

Утверждаю:

И.о. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лесоведения Российской академии наук, к.б.н.

А.Е. Ерофеев

« 24 » 2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Кузьмина Сергея Рудольфовича на тему: «Дифференциация сосны обыкновенной в географических культурах в Сибири», представленную на соискание учёной степени доктора биологических наук по специальности 4.1.6 - «Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (биологические науки)»

Актуальность работы. Проблема восстановления лесов является одной из главных для всего мирового лесоводства. Одной из форм компенсации утраченных лесных площадей является лесовосстановление на основе селекционно-лесокультурных работ, в том числе исследования географических культур. Оценка внутривидовой дифференциации сосны обыкновенной в географических культурах является эффективным методом изучения эколого-географической изменчивости вида и отбора наиболее подходящих для лесного хозяйства происхождений. Прямой отбор перспективных климатических экотипов (климатипов) на устойчивость, быстроту роста и стволовую продуктивность является эффективным методом в лесной селекции. Корректировка лесосеменных районов и обоснованный выбор географических происхождений являются научной основой рационального использования семенного материала при лесовосстановлении и создании устойчивых, продуктивных плантаций и лесных культур.

Цель работы: оценка внутривидовой изменчивости и дифференциации климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в географических культурах как научной основы для отбора перспективных климатипов и уточнения лесосеменного районирования в Средней и частично Восточной Сибири.



При выполнении работы были успешно решены следующие *задачи*:

1. Изучены динамика сохранности, роста в высоту и показатели стволовой продуктивности у климатипов сосны в разных лесорастительных условиях в географических культурах.

2. Исследована динамика годовых радиальных приростов и структура древесины у контрастных по месту происхождения климатипов сосны в разных пунктах испытания и дана оценка степени их дифференциации.

3. Изучена изменчивость климатипов по морфолого-анатомическим и биохимическим показателям хвои, параметрам шишек и массе семян.

4. Выполнена оценка дифференциации климатипов сосны по восприимчивости к грибным болезням.

5. Выявлена степень влияния климатических и географических характеристик материнских насаждений на рост, ассимиляционный аппарат и древесину у потомств сосны обыкновенной в пункте испытания.

6. Дана оценка успешности роста сосны разного происхождения, отобраны перспективные климатипы по комплексу показателей в разных лесорастительных условиях в географических культурах.

7. Разработаны практические рекомендации по перемещению семян сосны обыкновенной и использованию перспективных климатипов в регионе.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые в географических культурах сосны обыкновенной последней государственной серии, достигших 40-летнего возраста, выявлены закономерности изменчивости ростовых показателей, сохранности и устойчивости к экологическим факторам.

Продемонстрировано влияние лесорастительных условий, в частности почвенных, на сохранность, рост в высоту и стволовую продуктивность климатипов сосны обыкновенной в пункте испытания географических культур. Использован комплекс морфолого-анатомических и биохимических показателей хвои, структуры древесины, параметров шишек и массы семян для оценки дифференциации сосны обыкновенной в географических культурах. Показана дифференциация климатипов сосны по устойчивости к грибным патогенам в условиях географических культур в Сибири. Разработаны критерии отбора перспективных климатипов в разных лесорастительных условиях в географических культурах на основе комплекса показателей. Уточнены лесосеменные районы на территории Сибири на основе оценки дифференциации и успешности роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах.

Практическая значимость работы. На основе выполненных автором исследований или при его участии разработаны практические рекомендации по уточнению лесосеменного районирования в регионе. Разработаны рекомендации по использованию перспективных климатипов – кандидатов в сорта-популяции и критерии перемещения семян в регионе. В порядке практического внедрения рекомендаций созданы испытательные культуры из шести климатипов – кандидатов в сорта-популяции в условиях Красноярской лесостепи на территории э/х «Погорельский бор» Института леса им. В.Н. Сукачева (ИЛ СО РАН). Разработанные рекомендации могут использоваться с целью рационального использования семян сосны обыкновенной при лесовосстановлении и создании продуктивных устойчивых плантаций и лесных культур в регионе.

Структура и содержание работы.

Диссертационная работа изложена на 443 страницах и включает 125 рисунков и 39 таблиц. Работа состоит из введения, 7 глав, выводов, заключения, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы (включающего 571 источник, в том числе 164 источника на иностранных языках) и 6 приложений на 52 страницах.

