automatic homogenizer Minilys (Bertin Technologies, France). Afterwards, we performed DNA extraction in accordance with follow methods: a standard Devey's protocol (as was made for needles), three modifications of Devey's protocol, Rahimah's protocol (Rahimah et al., 2006), and method of Doyle&Doyle (Doyle et al., 1990). Precipitated DNA from needle and wood was dissolved in 200 μ L and 50 μ L of deionized water, accordingly. Assessment of DNA yield and purity was carried out using a nanophotometer the Nanodrop P330 (Implen, France). There were estimated the follow parameters of DNA samples: total quantity of DNA template in each sample (μ g), DNA purity was estimated with the 260/280 nm absorbance ratio of DNA samples. The presence of high-molecular-weight DNA in the wood samples was verified using electrophoresis in a 1% agarose gel prepared in 1X TAE buffer on horizontal electrophoretic cells (Sub-Cell GT Cell, Bio-Rad Laboratories, USA). As a standard DNA ladder was used GeneRuler 1 kb DNA Ladder (Thermo Fisher Scientific, USA). The agarose gels were stained with ethidium bromide and visualized directly upon illumination with UV light (Vilber-Lourmat, France). For the extensive validation of three multiplex sets of 16 SSR loci we have carried out comparative tests of amplification using DNA from wood and fresh needles. PCR-protocol was similar to a common protocol that was developed to all multiplex sets.

Results

Screening and multiplex sets

We tested 65 SSRs and selected 16 well-reproducible loci that characterized by a sufficient level of variability. The selected 16 SSRs were combined in three multiplex sets (Table 1).

By a variation of amplification protocols we found the general optimized protocol for all loci and the multiplex sets. The cycling conditions of this protocol were as follows: the first denaturation step at 95⁰ C for 5 min; followed by 32 cycles at 95⁰ C for 30 s, 58⁰ C for 90 s, and 72⁰ C for 45 s; and a final elongation at 72⁰ C for 7 min.

Moreover, there was found an optimal composition of PCR mix for the all multiplex sets: 4.8 μ L of sterile water, 1 μ L of 10 \times Ammonium Sulfate Buffer (75 mmol TRISHCl (pH=8.8), 20 mmol (NH4)₂SO₄, 0.1% Tween20), 1.2 μ L of a multiplex primer mix (the ratio of concentrations see in Table 1), 1.0 μ L of dNTP (10 mmol stock solution), 0.8 μ L of MgCl₂ (50 mmol stock solution), 0.2 μ L of DNA polymerase (5 U) and 1.0 μ L of genomic DNA (10 ng/ μ L). The final volume of PCR mix was 10 μ L.

These multiplex sets were used to create the reference database based on 20 populations of Scots pine in the Middle Siberia.

Analysis of microsatellite loci

Table 1. The multiplex sets of identification panel

Multiplex designation	Dye-label	SSR marker	Size (bp)	Primer concentration in final PCR volume (10 μ L) (nmol/ μ L)
M1	6-FAM	Ctg4363	80-110	0.38
	6-FAM	lw_isotig05123	166-169	0.38
	6-FAM	lw_isotig07383	188-203	0.38
	R6G	PtTx3107	153-183	0.5
	TAMRA	lw_isotig04195	186-195	0.31
	ROX	lw_isotig01420	171-186	0.54
M2	6-FAM	Psyl17	219-251	0.2
	6-FAM	PtTx3025	272-314	0.5
	R6G	PtTx2123	192-201	0.1
	TAMRA	Psyl42	167-179	0.5
	ROX	Psyl57	187-205	0.7
M3	6-FAM	lw_isotig11166	143-155	0.3
	6-FAM	lw_isotig20215	178-204	0.5
	R6G	lw_isotig04306	172-199	0.4
	TAMRA	PtTx4001	200-240	0.5
	ROX	PtTx2146	182-245	0.3

Null alleles were not revealed in 16 selected loci. We did not observe the Hardy-Weinberg disequilibrium in studied populations ($P>0.05$). The pairwise test of the loci did not reveal linkage disequilibrium ($P>0.05$).

