

*На правах рукописи*



**КУЗЬМИН СЕРГЕЙ РУДОЛЬФОВИЧ**

**ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ  
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ В СИБИРИ**

**Специальность 4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,  
агроресомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация  
(биологические науки)**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук**

**Красноярск – 2023**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институте леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленном подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН).

**Научный консультант:** **Ваганов Евгений Александрович**, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», научный руководитель

**Официальные оппоненты:** **Воронин Виктор Иванович**, доктор биологических наук, ФГБУН «Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН», директор

**Бессчетнов Владимир Петрович**, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», заведующий кафедрой лесных культур

**Буторова Ольга Федоровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (СибГУ), профессор кафедры селекции и озеленения

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лесоведения Российской академии наук

Защита диссертации состоится «19» июня 2023 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.228.05 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50/28, ИЛ СО РАН, конференц-зал. Тел./факс (391) 243-36-86; E-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЛ СО РАН и на сайте организации <http://forest.akadem.ru>

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор биологических наук, доцент



Гродницкая Ирина Дмитриевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Проблема восстановления лесов является одной из главных для всего мирового лесоводства. Многочисленные лесные пожары, массовые поражения грибными патогенами и вредителями приводят к значительному сокращению лесопокрытой площади, снижению биоразнообразия. По прогнозу в ближайшие 50 лет в Средней Сибири предполагается уменьшение площади сосновых лесов на 33 % (Соколов и др., 2017). 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 (Правдин, 1964; Райт, 1978; Патлай, 1984; Matyas, 1996; Giertych, 1991). Изучение первых серий географических культур в России показало надежность метода в исследовании внутривидовых категорий, формового разнообразия и установлении генетической ценности селекционного материала. Прямой отбор перспективных климатических экотипов (климатипов) на устойчивость, быстроту роста и стволовую продуктивность является эффективным методом в лесной селекции (Правдин, Вакуров, 1968; Патлай, 1974; Ирошников, 1977; Черепнин, 1999; Нарышкин и др., 1983; Проказин, Куракин, 1983).

В настоящее время особую актуальность в решении современных задач в лесовосстановлении приобретают географические культуры последней государственной серии, созданные в 1976–1977 гг. (Шутяев, Вересин, 1990; Редько, 1994; Мерзленко, Мельник, 1995; Тараканов и др., 2001; Чернотубов и др., 2005). 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 (Родин, Проказин, 1997; Rehfeldt et al., 2002; Наквасина и др., 2008; Раевский, 2015).

**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.

### **Задачи:**

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

2. Оценить динамику годовых радиальных приростов и структуру древесины у контрастных по месту происхождения климатипов сосны в разных пунктах испытания и оценить степень их дифференциации.

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

4. Оценить дифференциацию климатипов сосны по восприимчивости к грибным болезням.

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

6. Оценить успешность роста сосны разного происхождения и провести отбор перспективных климатипов по комплексу показателей в разных лесорастительных условиях в географических культурах.

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

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Дифференциация климатипов сосны обыкновенной по комплексу лесоводственно-таксационных показателей обусловлена наследственными особенностями климатипов и разной адаптивной реакцией на экологические факторы в пункте испытания.

2. Морфолого-анатомические, физиологические и биохимические показатели хвои, размеры шишек, масса семян, толщина и площадь клеточной стенки трахеид древесины являются дополнительными диагностическими признаками при оценке дифференциации климатипов сосны.

3. Сходство климатических и почвенных условий места происхождения климатипов и пункта их испытания и особенности морфолого-анатомических, физиологических и биохимических показателей хвои (плотность устьиц, продолжительность жизни хвои, охвоенность, содержание летучих веществ) являются критериями устойчивости климатипов сосны к грибным патогенам в географических культурах.

4. Оценка роста и состояния сосны разного происхождения в географических культурах по комплексу лесоводственно-таксационных показателей позволяет выделить группы климатипов со сходными значениями усредненного показателя (критерия успешности роста), являющегося основой выделения лесосеменных районов и объективного отбора перспективных климатипов.

**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 кандидатами в сорта-популяции 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. Материалы по уточнению

«Лесосеменного районирования...» (1982) переданы в координационный совет при ВНИИЛМ в 2011 г. и были включены в разработку действующего лесосеменного районирования (Приказы Рослесхоза 2015–2016 гг.). Материалы с уточнением действующего лесосеменного районирования (2015 г.) переданы в 2021 г. в Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 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.

**Апробация результатов.** Результаты исследований и основные положения, выносимые на защиту, доложены на 30 отечественных и международных совещаниях и конференциях в России: Международная конференция молодых ученых «Леса Евразии – Белые ночи» (Санкт-Петербург, 2003), конференции молодых ученых «Исследования компонентов лесных экосистем Сибири» (Красноярск, 2003–2009, 2017), Международная конференция «Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса» (Екатеринбург, 2006), Международные совещания по сохранению лесных генетических ресурсов (Барнаул, 2007, 2015; Новосибирск, 2009; Красноярск, 2011; Пушкино, 2022), Всероссийская конференция «Дендрэкология и лесоведение» (Красноярск, 2007), Всероссийская конференция «Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса» (Красноярск, 2009), Международный семинар, посвященный влиянию изменения климата на лес и сельскохозяйственные экосистемы (Красноярск, 2012), Всероссийская научно-практическая конференция «Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения» (Красноярск, 2016), Международные научные конференции «Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений» (Красноярск, 2018, 2019, 2022), Всероссийская конференция «Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски» (Красноярск, 2019) и за рубежом: международные конференции, совещания (IUFRO – Венгрия, 2007; «Факторы экспериментальной эволюции организмов» – Украина, 2009, 2010; EGU – Австрия, 2013; IUFRO – Чехия, 2014; «Сохранение лесных генетических ресурсов» – Беларусь, 2017).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 31 научная статья в изданиях, рекомендованных ВАК (или приравненных к ним) для докторских диссертаций. Общее количество опубликованных научных работ: 105.

**Личный вклад автора.** Экспериментальные данные, использованные в диссертации, получены при личном непосредственном участии автора на всех этапах работы (формулировка задач, постановка экспериментов, инвентаризация географических культур, камеральная и статистическая обработка материалов, анализ результатов, подготовка публикаций). Материалы 1976–1999 гг. для анализа динамики роста и сохранности получены из фондов лаборатории лесной генетики и селекции ИЛ СО РАН.

**Структура и объем диссертации.** 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.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному консультанту – доктору биологических наук, профессору, академику РАН Е.А. Ваганову, научному наставнику – д.б.н., профессору Л.И. Милютину за ценные советы и поддержку. Особую признательность автор выражает соавторам и коллективам лабораторий лесной генетики и селекции и структуры древесных колец ИЛ СО РАН за сотрудничество, помощь и поддержку на разных этапах работы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ (08-04-90001; 11-04-00246; 11-04-00033; 11-04-00063; 11-04-92226; 14-04-31366; 15-44-04132; 16-05-00496; 20-05-00540), в том числе совместно с Красноярским краевым фондом поддержки научной и научно-технической деятельности (16-44-243031), Министерства образования и науки РФ (проекты СФУ: 1.7.09; 4.4290.2011), базовых проектов ИЛ СО РАН (0356-2016-0708; 0356-2019-0024).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 1. Внутривидовая дифференциация сосны обыкновенной (обзор литературы)**

В главе рассматриваются вопросы, связанные с изучением внутривидовой изменчивости и систематики сосны обыкновенной. Обсуждаются вопросы влияния происхождения семян на рост культур. Приводятся 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. Рассматриваются вопросы, связанные с правилами перемещения семян на разных территориях ареала вида. Приводятся и обсуждаются данные научной литературы по изменчивости показателей ассимиляционного аппарата, генеративных органов, структуры древесины у сосны обыкновенной. Рассматриваются болезни, вызываемые грибными патогенами и факторы, влияющие на устойчивость сосны к ним.

### **ГЛАВА 2. Объекты и методы исследования**

**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. При создании и изучении географических культур использовались программа и методика ВНИИЛМ (Изучение имеющихся..., 1972). Географические культуры созданы из 83 климатипов на двух экспериментальных участках с разными почвенными условиями. Первый участок, площадью 15 га расположен на дерново-подзолистой песчаной почве 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 3-летних сеянцев проводилась под меч Колесова, рядами, с размещением  $1.5 \times 0.75$  м.

### **Исследование сохранности и показателей стволовой продуктивности.**

Анализируются материалы инвентаризаций географических культур сосны обыкновенной, проводимые в среднем каждые 5 лет по методике ВНИИЛМ (Изучение ..., 1972). Также использовались методические рекомендации А.И. Ирошникова (1974), А.М. Шутяева и М.М. Вересина (1990), А.И. Чернодубова с соавт. (2005), М.Д. Мерзленко с соавт. (2017). Сохранность климатипов оценивалась методом сплошного учета живых, поврежденных и мертвых деревьев. Объем выборок для определения средних высот и диаметров составлял в первые 15 лет по 100 растений, в последующие годы по 50. Форма ствола определялась по доле прямоствольных деревьев. Средний объем ствола и другие биометрические показатели оценивались по методикам С.А. Шевелева с соавт. (Лесотаксационный справочник..., 2002), Н.П. Анучина (1982). Класс бонитета определяли по бонитировочной таблице М.М. Орлова, шкала выравненная и дополненная (Швиденко и др., 2008). Сравнительная оценка реакции ширины годичного кольца (ШГК) и доли поздней древесины (ДП) на погодные условия проводилась с помощью анализа коэффициентов корреляции между индексными значениями исследуемых параметров и погодными данными, источником которых был проект «Европейская оценка и база данных климата» (<http://www.ecad.eu>). ШГК измерялась в соответствии с принятой методикой (Rinn, 1996) на полуавтоматической установке LINTAB V – 3.0, с использованием стереомикроскопа «Leica MS5» (Германия). Исследование анатомических характеристик древесины проводилось с помощью различных программ и методов (Vaganov, 1990; Park, Spieker, 2005; Силкин, 2005; Силкин, Екимова, 2011; Кузьмин и др., 2008; Кузьмин, 2020).

**Исследование хвои.** Методика сбора хвои зависела от поставленной цели. При оценке географической изменчивости сбор хвои проводился у 65 климатипов в условиях песчаной почвы и у 35 в условиях суглинистой. Исследование эндогенной изменчивости и плотности устьиц изучалось у трех контрастных по месту происхождения климатипов. Анализ погодичной изменчивости морфологических признаков выполнен на хвое 1–3-летнего возраста у пяти деревьев каждого климатипа. Продолжительность жизни хвои изучалась на осевом и боковых побегах первого порядка. При сборе и анализе показателей хвои и шишек использовались методические рекомендации С.А. Мамаева (1973), дополненные собственными наработками (Кузьмин и др., 2009, Кузьмин и др., 2012).

**Исследование компонентного состава летучих веществ и фенологии развертывания хвои.** Состав летучих веществ изучался у 11 климатипов из разных географических регионов и разной устойчивостью к грибным патогенам. Общее число исследованных деревьев для группы устойчивых – 55, неустойчивых – 60. Средняя выборка для климатипа – 10 деревьев. Получение эфирного масла, качественное и количественное определение компонентного состава летучих соединений в образцах хвои на хромато-масс-спектрометре «Agilent 5975C-7890A» (США) выполнялись сотрудниками ИЛ СО РАН А.А. Анискиной и Г.В. Пермяковой на базе КРЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН (Кузьмин и др., 2020). Фенологические фазы оценивались в пункте испытания климатипов, глубина покоя исследовалась в СФУ (Пахарькова и др., 2014, 2019).

**Исследование генеративных органов.** Комплектование выборок по климатипам осуществлялось путем сбора в разные годы от 3 до 30 шишек с каждого

дерева. При сборе, обработке и анализе материала использовались наиболее распространенные методические разработки С.А. Мамаева (1973), В.Л. Черепнина (1980), Н.А. Кузьминой (1978), А.И. Чернодубова (2009). Методом рентгенографии проводились исследования полнозернистости (Щербакова, 1965), в качестве альтернативного подхода отбраковка пустых светлых семян проводилась физическим методом. В анализе использованы материалы личного сбора и образцы, собранные ранее сотрудниками лаборатории и лесничества.

**Оценка устойчивости климатипов сосны к грибным патогенам.** Идентификация заболеваний в условиях питомника и позднее в культурах проводилась специалистами Центра защиты леса Красноярского края и одновременно фитопатологами ИЛ СО АН СССР Г.Н. Лебковой и И.С. Коссинской. В период эпифитотии, вызванной ценангиевым некрозом, оценка жизненного состояния деревьев проводилась по методике В.А. Алексеева (1989), усовершенствованной применительно к географическим культурам сосны. При сплошном учете деревьев отмечались здоровые, слабо, средне, и сильно поврежденные деревья. На основании степени поражения хвои и доли поврежденных деревьев, были выделены группы климатипов, условно названные «устойчивые» и «неустойчивые» к данным грибным патогенам. В условиях темно-серой лесной почвы проводился учет числа деревьев с повреждениями стволов смоляным раком.

**Подходы к анализу данных, статистические методы.** В географических культурах испытываются 83 климатипа, 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). Оценка успешности роста климатипов по каждому показателю рассчитывалась в процентном отношении к контролю и в долях стандартного отклонения от средних значений на участках. Этот методический прием используется многими исследователями (Giertych, 1979; Наквасина и др., 2008; Мерзленко и др., 2017). Вычисленное среднеарифметическое значение отклонений по комплексу показателей, названное «критерием успешности роста» (КУР), является итоговой оценкой роста и состояния климатипов.

Обработка всех полученных материалов проводилась общепринятыми методами (Лакин, 1980; Рокицкий, 1973; Буторова, 2000) с использованием программ «Microsoft Office Excel» и «Statistica 8.0». В работе 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.

При исследовании географических культур используется термин «климатип» (синонимы: происхождение, провениенция). Климатип представляет собой популяцию определенного географического происхождения, сформировавшуюся в определенных физико-климатических условиях (Изучение ..., 1972).

## ГЛАВА 3. Изменчивость таксационно-лесоводственных показателей сосны обыкновенной в географических культурах

### Сохранность климатипов сосны

В главе приводятся данные о динамике и итоговой сохранности климатипов сосны в возрасте 36–37 лет в географических культурах в Богучанском лесничестве Красноярского края на песчаной и суглинистой почвах.

**Сохранность на песчаной почве.** На песчаной почве средняя сохранность составляет 62 %, коэффициент изменчивости (CV) – 32 %. Варьирование сохранности у климатипов сосны отмечается от полной элиминации у бориспольского из Украины, до 93 % у печенгского из Мурманской области. Сохранность контрольного варианта (богучанский климатип № 42) – 76 % (Рисунок 1). Густота древостоев у климатипов варьирует от 333 до 7408 шт./га.

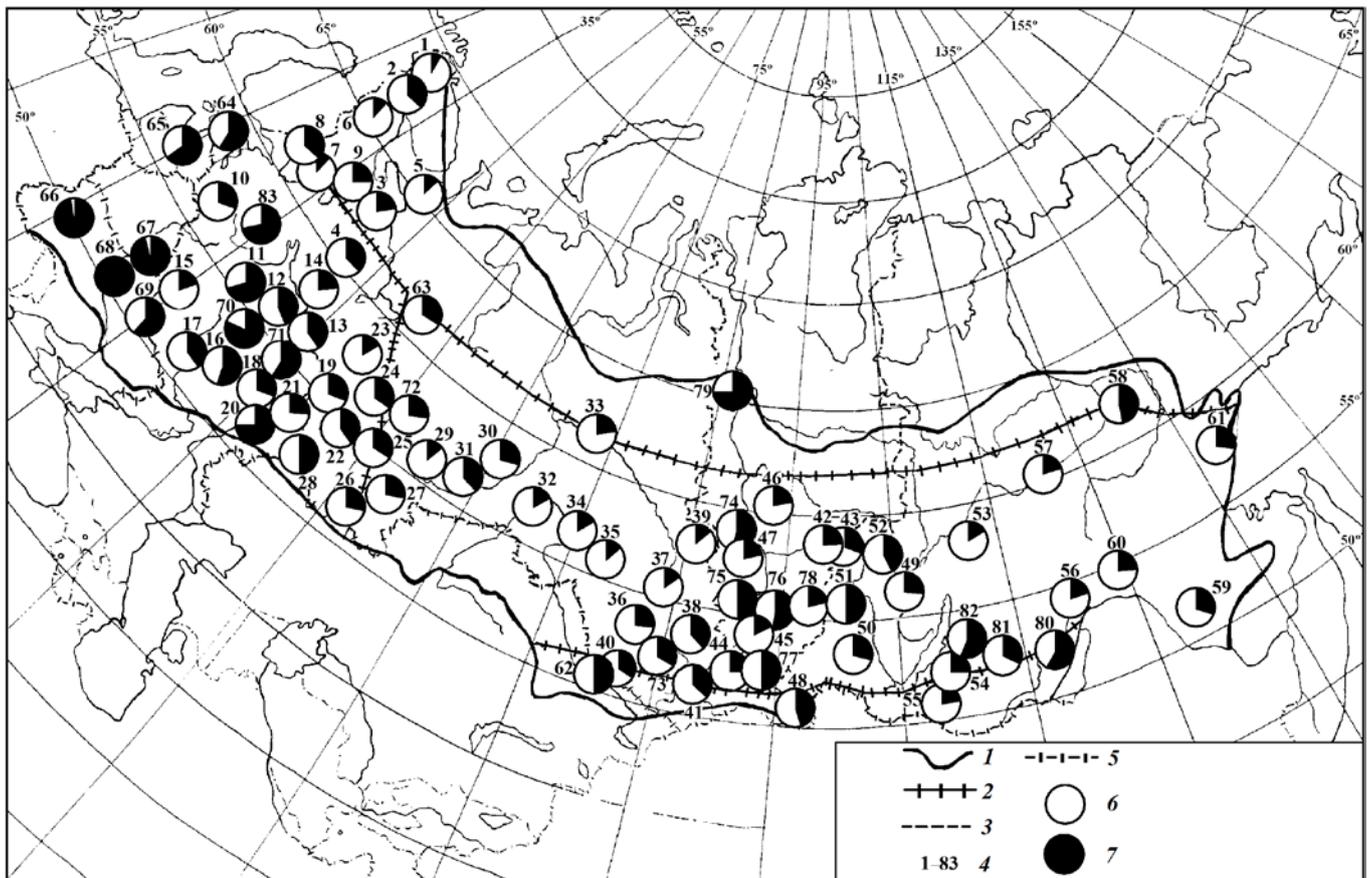


Рисунок 1. Сохранность климатипов на песчаной почве (1 – граница ареала вида; 2 – граница подвидов по Л.Ф. Правдину (1964); 3 – граница Красноярского края; 4 – номера климатипов; 5 – граница государств; 6 – доля живых деревьев, %; 7 – доля погибших деревьев, %)

При анализе динамики сохранности, 83 климатипа сосны сгруппированы по принадлежности к биоклиматическим секторам, выделенным И.А. Коротковым на основе континентальности климата (Коротков, 1994). В соответствии с географическим происхождением выделено шесть групп климатипов, соответствующих семи континентальным секторам.