В главе 1 «*Внутривидовая дифференциация сосны обыкновенной (обзор литературы)*» рассмотрены вопросы, связанные с изучением внутривидовой изменчивости и систематики сосны обыкновенной. Анализ литературных источников выполнен подробно и качественно. Рассмотрены исследования отечественных и зарубежных авторов, направленные на изучение роста сосны различного географического происхождения в разных условиях произрастания. Дана оценка различных характеристик древесных растений, позволяющих выполнить сравнение популяций.

Показано влияние происхождения семян на рост культур. Приведены результаты исследования географических культур как объектов, создаваемых для оценки изменчивости наследственных особенностей и адаптации растений к различным факторам среды и отбора перспективных климатипов в разных пунктах испытания. Рассмотрены вопросы, связанные с правилами перемещения семян при искусственном лесовосстановлении. Приведены данные научной литературы по изменчивости показателей ассимиляционного аппарата, генеративных органов, структуры древесины у сосны обыкновенной. Рассмотрены болезни, вызываемые грибными патогенами и факторы, влияющие на устойчивость сосны к ним.

Во второй главе «*Объекты и методы исследований*» приведена характеристика физико-географических условий района исследований,

описание объекта исследований и использованных методов. Основной объект исследований – географические культуры сосны обыкновенной, созданные в 1977 г. в Богучанском лесничестве Красноярского края под руководством сотрудников лаборатории лесной генетики и селекции Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, А.И. Ирошниковым и Н.А. Кузьминой.

Географические культуры создавались 3-х летними сеянцами на участках с разными почвенными условиями. Первый участок, площадью 15 га, расположен на старой вырубке, возобновившейся сосной, занимает частично ровное местоположение на второй надпойменной террасе р. Ангары с дерново-подзолистой песчаной почвой с маломощным гумусовым горизонтом (до 3 см), тип леса сосняк бруснично-толокнянковый, состав древостоя – 10С. Второй участок, площадью 9 га, размещен на старой залежи, поверхность участка ровная, почва темно-серая лесная суглинистая с мощным гумусовым горизонтом (до 40 см), тип леса – сосняк разнотравный с составом – 9С+1Л. Посадка сеянцев проводилась под меч Колесова, рядами, с размещением 1.5 X 0.75 м.

В географических культурах испытываются потомства 83 климатипов, представляющие четыре подвида сосны обыкновенной по Л.Ф. Правдину (Правдин, 1964): обыкновенная (*P. sylvestris* L. subsp. *sylvestris* L.), лапландская (*P. sylvestris* subsp. *lapponica* Fries), сибирская (*P. sylvestris* L. subsp. *sibirica* Ledebour) и кулундинская (*P. sylvestris* L. subsp. *kulundensis* Sukaczew). Места происхождения климатипов простираются от Кольского полуострова до Охотского моря и от лесотундры до южной границы ареала сосны. С 1977 по 1980 гг. проводились ежегодные, а в последующие годы один раз в пять лет, исследования роста и состояния культур. Определялась общая высота, длина приростов осевого побега, диаметр ствола на высоте 1.3 м, длина хвои. Проводился учет здоровых, больных и отмерших деревьев. Выполнены исследования сохранности и показателей стволовой продуктивности, исследования состояния хвои по морфологическим признакам и компонентного состава летучих веществ и фенологии разветывания хвои, исследование генеративных органов, таких как размеры шишек и масса семян с использованием наиболее распространенных методик, изучена устойчивость климатипов сосны к грибным патогенам. У восьми климатипов сосны исследована анатомическая структура древесины на кервах на основе измерения радиального размера трахеид и толщины клеточной стенки трахеид. Выполнено сравнение динамики ширины годичного кольца и доли поздней древесины, а также анализ отклика этих показателей на

погодные условия у шести климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в южной тайге и лесостепи.

Оценка успешности роста климатипов по каждому показателю рассчитывалась в процентном отношении к контролю и в долях стандартного отклонения от средних значений на участках. Итоговой оценкой роста и состояния климатипов является вычисленное среднеарифметическое значение отклонений по комплексу показателей, названное «критерием успешности роста» (КУР).

Исследования выполнены на высоком уровне с использованием современного оборудования. Обработка всех полученных материалов проводилась общепринятыми методами. Использовались методы оценки нормальности распределения данных, параметрические и непараметрические критерии, корреляционно-регрессионный анализ, ранжированные ряды, функции аппроксимации при получении индексных кривых, однофакторный и многофакторный дисперсионный анализы, включающие апостериорную проверку критерием Тьюки и оценку компонентов дисперсии. Применялись кластерные анализы методом Уорда и методом k-средних.