The genetic statistics of SSRs calculated by twenty populations showed differences between the studied loci. These differences were mainly related to the mean number of alleles per locus (A) and PI values. Nevertheless, we have not considered that the high PI value is a sign of a bad locus because these 16 loci were chosen primarily on the basis of the reproducible amplification results. The mean F_{ST} value was low (0.026), however, the individual F_{ST} values are varied from 0.011 (PtTx2123) to 0.053 (PtTx4001). AMOVA analysis revealed that 2.24% of the total genetic diversity was attributed to group divergence only, 1.94% to population differences within groups, and 95.83% to individual differences within populations. This low differentiation confirms our skeptical assumptions about the applicability of any assignment tests of Scots pine trees in the Middle Siberia using genetic data. In a similar vein, the principal coordinate analysis and Structure clusterization did not reveal any population clusters. Apparently, the studied populations of Scots pine in the Middle Siberia are a part of one large siberian population which is extremely weak differentiated. For this reason, we have to employ the alternative approach based on pair comparisons among the genotypic patterns of wood specimens.

The database of genotypes are a starting point for the verification of allelic sizes and frequencies, and it provides the basis for valid calculations of PI value. We calculated the average PI value by 16 SSRs database and it amounted to 4.2×10^{-11} . It means that the theoretical risk of a coincidental match is 1 in 25 billion. In accordance with the

assigned population size ($N=10^6$), we get $Q = 0.0042\%$. Thus, the probability to find among 1 million mature trees one random tree with the same genetic pattern as the specific specimen of illegal wood is 0.0042%. Obtained value Q was better nether than the more high threshold for a prosecution considered in russian forensic science (0.01%).

The development of wood identification by SSRs is meaningless unless wood DNA has the quality and the quantity to analyze it. Therefore, the screening of DNA extraction protocols and the validation of wood DNA with SSRs multiplex sets are a key criterion for the applicability of the identification system.

Totally, we tested five DNA extraction protocols to find a reliable method of DNA extraction from wood. The pure DNA samples should have the 260/280 nm absorbance ratio at least 1.8. The absorbance ratio of the reference DNA (fresh needles) averaged 1.92. The best mean absorbance ratio of wood DNA amounted to 1.92 that was reached using the modified Devey's protocol. The maximal average quantity of wood DNA was also produced by this protocol (5.35 μg). Conversely, the Rahimah and Doyle&Doyle protocols showed a little worse results than the modified Devey's protocol. The high-molecular-weight DNA was well-defined by using both the modified Devey's protocol and Doyle&Doyle protocol. Although, all differences among the tested protocols are relatively non-critical, we recommend to use the modified Devey's protocol because its time-saving. Finally, we verified DNA samples from wood, extracted by the modified Devey's protocol, using the three new multiplex sets. This verification showed the lack of any mismatches between the genetic patterns of the wood samples and the reference samples (fresh needles).

Discussion

The possibility of wood identification using DNA methods is now being widely studied and the most of investigations aim at rare and endangered species which have an expensive wood (Smulders et al., 2008; Hung et al., 2017; Jolivet et al., 2012; Degen et al., 2013; Chaves et al., 2018). Typically the rare tree species have disjunctive ranges, and consequently they have the enough interpopulation differences (F_{ST}) to assign individual trees to geographic regions. Therefore, in most cases, the task of identification their geographic origin might be resolved by genetic approaches with an acceptable level of accuracy. All the more, an expensive timber is often exported and a sufficient condition for its tracking is the identification of exporting countries. Therefore, the task of the identification will be related with the macro-geographical level mainly, that it should be easier.

By contrast, any efforts to identify a geographic origin of trees within weak-differenced populations probably are doomed to failure from the start. Apparently, in that regard, the genetic studies of a geographic origin are scarce for coniferous tree species (Blanc-Jolivet et al., 2018; Nowakowska, 2011; Nowakowska et al., 2015). For instance, the probability of a larch wood identification represented only 77% for one geographic point from 53 (Blanc-Jolivet et al., 2018). Obviously, such low accuracy is not suitable for forensic science.

The assignment-tests using multi-locus genotypes and based on bayesian clusterization methods (Pritchard et al., 2000) can be successful if a high differentiation is among populations (Finkeldey et al., 2010; Ogden et al., 2015).

