

Закономерности роста климатипов сосны обыкновенной в разных почвенных условиях в географических культурах

С. Р. КУЗЬМИН, Н. А. КУЗЬМИНА

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: skr_7@mail.ru

Статья поступила 24.03.2023

После доработки 10.04.2023

Принята к печати 17.04.2023

АННОТАЦИЯ

Исследована динамика высоты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного происхождения в условиях двух участков с разными почвенными условиями в географических культурах в Средней Сибири. Участки с песчаной и суглинистой почвами расположены в одном географическом пункте – в Богучанском лесничестве Красноярского края, имеют общие климатические условия. Выявлена разная адаптивная реакция потомств климатипов сосны на почвенные условия и другие экологические факторы в пункте испытания. Показана дифференциация климатипов сосны по средней высоте и выделены перспективные климатипы на основе изучения динамики роста.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, климатип, рост деревьев в высоту, географические культуры, почвенные условия, Средняя Сибирь.

ВВЕДЕНИЕ

Показатели роста и продуктивности хвойных используются для оценки степени адаптации происхождений в географических опытах и отбора лучших происхождений [Правдин, Вакуров, 1968; Пихельгас, 1982; Чернявский, Гэргых, 1982; Шольц, 1982]. В литературе отмечают, что показатели роста свидетельствуют о значительной географической и межпопуляционной изменчивости и дифференциации отдельных происхождений сосны обыкновенной [Ирошников, 1977; Проказин, Куракин, 1980]. Прямой отбор перспективных климатипов на устойчивость, быстроту роста и стволовую продуктивность является эффективным методом в лесной селекции.

© Кузьмин С. Р., Кузьмина Н. А., 2023

Правильный выбор географических популяций необходим для создания продуктивных лесосеменных плантаций, культур, а также для стабильности и сохранности будущих насаждений в связи с изменением климата. Цель работы: исследование закономерностей роста в высоту у климатипов сосны, тестируемых в разных лесорастительных условиях в географических культурах в Средней Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пункт испытания географических культур находится в южной тайге на территории Красноярского края. Исследования проводились на двух участках с разными лесорастительными условиями.

тельными условиями: первый участок расположен на дерново-подзолистой песчаной почве с маломощным гумусовым горизонтом (до 3 см), второй – на темно-серой лесной суглинистой с мощным гумусовым горизонтом (до 40 см). Почва второго участка более богата питательными элементами и отличается по микробиологическому азоту, диоксиду калия, нитратному азоту и диоксиду фосфора [Наумова и др., 2009]. По лесорастительной характеристике первый участок с песчаной почвой до вспашки относился к типу леса сосняк бруснично-толокнянковый с составом 10С, второй – к сосняку разнотравному с составом 9С+1Л. Площади участков составляют соответственно 15 и 9 га, подготовка почвы сплошная, посадка под меч Колесова с размещением 1,5 × 0,75 м. Расстояние между участками около 3,5 км.

Создавались географические культуры трехлетними сеянцами, высаженными рядами в отдельные блоки. Площадь блоков у климатипов сосны разная, в зависимости от количества высаженных сеянцев. На участке с песчаной почвой у климатипов высажено от 235 до 900 шт., на суглинистой – от 100 до 900 шт. В географических культурах испытывается 83 происхождения (далее в тексте условно называемые климатипами) сосны обыкновенной, места происхождения которых находятся в долготном направлении – от Кольского п-ова до Охотского моря (от 26°28' до 138°00' в. д.), в широтном – от лесотундры до южной границы ареала (от 69°40' до 50°10' с. ш.). Названия климатипов даны по названиям лесхозов 1973–1975 гг., на территории которых проводился сбор семян в наиболее распространенных хозяйственно-ценных сосняках. Каждому климатипу присвоен индивидуальный номер, контролем является богучанский (местный) климатип. В данной работе места происхождения климатипов на картах-схемах показаны номерами. Перечень климатипов с названием и авторским номером приводится в ранее опубликованной работе [Кузьмина и др., 2004]. Последний учет высоты на участках проводился в возрасте 36 и 37 лет географических культур (в тексте условно называем 40 лет).