Значительная дифференциация по сохранности отмечается для представителей Восточно-Европейского слабо-континентального сектора, к которому отнесены шесть климатипов (№№ 1, 2, 6, 7, 8, 9) с территории Кольско-Карельской лесорастительной области (ЛО) и восемь (№№ 64, 65, 66, 67, 68, 69, 10, 83) из Днепровско-Прибалтийской ЛО. Климатипы сосны данного сектора

дифференцируются на 4 группы (Рисунок 2). Первую группу представляют климатипы-лидеры по высокой сохранности и приживаемости. К ним относятся климатипы из северной и средней тайги Мурманской области и Карелии (№№ 1, 6, 7) с сохранностью 88–93 %. Итоговая сохранность второй группы меньше – 63–71 %, приживаемость высокая (89–98 %). Группу составляют климатипы из северной тайги Мурманской области (№ 2), средней тайги Карелии (№№ 8, 9) и подтайги Псковской области (№ 10).

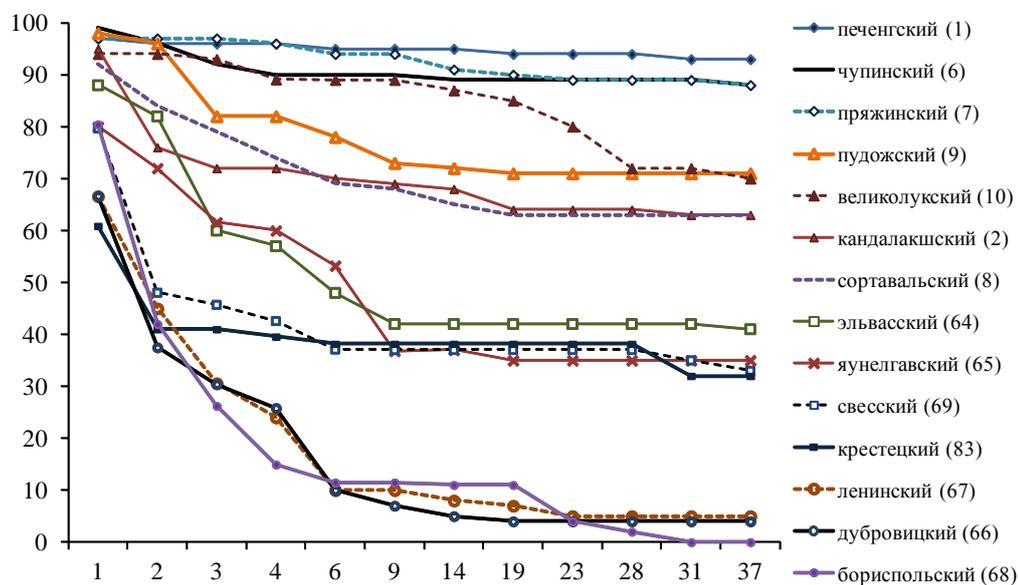


Рисунок 2. Динамика сохранности на песчаной почве у климатипов (в скобках – авторский номер) с территории Восточно-Европейского слабо-континентального сектора (ось ординат – сохранность, %; ось абсцисс – возраст культур, лет)

Третью группу слабо-континентального сектора представляют климатипы из южной тайги Эстонии и Новгородской области (№№ 64, 83) и зоны широколиственно-хвойных лесов Украины и Латвии (№№ 65, 69) с сохранностью от 32 до 41 % (приживаемость 61–88 %). Элиминация прижившихся саженцев сосны у данных климатипов происходила продолжительнее, в течение девяти лет, особенно после повреждений хвои и почек в период заболевания, вызванного снежным шютте. Снижение сохранности произошло на 16 %. Климатипы четвертой группы сектора, имеющие низкую итоговую сохранность, представляют сосну из зоны сосново-широколиственных лесов Украины и Беларуси (№№ 66, 67) и лесостепи Украины (№ 68). В 6-летнем возрасте в связи с заболеванием снежным шютте у них отмечается снижение сохранности до 10–24 %. В 23-летнем возрасте, после эпифитотии ценангиевого некроза, сохранность снизилась до 4–5 %. Полная элиминация деревьев произошла у климатипа (№ 68) из Украины в 30 лет.

К Восточно-Европейскому умеренно-континентальному сектору относятся 26 климатипов с территории Восточно-Европейской и Уральской ЛО. По сохранности дифференцируются на три группы: с высокими значениями сохранности (85–87 %) и приживаемости (96–99 %); относительно меньшей сохранностью (45–77 %) и высокой приживаемостью; низкой сохранностью (21–29 %) и хорошей приживаемостью (80–99 %). Низкую сохранность имеют в основном климатипы из центральных областей России.

Территорию Западно-Сибирского континентального сектора представляют 21 климатип и приобщенный к ним долонский (№ 62), представитель

Внутриматерикового сильно континентального субаридного и аридного сектора из Казахстанской равнинно-плоскогорной ЛО. Итоговая сохранность географической группы из 22 климатипов варьирует от 25 до 86 % при приживаемости 86–99 % у большей части климатипов. Климатипы данного сектора дифференцируются на отдельные климатипы, например, туруханский (№ 79) с низкой сохранностью (25 %), и группы с лучшей сохранностью (58 % и выше). К Средне-Сибирскому сильно континентальному сектору относятся 10 климатипов с итоговой сохранностью 50–78 %. Дифференцируются климатипы на две группы: с сохранностью 69–78 % и приживаемостью 88–98 % (№№ 42, 43, 46, 49, 50, 78) и с меньшей сохранностью 50–57 % (№№ 51, 52, 58, 75). Снижение сохранности отмечается в первые 2–3 года после посадки и в периоды заболеваний снежным шютте и ценангиевым некрозом.

Восточно-Сибирский крайне-континентальный сектор представляют семь климатипов из разных лесорастительных зон (таежных, подтаежных, подтаежно-степных, горно-таежных) Иркутской и Амурской областей, Бурятии и Забайкальского края. Дальневосточный континентально-муссонный сектор представляют свободненский и аянский климатипы (№№ 59 и 61) из Амурской области и Хабаровского края. Объединенная группа климатипов из двух самых восточных секторов имеет высокие показатели приживаемости (93–99 %). По сохранности среди них выделяются баргузинский (№ 82) и нерчинский (№ 80) климатипы, представляющие по своему происхождению котловины Бурятии и Забайкалья, имеющие относительно низкую итоговую сохранность (41–43 %). Сохранность остальных варьирует от 68 до 84 %.

**Сохранность на суглинистой почве.** Средняя сохранность составляет 26 %, что в 2.4 раза меньше, чем на песчаной почве, CV – 57 % (Рисунок 3).

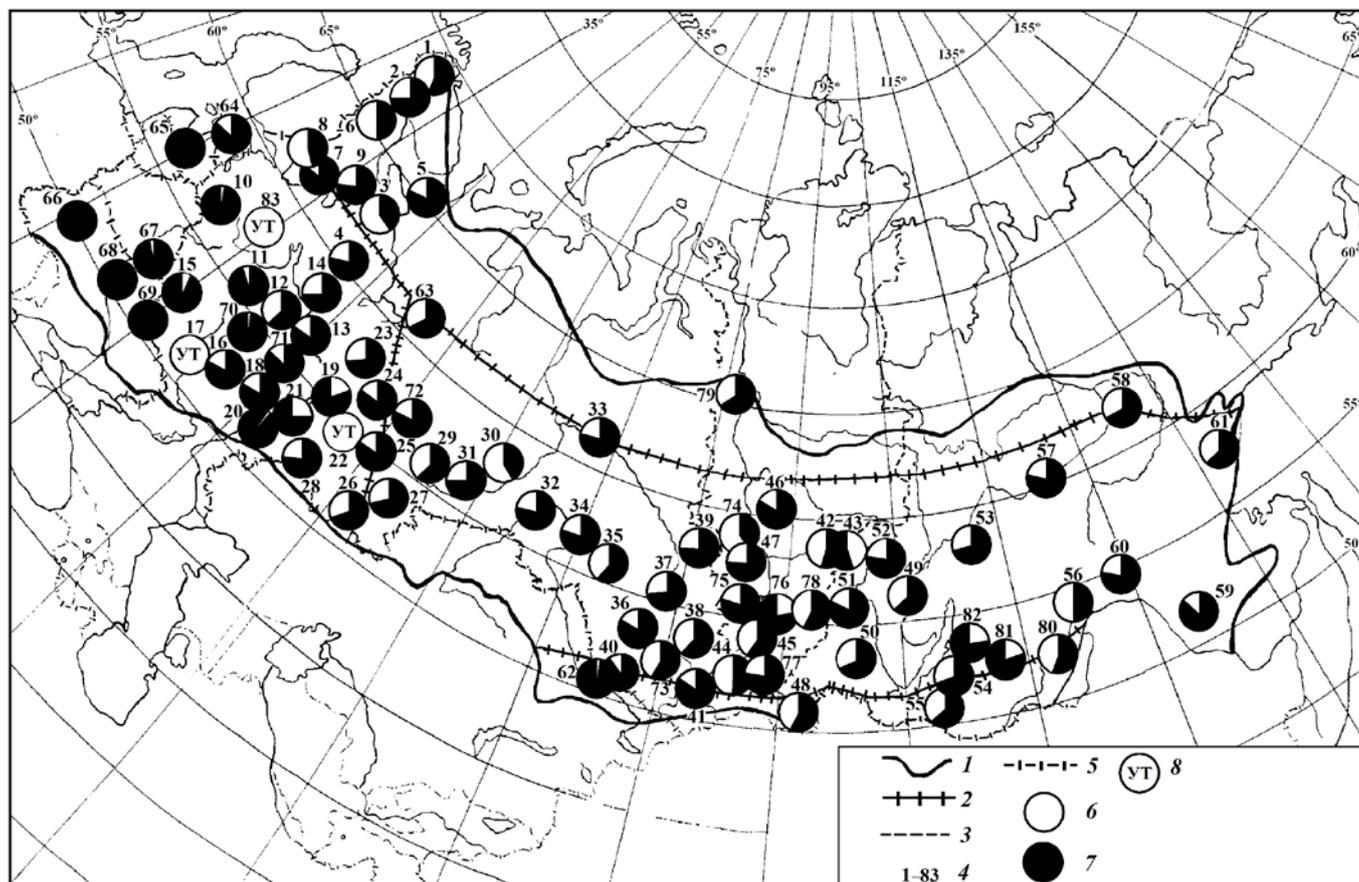


Рисунок 3. Сохранность климатипов на суглинистой почве (1–7 – см. Рисунок 1; 8 – утраченные климатипы из-за антропогенного фактора)

Пределы варьирования итоговой сохранности отмечаются от полной элиминации деревьев у климатипов из Украины, Латвии и Беларуси, до 60 % у могочинского (№ 56) из Забайкальского края. Сохранность контрольного варианта – 46 %. Густота варьирует от 200 до 4964 шт./га.

На адаптацию потомств климатипов к условиям суглинистой почвы оказали влияние генетические особенности сосны, обусловленные местом происхождения, успешность конкуренции саженцев с травостоем и трудно учитываемые факторы в период посадки и уходов в пункте испытания. Элиминация саженцев у одних климатипов отмечается в первые три года после посадки, у других – продолжается до 5–7 лет. Значительная дифференциация климатипов по итоговой сохранности отмечается среди представителей Восточно-Европейского слабо-континентального сектора (Рисунок 4).

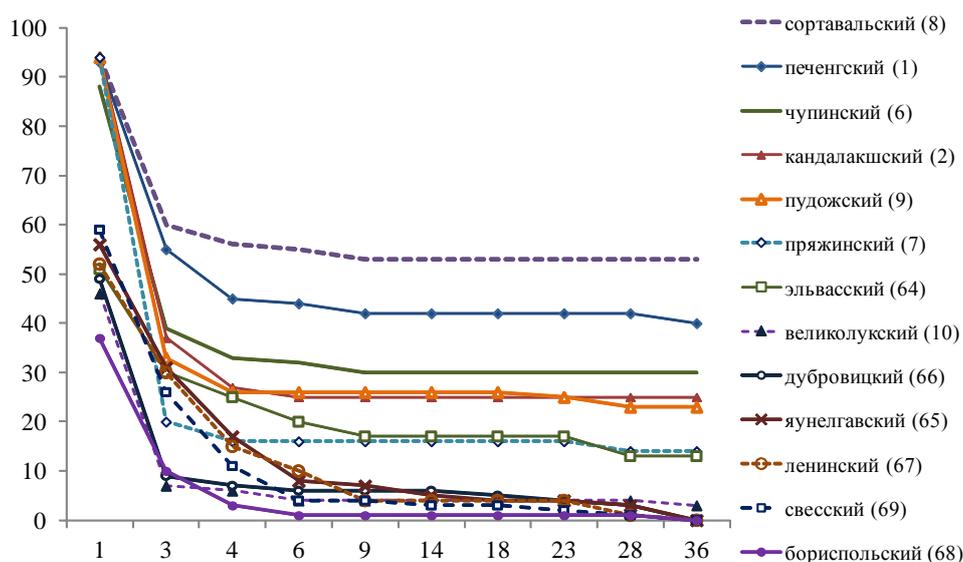


Рисунок 4. Динамика сохранности на суглинистой почве у климатипов с территории Восточно-Европейского слабо-континентального сектора (подписи осей – см. Рисунок 2)

Относительно высокая сохранность 40–53 % отмечается у двух климатипов из Мурманской области и Карелии (№№ 1, 8). Низкая сохранность (13–30 %) в пределах участка выявлена у климатипов из подзон северной и средней тайги Мурманской области и Карелии, а также из подзоны южной тайги Эстонии (№№ 2, 6 7, 9, 64). Полную элиминацию саженцев имеют пять климатипов с Украины (№№ 66, 68, 69), Республики Беларусь (№ 67) и Латвии (№ 65).

Сохранность саженцев у климатипов с территории Восточно-Европейского умеренно-континентального сектора варьирует от 2 % у сосны из Саратовской области (№ 20) до 59 % у сосны из средней тайги Архангельской области (№ 3). Приживаемость варьирует в пределах 42–98 %. Климатипы из Западно-Сибирского континентального сектора сохранились в пределах 3–60 %. Сохранность до 9 % отмечается у двух климатипов из сухих ленточных боров, окруженных степями – у ракитовского (№ 40) с юга Алтайского края и у долонского (№ 62) из степной зоны Казахстана. Сохранность остальных варьирует от 17 до 60 %. Приживаемость сосны этого сектора высокая (61–97 %), кроме долонского (32 %).

Сохранность 10 климатипов Средне-Сибирского сильно континентального сектора варьирует от 18 до 46 %, при приживаемости 65–97 %. Выделяются две группы. Высокие показатели сохранности (42–46 %) с приживаемостью 65–88 % отмечаются у контрольного и проспихинского (№ 43) происхождений из южной

тайги и канского (№ 78) из лесостепи Красноярского края. Группа с пониженной сохранностью представлена климатипами (№№ 46, 51, 52, 75) из Красноярского края и Иркутской области. Климатипы, представляющие Восточно-Сибирский крайне-континентальный и Дальневосточный континентально-муссонный сектора, имеют сохранность 21–50 %, приживаемость 81–99 %. В этой группе климатипов выделяются могочинский климатип (№ 56) и нерчинский (№ 80) из подтаежно-сосновых лесов Даурской лесорастительной области Забайкальского края, имеющие высокие показатели приживаемости (97 и 95 %) и сохранности (50 и 44 %).

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 %). Наиболее устойчивыми в условиях песчаной почвы являются потомства сосны, места происхождения которых характеризуются: меньшей суммой температур  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что подтверждается коэффициентом корреляции Спирмена ( $r = -0.45$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 83$ ), в условиях суглинистой почвы – коротким периодом с температурами  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = -0.53$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 80$ ). В пункте испытания выявлены значимые отрицательные коэффициенты корреляции массы семян материнских насаждений климатипов с сохранностью в условиях песчаной ( $r = -0.47$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 62$ ) и суглинистой ( $r = -0.34$ ;  $p < 0.01$ ;  $n = 59$ ) почв.

### **Рост в высоту и стволовая продуктивность климатипов сосны в разных лесорастительных условиях географических культур**

В главе представлены 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 и отбор лучших климатипов сосны по комплексу признаков.

**Динамика роста в высоту и показатели стволовой продуктивности на песчаной почве.** Средняя высота деревьев по климатипам варьирует от  $3.5 \pm 0.25$  до  $9.7 \pm 0.30$  м. Высота контрольного варианта составляет  $6.3 \pm 0.20$  м и близка к средней высоте экспериментального участка –  $6.1 \pm 0.16$  м. Индивидуальная изменчивость варьирует от 7 до 43 %. Географическая изменчивость – повышенная (23 %).

По средней высоте климатипы разделены на три группы. Первую группу представляют климатипы с высотой, превышающей среднее значение на  $0.5\text{--}2.5\sigma$ , и на 8–54 % высоту контрольного. Средняя высота для группы  $7.7 \pm 0.14$  м (122 % относительно контроля). К ним относятся потомства сосны из среднепродуктивных насаждений Сибири, в основном из южной тайги Красноярского края, Иркутской области, а также средней и южной тайги европейской части России (Рисунок 5 (А)). Различия с контролем отмечаются для большинства представителей лидирующей группы при высоком уровне значимости ( $p < 0.001$ ). Высокое ранговое положение по высоте стабильно сохраняется у климатипов из Вологодской области и Карелии

(№№ 4, 9), Красноярского края (№№ 43, 46, 47, 74), Иркутской области (№№ 52 и 53) и Забайкальского края (№ 80). Высокие значения средней высоты также отмечаются у климатипов Кемеровской, Курганской, Омской областей и Башкортостана (№№ 38, 31, 34, и 26 соответственно).