On the other side, the method of paired comparison between wood genotypes needs for a very low PI value, as otherwise the many pine trees in a forest decrease a calculated Q value to unsustainable levels for the prosecution. For instance, a earlier research devoted to the discriminatory potential of genetic markers in Scots pine has showed PI value about 0.01-0.02 (Nowakowska, 2011; Nowakowska et al., 2015). However, calculated Q value with the accepted sample size $N=1000$ trees (though a real number is much more) will amount to 80%. This Q value means 80% probability to find from a random set of 1000 trees one incorrect tree that will match with the analyzed genotype (to illegal wood genotype) and then the prosecution line will be compromised.

We calculated probability of identity (PI) based on allele frequencies of 16 SSRs loci using the twenty reference populations (the reference database of genotypes) of Scots pine. PI values amounted from 10^{-10} to 10^{-21} for a most frequent genotype and a most rare genotype, accordingly. The threshold average PI value for one million trees accounted for 10^{-11} . One million mature trees of Scots pine cover a suggest area of 1600 hectares, which corresponds to 16-53 logging blocks potentially. The investigators deal forest criminal cases where the more 2-3 illegal logging blocks are seldom presented, then the obtained PI and Q values are enough.

The genetic approach based on pair comparison is limited applicable due to the need for an information about the geographic coordinates of illegal cutting sites. However, the Russian government had recently prepared a federal law (Government Resolution of 30 June 2021 № 1099), which provides for a total strengthening oversight of wood tracking from logging sites to wood products. In addition, it will be developed electronic shipping documents for the wood production. These documents will provide the exact geographic coordinates of the logging blocks. Therefore, we are sure that it would be a good support to ensure transparency of forest business, which in turn simplifies the investigators' work and the applicability of our genetic approach.

Currently, it is only first step of the logging monitoring with the genetic approach. There are still several important tree species of Siberia remaining that need to be analyzed to develop a similar identification system based on SSRs.

Key words: illegal logs, Scots pine, microsatellites, probability of random matches.

References

- Blanc-Jolivet C., Yanbaev Y., Kersten B., Degen B. A set of SNP markers for timber tracking of *Larix* spp. in Europe and Russia//Forestry. – 2018. V.91. No. 5. P. 614-628.
- Butler J. M. Forensic DNA Typing: Biology, Technology and Genetics of STR Markers. 2nd Ed. Oxford: Elsevier, 2005. 647 p.
- Chapuis M-P., Estoup A. Microsatellite Null Alleles and Estimation of Population Differentiation//Molecular Biology and Evolution – 2007. – V. 24. – № 3. P. 621–631.