В настоящей работе приводится сравнительный анализ динамики роста климатипов сосны в высоту. Объем выборок для определения средних высот и диаметров составлял

в первые 15 лет по 100 растений, в последующие годы – по 50. Измерения высоты проводили с помощью электронного высотомера Vertex IV (Швеция). Основные средние статистические показатели вычисляли общепринятыми методами с использованием компьютерных программ Microsoft Office Excel и Statistica 7.0. В ходе анализа высоты деревьев (h) в пределах каждого участка климатипы были разделены на три группы при помощи среднего значения участка (\bar{x}) и стандартного отклонения (σ): с максимальными ($h > \bar{x} + 0,5\sigma$), средними ($h = \bar{x} \pm 0,5\sigma$) и минимальными ($h < \bar{x} - 0,5\sigma$) средними высотами. Для оценки и демонстрации успешности роста географических культур по средней высоте у климатипов показана в долях стандартного отклонения от среднего значения на участках. Этот методический прием широко используется многими исследователями географических культур [Giertych, 1979; Наквасина и др., 2008; Мерзленко и др., 2017].

Анализ архивных климатических характеристик климатических экотипов проводился по данным серии справочников Издательства “Гидрометеиздат” (Справочники по климату СССР, 1964–1969 гг.). Источником суточных данных по погоде (количество осадков и средняя температура воздуха) являлись сведения по Богучанской метеостанции, согласно проекту “Европейская оценка и база данных климата” [European Climate ..., 2022]. Индексированные данные по приростам в высоту и по суточным погодным показателям строились путем отношения реальных значений к данным по аппроксимационным функциям, которыми выступали полиномы шестой степени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рост в высоту на песчаной почве. В условиях песчаной почвы исследование роста в высоту сосны обыкновенной разного происхождения позволяет выявить климатипы, способные адаптироваться по росту в условиях относительного стресса, связанного с дефицитом минерального питания, доступной почвенной влаги, а также к ряду заболеваний, вызванных грибными патогенами. В различных климатических зонах супесчаные и песчаные почвы имеют такие общие черты, как крайне низкая поглотительная

способность, бедность элементного питания для растений, невысокая микробиологическая активность и влагоемкость, очень высокая водопроницаемость [Смирнова, Карпачевский, 2006].

Средняя высота 40-летних деревьев исследуемых 82 климатипов варьирует от $3,50 \pm 0,25$ до $9,70 \pm 0,30$ м. Средняя высота контрольного варианта ($6,30 \pm 0,20$ м) близка к средней высоте климатипов экспериментального участка – $6,10 \pm 0,16$ м, медиана составляет 5,8 м. Индивидуальная изменчивость средней высоты у климатипов сосны варьирует от 7 до 43 %. По шкале С. А. Мамаева [1973] это соответствует очень низкому и очень высокому уровню. Географическая изменчивость – 23 %. Варьирование средней высоты обусловлено как генетическими особенностями деревьев в пределах климатипа, так и наследственными свойствами климатипов в пределах географических культур.

В условиях песчаной почвы рост в высоту выше среднего имеют 34 из 82 климати-

пов, их средняя высота значительно превышает или соответствует высоте контрольного варианта, занимающего 21-е место в ранговом ряду (рис. 1). Превышение средней высоты в пределах от $0,5\sigma$ до $2,6\sigma$ отмечается у климатипов из Сибири, Забайкалья, Европейского Севера и Поволжья. У пудожского климатипа из Карелии превышение средней высоты над контролем составляет 54 %. Большая часть климатипов (56 %) отстает в росте от среднего значения [Кузьмина, Кузьмин, 2017].

Исследуемые климатипы по средней высоте разделены на три группы. Первую группу ($h > \bar{x} + 0,5\sigma$) представляют климатипы со средней высотой 1σ. В нее вошли 34 % климатипов от всех тестируемых. Группа состоит из потомства сосны из среднепродуктивных насаждений Сибири, в основном из южной тайги Красноярского края, Иркутской области, а также средней и южной тайги европейской части России (рис. 2, а). В абсолютных значениях средняя высота у климатипов в группе