В главе 3 *«Изменчивость таксационно-лесоводственных показателей сосны обыкновенной в географических культурах»* приведены данные о динамике и итоговой сохранности климатипов сосны в возрасте 36–37 лет на песчаной и суглинистой почвах. В соответствии с географическим происхождением выделено шесть групп климатипов, соответствующих семи континентальным секторам.

Установлено, что средняя сохранность климатипов на суглинистой почве составляет 26 %, что в 2.4 раза меньше, чем на песчаной почве. На сохранность сосны в географических культурах влияют как генетические особенности климатипов, сформированные под действием лесорастительных условий их мест происхождения, так и условия в пункте испытания. Соответствие лесорастительных условий места происхождения и пункта испытания оказывает существенное влияние на адаптацию и успешность выживания сосны в географических культурах. Наибольшее влияние на дисперсию итоговой сохранности в географических культурах оказывают почвенные условия произрастания культур (59 %), по сравнению с фактором теплообеспеченности мест происхождения климатипов (14 %). Выявлены значимые отрицательные коэффициенты корреляции массы семян материнских насаждений климатипов с сохранностью.

В главе представлены также результаты исследования динамики высоты, оценка средних значений диаметра, объема ствола, запаса

стволовой древесины, формы ствола у потомств климатипов сосны в условиях песчаной и суглинистой почв. Показаны зависимость исследуемых показателей от экологических характеристик мест происхождения климатипов.

На основе итоговых значений средней высоты и комплекса других показателей скорректирована группа перспективных климатипов — кандидатов в сорта-популяции. Средняя высота перспективных климатипов сосны по отношению к контролю составляет 129 %, относительно среднего на участке превышение составляет более 1 σ .

Анализ зависимости средней высоты в условиях песчаной почвы от климатических факторов места происхождения климатипов выявил значимые отрицательные коэффициенты корреляции Спирмена с длиной периода с температурами $> 10^{\circ} \text{C}$, с суммой температур $> 10^{\circ} \text{C}$, длиной безморозного периода, с осадками мая—июня, а также с массой исходных семян. Положительные связи отмечаются с географической долготой и широтой.

Данные по запасу стволовой древесины в условиях песчаной почвы в основном подтверждают перспективность отбора по высоте 16 лучших климатипов. Преимущество относительно контроля в среднем составляет 60 %, с варьированием от 11 до 176 %.

Средняя высота сосны разного происхождения в условиях суглинистой почвы в 2.5 раза превышает среднюю высоту у тех же происхождений в условиях песчаной. Анализ итоговых результатов по высоте показал, что на суглинистой почве перспективными по росту в высоту и с учетом других селекционных показателей являются 15 климатипов, отобранных из групп с относительно высокими и средними показателями

Установлены значимые отрицательные корреляции (Спирмена) объема ствола и диаметра с густотой, между запасом и густотой связь положительная. Отмечается значимая отрицательная корреляционная связь между объемом ствола и северной широтой. Преимущество по запасу у перспективных климатипов на суглинистой почве относительно контроля значительно меньше, чем у перспективных климатипов на песчаной.

В географических культурах отмечаются разные закономерности: в условиях песчаной почвы с увеличением северной широты места происхождения климатипа увеличиваются средняя высота, диаметр, объем ствола дерева и запас стволовой древесины, в условиях суглинистой почвы с увеличением северной широты отмечается уменьшение средней

высоты, диаметра и объема ствола. С увеличением восточной долготы места происхождения климатипов в условиях песчаной и суглинистой почв географических культур увеличивается запас стволовой древесины.

Значительные различия по высоте и стволовой продуктивности климатипов, выявленные между экспериментальными участками, в первую очередь связаны с плодородием и свойствами почв, их способностью насыщать растительность элементами, необходимыми для развития корней и надземной части растений.

В Главе 4 рассмотрены *«Особенности структуры древесины у климатипов сосны в географических культурах»*. Представлена динамика радиального роста климатипов сосны в условиях песчаной и суглинистой почв. Показано влияние заболеваний, перенесенных в условиях песчаной почвы, на радиальный прирост. В условиях суглинистой почвы показаны: отклик годичного прироста климатипов сосны на погодные условия в пункте испытания, погодичная изменчивость анатомических характеристик ранней и поздней древесины, расчет плотности древесины и ее средней динамики. Показаны результаты сравнительного анализа реакции ширины годичного кольца и доли поздней древесины у климатипов сосны в географических культурах в южной тайге Красноярского края и лесостепи Новосибирской области.