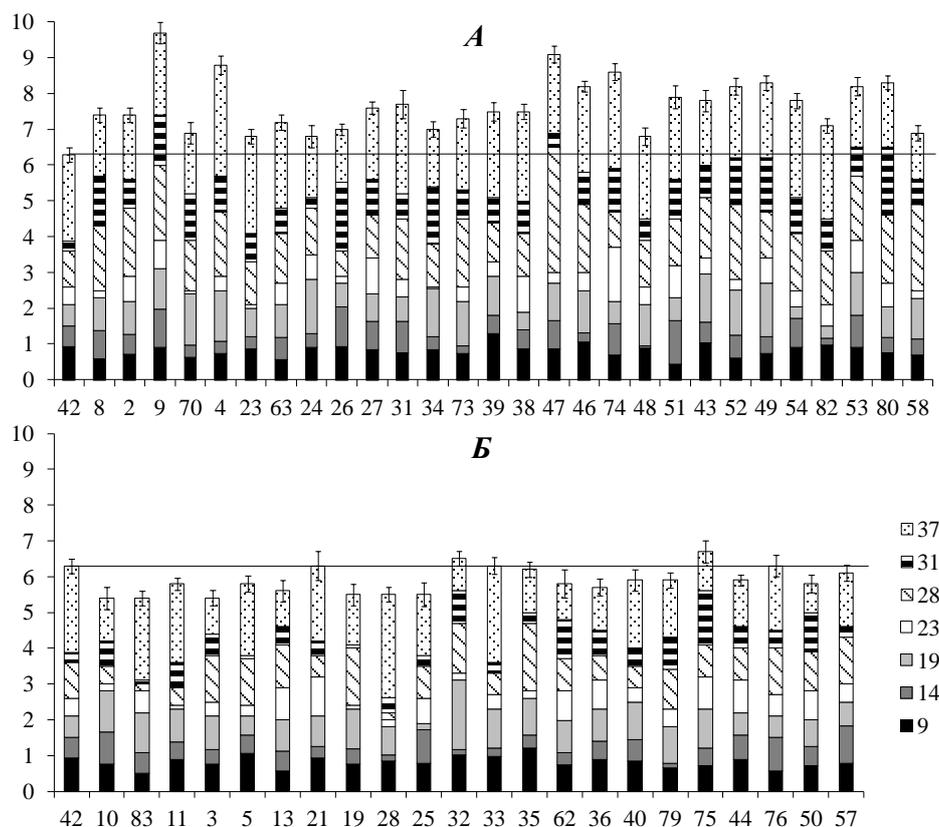


Рисунок 5. Динамика роста в высоту (ось ординат, м) климатипов первой (А) и второй (Б) групп на песчаной почве (ось абсцисс – № климатипов; первый слева – контроль (линия), далее – по возрастанию географической долготы места происхождения; легенда – возраст культур, лет)

Вторую группу, в которую входит и контроль, представляют 23 климатипа, происхождением из европейской части России и Сибири. Абсолютные средние высоты в этой группе варьируют от 5.4 до 6.7 м. (Рисунок 5(Б)). Средняя высота для группы составляет  $5.9 \pm 0.08$  м или 94 % относительно контроля. Климатипы данной группы в динамике имеют нестабильные по величине приросты. Некоторые из них в первые 14 лет роста имели небольшие годовичные приросты, уступающие контрольному варианту, в последующие годы прирост у них увеличился, и средняя высота отдельных климатипов превышает значение контроля. В 37-летнем возрасте только 16 климатипов из первой группы подтвердили статус кандидатов в сорта-популяции из 21 отобранного в возрасте 20 лет.

Третью группу составляют 38 % тестируемых климатипов, имеющих относительно низкие средние высоты, меньше 5.4 м. Группа состоит из климатипов сосны с территорий европейской части России, Урала, юга Сибири и Забайкалья. Средняя высота в группе составляет  $4.8 \pm 0.11$  м или 76 % от высоты контроля и на  $0.7\sigma$  меньше средней высоты на участке. Согласно динамике рангового положения, около 40 % климатипов имеют стабильно низкий рост, остальные демонстрируют нестабильные приросты (Рисунок 6).

На основе итоговых значений средней высоты и комплекса других показателей скорректирована группа перспективных климатипов – кандидатов в сорта-популяции. Группа представлена происхождениями из Карелии, Коми,

Мурманской, Вологодской, Кировской, Кемеровской, Томской, Иркутской областей и Красноярского края (№№ 8, 2, 9, 4, 23, 63, 39, 38, 47, 46, 74, 43, 49, 51–53). Название этих климатипов: тотемский, слободской, корткеросский, колпашевский, гурьевский, енисейский, северо-енисейский, ниже-енисейский, проспихинский, усть-кутский, вихоревский, катангский, мамский. Средняя высота перспективных климатипов сосны по отношению к контролю составляет 129 %, относительно среднего на участке превышение составляет более 1  $\sigma$  (Рисунок 7).

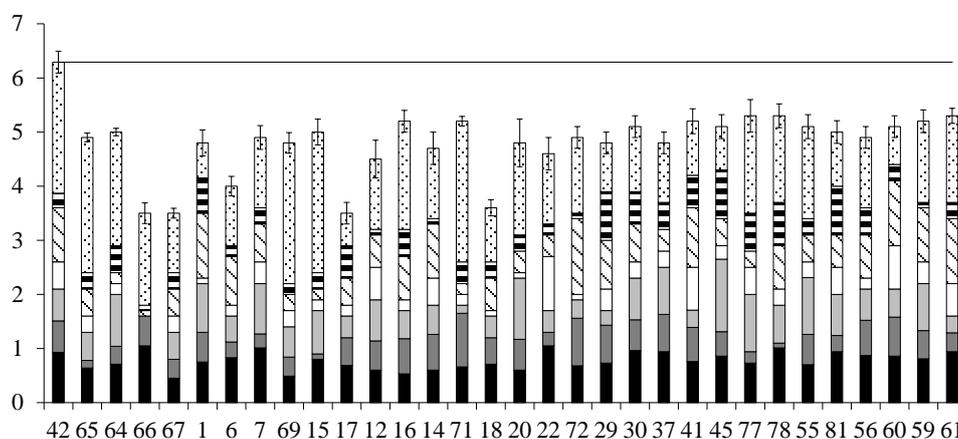


Рисунок 6. Динамика роста в высоту у климатипов третьей группы на песчаной почве (подписи осей и условные обозначения – см. Рисунок 5)

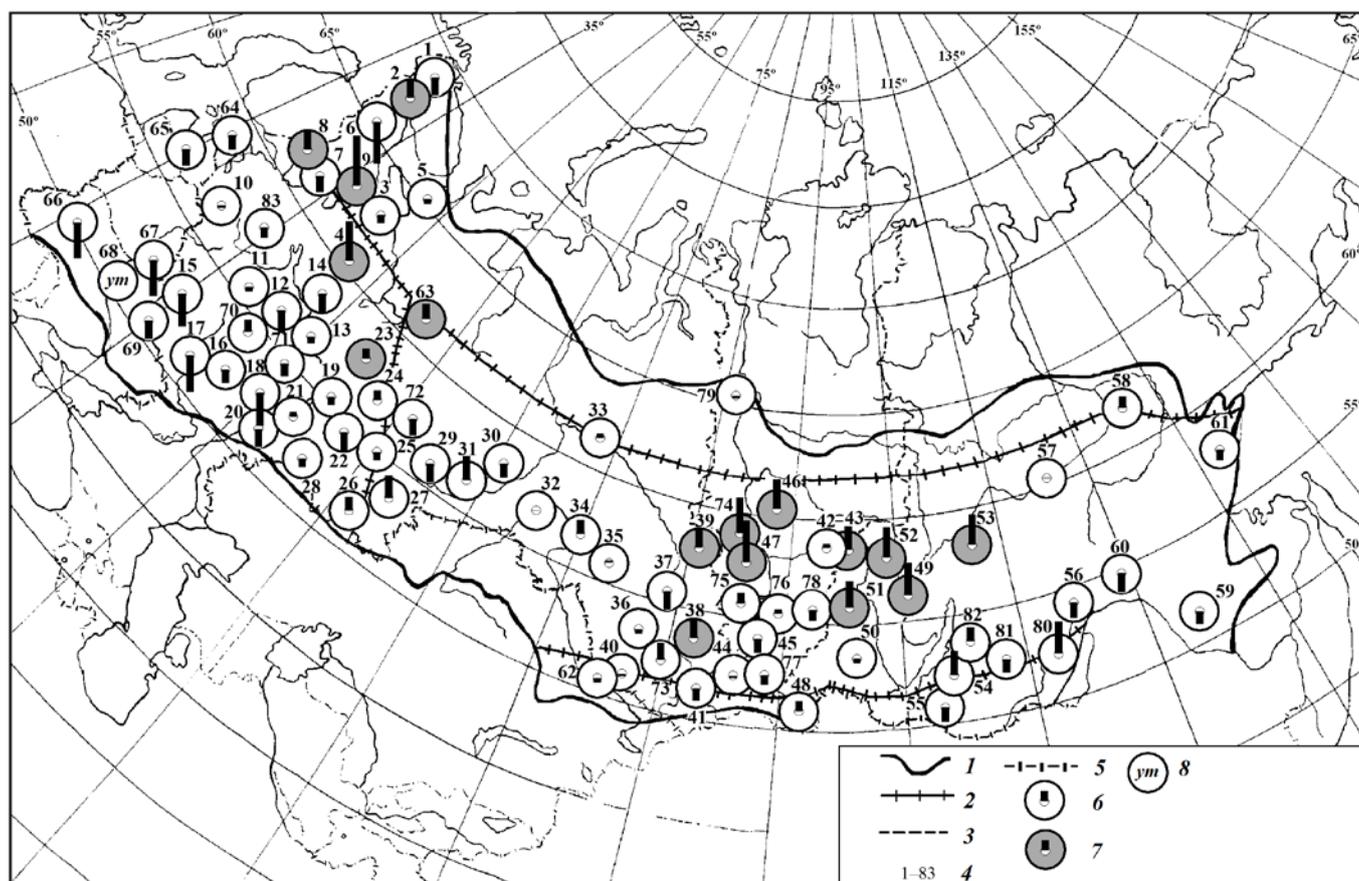


Рисунок 7. Средняя высота дерева у климатипов в долях стандартного отклонения ( $\sigma$ ) на песчаной почве (1–5 – см. Рисунок 1; 6 – превышение (направление линии вверх) или отставание (направление линии вниз) от среднего значения (радиус внешней окружности равен 1  $\sigma$ ); 7 – перспективные климатипы; 8 – утраченный климатип)

Анализ зависимости средней высоты в условиях песчаной почвы от климатических факторов места происхождения климатипов выявил значимые

отрицательные коэффициенты корреляции Спирмена ( $n = 82$ ) с длиной периода с температурами  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = -0.40$ ;  $p < 0.001$ ), с суммой температур  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = -0.38$ ;  $p < 0.001$ ), длиной безморозного периода ( $r = -0.39$ ;  $p < 0.001$ ), с осадками мая–июня ( $r = -0.28$ ;  $p < 0.05$ ), а также с массой исходных семян ( $r = -0.32$ ;  $p < 0.01$ ;  $n = 72$ ). Положительные связи отмечаются с географической долготой ( $r = 0.37$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 82$ ) и широтой ( $r = 0.26$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 82$ ).

**Средний диаметр** деревьев исследуемых климатипов варьирует от  $2.7 \pm 0.24$  до  $8.4 \pm 0.32$  см, у контрольного варианта составляет  $5.6 \pm 0.22$  см. Индивидуальная изменчивость варьирует от среднего до очень высокого уровня ( $CV = 14\text{--}65\%$ ). Географическая изменчивость является повышенной ( $CV = 22\%$ ). Коэффициент корреляции между средней высотой и диаметром равен  $0.94$  ( $p < 0.001$ ). Значимых корреляционных связей между диаметром, сохранностью и густотой не отмечается ( $r = 0.02\text{--}0.04$ ).

**Форма ствола.** При оценке формы ствола учитывалось количество деревьев (доля деревьев от общего количества) с ровными прямыми стволиками без наличия кривизны любой локализации и формы. Доля прямоствольных деревьев у климатипов варьирует от 0 до 100 %. Доля кривоствольных деревьев  $> 40\%$  выявлена у юго-западных происхождений относительно места испытания: долонского с юга Северного Казахстана, чемальского с Алтая и ермаковского с юга Красноярского края. Относительная доля прямоствольных деревьев на уровне 100 % отмечается у климатипов сосны Европейского Севера и читинского климатипа из Забайкалья. Высокая доля прямоствольных деревьев (82–83 %) отмечается у климатипов из восточных регионов – свободненского из Амурской области и аянского из Хабаровского края. Выявлена значимая отрицательная регрессионная линейная модель зависимости доли прямоствольных деревьев от суммы температур  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в пунктах происхождения климатипов ( $r = -0.77$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.60$ ). Значимая корреляция отмечается с густотой древостоев ( $r = 0.46$ ;  $p < 0.001$ ).

**Средний объем ствола и запас стволовой продуктивности.** Объем ствола варьирует от  $1.2\text{ дм}^3$  до  $28.3\text{ дм}^3$ , среднее значение –  $8.7\text{ дм}^3$ , у контроля средний объем составляет  $8.5\text{ дм}^3$ . Запас стволовой древесины у климатипов варьирует от 1 до  $162\text{ м}^3/\text{га}$ , среднее значение –  $45\text{ м}^3/\text{га}$ , у контроля –  $57\text{ м}^3/\text{га}$ . В долях стандартного отклонения от среднего значения запас у климатипов варьирует от  $-1.4\sigma$  до  $+3.7\sigma$ , контрольный вариант имеет  $+0.4\sigma$  (Рисунок 8). Отмечаются значимые коэффициенты корреляции Спирмена между запасом стволовой древесины и густотой древостоев ( $r = 0.32$ ;  $p < 0.01$ ;  $n = 82$ ), северной широтой ( $r = 0.34$ ;  $p < 0.01$ ) и восточной долготой ( $r = 0.44$ ;  $p < 0.001$ ) мест происхождения климатипов.

Данные по запасу стволовой древесины в условиях песчаной почвы в основном подтверждают перспективность отбора по высоте 16 лучших климатипов, показанных ранее на Рисунке 7. В абсолютных значениях запас стволовой древесины у 16 перспективных климатипов варьирует от  $63\text{ м}^3/\text{га}$  до  $162\text{ м}^3/\text{га}$ . Преимущество относительно контроля в среднем составляет 60 %, с варьированием от 11 до 176 %.

**Динамика роста в высоту и показатели стволовой продуктивности в условиях суглинистой почвы.** Средняя высота сосны разного происхождения в условиях суглинистой почвы в 2.5 раза превышает среднюю высоту у тех же происхождений в условиях песчаной. Пределы средней высоты у климатипов в

условиях суглинистой почвы варьируют от  $11.9 \pm 0.19$  до  $18.2 \pm 0.20$  м, высота у контроля составляет  $15.8 \pm 0.33$  м и близка к средней высоте географических культур на участке –  $15.4 \pm 0.15$  м. Индивидуальная изменчивость варьирует от низкого до среднего уровня (4–16 %). Географическая изменчивость имеет низкий уровень (8 %). Около 30 % климатипов, имеют превышение по высоте в пределах от  $0.5 \sigma$  до  $2.1 \sigma$  к среднему значению.

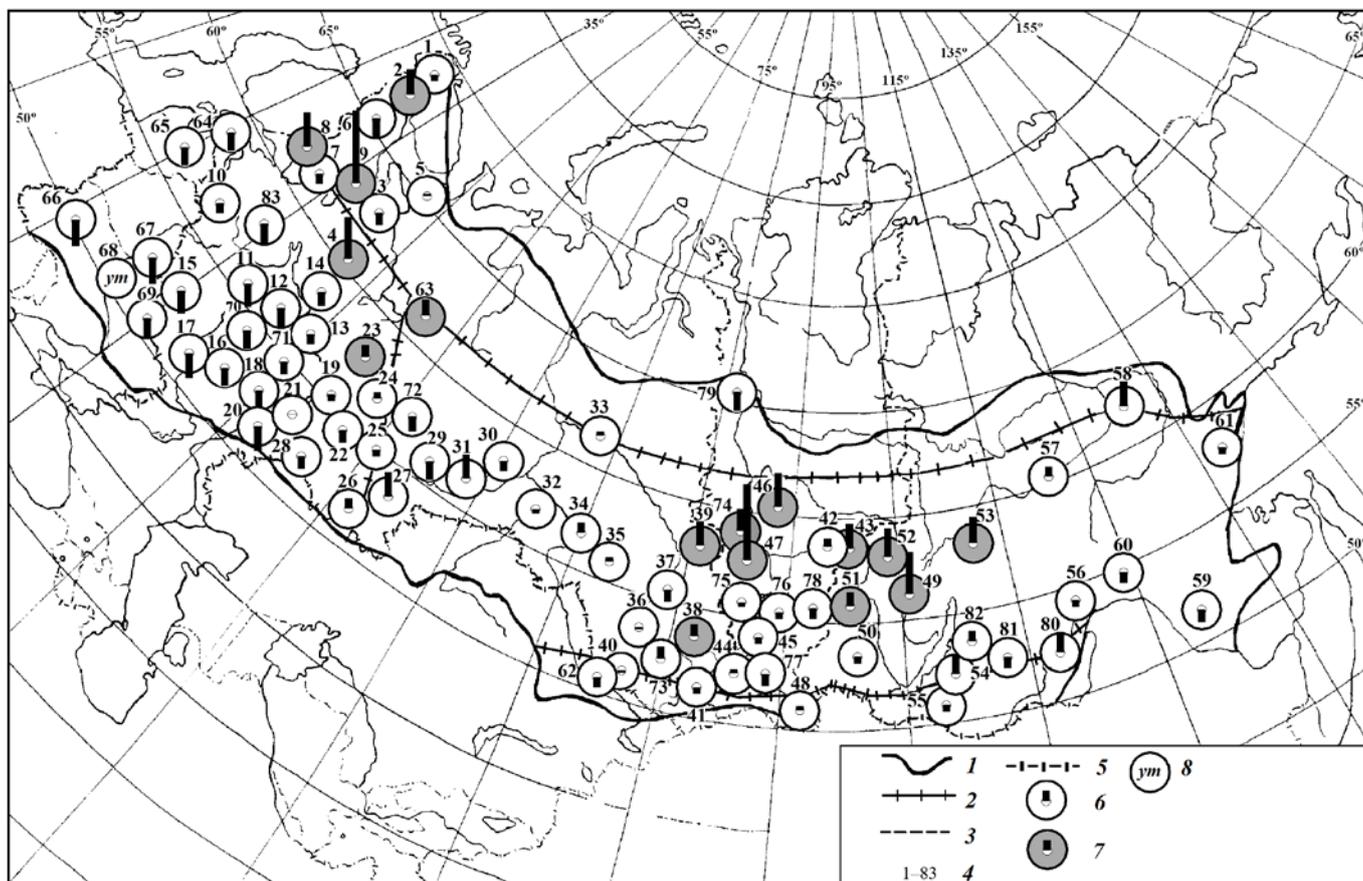


Рисунок 8. Запас древесины у климатипов в долях стандартного отклонения ( $\sigma$ ) на участке с песчаной почвой (1–8 – см. Рисунки 1 и 7)

Их представляет сосна с территорий Сибири, Забайкалья, севера европейской части России, центрально-восточного и юго-восточного регионов европейской части России. Высоты на уровне контроля ( $+0.3 \sigma$ ,  $+0.4 \sigma$ ) отмечаются у 19 % климатипов. Наибольший процент климатипов (52 %) отстает в росте от контроля и их значение к среднему варьирует от  $-2.7 \sigma$  до  $+0.2 \sigma$  (Рисунок 9). В условиях суглинистой почвы у климатипов отмечается отрицательный коэффициент корреляции между высотой и северной широтой ( $r = -0.28$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 73$ ).