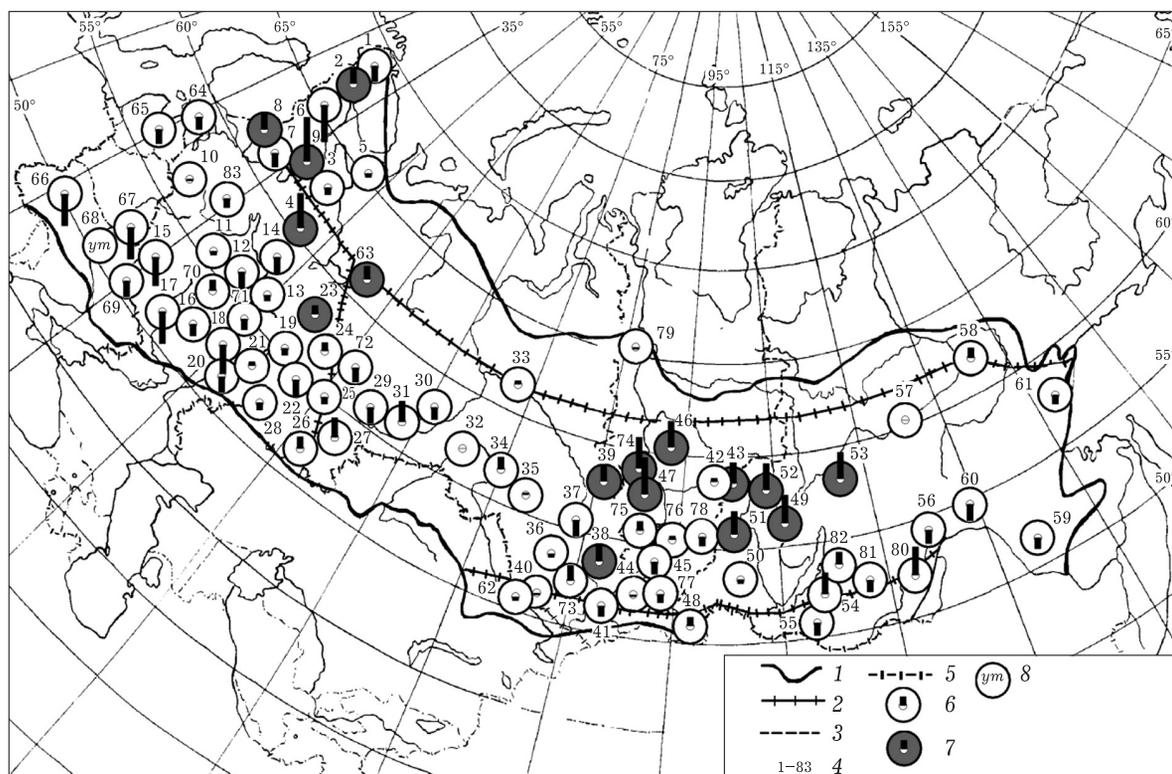


Рис. 1. Средняя высота климатипов сосны в долях стандартного отклонения (σ) от среднего значения на участке с песчаной почвой: 1 – граница ареала вида; 2 – граница подвидов по Л. Ф. Правдину [1964]; 3 – граница Красноярского края; 4 – авторские номера климатипов; 5 – граница государств; 6 – превышение (направление столбика вверх) или отставание (направление вниз) от среднего значения (радиус внешней окружности равен 1σ); 7 – перспективные климатипы; 8 – утраченный климатип