В условиях суглинистой почвы радиальные приросты у климатипов значительно больше, чем в условиях песчаной. Отмечается дифференциация между климатипами по возрасту достижения максимальных приростов.

Анализ анатомических характеристик древесины выявил, что климатипы сосны из теплообеспеченных мест происхождения имеют относительно крупные размеры толщины и площади клеточной стенки. Меньшие значения показателей отмечаются у северных климатипов.

Между продолжительностью безморозного периода в местах происхождения климатипов и средней площадью клеточной стенки отмечается значимый коэффициент корреляции Спирмена.

Динамика плотности древесины в годичном кольце демонстрирует наличие индивидуальных особенностей у отдельных климатипов. Южные климатипы отличаются более ранним увеличением плотности древесины в годичном кольце.

По структурным элементам поздней древесины отмечена высокая изменчивость и чувствительность к изменениям погодных условий. Характеристики трахеид поздней древесины зависят от соотношения количества влаги в первой и во второй половинах вегетационного периода.

Климатипы подвида сосны «кулундинская» более чувствительны к количеству влаги в течение всего вегетационного периода, что отмечается в формировании годичных колец по типу «ложных» при выпадении большого количества осадков во второй половине вегетационного периода.

В Главе 5 приведены результаты исследований «Дифференциации климатипов сосны по показателям ассимиляционного аппарата и генеративных органов». Показана географическая изменчивость длины хвои у климатипов в разных лесорастительных условиях и плотность устьиц у контрастных по происхождению климатипов. Изучена погодичная изменчивость исследуемых показателей и влияние положения хвои в кроне на ее параметры. Проанализированы различия по сохранности хвои, охвоенности, фенологии и глубине покоя у климатипов сосны и влияние этих показателей на устойчивость к грибным патогенам. Проанализирован состав и относительная концентрация летучих веществ в хвое у климатипов с разной устойчивостью к грибным патогенам. Показана дифференциация климатипов сосны по морфологии шишек и массе семян.

Выявлена высокая изменчивость длины хвои в географических культурах. Коэффициенты индивидуальной изменчивости длины хвои на песчаной почве варьируют от 15 до 32 %. Географическая изменчивость – 15 %. Пределы изменчивости на суглинистой почве варьируют от 11 до 24 %, географическая – 12 %. Размеры длины хвои варьируют: на песчаной почве - от 18.3 мм до 36.2 мм, на суглинистой – от 43.4 до 71.2 мм. Длинная хвоя отмечается у сосны с юга ареала и из лесостепных районов центральной части России, Урала и Сибири, короткая – выявлена в основном у климатипов с территории Европейского Севера и северных территорий Сибири и Дальнего Востока.

Формирование длины хвои у сосны в географических культурах носит наследственный характер, что подтверждают значимые коэффициенты корреляции Спирмена между длиной хвои и характеристиками места происхождения климатипов: суммой температур $> 10^{\circ} \text{C}$ и географической широтой. Меньшими показателями длины хвои и плотности устьиц отличаются северные климатипы, хвоя у них шире, чем у южных. Анализ эндогенной изменчивости плотности устьиц на примере трех контрастных климатипов показал, что северный климатип отличается наименьшей плотностью устьиц в 2-летней хвое от контрольного и южного климатипов. Южный климатип отличается наибольшей плотностью устьиц 1-летней хвои.

Существенные различия между климатипами проявляются по

вертикальной протяженности кроны. Выявлена значимо бóльшая плотность устьиц в нижней части кроны у южного климатипа по сравнению с северным и контролем. Северный климатип отличается меньшей плотностью устьиц от остальных в верхней части кроны. По длине, ширине и толщине хвои у всех климатипов отмечаются схожие закономерные уменьшения показателей в направлении от верхней части кроны к нижней.

Выявлено, что климатипы, являющиеся более продуктивными по высоте в географических культурах, имеют высокую сохранность хвои. Значимые коэффициенты корреляции с высотой, диаметром и объемом ствола, запасом стволовой древесины отмечаются только в условиях песчаной почвы. Потомства северных климатипов сосны и из восточной части ареала, материнские древостои которых произрастают в относительно холодных условиях, в пункте испытания географических культур демонстрируют значимо более высокую сохранность хвои.