В результате анализа динамики средних высот выявлено 19 инорайонных климатипов с высотами, превышающими среднюю высоту на  $0.5$ – $2.1 \sigma$ , и представляющих первую группу. К ним относятся климатипы из южной тайги Красноярского края и Иркутской области, Урала и Забайкалья, а также из средней и южной тайги европейской части России и юго-восточных районов Восточно-Европейской равнины (Рисунок 10 (А)). Средние высоты варьируют от 16.2 м до 18.2 м, среднее значение для группы составляет  $16.8 \pm 0.14$  м или 106 % от контроля и превышает среднюю высоту на участке на  $1 \sigma$ . В последние 17 лет роста климатипы первой группы в большинстве случаев стабильно имеют преимущество относительно контроля или соответствуют его уровню. Различия с контролем

отмечаются для многих представителей группы при высоком уровне значимости ( $p < 0.001$ ;  $n = 73$ ). В группе выделено 10 перспективных климатипов кандидатов в сорта-популяции: №№ 4, 23, 29, 35, 37, 78, 50, 52, 53, 80, с преимуществом по высоте от 4 % до 15 % к контролю (Рисунок 10 (А)).

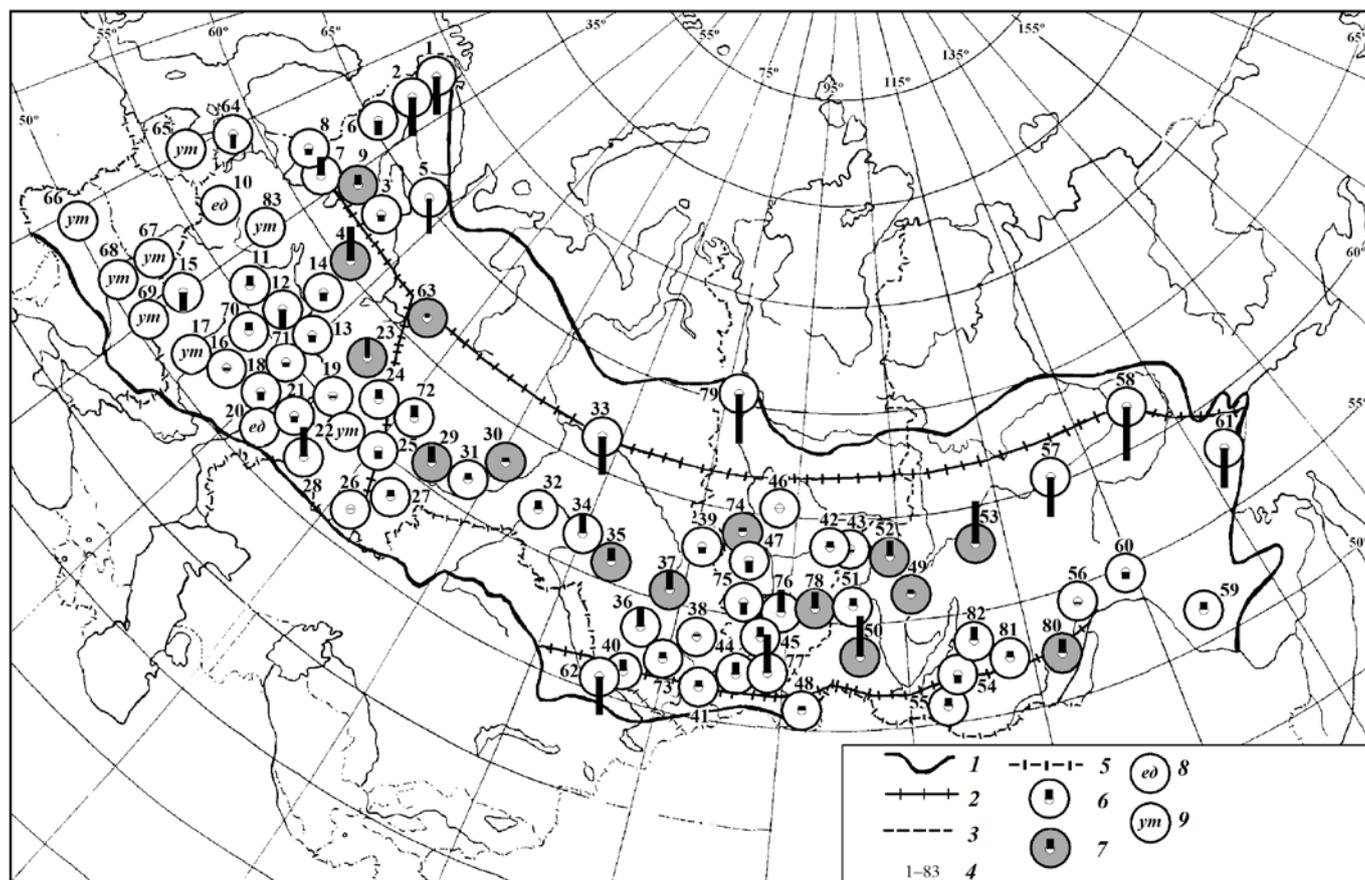


Рисунок 9. Средняя высота климатипов сосны в долях  $\sigma$  на участке с суглинистой почвой (1–7 – см. Рисунки 1 и 7; 8 – климатипы с единично сохранившимися деревьями; 9 – утраченные климатипы)

Вторую группу представляют 53 % от всех климатипов, включая контроль (Рисунок 10 (Б)). Средние высоты климатипов этой группы ( $h = \bar{x} \pm 0.5 \sigma$ ) варьируют от 14.8 м до 16.1 м. Средняя высота для группы составляет 15.5 м или 98 % относительно контроля и близка к среднему значению на участке. Большинство климатипов средней группы на разных возрастных этапах имеют нестабильный рост в высоту. Из второй группы в перспективные выбраны пять климатипов (№№ 9, 63, 30, 74, 49), с показателями на уровне контроля.

Третья группа ( $h < \bar{x} - 0.5 \sigma$ ) – самая малочисленная, ее представляют 15 климатипов (21 %), стабильно отстающих по высоте от контроля. Средние высоты у климатипов этой группы варьируют в пределах 11.9–15.8 м, средняя высота для группы составляет 13.5 м или 85 % от контроля. Между всеми тремя выделенными группами отмечаются значимые различия по высоте ( $p < 0.001$ ), с возрастом различия между климатипами первой и третьей группами увеличиваются.

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 двух первых групп с относительно высокими и средними показателями (Таблица 1). Их представляют девять климатипов из Сибири: из Новосибирской области, Красноярского края, Иркутской области и Забайкальского края (№№ 35, 37, 74, 78, 49, 50, 52, 53, 80), четыре – с

европейской части России: Вологодской области, Карелии, Кировской области и Республики Коми (№№ 4, 9, 23 и 63) и два из таежных лесов Свердловской области (№№ 29, 30). Преимущество по средней высоте у некоторых из них достигает 15 % относительно контроля. Превышение над средней высотой участка варьирует от 0.1  $\sigma$  до 2.0  $\sigma$ .

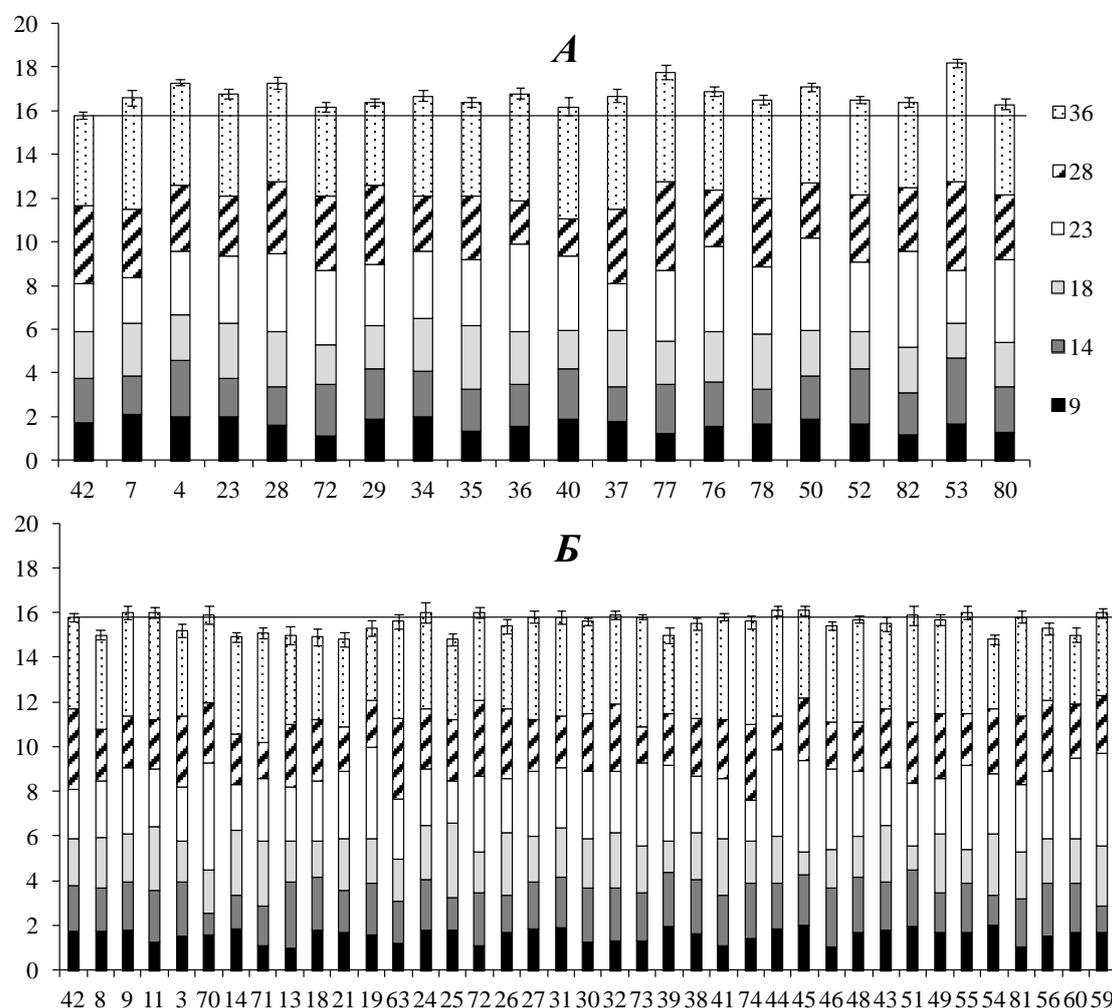


Рисунок 10. Динамика роста в высоту у климатипов сосны первой (А) и второй (Б) групп на суглинистой почве (подписи осей – см. Рисунок 5; легенда – возраст культур, лет)

**Средний диаметр** у климатипов в условиях суглинистой почвы варьирует от  $10.0 \pm 0.52$  до  $22.0 \pm 0.85$  см, у контрольного варианта составляет  $13.6 \pm 0.49$  см, что ниже среднего диаметра ( $15.6 \pm 0.29$  м) на экспериментальном участке. Средний диаметр на участке с суглинистой почвой в 2.9 раза превышает диаметр на песчаной почве. Коэффициент индивидуальной изменчивости диаметра, по шкале С.А. Мамаева (1973), варьирует от среднего (14 %) до высокого уровня (37 %). Географическая изменчивость диаметра равна 16 %, что значительно больше, чем изменчивость линейного роста. Проведенный дисперсионный анализ показал, что группа климатипов из теплых мест происхождения, несмотря на большую густоту, имеет достоверно ( $p < 0.001$ ) больший диаметр по сравнению с климатипами из более холодного климата.

**Форма ствола.** Доля прямоствольных деревьев у климатипов в условиях суглинистой почвы варьирует от 0 до 100 %, среднее – 83 %. Доля прямоствольных деревьев у контроля – 91 %. Значение этого показателя выше контроля отмечается только у 1/3 сохранившихся климатипов. Значимая связь, при которой

регрессионная линейная модель точнее описывает зависимость доли прямоствольных деревьев с характеристиками места происхождения, отмечается с суммой температур  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = -0.63$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.40$ ).

Таблица 1. Средние значения основных показателей перспективных климатипов сосны – кандидатов в сорта-популяции\*

Климатип		Показатели						
№	Название (лесничество, область, край или республика), единый инвентарный номер)	С	В	Д	П	О	З	Ц
		%	$\bar{X} \pm m$ , м	$\bar{X} \pm m$ , см	%	дм <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /га	%
В условиях песчаной почвы								
2	Кандалакшский, Мурманская, 2	63	7.4±0.21	6.9±0.22	100	14.9	86	59
4	Тотемский, Вологодская, 9	62	8.8±0.25	7.5±0.36	92	20.7	104	36
8	Сортавальский, Карелия, 16	63	7.4±0.21	6.7±0.23	92	14.1	82	48
9	Пудожский, Карелия, 17	71	9.7±0.30	8.4±0.32	100	28.3	157	84
23	Слободской, Кировская, 68	85	6.8±0.20	5.5±0.30	88	8.8	63	83
38	Гурьевский, Кемеровская, 89	62	7.5±0.21	6.4±0.30	84	13.0	66	28
39	Колпашевский, Томская, 88	85	7.5±0.26	6.5±0.22	94	11.4	78	74
<b>42</b>	<b>Богучанский Красноярский, 94</b>	<b>76</b>	<b>6.3±0.20</b>	<b>5.6±0.22</b>	<b>87</b>	<b>8.5</b>	<b>57</b>	<b>72</b>
43	Проспихинский, Краснояр., 101	69	7.8±0.30	6.8±0.32	93	15.2	87	86
46	С.-Енисейский, Краснояр., 102	78	8.2±0.14	6.3±0.25	91	13.7	95	99
47	Енисейский, Краснояр., 103	79	9.1±0.24	7.9±0.30	100	23.6	162	93
49	Усть-Кутский, Иркутская, 106	73	8.3±0.20	7.1±0.30	86	17.6	110	90
51	Вихоревский, Иркутская, 108	50	7.9±0.33	7.0±0.33	75	16.3	66	82
52	Катангский, Иркутская, 109	56	8.2±0.23	7.4±0.30	96	18.9	85	64
53	Мамский, Иркутская, 110	84	8.2±0.25	6.4±0.40	94	14.1	84	81
63	Корткеросский, Коми, 10	65	7.2±0.21	6.2±0.28	100	11.8	69	54
74	Н.-Енисейский, Краснояр., 93	47	8.6±0.24	7.7±0.32	94	21.3	78	81
В условиях суглинистой почвы								
4	Тотемский, Вологодская, 9	21	17.3±0.15	17.0±0.56	88	196	343	
9	Пудожский, Карелия, 17	23	16.0±0.29	16.5±0.58	92	172	346	
23	Слободской, Кировская, 68	26	16.8±0.22	15.6±0.53	95	161	353	
29	Ревдинский, Свердловская, 76	37	16.4±0.18	14.7±0.41	80	140	450	
30	Тавдинский, Свердловская, 77	60	15.6±0.18	12.2±0.35	88	92	457	
35	Кыштовский, Новосибирская, 85	38	16.4±0.24	14.5±0.57	90	136	347	
37	Болотнинский, Новосибирская, 87	26	16.7±0.30	15.9±0.58	88	166	351	
<b>42</b>	<b>Богучанский Красноярский, 94</b>	<b>46</b>	<b>15.8±0.18</b>	<b>13.6±0.36</b>	<b>91</b>	<b>116</b>	<b>354</b>	
49	Усть-Кутский, Иркутская, 106	37	15.7±0.23	15.0±0.52	89	140	388	
50	Зиминский, Иркутская, 107	36	17.1±0.20	18.1±1.02	88	220	502	
52	Катангский, Иркутская, 109	23	16.5±0.17	16.6±0.44	90	179	331	
53	Мамский, Иркутская, 110	29	18.2±0.20	15.9±0.51	88	180	412	
63	Корткеросский, Коми, 10	32	15.6±0.32	14.6±0.55	98	132	369	
74	Н.-Енисейский, Краснояр., 93	58	15.6±0.30	13.0±0.37	93	104	395	
78	Канский, Краснояр., 97	42	16.5±0.21	13.9±0.39	90	126	425	
80	Нерчинский, Забайкальский, 114	44	16.3±0.25	14.3±0.56	80	131	459	

\*Примечание: № – авторский номер климатипа; С – сохранность; В – высота; Д – диаметр; П – доля прямоствольных деревьев; О – объем ствола; З – запас стволовой древесины; Ц – доля устойчивых к ценангиевому некрозу

**Объем ствола и запас стволовой продуктивности.** Варьирование среднего объема ствола у климатипов сосны на участке с темно-серой лесной суглинистой почвой составляет 52–284 дм<sup>3</sup>, среднее значение – 153 дм<sup>3</sup>, у контроля средний

объем составляет 116 дм<sup>3</sup>. Запас стволовой древесины у климатипов на экспериментальном участке варьирует от 39 м<sup>3</sup>/га до 549 м<sup>3</sup>/га, среднее значение – 295 м<sup>3</sup>/га, у контрольного варианта – 354 м<sup>3</sup>/га. По отношению к среднему запасу преимущество выявлено у 36 климатипов, значения которых варьируют от +0.1σ до +2.3σ (Рисунок 11).