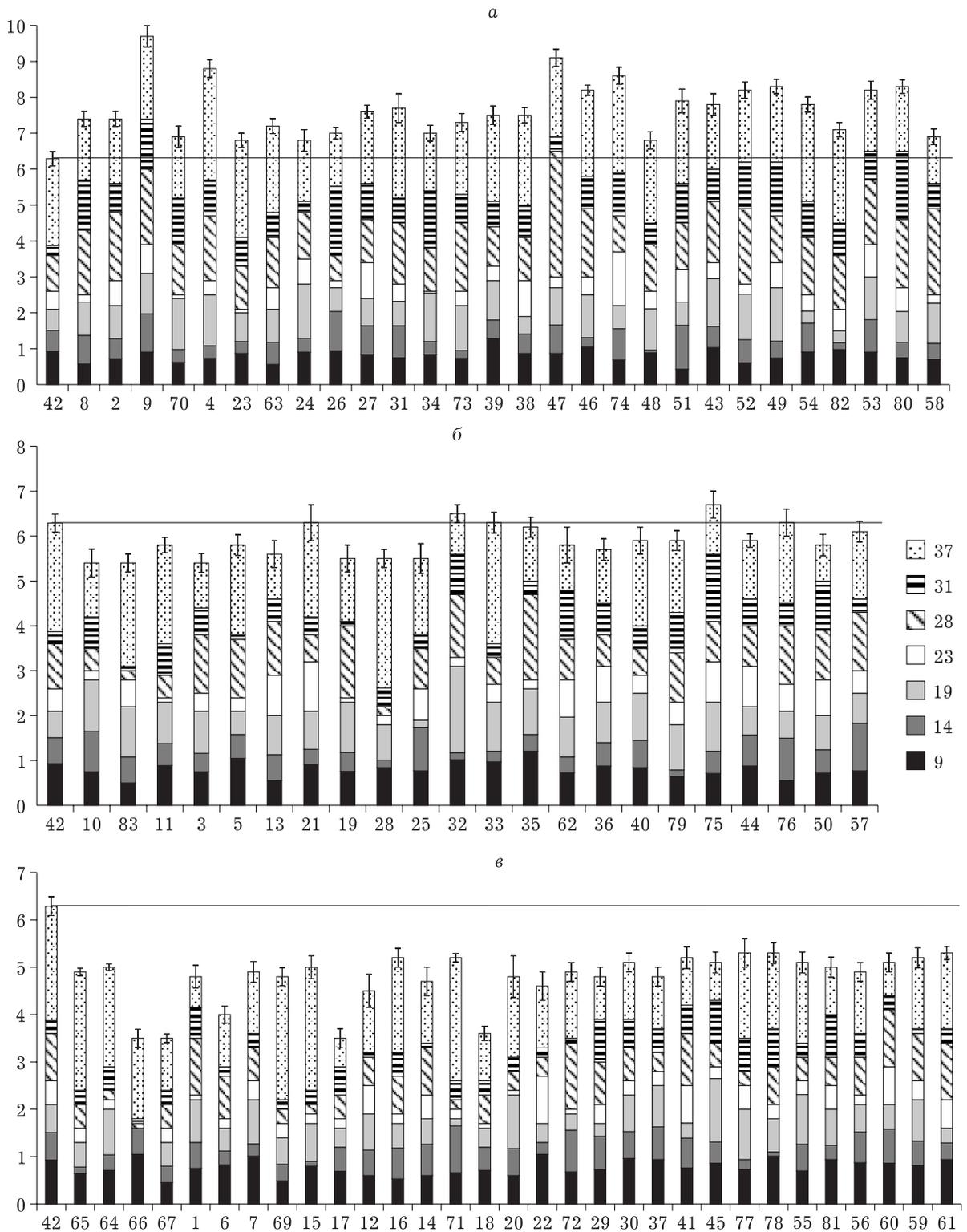


Рис. 2. Динамика роста в высоту (ось ординат, м) у климатипов сосны из группы с наибольшими значениями (а), средней группы (б) и у медленнорастущих климатипов на песчаной почве (в) (ось абсцисс – № климатипов; контроль – № 42; легенда – возраст культур, лет)

варьируется от 6,8 до 9,7 м, средняя для группы – $7,7 \pm 0,15$ м, или 122 % от контроля. Статистически значимые различия с контролем отмечаются для большинства представителей лидирующей группы при высоком уровне ($p < 0,001$) значимости.

Исследования географических культур в 40-летнем возрасте подтвердили статус перспективных у 16 климатипов из 21, отобранных в 20-летнем возрасте [Кузьмина, 2005; Кузьмина, Кузьмин, 2010]. К ним относятся популяции сосны из Красноярского края (№ 43, 46, 47, 74), Иркутской (№ 49, 51–53), Кемеровской (№ 38), Томской (№ 39), Кировской (№ 23), Вологодской (№ 4), Мурманской (№ 2) областей, Карелии (№ 8, 9), Республики Коми (№ 63). Средняя высота перспективных климатипов сосны по отношению к контролю варьируется от 108 до 154 %, превышение средней высоты – от 0,5σ до 2,6σ. Некоторые перспективные климатипы демонстрируют хороший рост в высоту в других пунктах испытания. Например, сортавальский и пудоожский (№ 8, 9) из Карелии имеют хороший рост в высоту в условиях географических культур в Архангельской области [Наквасина и др., 2001]. Часть перспективных климатипов (40 %), выбранных кандидатами в сорта-популяции, являются инорайонными. По литературным данным лучший рост сосны инорайонного происхождения относительно контроля часто отмечается в экспериментах как в России, так и за рубежом [Ирошников, 1977; Martinsson, 1979; Селекция лесных пород, 1982; Сидорова, 1982; Агафонова, 1990; Шутяев, Вересин, 1990; Giertych, 1991; Rehfeldt et al., 2002; Наквасина, Гвоздухина, 2005; Reich, Oleksyn, 2008].