Высокая охвоенность боковых побегов сосны в географических культурах выявлена у климатипов с небольшими высотами деревьев, имеющими меньшую продолжительностью жизни хвои. Большое число хвои на единицу длины побега и высокая концентрация устьиц способствуют увеличению рисков распространения инфицирования хвои в кроне деревьев грибными патогенами. При благоприятных погодных условиях для развития патогенных грибов это приводит к массовым повреждениям крон у деревьев в насаждении. Выявлены положительные значимые связи охвоенности с общей долей поврежденных деревьев снежным шютте и долей деревьев с сильной и средней степенью повреждения ценангиевым некрозом.

Исследование фенологических фаз формирования хвои у сосны разного происхождения выявило значительные различия по между контрастными по месту происхождения климатипами. Различия в календарных сроках развертывания хвои составляют от 7 до 10 дней.

В хвое климатипов сосны выявило 64 летучих вещества: 60 обнаружены в газовой фазе, 49 – в эфирном масле. По 18 веществам, обнаруженным в газовой фазе, установлены значимые различия между устойчивыми и неустойчивыми к грибным патогенам климатипами.

Выявленное соотношение концентраций у северных устойчивых и южных неустойчивых климатипов к грибным патогенам в пределах пункта испытания является наследственной особенностью этих климатипов. Компонентный и количественный состав летучих соединений в хвое климатипов сосны обыкновенной связан с их генетическими особенностями,

сформированными под действием климатических и экологических факторов в местах происхождения, и оказывает влияние на устойчивость климатипов сосны к грибным патогенам в пункте испытания. Выявленные концентрации летучих веществ являются дополнительными показателями устойчивости климатипов сосны к болезням, вызываемых грибными патогенами. Результаты исследований использовались при отборе перспективных климатипов в географических культурах.

Анализ связи размеров шишек с географическими координатами мест происхождения климатипов выявил значимые коэффициенты корреляции Спирмена с широтой и долготой, что свидетельствует о соответствии более длинных шишек южным и восточным климатипам.

По форме шишек климатипов не выявлено значимой связи с географическими координатами или климатическими характеристиками мест происхождения. Изменчивость формы шишек у сосны в географических культурах имеет локально мозаичный характер.

Масса семян материнских (исходных) насаждений (ИМС) климатипов сосны, тестируемых в географических культурах, варьирует от 3.27 г до 9.18 г, географическая изменчивость – 20 %. Индивидуальная изменчивость массы семян, собранных у климатипов сосны в географических культурах (МС), достигает 26 %, географическая изменчивость МС снижается и составляет 13 %. Выделены группы с легкими, средними и тяжелыми по массе семенами. Выявлена положительная значимая связь ИМС с высотой 6-летних деревьев климатипов, выращенных из этих семян. В 25-летнем возрасте уровень значимости снижается.

Коэффициент корреляции линейной зависимости между северной широтой мест происхождения сибирских климатипов и ИМС является значимым. С увеличением северной широты на 1° ИМС уменьшается на 0.27 г. Между ИМС и МС отмечается положительный коэффициент корреляции Пирсона с высоким уровнем значимости. Чем больше ИМС у климатипов, тем больше МС, собранных у потомства этих климатипов в географических культурах, что подтверждает наследуемость этого показателя. В абсолютных значениях МС, собранных в 20–30-летнем возрасте, в географических культурах у климатипов сосны превышает ИМС спелых (100–120 лет) насаждений, что косвенно согласуется с мнением исследователей об уменьшении массы семян с увеличением возраста сосны.

В главе 6 «Устойчивость климатипов сосны к грибным патогенам в географических культурах» представлены результаты анализа дифференциации климатипов сосны по устойчивости к заболеваниям:

обыкновенному и снежному шютте. Показаны результаты анализа заболеваний, вызванных ценангиевым некрозом в условиях песчаной почвы и раком-серянкой в условиях суглинистой почвы. Проведена оценка связи устойчивости климатипов к заболеваниям с характеристиками ассимиляционного аппарата и концентрациями летучих веществ в хвое.