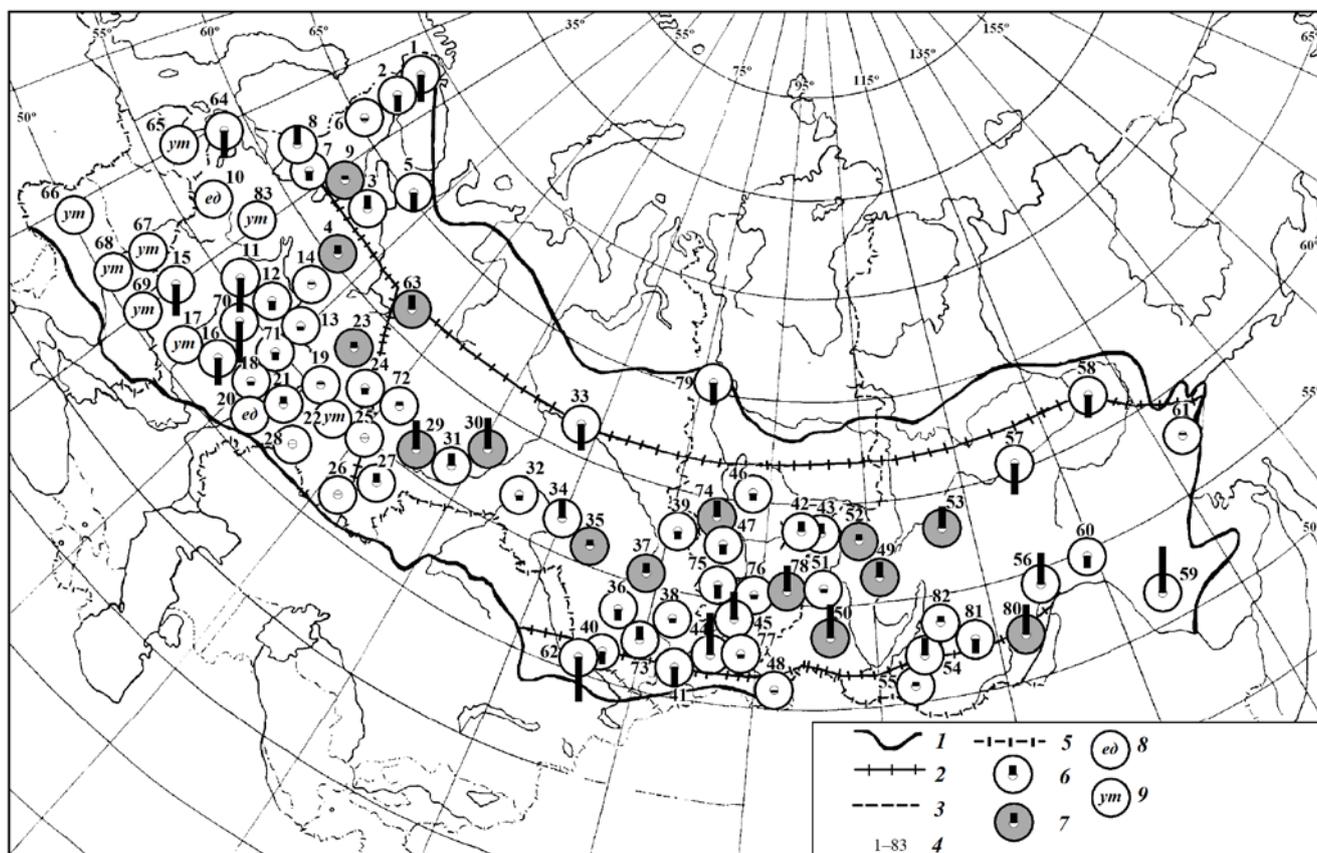


Рисунок 11. Запас стволовой древесины у климатипов в долях  $\sigma$  на участке с суглинистой почвой (1–9 – см. Рисунки 1, 7, 9)

Отмечаются значимые ( $p < 0.001$ ) отрицательные корреляции (Спирмена) объема ствола ( $-0.64$ ) и диаметра ( $-0.71$ ) с плотностью, между запасом и плотностью связь положительная ( $0.72$ ). Отмечается значимая отрицательная корреляционная связь между объемом ствола и северной широтой ( $r = -0.27$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 73$ ). Выявлена положительная связь между запасом стволовой древесины и восточной долготой ( $r = 0.29$ ;  $p < 0.05$ ;  $n = 73$ ), для выборки из южных климатипов (южнее  $56^\circ$  с.ш.) коэффициент корреляции имеет более высокий уровень значимости ( $r = 0.56$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 35$ ).

Отрицательное отклонение от среднего запаса – отмечается у 34 климатипов в пределах от  $-2.3 \sigma$  до  $-0.1 \sigma$ . Запас стволовой продуктивности в абсолютных значениях у отобранных из первых двух групп лучших 15 климатипов варьирует от 317 до 502 м<sup>3</sup>/га, при этом запас контроля составляет 354 м<sup>3</sup>/га. Среди 15 отобранных климатипов девять (№№ 23, 29, 30, 74, 78, 53, 49, 50, 80) имеют преимущество от 10 до 42 % относительно контроля. По отношению к среднему запасу на участке превышение составляет  $0.8$ – $1.9 \sigma$ . Остальные шесть климатипов (№№ 9, 35, 37, 52) имеют превышение к среднему запасу  $0.4$ – $0.7 \sigma$ , они успешны по высоте, форме ствола и устойчивости к патогенам. Преимущество по запасу у перспективных климатипов на суглинистой почве относительно контроля значительно меньше, чем у перспективных климатипов на песчаной.

Одной из причин дифференциации климатипов сосны по динамике роста и стволовой продуктивности является разная стратегия их роста в условиях географических культур, которая находится под влиянием наследственных особенностей, сформированных в местах происхождения климатипов, и их адаптивной реакции на экологические факторы в пункте испытания. 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. Из литературы известно, что более слабое развитие корней растений в пересчете на единицу объема почвы отмечается на высокотрофных почвах, по сравнению с низкотрофными песками (Гаель, Воронков, 1965; Залесов и др., 2004). Основная часть ресурсов растений, произрастающих на песчаных почвах, тратится на развитие корневой системы, способной поддерживать жизнедеятельность растений. В связи с этим, климатипы сосны, тестируемые на бедной песчаной почве и имеющие ограничения при адаптации, значительно уступают по стволовой продуктивности климатипам, тестируемым в условиях темно-серой лесной суглинистой почвы.

#### **ГЛАВА 4. Особенности структуры древесины у климатипов сосны в географических культурах**

В главе 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 годовичного 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 годовичного кольца (ШГК) и доли поздней древесины (ДП) у климатипов сосны в географических культурах в южной тайге Красноярского края и лесостепи Новосибирской области.

Исследование динамики радиального прироста у климатипов сосны в условиях песчаной почвы выявило спад прироста с выраженным минимумом в 24–25-летнем возрасте (Рисунок 12). Причиной низких значений приростов является комплекс факторов: недостаток влаги и питательных веществ, воздействие грибных патогенов. Некоторые климатипы, например, чемальский из Республики Алтай, имеют выпадения нескольких годовичных колец подряд. Климатипы из северной и южной тайги демонстрируют относительную устойчивость к стрессовым факторам.

В условиях суглинистой почвы радиальные приросты у климатипов значительно больше, чем в условиях песчаной (Рисунок 13). Отмечается

дифференциация между климатипами по возрасту достижения максимальных приростов. Так, у плесецкого и богучанского климатипов максимум прироста отмечается в 12-летнем возрасте, у сузунского – в 16-летнем.

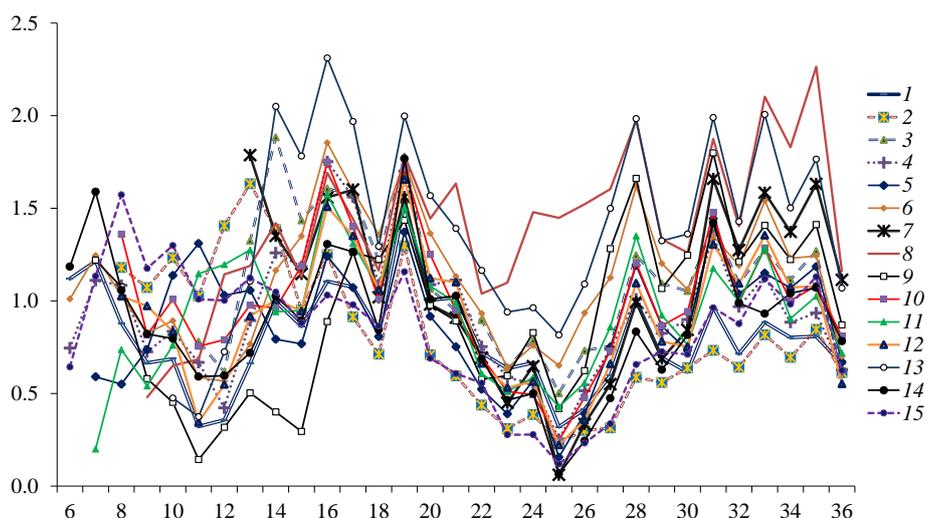


Рисунок 12. Динамика средних значений ШГК у 15 климатипов в условиях песчаной почвы (ось ординат – ШГК, мм; ось абсцисс – возраст деревьев, лет; №№ климатипов: 1 – богучанский; 2 – пинежский; 3 – туруханский; 4 – плесецкий; 5 – балгазынский; 6 – кандалакшский; 7 – чемальский; 8 – енисейский; 9 – заудинский; 10 – усть-кутский; 11 – минусинский; 12 – кяхтинский; 13 – вихоревский; 14 – сузунский; 15 – печенгский)

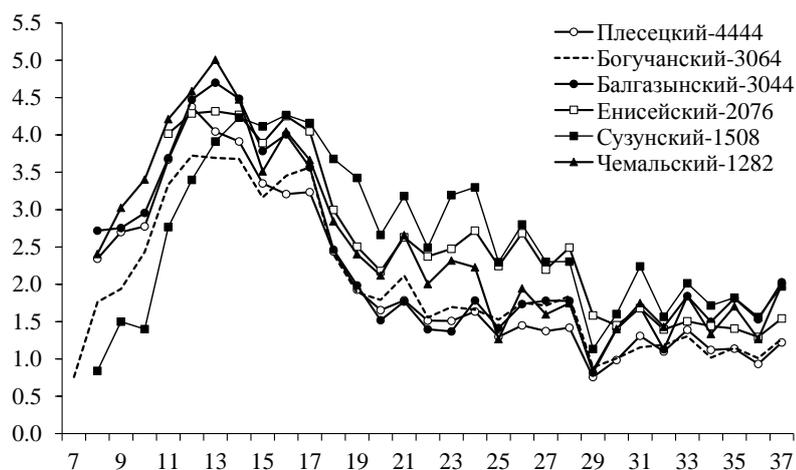


Рисунок 13. Динамика ширины годичного кольца у климатипов в условиях суглинистой почвы (ось ординат – ширина годичного кольца, мм; ось абсцисс – возраст деревьев, лет; легенда – климатип-густота, шт./га)

Анализ анатомических характеристик древесины выявил, что северные климатипы имеют меньшие параметры толщины и площади клеточной стенки трахеид ранней и поздней древесины, чем южные. Установлено, что наименьшая площадь клеточной стенки в годичном кольце отмечается для климатипа с наименьшей продолжительностью безморозного периода – пинежского из Архангельской области ( $368 \text{ мкм}^2$ ), наибольшее значение характерно для климатипа с самым длинным безморозным периодом в пункте его происхождения – чемальского из Республики Алтай ( $439 \text{ мкм}^2$ ). Различия между ними значимы при очень высоком уровне ( $p < 0.001$ ) (Рисунок 14).

Между продолжительностью безморозного периода в местах происхождения климатипов и средней площадью клеточной стенки отмечается значимый коэффициент корреляции Спирмена ( $r = 0.71$ ;  $p < 0.05$ ). Все северные климатипы (кандалакшский, пинежский и плесецкий) значимо не отличаются по площади клеточной стенки от местного богучанского, но отличаются меньшей площадью от

енисейского из южной тайги Красноярского края и чемальского ( $p < 0.05$  и  $0.001$ ). Значимые различия отмечаются между пинежским и южными: балгазынским из Тывы и кяхтинским из Бурятии ( $p < 0.05$ ). Плесецкий климатип из средней тайги Архангельской области имеет значимо меньшую площадь клеточной стенки, чем балгазынский ( $p < 0.01$ ).

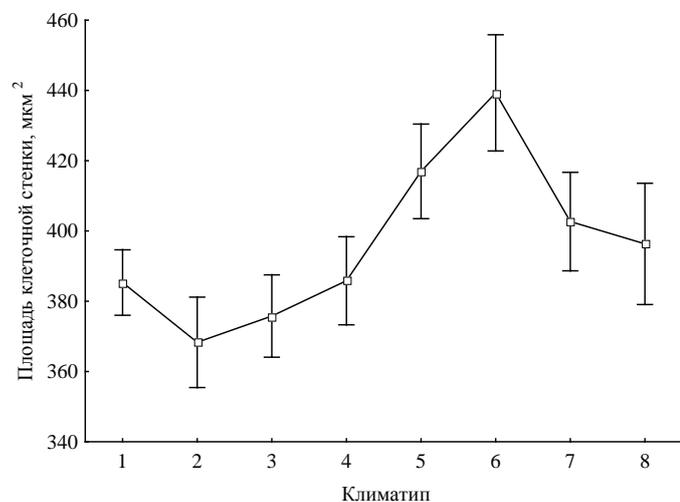


Рисунок 14. Средняя площадь клеточной стенки в годичном кольце у восьми климатипов (1 – кандалакшский; 2 – пинежский; 3 – плесецкий; 4 – богучанский; 5 – енисейский; 6 – чемальский; 7 – балгазынский; 8 – кяхтинский; планки погрешностей – 95 % доверительный интервал)

Использование нормированного к 30 клеткам в годичном кольце ряда трахеид позволило сравнить климатипы по изменению геометрической плотности древесины за вегетационный период. На Рисунке 15 представлены усредненные показатели плотности древесины внутри годичного кольца. В целом, график динамики плотности древесины в годичном кольце демонстрирует наличие индивидуальных особенностей у отдельных климатипов. Южные климатипы отличаются более ранним увеличением плотности древесины в годичном кольце. Так, у балгазынского климатипа стабильное увеличение плотности древесины начинается с 5 клетки. Северный кандалакшский климатип до 8 клетки имеет снижение плотности, при этом показатели плотности древесины в конце нормированного годичного кольца превышают показатели балгазынского климатипа.

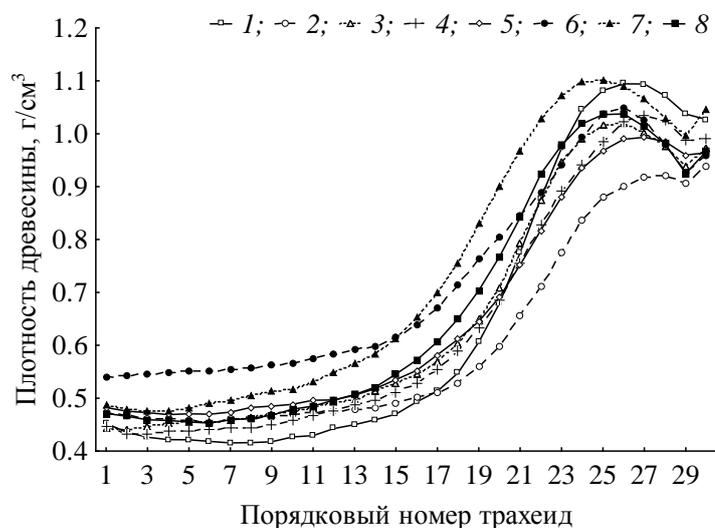


Рисунок 15. Динамика средней геометрической плотности древесины в нормированном ряду годичного кольца у восьми климатипов (1 – кандалакшский; 2 – пинежский; 3 – плесецкий; 4 – богучанский; 5 – енисейский; 6 – чемальский; 7 – балгазынский; 8 – кяхтинский)

Толщина и площадь клеточной стенки в ранней и поздней древесине являются наиболее значимыми показателями в идентификации различий между климатипами

сосны обыкновенной. Меньшие значения показателей отмечаются у северных климатипов, представляющих подвид «лапландская». Климатипы сосны из теплообеспеченных мест происхождения имеют относительно крупные размеры толщины и площади клеточной стенки.

Радиальный диаметр трахеид в древесине у климатипов сосны отражает адаптационную реакцию генотипа на погодные условия в пункте испытания, что подтверждает низкая изменчивость между климатипами, как в ранней, так и поздней древесине, а также более высокая погодичная изменчивость этого показателя в поздней древесине по сравнению с толщиной клеточной стенки.

По структурным элементам поздней древесины отмечается 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. Сравнение климатипов по ДП показало, что в условиях лесостепи этот показатель значимо ( $p < 0.001$ ) увеличивается у всех климатипов (Рисунок 16).

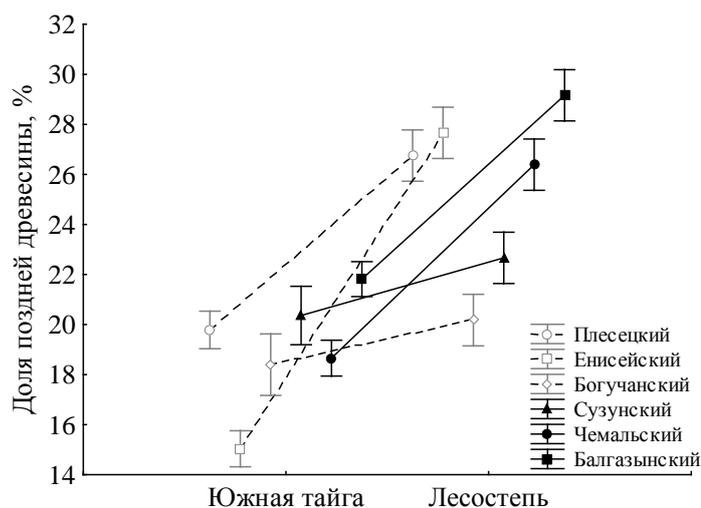


Рисунок 16. Доля поздней древесины в испытаниях в южной тайге и лесостепи (планки погрешности – 95 % доверительный интервал)

Сравнение отклика ШГК и ДП на погодные условия у различных климатипов, выращиваемых в различных пунктах испытания (Богучаны – южная тайга и Сузун – лесостепь) выявило следующие закономерности. В условиях южной тайги отмечается значимое положительное влияние средней температуры воздуха апреля, мая и августа на ШГК. В лесостепи влияние температуры на ШГК только отрицательное у сравниваемых климатипов. В условиях лесостепи у большинства климатипов отмечается уменьшение ШГК, южные климатипы (сузунский, чемальский и балгазынский) отличаются меньшими значениями от северных (плесецкого, енисейского и богучанского). В южной тайге наибольшая ШГК отмечается у сузунского климатипа, а наименьшая у плесецкого.