Вторую группу представляют 22 климатипа происхождением из сосновых насаждений европейской части России и Сибири. Абсолютные пределы средних высот у сосны этой группы ($h = \bar{x} \pm 0,5\sigma$) варьируются от 5,4 до 6,8 м. Средняя высота для группы составляет $6,10 \pm 0,01$ м или 97 % относительно контрольного варианта [Кузьмина, Кузьмин, 2017]. Климатипы сосны данной группы в динамике имеют нестабильные по величине приросты. Некоторые из них в первые 15 лет имели низкие показатели приростов, в последние 20 лет интенсивность их роста заметно увеличилась (рис. 2, б).

Статистические параметры высоты климатипов третьей группы имеют низкий рост: $h < \bar{x} - 0,5\sigma$ или $h < 5,4$ м. Группа на 38 % состоит из тестируемых климатипов сосны с территорий европейской части России, Урала, юга Сибири и Забайкалья. Средняя высота в группе $4,8 \pm 0,11$ м, что составляет 76 % от контрольного климатипа. Средняя высота климатипов третьей группы значимо отличается от высоты контроля и от средней высоты на экспериментальном участке ($p < 0,001$). Согласно динамике рангового положения климатипов по высоте, около 40 % климатипов имеют стабильно низкий рост, остальные демонстрируют нестабильные приросты (рис. 2, в). Климатипы из северных регионов европейской части России, представляющие третью группу, сохраняют в географических культурах небольшие высоты деревьев, присущие их материнским насаждениям. Этими климатипами являются: печенгский (№ 1), чупинский и пряжинский (№ 6 и 7) из Мурманской области и Карелии. Согласно Л. Ф. Правдину [1964], они относятся к подвиду “лапландская”.

Низкие показатели высоты ($h < 5,4$ м) отмечаются у климатипов сосны, местом происхождения которых является европейская часть ареала сосны. Климатипы этих территорий относятся к подвидам сосны: “обыкновенная” (климатипы № 12, 14–18, 22, 64–67, 69, 71, 83), “кулундинская” (№ 41, 55) и “сибирская” с территории Сибири (№ 29, 30, 37, 45, 56, 72, 77, 78, 81) и Дальнего Востока (№ 56, 59–61) (см. рис. 2, в). Выявленные различия между экологическими условиями пунктов происхождения и испытания этих климатипов сказались на их адаптации к климатическим факторам и почвенным условиям в географических культурах.

Анализ динамики роста в высоту показывает, что стабилизация рангового положения по росту в высоту у многих климатипов не закончена. В географических культурах процесс формирования структуры насаждений имеет специфические особенности, сформированные наследственными свойствами климатипов и их реакцией на экологические факторы в пункте испытания. В пункте испытания географических культур климатипы сосны по-разному реагируют на биотические и абиотические факторы: проявляют неодинаковые требования к температуре, осадкам и раз-

ную устойчивость к заболеваниям [Кузьмин, 2012; Кузьмина, Кузьмин, 2017]. С увеличением возраста географических культур различие между группами с высоким и низким ростом возрастает, достоверность различий подтверждается дисперсионным анализом, проведенным на климатипах с одинаковой густотой древостоев ($F = 43,6$; $p < 0,01$).

Связь средней высоты на песчаной почве с климато-географическими факторами мест происхождения климатипов и массой семян.

Анализ средней высоты климатипов сосны в условиях песчаной почвы с климатическими факторами и характеристиками места происхождения климатипов сосны выявил основную значимую отрицательную линейную модель связи с продолжительностью безморозного периода ($y = 9,31 - 0,03x$; $r = -0,40$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,16$). Проявляются высокие корреляции (Спирмена) и с другими показателями: отрицательные связи с продолжительностью активного вегетационного периода (число дней с температурой >10 °C) ($r = -0,40$; $p < 0,001$), с суммой температур >10 °C ($r = -0,40$; $p < 0,01$), с осадками мая–июня ($r = -0,28$; $p < 0,05$). Выявлена связь высоты с массой исходных (материнских) семян ($r = -0,32$; $p < 0,05$; $n = 82$), положительные связи – с восточной долготой ($r = 0,38$; $p < 0,01$) и северной широтой ($r = 0,27$; $p < 0,05$). С густотой древостоев, варьирующей на участке с песчаной почвой от 333 до 7408 шт./га в 40-летних географических культурах, значимой корреляции не отмечается (рис. 3).

В условиях песчаной почвы не отмечается значимой связи между ростом в высоту и бонитетом материнских насаждений, в которых проводился сбор семян для создания географических культур. Только у 13 % климатипов в пункте испытания сохраняется бонитет материнских насаждений или улучшается на один класс.