Влияние географического происхождения на устойчивость к заболеваниям у климатипов проявилось в 2-летнем возрасте сеянцев в питомнике. Большая доля погибших растений в результате поражения обыкновенным шютте имеет выраженную географическую привязку к юго-западной части ареала сосны.

Заболевание сосны снежным шютте отмечалось в 8-летнем возрасте. Между климатипами выявлены значительные различия по доле поврежденных деревьев. Повреждения разной интенсивности, охватившие более 50 % деревьев в блоке каждого климатипа, отмечались в основном у сосны из западных, юго-западных и центральных районов ареала вида. В результате повреждений происходила элиминация верхушечной почки и более 60 % хвои в кроне деревьев. Относительно устойчивыми к снежному шютте оказались климатипы из Средней и Восточной Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и некоторые климатипы с Европейского Севера.

В возрасте 23–25 лет зафиксировано заболевание – ценангиевый некроз. Анализ состояния вегетативных частей крон деревьев выявил различия между климатипами по степени и доле пораженных деревьев. Лучшей сопротивляемостью отличались климатипы из северных районов европейской части России и Сибири, Забайкальского края и Якутии.

Доля деревьев с сильной и средней степенью поражения хвои в результате ценангиевого некроза, как и в случае поврежденных деревьев снежным шютте, проявляет себя как показатель, связанный с генетическими особенностями климатипов, сформированными в местах их происхождения. Ранговый корреляционный анализ показал значимые положительные связи этого признака с длиной вегетационного и безморозного периодов, с ИМС, означающими, что устойчивость климатипов к болезням обусловлена климатическими и географическими факторами их мест происхождения. Связь показателя с географическими координатами происхождения – широтой и долготой, показывает закономерную изменчивость устойчивости климатипов. Северные и восточные климатипы характеризуются меньшей долей деревьев с сильной и средней степенью повреждения ценангиевым некрозом по сравнению с южными и западными.

В условиях темно-серой лесной почвы отмечаются повреждения сосны раком-серянкой. Минимальное количество пораженных деревьев отмечается у климатипов с территории северной, средней и южной тайги Европейского Севера. Установлено, что устойчивые к грибным болезням климатипы имеют короткую хвою с меньшим числом устьиц, относительно большей продолжительностью жизни и большим значением отношения α -пинена к 3-карену. Данные особенности хвои выявлены у климатипов из северных регионов. Эти климатипы в меньшей степени подвержены грибным заболеваниям по сравнению с потомством из западных и южных районов ареала сосны обыкновенной. Выявлена отрицательная связь доли поврежденных деревьев с суммой годовых осадков. Результаты анализа подтверждают, что потомства растений из регионов с большим количеством осадков имеют иммунитет, и поэтому более приспособлены к влажному климату и хорошо адаптируются в пункте испытания к контакту с грибными патогенами.

В главе 7 «Выделение лесосеменных районов сосны обыкновенной в Сибири на основе оценки роста географических культур» дана итоговая оценка роста климатипов сосны в географических культурах на основе усредненного показателя по комплексу признаков, выраженных в долях стандартного отклонения от средних значений сохранности, высоты и диаметра, объема ствола и запаса древесины, формы ствола и фитопатологического состояния в период эпифитотии. Усредненный показатель назван критерием успешности роста (КУР). По средним значениям, как отдельных исследуемых признаков, так и по КУР, выделена 21 группа, в пределах которых у климатипов отмечаются близкие значения усредненного показателя.

Между выделенными группами отмечаются различия по итоговой оценке. В пределах некоторых выделенных групп отмечаются климатипы, имеющие значимые преимущества относительно контроля и средних значений на участках. Среди перспективных климатипов, выделенных на разных почвах, отобраны восемь, отличающихся широкой нормой адаптивной реакции к экологическим факторам в географических культурах. Данные климатипы имеют высокие или на уровне контроля показатели роста и устойчивости в разных лесорастительных условиях в географических культурах.

Результаты оценки внутривидовой дифференциации сосны по критерию успешности роста, показателям хвои и массе семян в географических культурах позволяют уточнить состав климатических экотипов, выделенных А.И. Ирошниковым (1974) в Сибири. Так, на

территории Средней и частично Восточной Сибири рекомендуется Ангаро-Ленский климатический экотип взамен Ангарского и Верхнеленского. Среди популяций кулундинского климатического экотипа к обособленному выделению рекомендуется балгазынская популяция сосны.

С увеличением возраста географических культур и появлением новой информации по испытанию климатипов уточнение лесосеменного районирования сосны обыкновенной в регионах может продолжаться.