Балгазынский климатип отличается наибольшей ДП, как в южной тайге Нижнего Приангарья, так и в лесостепной зоне Верхнего Приобья по сравнению с остальными климатипами. Схожие показатели по ДП в разных пунктах испытания демонстрирует богучанский климатип.

## ГЛАВА 5. Дифференциация 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.

**Размеры хвои и плотность устьиц.** 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. Некоторые климатипы сосны сохраняют ранговый статус по длине хвои в разных почвенных условиях, другие его меняют, демонстрируя тем самым разную норму генетической реакции на условия роста. Выявлено, что в условиях песчаной почвы климатипы сосны, представляющие подвид «лапландская» значимо ( $p < 0.01$ ) отличаются наименьшей длиной хвои от климатипов, представляющих «обыкновенную», «сибирскую» и «кулундинскую». Формирование длины хвои у сосны в географических культурах носит наследственный характер, что подтверждают значимые ( $p < 0.001$ ) коэффициенты корреляции Спирмена между длиной хвои и характеристиками места происхождения климатипов: суммой температур  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = 0.56$ ) и географической широтой ( $r = -0.53$ ). Для выборки климатипов из Сибири, расположенных в пределах  $81\text{--}106^{\circ}$  восточной долготы, градиент уменьшения длины хвои с увеличением географической широты на  $1^{\circ}$  составляет 0.76 мм ( $r = -0.63$ ;  $p < 0.01$ ;  $R^2 = 0.40$ ;  $n = 22$ ). Меньшими показателями длины хвои и плотности устьиц отличаются северные климатипы, хвоя у них шире, чем у южных. Для выборки климатипов из европейской части России и Сибири градиент уменьшения плотности устьиц с увеличением широты места происхождения на  $1^{\circ}$  составляет 1.1 шт./мм<sup>2</sup> ( $r = -0.91$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.83$ ;  $n = 10$ ). 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 большая 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.

**Продолжительность жизни хвои.** Выявлено, что климатипы, являющиеся более продуктивными по высоте в географических культурах, имеют высокую сохранность хвои. Значимые коэффициенты корреляции (от  $r = 0.41$ ;  $p < 0.01$  до  $r = 0.50$ ;  $p < 0.001$ ) с высотой, диаметром и объемом ствола, запасом стволовой древесины отмечаются только в условиях песчаной почвы. Для выборки климатипов из Сибири ( $n = 15$ ) с увеличением северной широты на  $1^\circ$  продолжительность жизни хвои увеличивается на 0.1 года ( $r = 0.72$ ;  $p < 0.01$ ;  $R^2 = 0.52$ ). 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. Климатипы подвидов «сибирская» и «лапландская» имеют более долгий срок жизни хвои в условиях песчаной почвы (3.7 и 4.0 года), чем «кулундинская» и «обыкновенная» (3.2 и 3.3 года соответственно).

**Охвоенность побегов.** 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 ( $r = 0.45$ ;  $p < 0.05$ ) и долей деревьев с сильной и средней степенью повреждения ценангиевым некрозом ( $r = 0.74$ ;  $p < 0.05$ ). Значимые различия ( $p < 0.05$ ) по охвоенности отмечаются между климатипами подвидов сосны «обыкновенная» (8.6–9.2 шт./см) и «сибирская» (7.2–8.7 шт./см).

**Фенология хвои.** Исследование фенологических фаз формирования хвои у сосны разного происхождения выявило различия. Значительные различия по состоянию вегетативных побегов отмечаются между контрастными по месту происхождения климатипами, например, кандалакшским из северной тайги Мурманской области и балгазынским из подтаёжного пояса Республики Тыва. Более поздний срок начала разветвления хвои отмечается у южного балгазынского климатипа, различия в календарных сроках составляют от 7 до 10 дней. Данные результаты подтверждаются исследованиями продолжительности покоя (Пахарькова и др., 2014).

**Исследование компонентного состава летучих веществ** в хвое климатипов сосны выявило 64 вещества: 60 обнаружены в газовой фазе, 49 – в эфирном масле (Кузьмин и др., 2020). По 18 веществам, обнаруженным в газовой фазе, установлены значимые различия между устойчивыми и неустойчивыми к грибным патогенам климатипами. Исследование концентраций терпенов, показало наибольшие относительные концентрации  $\alpha$ -пинена и 3-карена в общем количестве исследуемых веществ. Анализ концентраций этих веществ в связи с географической широтой места происхождения климатипов выявил, что у южных происхождений отмечается увеличение концентрации 3-карена и уменьшение концентрации  $\alpha$ -пинена относительно северных климатипов (Рисунок 17). В литературе отмечается связь летучих веществ с устойчивостью к грибным патогенам, в том числе и

положительная связь доли 3-карена с устойчивостью к корневой губке (Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Nerg et al., 1994; Тараканов и др., 2004).

Выявлены противоположные по знаку коэффициенты корреляции Спирмена концентраций  $\alpha$ -пинена ( $r = -0.66$ ;  $p < 0.05$ ) и 3-карена ( $r = 0.75$ ;  $p < 0.01$ ) с суммой температур  $> 10$  °С мест происхождения климатипов. Северные устойчивые климатипы сосны отличаются относительно большим содержанием  $\alpha$ -пинена и меньшим – 3-карена, их соотношение в среднем составляет у них 11:1. Концентрация  $\alpha$ -пинена у южных неустойчивых климатипов по отношению к устойчивым значительно меньше, но содержание 3-карена увеличивается, их соотношение составляет 3:1. 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.

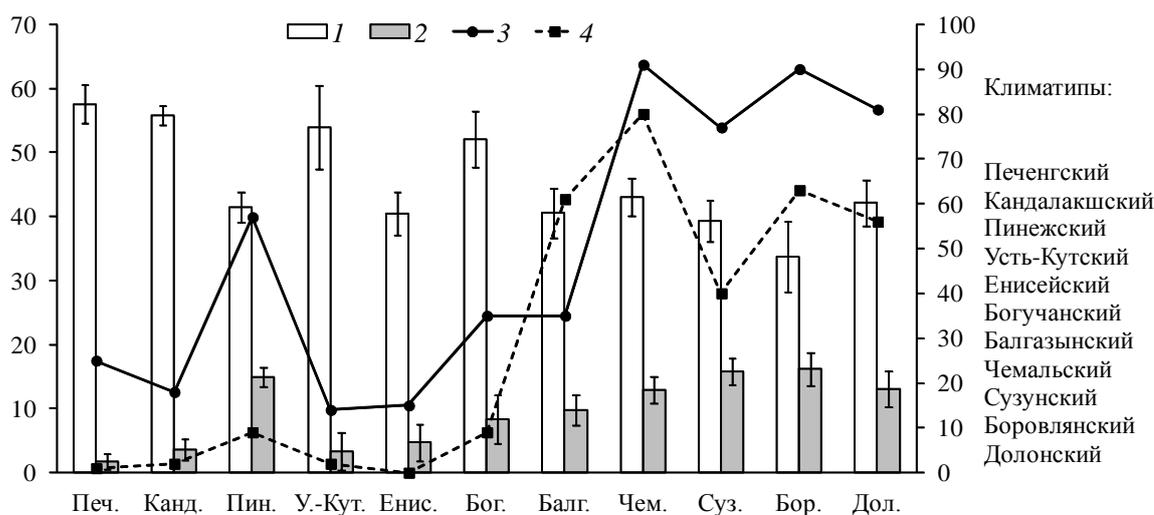


Рисунок 17. Доли (%)  $\alpha$ -пинена (1) и 3-карена (2) от общего количества летучих веществ в хвое (левая ось) и доли (%) поврежденных деревьев снежным шютте (3) и сильно поврежденных деревьев ценангиевым некрозом (4) (правая ось) у климатипов (погрешности – стандартная ошибка)

**Размеры и форма шишек.** В урожаях разных лет, исследуемых с 20-летнего возраста географических культур, средняя длина шишек (ДШ) варьирует от 33.4 мм у якутского климатипа до 46.2 мм у тарского климатипа из Омской области. По средним многолетним размерам мелкие шишки (ДШ  $< 39.1$  мм) отмечаются у климатипов сосны из северных и центральных регионов европейской части ареала, северных районов Урала и Якутии (Рисунок 18).

Крупные шишки (ДШ  $> 41.5$  мм), в основном имеют климатипы из таежных лесов Восточной Сибири, лесостепных и горно-таежных сосняков с юга региона. Также, крупные шишки отмечаются у ряда климатипов лесостепной зоны Западной Сибири и климатипов с территории Дальнего Востока. Уровень значимости

различий между отдельными климатипами, имеющими мелкие и крупные шишки, очень высокий ( $p < 0.001$ ). Анализ связи размеров шишек с географическими координатами мест происхождения климатипов выявил значимые коэффициенты корреляции Спирмена с широтой ( $r = -0.33$ ;  $p < 0.05$ ) и долготой ( $r = 0.34$ ;  $p < 0.05$ ), что свидетельствует о соответствии более длинных шишек южным и восточным климатипам.

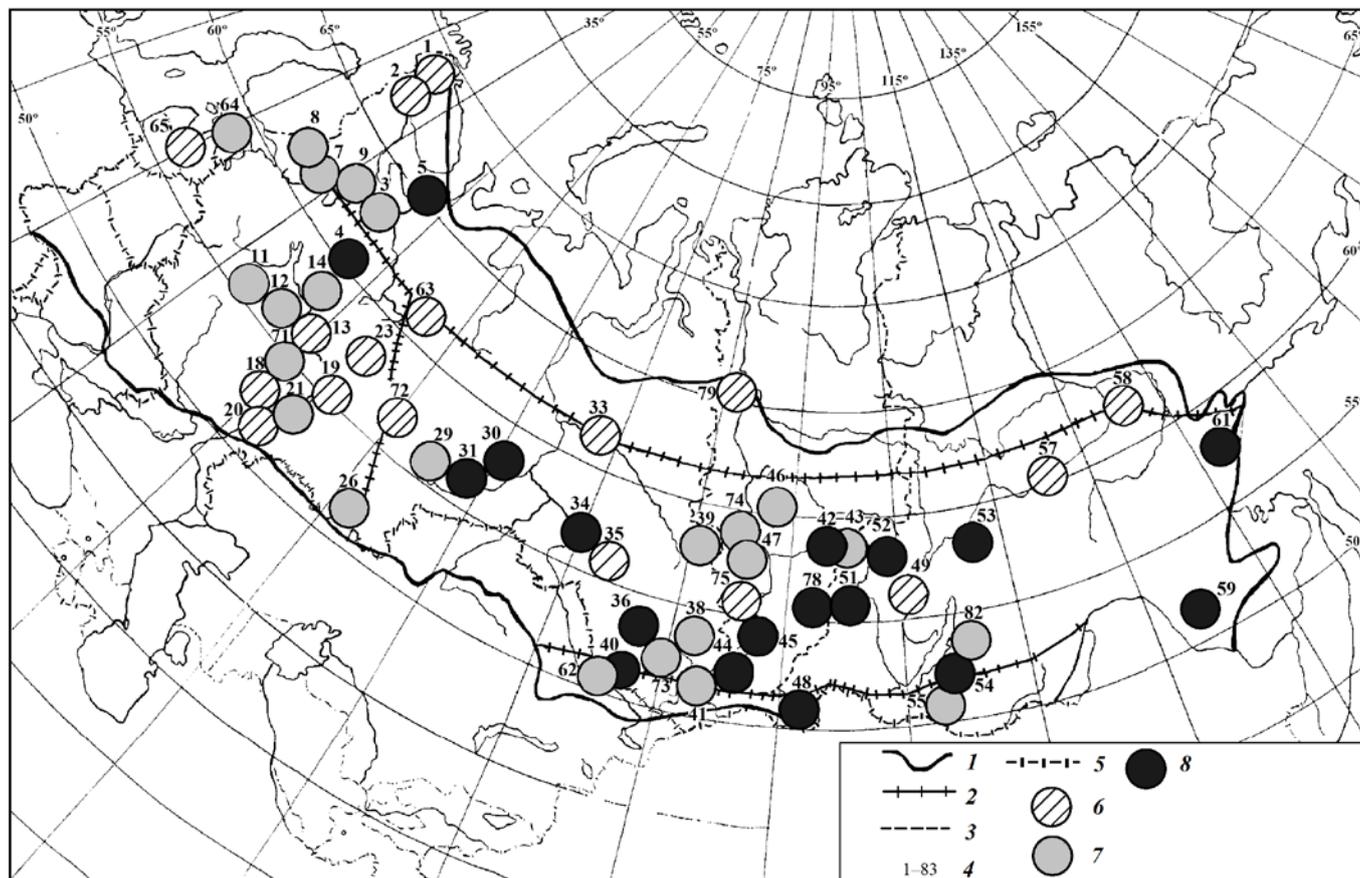


Рисунок 18 Дифференциация климатипов по длине шишек (ДШ) (1–5 – см. Рисунок 1; 6 – мелкие (ДШ < 39.1 мм); 7 – средние (ДШ = 39.1–41.5 мм); 8 – крупные (ДШ > 41.5 мм)

Средний индекс формы шишки (ФС) у климатипов варьирует от 0.45 до 0.59. Выделены три группы шишек: конические (ФС < 0.48), средние (ФС = 0.48–0.52) и округлые (ФС > 0.52). Климатипы с конической формой представляют в основном таежную и лесостепную зону Восточной Сибири.

Округлую форму имеют климатипы из лесорастительных зон Европейской части ареала и Западной Сибири. По ФС климатипов не выявлено значимой связи с географическими координатами или климатическими характеристиками мест происхождения. Изменчивость ФС у сосны в географических культурах имеет локально мозаичный характер, отмеченный А.И. Видякиным с соавт. (2010) в природных популяциях.

**Масса семян.** 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. Легкие семена (ИМС < 5.26 г) отмечаются у климатипов сосны из тайги Европейского Севера, Тюменской

области, Якутии, подтайги Томской, Иркутской областей, лесостепи Омской и Иркутской областей, горной и южной тайги Восточной Сибири, Бурятии, Забайкальского края, Амурской области и Хабаровского края (Рисунок 19).

Тяжелые семена (ИМС > 6.42 г) имеют климатипы из зоны сосновых и лесостепных лесов Украины и Беларуси, подзоны южной тайги, лесостепи и степи южной части центральной России, подтаежных лесов Алтая и Красноярского края, ленточных боров Казахстана и Алтайского края, подтаежных и лесостепных сосновых лесов Красноярского края, Тывы и Бурятии. Выявлена положительная значимая связь ИМС с высотой 6-летних деревьев климатипов, выращенных из этих семян ( $r = 0.39$ ;  $p < 0.01$ ). В 25-летнем возрасте уровень значимости снижается ( $r = 0.29$ ;  $p < 0.05$ ).

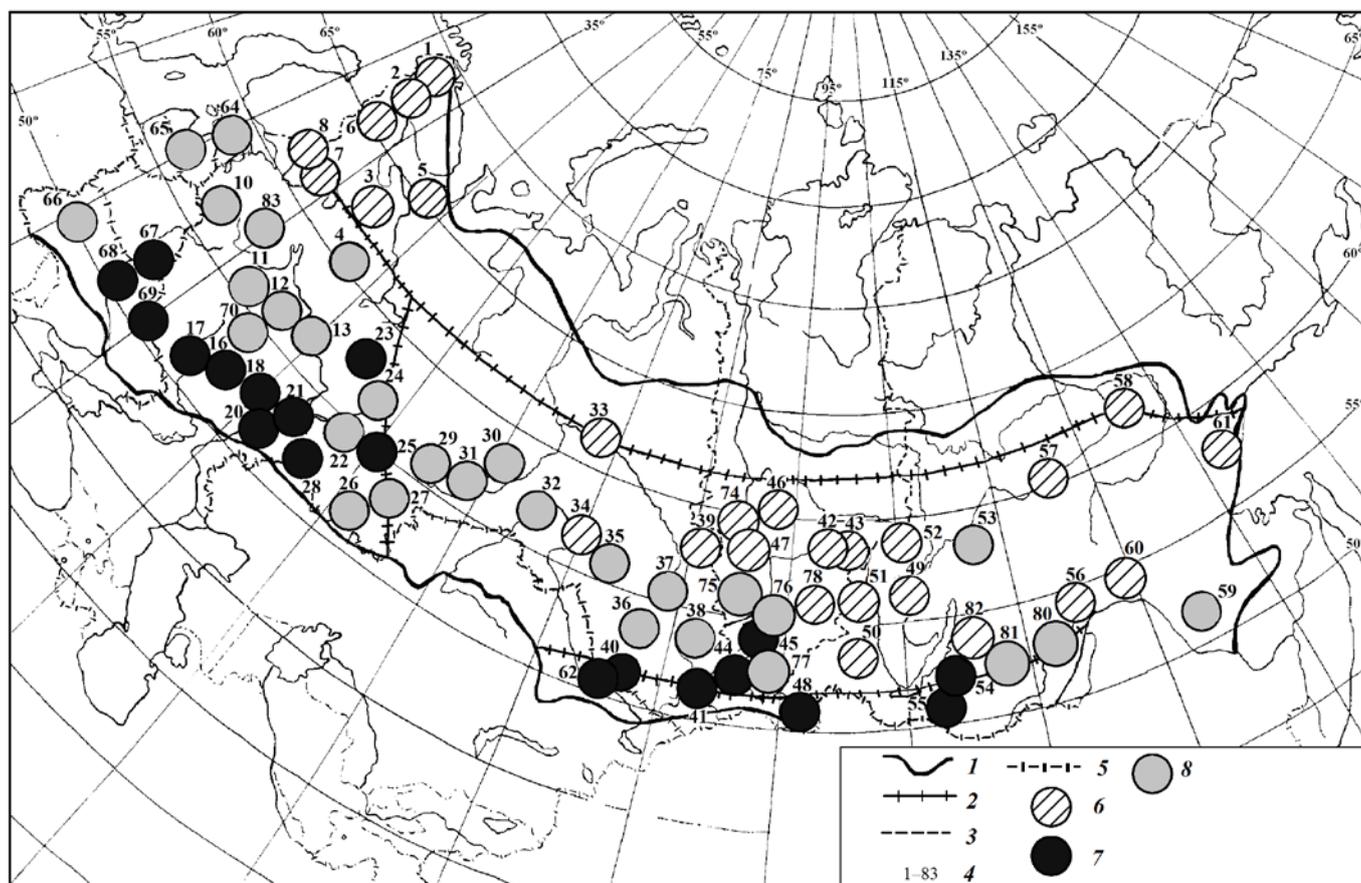


Рисунок 19. Группы климатипов по массе семян материнских насаждений (1–5 – см. Рисунок 1; 6 – легкие; 7 – тяжелые; 8 – средние)

Согласно регрессионному анализу коэффициент корреляции линейной зависимости между северной широтой мест происхождения сибирских климатипов ( $n = 21$ ) и ИМС является значимым ( $r = -0.78$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.61$ ). С увеличением северной широты на  $1^\circ$  ИМС уменьшается на 0.27 г. Между ИМС и МС отмечается положительный коэффициент корреляции Пирсона с высоким уровнем значимости ( $r = 0.59$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 37$ ). 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.