Рост в высоту на суглинистой почве.

Средняя высота 38-летних деревьев у климатипов сосны в условиях суглинистой почвы варьирует от $11,9 \pm 0,19$ до $18,2 \pm 0,20$ м. Средняя высота деревьев у контрольного варианта составляет $15,8 \pm 0,33$ м и близка к средней высоте географических культур на экспериментальном участке с суглинистой почвой – $15,4 \pm 0,15$ м. Средние высоты у климатипов на участке с суглинистой почвой в 2,5 раза

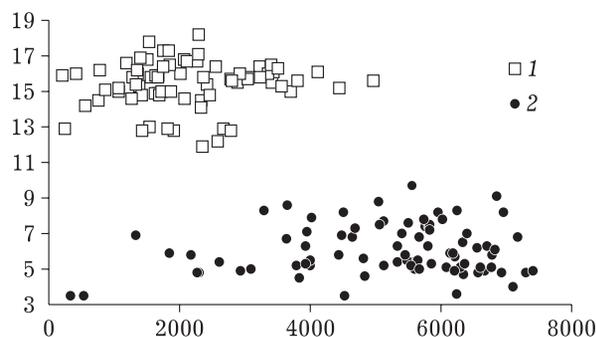


Рис. 3. Связь между средней высотой деревьев (ось ординат, м) и густотой древостоев (ось абсцисс, шт./га) на участках с суглинистой (1) и песчаной (2) почвами

выше, чем средние высоты у тех же климатипов на песчаной почве. Индивидуальная изменчивость средней высоты у климатипов сосны варьирует от низкого до среднего уровня ($C_V = 4-16$ %). Низкой является географическая изменчивость ($C_V = 8$ %). Уровень варьирования средней высоты климатипов на участке с суглинистой почвой значительно ниже уровня изменчивости на участке с песчаной почвой.

Климатипы с территориями Сибири, Забайкалья, севера европейской части России, центрально-восточного и юго-восточного регионов европейской части России (26 % исследуемых) имеют превышение по высоте в пределах от $0,5\sigma$ до $2,1\sigma$ к среднему значению. У мамского климатипа из Иркутской области превышение средней высоты над контролем составляет 15 %. Высоты на уровне контроля ($+0,3\sigma$, $+0,4\sigma$ к среднему) отмечаются у 19 % климатипов. Наибольший процент климатипов (52 %) отстает в росте от контроля, и их значение к среднему варьирует от $-2,7\sigma$ до $+0,2\sigma$ (рис. 4).

Климатипы, отобранные в группу с высотами, превышающими среднюю высоту на $0,5\sigma$ ($h > \bar{x} + 0,5\sigma$), представляют первую группу (рис. 5, а). Средние высоты у климатипов варьируют от 16,2 до 18,2 м, среднее значение высоты для группы составляет $16,8 \pm 0,14$ м, или 106 % от контроля, и превышает среднюю высоту в пределах 1σ . В последние 17 лет роста климатипы первой группы в большинстве случаев имеют преимущество относительно контроля или соответствуют его уровню. Статистически значимые различия с контролем при высоком уровне ($p < 0,001$)