На основании выполненных исследований сделаны следующие **выводы.**

1. Рост в высоту и стволовая продуктивность сосны обыкновенной в пункте испытания географических культур зависят от лесорастительных условий экспериментальных участков и в первую очередь от почвенного плодородия. Одноименные климатипы сосны, тестируемые в условиях суглинистой и песчаной почв, имеют двукратные различия по высоте и более чем трехкратные – по запасу стволовой древесины. В пределах экспериментальных участков дифференциация сосны по росту обусловлена наследственными особенностями климатипов, сформированными под действием экологических факторов в местах происхождения и разной адаптивной реакцией на экологические факторы в пункте испытания.
2. Закономерности в изменчивости и дифференциации климатипов сосны по высоте и запасу стволовой продуктивности по-разному проявляются в условиях песчаной и суглинистой почв: чем севернее места происхождений климатипов, тем ниже средняя высота в условиях суглинистой почвы и выше высота и запас в условиях песчаной. С увеличением географической долготы места происхождения климатипов увеличивается запас стволовой древесины в разных почвенных условиях испытания, значимое увеличение остальных показателей отмечается на песчаной почве. Выявлено, что в условиях песчаной почвы увеличиваются высота и запас стволовой древесины у климатипов с меньшими суммами активных температур, осадков, меньшей продолжительностью вегетационного и безморозного периодов в местах их происхождения. В условиях суглинистой почвы значимых зависимостей высоты и запаса от климатических характеристик не выявлено.
3. Ранговая нестабильность по средней высоте у климатипов продолжает сохраняться до 40-летнего возраста в разных лесорастительных условиях. Процесс формирования структуры

насаждения у климатипов имеет специфические особенности, связанные с наследственными свойствами и разной адаптивной реакцией на внешнюю среду. Относительно стабильный рост в высоту, в последние 15–20 лет, отмечается у перспективных климатипов – кандидатов в сорта-популяции и у медленнорастущих, стабильно отстающих от контроля.

4. Сохранность сосны на песчаной почве более чем в два раза превышает сохранность на суглинистой, что связано с трудно учитываемыми факторами при посадке и уходе, в связи с разной степенью зарастания травянистой растительностью. Значимым фактором, влияющим на адаптацию и успешность выживания сосны, является степень соответствия климатических и лесорастительных условий места происхождения климатипов условиям в пункте их испытания. Сохранность на уровне контроля и выше отмечается у климатипов сосны с Европейского Севера России, Северного Урала, таежных и лесостепных районов Сибири, Забайкалья и Якутии. Низкая сохранность отмечается у сосны с территории западных, южных районов европейской части России и ближнего зарубежья.
5. Структурные элементы древесины – толщина, площадь клеточной стенки и плотность, являются значимыми показателями при оценке различий между климатипами сосны и отборе перспективных климатипов для селекционно-исследовательских работ. Меньшие показатели толщины и площади клеточной стенки выявлены у северных климатипов, представляющих подвид «лапландская». Высокая плотность ранней древесины отмечается у климатипов из предгорных территорий на юге ареала. Лесорастительные и климатические условия в пунктах испытания климатипов сосны оказывают значимое влияние на долю поздней древесины. В южной тайге доля поздней древесины у большей части климатипов значимо ниже, чем у тех же климатипов в условиях лесостепи.
6. Результаты дифференциации сосны по критерию успешности роста, показателям хвои и массе семян в географических культурах уточняют составы лесосеменных районов действующего лесосеменного районирования и климатических экотипов, выделенных ранее А.И. Ирошниковым в Сибири. Рекомендуется Ангаро-Ленский климатический экотип взамен Ангарского и Верхнеленского. Среди популяций кулундинского климатического экотипа к обособленному выделению рекомендуется балгазынская

популяция сосны. В соответствии с географическим происхождением климатипов на территории Сибири, в направлении с юга на север градиент уменьшения длины хвои на 1 градус широты составляет 0.76 мм, массы семян – 0.27 г, продолжительность жизни хвои увеличивается на 0.1 года.