## ГЛАВА 6. Устойчивость климатипов сосны к грибным патогенам в географических культурах

В главе представлены результаты анализа дифференциации климатипов сосны по устойчивости к заболеваниям: обыкновенному и снежному шютте на основе материалов, взятых из архивного фонда Института леса. Показаны результаты анализа заболеваний, вызванных ценангиевым некрозом в условиях песчаной почвы и раком-серянкой в условиях суглинистой почвы (полевой материал собран совместно с сотрудниками Института и лесничества). Диагностика всех заболеваний проводилась фитопатологами Института леса и специалистами Центра защиты леса Красноярского края. 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, вызванным сумчатым грибом *Lophodermium pinastri* Chev., имеет выраженную географическую привязку к юго-западной части ареала сосны.

Заболевание сосны снежным шютте, возбудителем которого является сумчатый гриб *Gremmenia infestans* (P. Karst.) Crous, 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. Это климатипы с территории Прибалтики, Украины, Республики Беларусь, европейской части России. Климатипы с Урала, Казахстана, южных и лесостепных районов Сибири, также имели 50–90 % пораженных деревьев. 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. Большая доля здоровых деревьев (более 80 %) отмечалась у потомств сосны Красноярского края, Якутии, Иркутской области, Забайкальского и Хабаровского краев, а также Мурманской области и Республики Коми. После болезни у поврежденных деревьев, представляющих климатипы подвидов «сосна обыкновенная» из Европейской части России и «сосна кулундинская» из ленточных и степных боров Казахстана и Южной Сибири, отмечались низкие показатели прироста.

В возрасте 23–25 лет зафиксировано заболевание – ценангиевый некроз, возбудителем являлся *Cenangium ferruginosum* Fr. 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. Климатипы этих регионов имели от 10 до 50 % поврежденных деревьев. К менее устойчивым климатипам, имеющим сильную и среднюю степень повреждения хвои, относятся происхождения из центральных районов России, ряда районов Поволжья и Урала и южных районов Сибири. Встречаемость поврежденных деревьев у них варьирует от 50 до 80 %. (Рисунок 20).

Самая низкая устойчивость к патогену отмечалась у климатипов сосны из Прибалтики, Украины, Беларуси (№№ 64–69), южных районов России (№№ 10–20), а также у сосны с Урала и Поволжья (№№ 19–25, 27–29). Климатипы этой группы имели массовый характер поражения хвои сильной и средней степени тяжести (80–100 % пораженных деревьев).

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 ( $r = 0.67$ ;  $p < 0.001$ ) и безморозного ( $r = 0.56$ ;  $p < 0.001$ ) периодов, с ИМС ( $r = 0.51$ ;  $p < 0.001$ ), означающими, что устойчивость климатипов к болезням обусловлена климатическими и географическими факторами их мест происхождения. Связь показателя с географическими координатами происхождения – широтой ( $r = -0.51$ ;  $p < 0.001$ ) и долготой ( $r = -0.52$ ;  $p < 0.001$ ), 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.

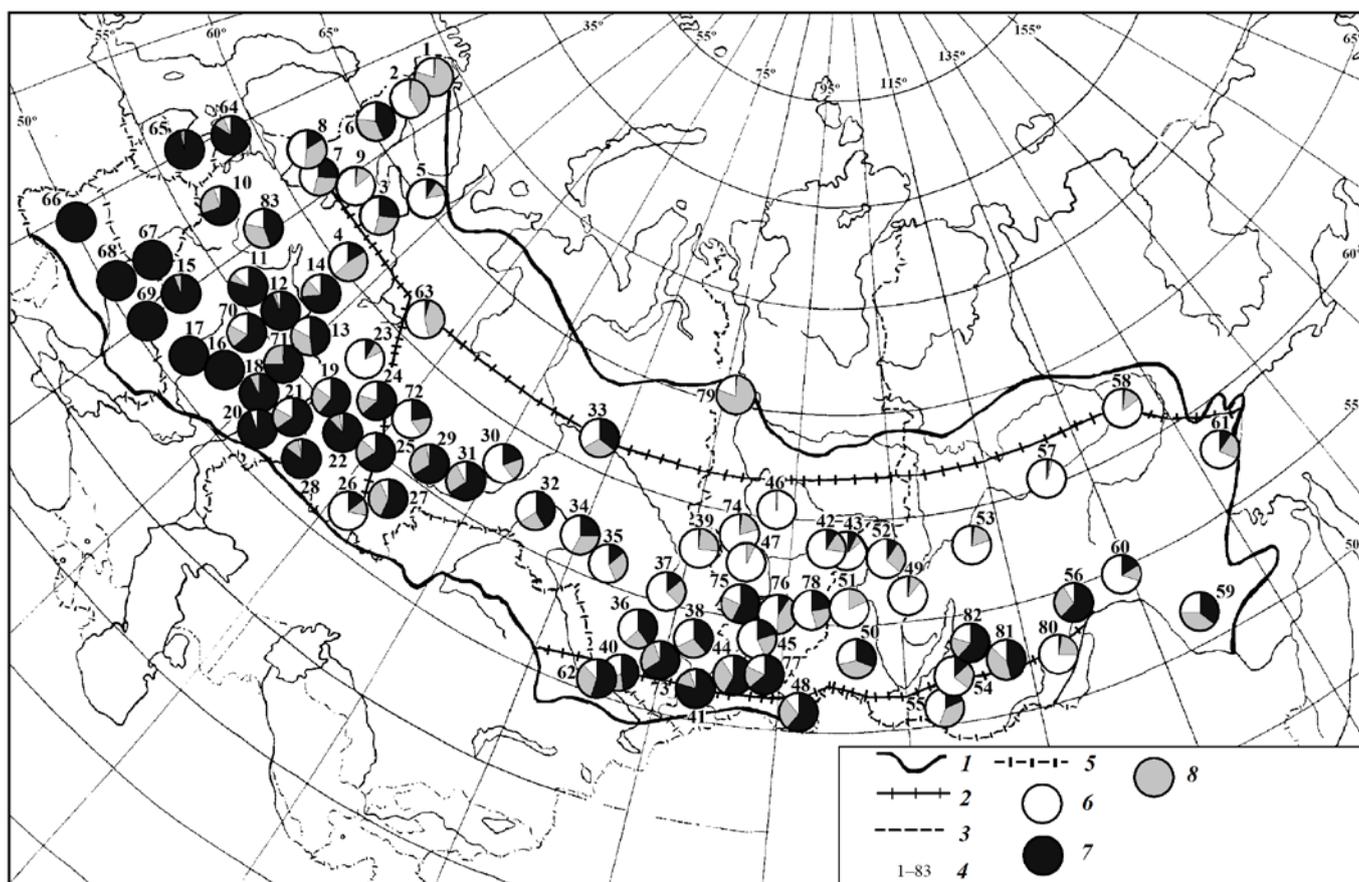


Рисунок 20. Степень повреждения климатипов сосны ценангиевым некрозом в условиях песчаной почвы (1–5 – см. Рисунок 1; 6 – доля здоровых и слабо поврежденных деревьев, %; 7 – доля сильно поврежденных деревьев, %; 8 – доля средне поврежденных деревьев, %)

В условиях темно-серой лесной почвы отмечаются повреждения сосны раком-серянкой. Заболевание вызывается грибами-ржавчинниками (*Cronartium pini* (Willd.) Jørst.). Наибольшую долю пораженных деревьев (4–10 %) имеют климатипы

из степных, лесостепных районов Поволжья, юга Урала, Казахстана и юга Сибири (дюртюлинский из Башкортостана, курганский из Курганской области, долонский из Казахстана, кяхтинский из Бурятии, ракистовский с Алтайского края). Меньшая встречаемость пораженных деревьев (1–3 %) отмечается у климатипов сосны из южно-таежной подзоны европейской части России (Тамбовской, Костромской, Ульяновской областей, Татарстана, Удмуртии, Башкортостана и Томской области). Климатипы из Красноярского края и Иркутской области (катагский и енисейский) имеют от 2.1 до 3.7 % пораженных деревьев этим патогеном. 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  $\alpha$ -пинена к 3-карену. Данные особенности хвои выявлены у климатипов из северных регионов: печенгского, кандалакшского, корткеросского, туруханского, енисейского, северо-енисейского, богучанского, усть-кутского, катангского и аянского. 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 ( $r = -0.40$ ;  $p < 0.01$ ). 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.

## **ГЛАВА 7. Выделение лесосеменных районов сосны обыкновенной в Сибири на основе оценки роста географических культур**

Итоговой оценкой роста климатипов сосны в географических культурах является усредненный показатель 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). В условиях песчаной почвы КУР у климатипов варьирует от  $-1.8 \sigma$  до  $+2.1 \sigma$ , у контроля составляет  $+0.4 \sigma$ , в условиях суглинистой – от  $-1.5 \sigma$  до  $+1.1 \sigma$ , у контроля  $+0.3 \sigma$ . По средним значениям, как отдельных исследуемых признаков, так и по КУР, выделена 21 группа, в пределах которых у климатипов отмечаются близкие значения усредненного показателя. Выделенные группы представляют определенные географические территории в ареале сосны, на Рисунке 21 они показаны условными линиями и обозначены римскими цифрами.

Между выделенными группами отмечаются различия по итоговой оценке. Климатипы сосны с территорий европейской части России выделены в шесть групп (I–IV, IVa, IVb); с Урала – в три (V, VI, VIa); в Западной Сибири – в четыре (VII, VIIa, VIII, XIII); в Восточной Сибири – в шесть (IX–XIV) групп (XIII группа представляет популяции на юге ареала сосны в Западной и Восточной Сибири). Климатипы с Забайкалья и Дальнего Востока представляют три группы (XV–XVII).

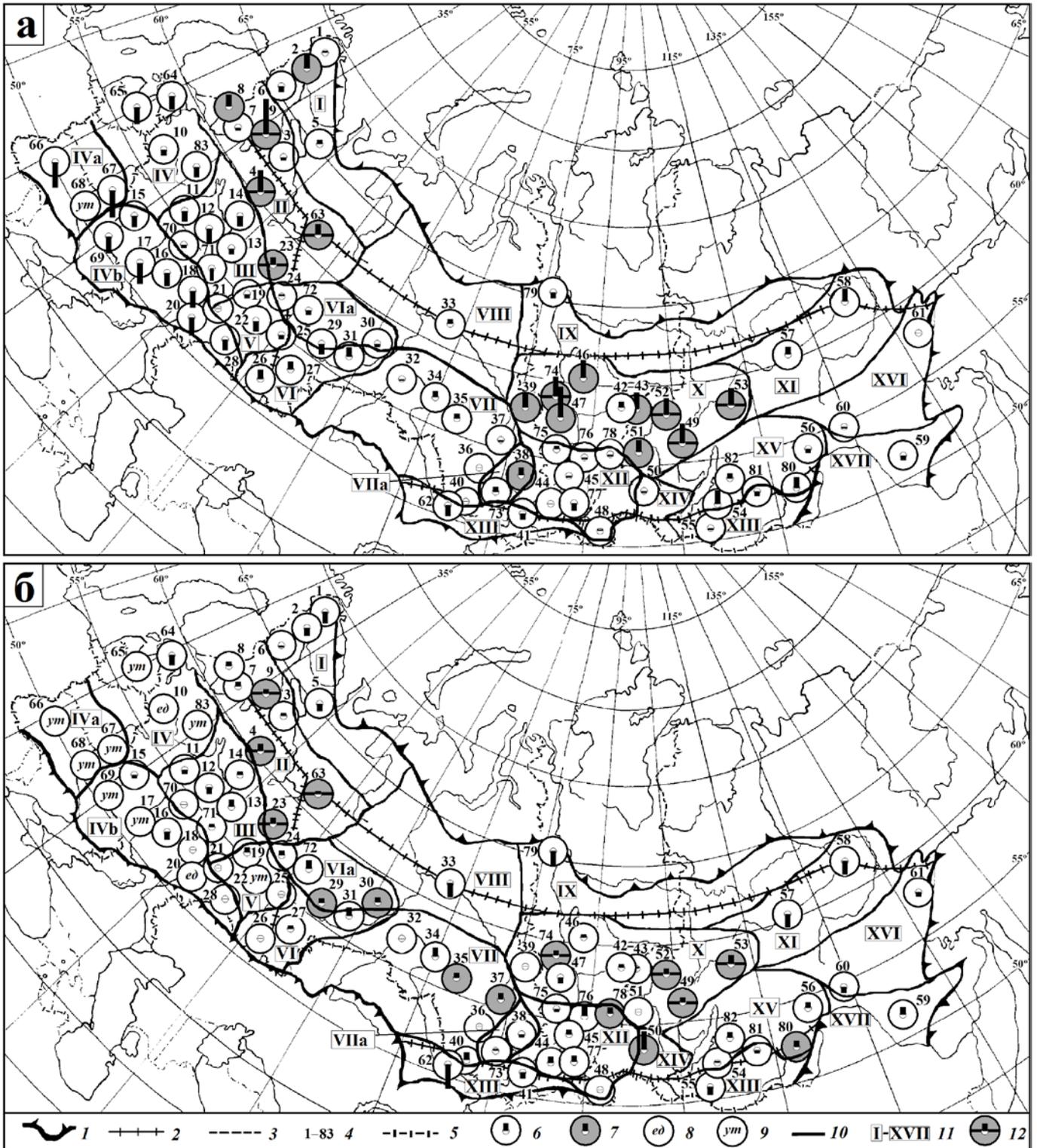


Рисунок 21. Успешность роста климатипов сосны по комплексу признаков в долях  $\sigma$  на участках с песчаной (а) и суглинистой (б) почвами (1–9 – см. Рисунки 1, 8, 9; 10 – границы групп климатипов; 11 – номера территорий выделенных групп; 12 – перспективные климатипы на двух участках

В пределах некоторых выделенных групп отмечаются климатипы (Рисунок 21), 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. К ним относятся климатипы: из Карелии (№ 9), Республики Коми (№ 63), Вологодской (№ 4), Кировской (№ 23) и Иркутской областей (№ 49, № 52, № 53), Красноярского края (№ 74). Данные климатипы имеют высокие или на уровне контроля показатели роста и

устойчивости в разных лесорастительных условиях в географических культурах. Положительный КУР на песчаной почве у них варьирует от 0.6  $\sigma$  до 2.1  $\sigma$ , на суглинистой – от 0.3  $\sigma$  до 0.6  $\sigma$ .

Анализ групп климатипов по критерию успешности роста позволил выделить пять лесосеменных районов (ЛСР) на территориях Красноярского края, Иркутской области, Якутии, Хакасии и Тывы: 1. Туруханско-Эвенкийский, 2. Ангаро-Ленский, 3. Саянский, 4. Иркутский, 5. Якутский (Рисунок 22).

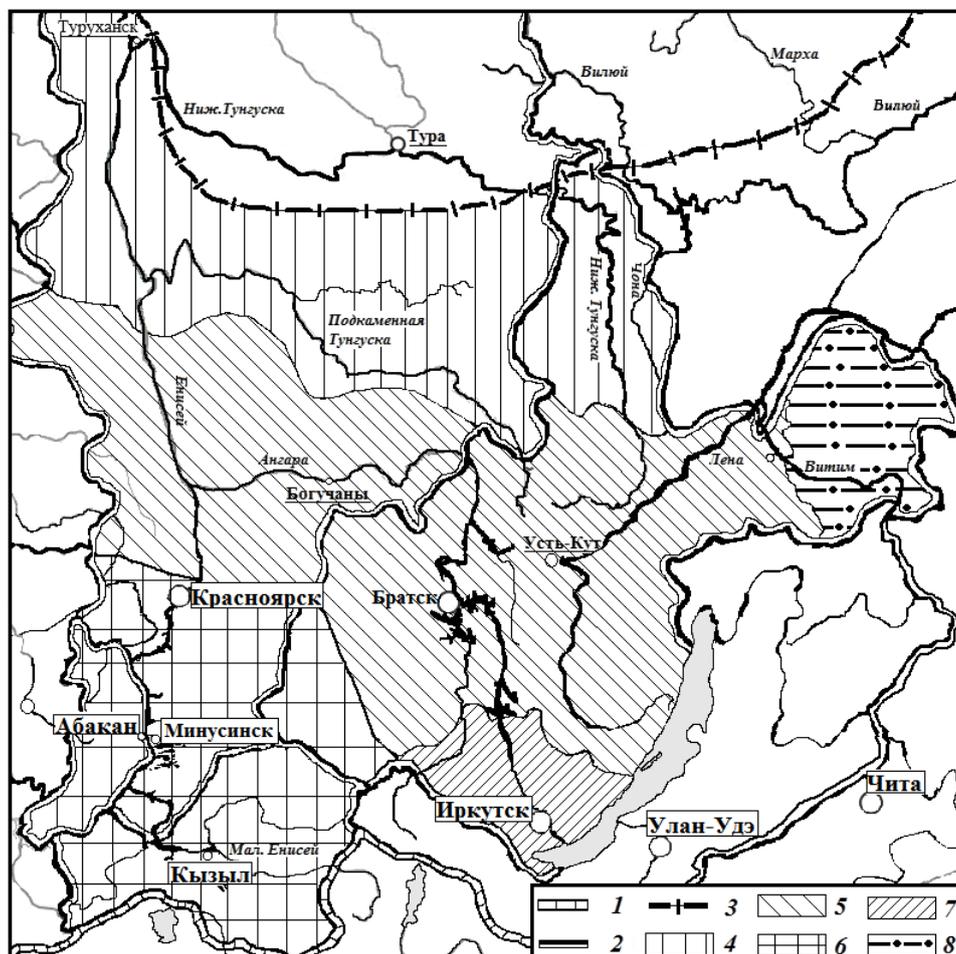


Рисунок 22. Лесосеменные районы сосны обыкновенной в Сибири, выделенные на основе результатов исследования географических культур (1 – граница государств; 2 – граница регионов России; 3 – северная граница ареала сосны обыкновенной; районы: 4 – Туруханско-Эвенкийский; 5 – Ангаро-Ленский; 6 – Саянский; 7 – Иркутский; 8 – Якутский)

«Туруханско-Эвенкийский» ЛСР занимает территории Туруханского, Эвенкийского, Байкитского и Тунгусско-Чунского лесничеств Красноярского края и северную и среднюю часть Катангского лесничества Иркутской области. По районированию 1982 г. (Лесосеменное..., 1982 г.) этот район соответствует ЛСР № 43 с его подрайонами, по районированию 2015 г. рассматриваемая территория является частью ЛСР № 10 и № 15.