- Chaves C. L., Degen B., Pakull B., Mader M., Honorio E., Ruas P., Tysklind N., Sebbenn A. M. Assessing the Ability of Chloroplast and Nuclear DNA Gene Markers to Verify the Geographic Origin of Jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) Timber//Journal of Heredity. – 2018. V. 109. No. 5. P. 543–552.
- Degen B., Ward S. E., Lemes M. R., Navarro C., Cavers S., Sebbenn A. M. Verifying the geographic origin of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with DNA-fingerprints//Forensic Science International: Genetics. – 2013. Vol. 7. No. 1. P. 55-62.
- Devey M. E., Bell J. C., Smith D. N., Neale D. B., Moran G. F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers // Theoretical and Applied Genetics – 1996. – Vol. 92, No. 6. P.673–679.
- Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue//Focus. – 1990. – No. 12. P.13–15.
- Elsik C. G., Minihan V. T., Hall S. E., Scarpa A. M., Williams C. G. Low-copy microsatellite markers for *Pinus taeda* L. // Genome – 2000. – Vol. 43. P.550-555.
- Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: A simulation study//Molecular Ecology – 2005. Vol. 14. P. 2611–2620.
- Excoffier L., Lischer H.E.L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows// Molecular Ecology Resources – 2010. – Vol. 10. – № 3. P. 564–567.
- Fang P., Niu S., Yuan H., Li Z., Zhang Y., Yuan L., Li W. Development and characterization of 25 EST-SSR markers in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* (Pinaceae) // Applications in Plant Sciences – 2014. – Vol. 2, No. 1. P.1-4.
- Finkeldey R., Leinemann L., Gailing O. Molecular genetic tools to infer the origin of forest plants and wood//Applied Microbiology and Biotechnology – 2010.-Vol. 85. P. 1251-1258.
- Ganea S. L., Garcia Gil M. R. Multiplex nuclear SSR amplification in scots pine (*Pinus sylvestris* L.)//Bulletin UASVM Horticulture – 2011. – Vol. 68, No. 1. P. 1-7.
- Holleley C. E., Geerts P. G. Multiplex Manager 1.0: a crossplatform computer program that plans and optimizes multiplex PCR//BioTechniques – 2009. – Vol. 46. No. 7. P. 511-517.
- Hubisz M.J., Falush D., Stephens M., Pritchard J.K. Inferring weak population structure with the assistance of sample group information//Molecular Ecology Resources – 2009. – Vol. 9. – № 5. P. 1322–1332.
- Hung K.-H., Lin C.-H., Ju L.-P. Tracking the geographical origin of timber by DNA fingerprinting: a study of the endangered species *Cinnamomum kanehirae* in Taiwan//Holzforschung – 2017. V. 71. No. 11.
- Jolivet C., Degen B. Use of DNA fingerprints to control the origin of sapelli timber (*Entandrophragma cylindricum*) at the forest concession level in Cameroon//Forensic Science International: Genetics. – 2012. V. 6. No. 4. P. 487-493.
- Kopelman N.M., Mayzel J., Jakobsson M., Rosenberg N.A., Mayrose I. Clumpak: a program for identifying clustering modes and packaging population structure inferences across K//Molecular Ecology Resources – 2015. – Vol. 15. – № 5. P. 1179–1191.
- Liewlaksanneyanawin C., Ritland C. E., El-Kassaby Y. A., Ritland K. Single-copy, species-transferable microsatellite markers developed from loblolly pine ESTs//Theoretical and Applied Genetics – 2004. – Vol. 109. P.361-369.
- Nei M., Tajima F., Tateno Y. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data//Journal of Molecular Evolution – 1983. – Vol. 19. – № 94. P. 153–170.
- Nowakowska J. A. Application of DNA markers against illegal logging as a new tool for the Forest Guard Service//Folia Forestalia Polonica. Series A . Forestry. – 2011. V. 53. No. 2. P. 142-149.
- Nowakowska J. A., Oszako T., Tereba A., Konecka A. Forest Tree Species Traced with a DNA-Based Proof for Illegal Logging Case in Poland//In: Pontarotti, P. (eds) Evolutionary Biology: Biodiversification from Genotype to Phenotype. Springer, Cham, 2015.
- Ogden R., Linacre A. Wildlife forensic science: A review of genetic geographic origin assignment//Forensic Science International: Genetics. 2015. V. 18. P. 152–159.

Oosterhout C., Hutchinson W.F., Wills Derek P.M., Shipley P. Micro-Checker: Software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data//Molecular Ecology Notes – 2004. – Vol. 4. P. 535–538.

Peakall R., Smouse P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research//Molecular Ecology Notes – 2006. – Vol. 6. P. 288–295.

Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data//Genetics – 2000. – Vol. 155. – № 2. P. 945–959.

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA//J. Oil Palm Res. – 2006. – V. 18. P. 296–304.

Raymond M., Rousset F. GENEPOL (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism//Journal of Heredity – 1995. – Vol. 86. P. 248–249.

Rousset F. Genepop'007: a complete reimplementation of the Genepop software for Windows and Linux//Molecular Ecology Resources – 2008. – Vol. 8. P. 103–106.

Sebastiani F., Pinzauti F., Kujala S.T., Gonzalez-Martinez S.C., Vendramin G.G. Novel polymorphic nuclear microsatellite markers for *Pinus sylvestris* L.//Conservation Genetics Resources – 2012. – Vol. 4. P.231-234.

Semerikov V.L., Semerikova S.A., Dymshakova O.S., Zatsepina K.G., Tarakanov V.V., Tikhonova I.V., Ekart A.K., Vidyakin A.I., Jamiyansuren S., Rogovtsev R.V. & Kalchenko L.I. Microsatellite loci polymorphism of chloroplast DNA of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Asia and eastern Europe//Russian Journal of Genetics. 2014.-V. 50. P. 577-585.

Semerikov V.L., Semerikova S.A., Putintseva Y.A., Tarakanov V.V., Tikhonova I.V., Vidyakin A.I., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V. Colonization history of Scots pine in Eastern Europe and North Asia based on mitochondrial DNA variation//Tree Genetics & Genomes. 2018. – V. 14. – № 8. P. 1–7.