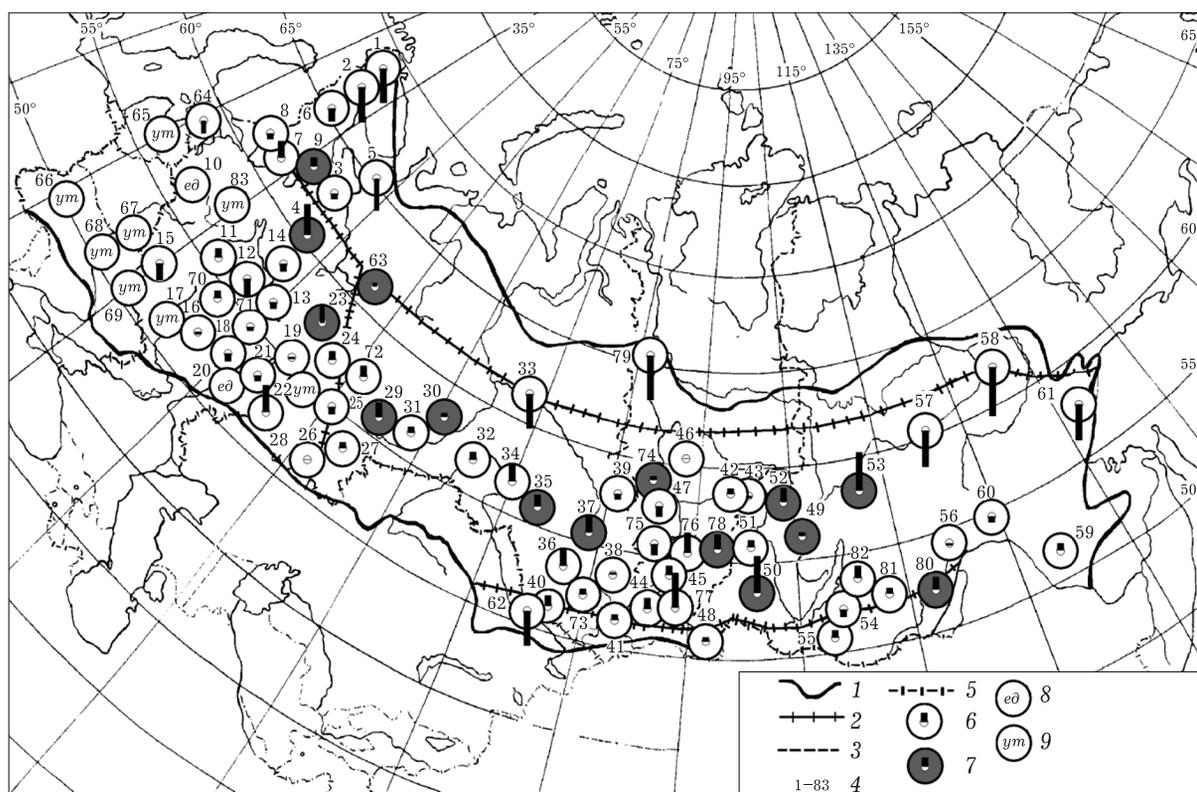


Рис. 4. Средняя высота климатипов сосны в долях стандартного отклонения (σ) от среднего значения на участке с суглинистой почвой. Усл. обозн. 1–7 см. на рис. 1; 8 – климатипы с единично сохранившимися деревьями; 9 – утраченные климатипы

значимости отмечаются для многих представителей лидирующей группы.

Анализ динамики роста климатипов, выделенных в три группы, показал, что климатипы с максимальными высотами по ранговому положению начиная с 23-летнего возраста не уступают контролю. Незначительное отставание от контроля отмечалось только в раннем возрасте. Высказанное ранее предположение о том, что часть климатипов в более позднем возрасте перейдет в группу с большими высотами [Кузьмин, 2008], оправдалось, это произошло за счет формирования у климатипов высоких приростов за последний период. К таким климатипам относятся пряжинский из Карелии (№ 7) и болотнинский из Новосибирской области (№ 37). К абсолютным лидерам по росту в высоту с 28-летнего возраста причисляют ермаковский климатип из Красноярского края (№ 77) и мамский из Иркутской области (№ 53). Только семь климатипов одновременно на двух участках попадают в группы с наибольшими высотами.

Вторую группу, имеющую средние значения роста в высоту, представляют 53 % исследуемых климатипов, включая контроль (рис. 5, б). Средние высоты климатипов этой группы ($h = \bar{x} \pm 0,5\sigma$) варьируют в пределах от 14,8 до 16,1 м. Средняя высота для группы составляет 15,5 м. Некоторые климатипы средней группы имеют сильные колебания ранга средней высоты.

Третья группа климатипов по высоте ($h < \bar{x} - 0,5\sigma$) – самая малочисленная, ее представляет 21 % климатипов, стабильно отстающих от контроля (рис. 5, в). Средние высоты климатипов этой группы варьируются в пределах 11,9–15,8 м. Средняя высота для группы составляет 13,5 м, или 85 % от контроля, и находится в пределах от $-2,6\sigma$ до $-0,6\sigma$ относительно средней высоты географических культур на участке. Большинство климатипов имеет очень высокий уровень достоверности различий ($p < 0,001$) со средней высотой контроля и средним значением на участке. Многие климатипы этой группы отстают от контроля с раннего возраста, но некоторые – после 17 лет.