«Ангаро-Ленский» ЛСР в сравнении с районированием 1982 г. представляет расширенную территорию № 56 Ангаро-Илимского ЛСР за счет частично прилегающих к нему районов и подрайонов: № 47 – Средне-Енисейского (а, б); № 48 – Тунгусского (а, б, в); № 57 – Верхне-Ленского (а); № 58 – Южно-Ангарского (а, б); № 55 – Томского (б, г). Основанием для этого расширения является успешный рост и устойчивость климатипов сосны (№№ 39, 74, 42, 43, 47, 46, 52, 51, 49, 53) с присоединенных территорий в пункте испытания географических культур. По

действующему районированию территория «Ангаро-Ленского» ЛСР состоит в основном из фрагментов ЛСР №№ 11, 13, 15, 16, 19.

«Саянский» ЛСР представляют популяции сосны юга Красноярского края, юго-западной части Иркутской области (южная часть Нижнеудинского лесничества), Хакасии и Тывы. Популяции этого района имеют относительно успешные показатели роста в условиях суглинистой почвы и менее успешные (относительно климатипов Ангаро-Ленского ЛСР) в условиях песчаной почвы. Границы Саянского ЛСР сохраняются примерно в границах ЛСР № 60 с подрайонами по районированию 1982 г., за исключением северной границы, которая проходит немного севернее, ориентиром являются климатипы №№ 75 и 78. В Саянский ЛСР включены Минусинский и Центрально-Тувинский (№ 71 и 72 по 1982 г.) ЛСР. Относительно действующего районирования данная территория частично соответствует фрагментам четырех ЛСР (№№ 13, 14, 16, 17). Среди всех сосняков Саянского ЛСР выделяется популяция сосны балгазынского бора (территория Республики Тыва), представляющая кулундинский подвид сосны по Л.Ф. Правдину. Критерий успешности роста балгазынского климатипа в условиях песчаной почвы отмечается на уровне контрольного варианта, и является лучшим результатом среди всех популяций Саянского ЛСР и популяций сосны кулундинского подвида. Также, сосну балгазынского климатипа отличают относительно крупные по размеру шишки, собранные в географических культурах.

«Иркутский» лесосеменной район представляют сосновые леса юго-западной предбайкальской территории Иркутской области, что соответствует ЛСР № 18 действующего лесосеменного районирования.

К «Якутском» району, выделенному на территории Иркутской области, отнесены сосняки Бодайбинского лесничества, а также сосняки с территории Якутии – олекминский и якутский климатипы. Выделенная территория Якутского района является фрагментом ЛСР № 49–51 по районированию 1982 г. и фрагментом ЛСР № 20 действующего лесосеменного районирования.

Между лесосеменными районами отмечаются различия по КУР, длине и продолжительности жизни хвои, массе семян. Значимые различия выявлены между популяциями сосны Ангаро-Ленского ЛСР и популяциями Саянского ЛСР по критерию успешности роста ( $p < 0.001$ ), массе семян ( $p < 0.001$ ), длине и продолжительности жизни хвои ( $p < 0.05$ ).

Кластерный анализ 73 климатипов по двум экспериментальным участкам с применением комплекса признаков в основном подтверждает выделенные лесосеменные районы на территории Средней и частично Восточной Сибири (Рисунок 23). Так, все климатипы Ангаро-Ленского ЛСР (кроме контроля) представляют кластер № 2. Северные климатипы Якутского и Туруханско-Эвенкийского ЛСР представляют кластер № 1. Климатипы (№№ 75, 76, 78, 45, 44, 77, 48) Саянского ЛСР представляют кластеры №№ 4, 5, 6. Климатипы данных кластеров имеют различия по сохранности и устойчивости к патогенам в условиях песчаной почвы.

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.

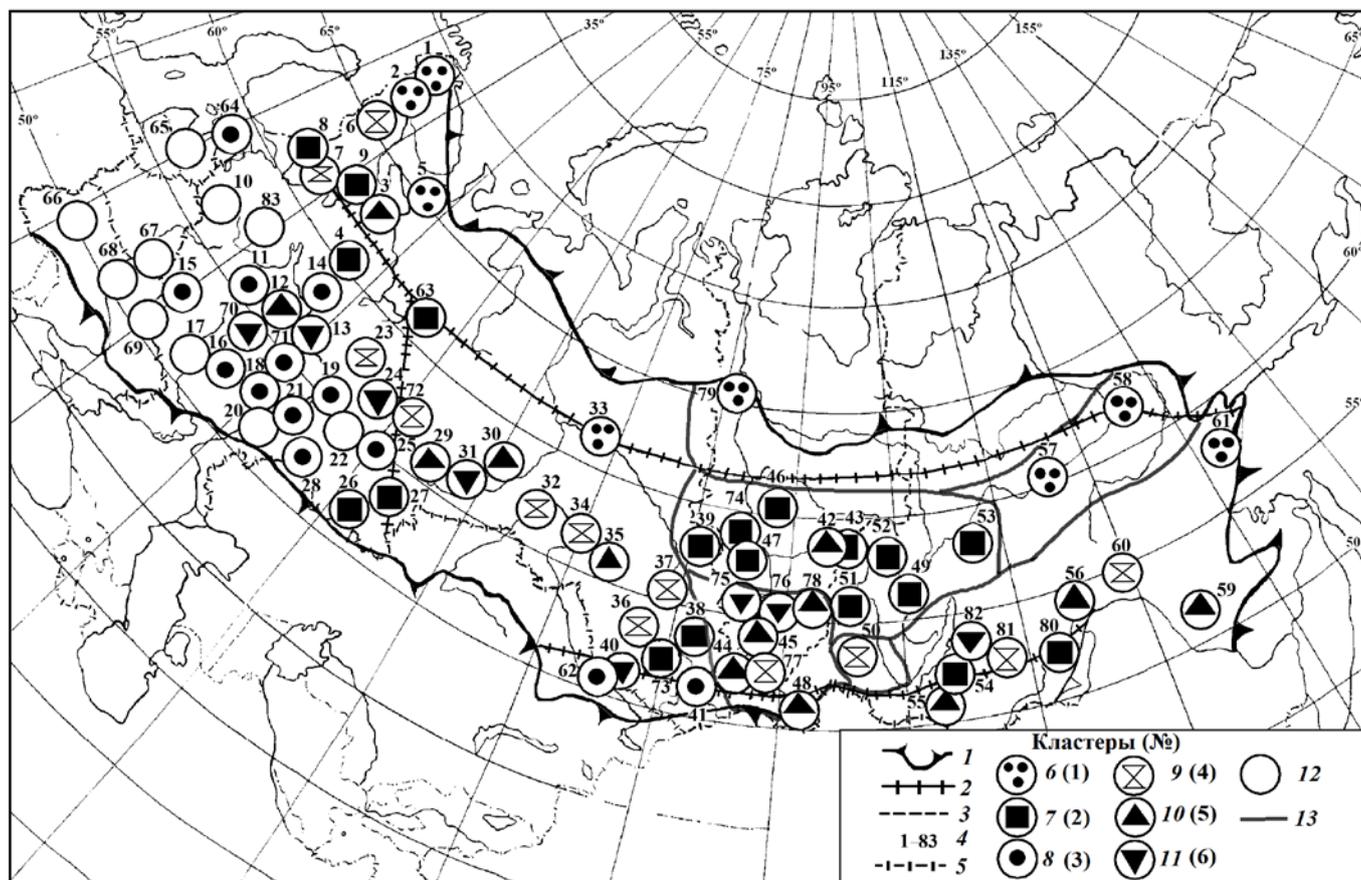


Рисунок 23. Распределение климатипов по кластерам, выделенным методом k-средних по семи хозяйственно-ценным показателям на двух участках (1–5 – см. Рисунок 1; 6–11 – кластеры (№№ 1–6); 12 – полностью или частично утраченные климатипы; 13 – границы выделенных ЛСР)

Пересмотр границ перемещения семян является обычной мировой практикой с появлением новых научных данных по испытанию происхождений в географических культурах. На территории Канады после появления новых результатов испытаний число семенных зон в прибрежных районах сократилось с 15 до 4, в пределах внутриконтинентальных – с 42 до 21 зоны (Morgenstern, 1996). На территории России число ЛСР сократилось (примерно) с 63, по районированию 1982 г., до 25 по районированию 2015 г. В декабре 2022 г. Рослесхозом опубликован новый приказ об установлении лесосеменного районирования, основные изменения в котором связаны с добавлением субъектов Российской Федерации. С увеличением возраста географических культур и появлением новой информации по испытанию климатипов уточнение лесосеменного районирования сосны обыкновенной в регионах может продолжаться.

## 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  $\alpha$ -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.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты исследования роста и устойчивости сосны обыкновенной в географических культурах демонстрируют внутривидовую дифференциацию, обусловленную генетическими особенностями климатических экотипов, эволюционно сформированных под действием экологических и климатических факторов в местах происхождения и разной адаптивной реакцией на условия в пункте испытания. Оценка динамики роста сосны в онтогенезе выявляет неустойчивое ранговое положение определенной части климатипов и обеспечивает объективный отбор стабильно перспективных климатипов по комплексу признаков. Степень успешности роста сосны в географических культурах ограничивается наследственными особенностями климатипов и экологическими факторами биотического и абиотического характера в пункте испытания. Выявленные различия по стволовой продуктивности у климатипов сосны в разных почвенных условиях географических культур подтверждают значимость соответствия лесорастительных условий в пункте испытания и местах происхождения семян для создания плантаций и лесных культур.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате изучения географических культур предлагаются 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 (Нижне-Енисейское, Усть-Кутское, Катангское, Мамское) и четырех лесничеств из среднетаежных лесов Карелии и Республики Коми (Пудожское, Корткеросское) и южно-таежных лесов Вологодской и Кировской областей (Тотемское, Слободское).

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.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК (и приравненных к ним)

1. Кузьмина, Н.А. Дифференциация сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин, Л.И. Милютин // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – Выпуск 2. – С. 48–56.

2. Кузьмин, С.Р. Анатомические характеристики годичных колец у сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья / С.Р. Кузьмин, Е.А. Ваганов // Лесоведение. – 2007. – № 4. – С. 3–12.

3. Кузьмина, Н.А. Особенности генеративных органов сосны обыкновенной разного происхождения в географических культурах / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV. – № 2–3. – С. 225–234.

4. Кузьмина, Н.А., Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV. – № 4–5. С. 454–460.

5. Кузьмин, С.Р. Особенности трахеид древесины у климатипов *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) в географических культурах / С.Р. Кузьмин, Е.А. Ваганов, Н.А. Кузьмина, Л.И. Милютин // Ботанический журнал. – 2008. – Т. 93, – № 1. – С. 10–21.

6. Кузьмина, Н.А. Селекция сосны обыкновенной по устойчивости к грибным патогенам в географических культурах / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Т. XXVI. – № 1. – С. 76–81.

7. Кузьмин, С.Р. Плотность устьиц хвои сосны обыкновенной в географических культурах Приангарья / С.Р. Кузьмин, Е.А. Ваганов, Н.А. Кузьмина, Л.И. Милютин, П.П. Силкин // Лесоведение. – 2009. – № 2. – С. 35–40.

8. Пономарева, Т.В. Влияние влагозапасов почвы на рост видов хвойных в условиях эксперимента / Т.В. Пономарева, Н.А. Кузьмина, **С.Р. Кузьмин** // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 12 (39). – С. 45–49.

9. Кузьмина, Н.А. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском Приангарье / Н.А. Кузьмина, **С.Р. Кузьмин** // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVII. – № 1–2. – С. 115–119.

10. **Кузьмин, С.Р.** Реакция хвойных на изменение почвенной влаги: результаты эксперимента / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина, Т.В. Пономарева, Г.В. Кузнецова // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVII. – № 1–2. – С. 108–114.

11. Милютин, Л.И. О внутривидовой систематике *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) / Л.И. Милютин, **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина, Т.Н. Новикова // Ботанический журнал. – 2010. – №12. – С. 1755–1762.

12. **Кузьмин, С.Р.** Влияние контролируемых изменений почвенной влаги на рост и анатомию древесных видов хвойных / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина, Е.А. Ваганов, Т.В. Пономарева, Г.В. Кузнецова // Лесоведение. – 2011. – № 4. – С. 30–38.

13. **Кузьмин, С.Р.** Плотность устьиц хвои в разных частях кроны *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина, Е.А. Ваганов // Ботанический журнал. – 2012. – Т. 97. – №2. – С. 145–160.

14. **Кузьмин, С.Р.** Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве / **С.Р. Кузьмин** // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – Т. XXX. – № 1–2. – С. 106–110.

15. Кузьмина, Н.А. Анализ лесосеменного районирования сосны обыкновенной в Средней Сибири / Н.А. Кузьмина, **С.Р. Кузьмин** // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – Т. XXX. – № 1–2. – С. 111–113.

16. **Кузьмин, С.Р.** Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина, Е.А. Ваганов // Лесоведение. – 2013. – № 1. – С. 30–38.

17. Пахарькова, Н.В. Морфофизиологические особенности хвои у разных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах / Н.В. Пахарькова, Н.А. Кузьмина, **С.Р. Кузьмин**, А.А. Ефремов // Сибирский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 107–113. [переводная версия: Pakharkova, N.V. Morphophysiological traits of needles in different climatotypes of Scots pine in provenance trial / N.V. Pakharkova, N.A. Kuzmina, **S.R. Kuzmin**, A.A. Efremov // Contemporary problems of Ecology. – 2014. – Vol. 7. – № 1. – P. 84–89.] (WOS, Scopus)

18. Кузьмина, Н.А. Распространение шютте в насаждениях сосны обыкновенной в Средней Сибири / Н.А. Кузьмина, В.А. Сенашова, **С.Р. Кузьмин** // Лесоведение. – 2014. – № 6. – С. 49–55. [переводная версия: Kuzmina, N.A. Distribution of Lophodermium needle cast agents in Scots pine stands in Middle Siberia / N.A. Kuzmina, V.A. Senashova, **S.R. Kuzmin** // Contemporary problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – № 7. – P. 909–915.] (WOS, Scopus)

19. **Кузьмин, С.Р.** Морфологические особенности хвои у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным болезням / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина // Экология. – 2015. – № 2. – С. 156–160. [переводная версия: **Kuzmin, S.R.** Morphological distinctions of needles in Scots pine with various resistance levels to fungal diseases / **S.R. Kuzmin**, N.A. Kuzmina // Russian Journal of Ecology. – 2015. – Vol. 46. – №. 2. – P. 209–212.] (WOS, Scopus)

20. Чебакова, Н.М. Оценка климатических границ ареала шютте обыкновенного при изменении климата в Средней Сибири / Н.М. Чебакова, Н.А. Кузьмина, Е.И. Парфенова, В.А. Сенашова, **С.Р. Кузьмин** // Сибирский экологический журнал. – 2016. – № 6. – С. 855–865. [переводная версия: Tchebakova, N.M. Assessment of climatic limits of needle cast–

affected area under climate change in Central Siberia / N.M. Tchebakova, N.A. Kuzmina, E.I. Parfenova, V.A. Senashova, **S.R. Kuzmin** // Contemporary problems of Ecology. – 2016. – Vol.9. – № 6. – P. 721–729.] (WOS, Scopus)

21. **Кузьмин, С.Р.** Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах в Западной и Средней Сибири / **С.Р. Кузьмин**, Р.В. Роговцев // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 6. – С.113–125.

22. Tchebakova, N.M. Potential climate-induced distributions of *Lophodermium* needle cast across central Siberia in the 21 century / N.M. Tchebakova, N.A. Kuzmina, E.I. Parfenova, V.A. Senashova, **S.R. Kuzmin** // Web Ecology. – 2016. – Vol. 16. – P. 37–39. (WOS, Scopus)

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

24. **Кузьмин, С.Р.** Связь комплекса показателей ассимиляционного аппарата с анатомическими характеристиками древесины побегов сосны обыкновенной / **С.Р. Кузьмин**, Т.В. Карпюк // Хвойные бореальной зоны. – 2018. – Т. XXXVI, – № 4. – С. 312–315.

25. Пахарькова, Н.В. Диагностика устойчивости представителей рода *Pinus* к периодическим повышениям температуры в зимне-весенний период / Н.В. Пахарькова, Н.А. Кузьмина, Г.В. Кузнецова, **С.Р. Кузьмин** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Вып. 227. – С. 88–106.

26. **Кузьмин, С.Р.** Летучие вещества в хвое сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным патогенам в условиях географических культур / **С.Р. Кузьмин**, А.А. Анискина, Г.В. Пермьякова // Лесоведение. – 2020. – № 4. – С. 346–356. (Scopus)

27. **Кузьмин, С.Р.** Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах разных лесорастительных условий / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина // Лесоведение. – 2020. – № 5. – С. 451–465. (Scopus)

28. **Кузьмин, С.Р.** Лесосеменные районы сосны обыкновенной на основе оценки роста географических культур в Сибири / **С.Р. Кузьмин**, Н.А. Кузьмина // Сибирский лесной журнал. – 2020. – № 6. С. 3–15.

29. **Кузьмин, С.Р.** Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах / **С.Р. Кузьмин** // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2020. – № 5 (377). – С. 64–80. (WOS)

30. **Кузьмин, С.Р.** Дифференциация климатипов лиственниц (*Larix* spp.) в географических культурах в лесостепи Средней Сибири / **С.Р. Кузьмин**, А.В. Рубцов, А.П. Барченков, Т.В. Карпюк // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 56. – С. 170–188. (WOS)

31. Parfenova, E.I. Climate warming impacts on distributions of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed zones and seed mass across Russia in the 21<sup>st</sup> century / E.I. Parfenova, N.M. Tchebakova, N.A. Kuzmina, **S.R. Kuzmin** // Forests. – 2021. – Vol. 12. – Iss. 8. – Article 1097. (WOS, Scopus)

**КУЗЬМИН СЕРГЕЙ РУДОЛЬФОВИЧ**

**ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ  
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ В СИБИРИ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Подписано в печать 16.03.2023 г.

Отпечатано на ризографе  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,5  
Тираж 100 экз. Заказ № 576

Отпечатано в типографии ИП Дворядкина И.Д.  
660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50/28, оф. 156  
Тел. 290-72-32, 8-963-180-9976  
e-mail: boris-and-k@yandex.ru