Smulders M. J. M., Van 'T Westende W. P. C., Diway B., Esselink G. D., Van Der Meer P. J., Koopman J. M. Development of microsatellite markers in *Gonystylus bancanus* (Ramin) useful for tracing and tracking of wood of this protected species//Molecular Ecology Resources. – 2008. Vol. 8. P. 168-171.

Генетическая структура и филогения *Tilia nasczokinii* stepanov

Экарт А.К.¹, Семерикова С.А.², Кравченко А.Н.³, Ларинова А.Я.⁴

¹Кандидат биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, Россия), aekart@yandex.ru

²Кандидат биологических наук, Институт экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, Россия), s.a.semerikova@ipae.uran.ru

³Кандидат биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, Россия), kravchenko-anna.n@yandex.ru

⁴Кандидат биологических наук, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск, Россия), alya-larion@yandex.ru

Произрастающая вблизи Красноярска липа является единственным представителем широколиственных древесных растений, сохранившимся на территории Красноярского края с третичного доледникового периода и описанным Н.В. Степановым в качестве нового вида *Tilia nasczokinii* Stepanov.

На основании анализа изменчивости 12 ядерных микросателлитных локусов (Tc4, Tc5, Tc6, Tc7, Tc8, Tc11, Tc915, Tc920, Tc927, Tc937, Tc943, Tc951) получены данные о генетическом разнообразии, структуре и степени дифференциации

ции *T. nasczokinii* от популяций *T. cordata* из европейской и западносибирской частей ее ареала и популяций *T. sibirica* из Кемеровской области. Установлено, что уровень генетического разнообразия *T. nasczokinii* несколько выше, чем в популяции *T. sibirica*, но значительно ниже, чем в популяциях *T. cordata*. Исследование генетической дифференциации изученных популяций липы различными методами показало, что они разделяются на три группы в соответствии с их видовой принадлежностью. При этом популяции *T. nasczokinii* генетически удалены от популяций *T. sibirica* в большей степени, чем от популяций *T. cordata*.

Анализ изменчивости пяти фрагментов хлоропластной ДНК (CDt, HKt, DT, K1K2 и psbJpetA) *T. nasczokinii*, *T. cordata*, *T. sibirica* и *T. amurensis* показал, что два исследованных сибирских таксона липы – *T. sibirica* и *T. nasczokinii*, имеют независимое происхождение, поскольку несут два значительно отличающихся гаплотипа хпДНК. Гаплотип t3a, фиксированный у липы Нащокина, найден только в Европе, в то время как гаплотип t2, фиксированный у липы сибирской (Кузнецкий Алатау), доминирует в восточных популяциях липы мелколистной – в Западной Сибири, на Урале и на Русской равнине. Оба гаплотипа отличаются от найденных у липы амурской, что исключает вклад дальневосточного вида в образование сибирских популяций. Выявленная структура изменчивости хпДНК у эндемичных таксонов *Tilia* в Сибири согласуется с результатами изменчивости ядерных маркеров и подтверждает видовой статус *T. nasczokinii*. В совокупности эти данные позволяют предположить, что липа Нащокина независимо от липы сибирской и раньше нее отделилась от липы мелколистной и, в дальнейшем, как и *T. sibirica*, переживала на юге Сибири несколько ледниковых максимумов. Результаты исследования дают возможность не только объективно подойти к решению вопроса о таксономическом статусе *T. nasczokinii*, но и более объемно взглянуть на флорогенез Южной Сибири в целом. Полученные данные необходимы для разработки мероприятий, направленных на сохранение генетического разнообразия и сложившейся генетической структуры уникальных реликтовых популяций липы в окрестностях Красноярска.

Ключевые слова: изменчивость, популяционная структура, *Tilia nasczokinii*, ядерные микросателлитные локусы, хлоропластная ДНК, филогения.

Научное издание

СОХРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

МАТЕРИАЛЫ 7-го МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕЩАНИЯ
ПО СОХРАНЕНИЮ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Под общ. ред. канд. биол. наук Паленовой М.М.

Текстовое электронное издание

Всероссийский научно-исследовательский институт
лесоводства и механизации лесного хозяйства
Моск. обл., г. Пушкино, ул. Институтская, 15

Подписано к использованию 28.12.2022 г.
Объем 1.9 Мб
Тираж 10 CD-ROM