7. По резистентности к заболеваниям, вызванным грибными патогенами, выявлены значимые различия между климатипами сосны из таежных зон северных регионов и климатипами из лесостепных и степных лесов, как европейской, так азиатской частей ареала. Степень поражения снежным шютте и ценангиевым некрозом у климатипов связана со степенью схожести между климатическими факторами их места происхождения и условиями пункта испытания. Климатипы сосны из южных широт с высокими температурами и продолжительным вегетационным периодом имеют высокую степень восприимчивости к болезням в пункте испытания. Устойчивыми в географических культурах являются климатипы сосны с территории Европейского Севера, Восточной Сибири и Дальнего Востока.
8. Сопrotивляемость климатипов сосны к воздействию грибных патогенов зависит от комплекса факторов. Существенными из них являются морфологические и физиологические особенности хвои, состав и количество летучих соединений. Устойчивые северные климатипы отличаются относительно большим содержанием α -пинена и меньшим – 3-карена, их соотношение в среднем составляет 11:1, у неустойчивых южных климатипов – 3:1.
9. По высоте и стволовой продуктивности, форме ствола и устойчивости к патогенам отобраны перспективные климатипы сосны на песчаной и суглинистой почвах. Среди отобранных только восемь климатипов являются лучшими в разных лесорастительных условиях и рекомендуются в качестве кандидатов в сорта-популяции. В настоящее время часть из них проходят дополнительное испытание в Красноярской лесостепи. На основе итоговой оценки успешности роста климатипов проведено уточнение лесосеменных районов сосны обыкновенной на территории Средней и частично Восточной Сибири.

На основе результатов и выводов диссертационной работы были предложены следующие рекомендации для лесного хозяйства региона:

1. В рамках уточнения действующего лесосеменного районирования на территории Средней и частично Восточной Сибири выделены пять

лесосеменных районов: Туруханско-Эвенкийский, Ангаро-Ленский, Саянский, Иркутский и Якутский.

2. В случае хронического отсутствия семян сосны обыкновенной в регионе, поставщиками семян для создания плантаций и лесных культур целевого назначения, наряду с сосняками Богучанского района, могут использоваться материнские насаждения восьми климатипов, выделенных кандидатами в сорта-популяции. Их представляют сосняки четырех лесничеств из южно-таежных и подтаежных лесов с территории Красноярского края и Иркутской области и четырех лесничеств из среднетаежных лесов Карелии и Республики Коми и южно-таежных лесов Вологодской и Кировской областей.
3. Материнские насаждения 16 перспективных климатипов, отобранных в географических культурах на песчаной почве и 15, отобранных на суглинистой почве, рекомендуются для использования в качестве поставщиков семян для создания плантаций и лесных культур целевого назначения строго в соответствии с почвенными и лесорастительными условиями создаваемых объектов в регионе.

По диссертации можно сделать единственное **замечание**: некоторые исследования выполнены на сравнительно небольших выборках. В частности, изучение анатомической структуры древесины проводилось на кернах, собранных на участке с темно-серой лесной почвой у восьми климатипов; сравнение динамики ширины годичного кольца и доли поздней древесины, а также анализ отклика этих показателей на погодные условия, проводились у шести климатипов сосны обыкновенной. Очевидно, это обусловлено сложностью и трудоёмкостью таких работ.

Вместе с тем, данное обстоятельство ни в коей мере не умаляет масштаба и качества всех выполненных исследований, проводившихся в течение длительного периода на основе комплексного методического подхода. Полученные в процессе работ данные статистически обработаны, достоверность и обоснованность результатов и выводов не вызывают сомнения.

Заключение. Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Она в полной мере соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Сергей

Рудольфович Кузьмин, заслуживает присуждения учёной степени доктора биологических наук по специальности 4.1.6. – «Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (биологические науки)».

Отзыв на диссертацию подготовлен кандидатом сельскохозяйственных наук, ведущим научным сотрудником, заведующим лабораторией лесоводства и биологической продуктивности ИЛАН РАН Ю.Б. Глазуновым и доктором сельскохозяйственных наук, главным научным сотрудником лаборатории лесоводства и биологической продуктивности ИЛАН РАН М.Д. Мерзленко.

Отзыв рассмотрен и обсуждён на заседании лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения Российской академии наук 18 мая 2023 года, протокол № 02.

Заведующий лабораторией
лесоводства и биологической
продуктивности ИЛАН РАН,
кандидат сельскохозяйственных
наук


Ю.Б. Глазунов

Подпись Глазунова Юрия Борисовича удостоверяю:
Инспектор по кадрам

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института лесоведения Российской академии наук

«14» мая 2023 г.


И.Н. Мартиросян