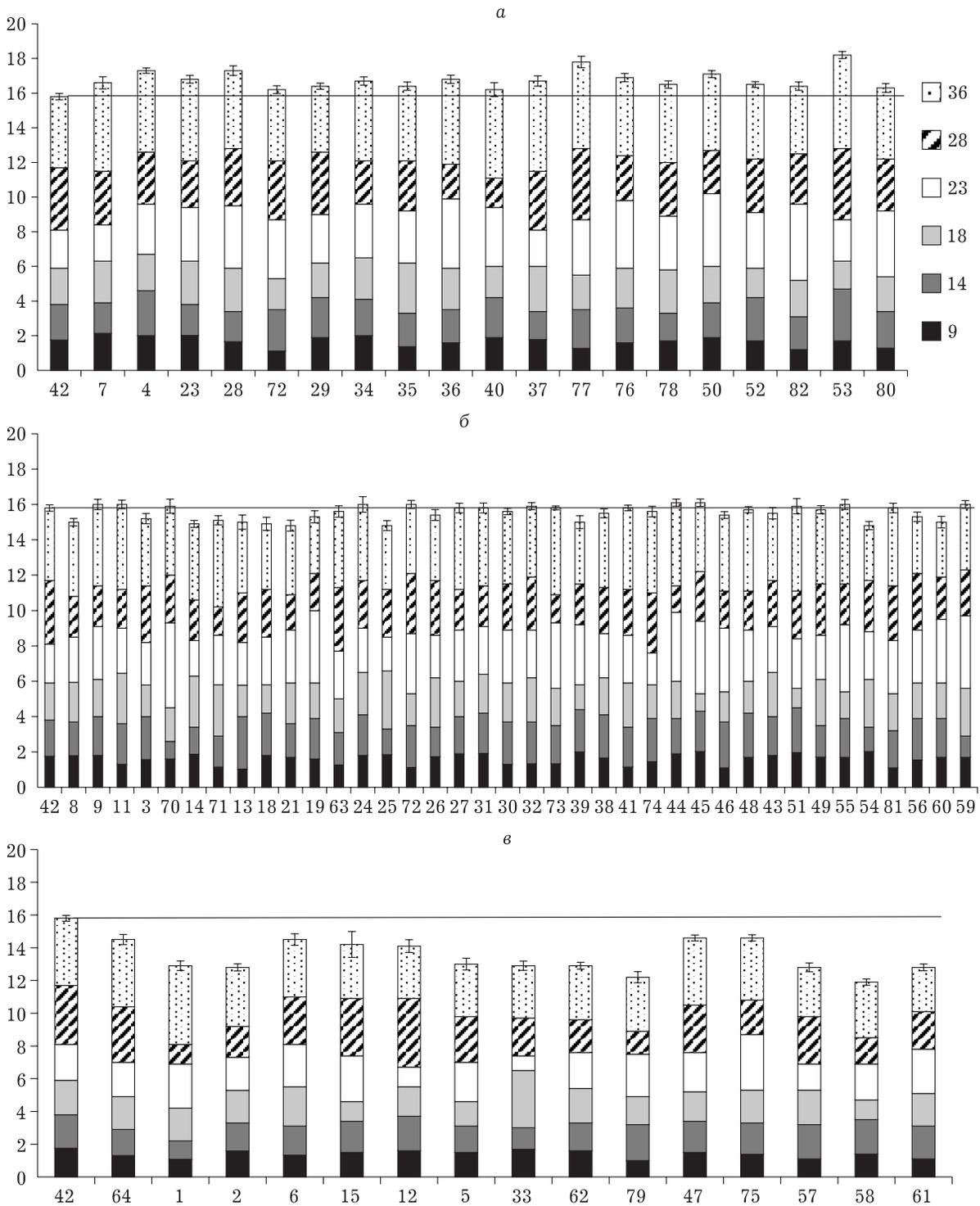


Рис. 5. Динамика роста в высоту у быстрорастущих климатипов сосны (а), средней по темпам роста группы (б) и у медленнорастущих климатипов (в) на суглинистой почве (ось ординат – высота, м; ось абсцисс – № климатипов; контроль – № 42; легенда – возраст культур, лет)

Исследование динамики высоты на суглинистой почве показывает нестабильность роста у многих климатипов, так же как и на песчаной. Свидетельствуют об этом мероприятия по отбо-

ру перспективных климатипов и учет их роста. Так, в 20-летнем возрасте в группу перспективных были отобраны 14 климатипов [Кузьмина, 1999]. В настоящее время среди них только че-

тыре климатипа из 14 сохранили свое ранговое положение по средней высоте. Этими климатипами являются пудожский из Карелии, тотемский из Вологодской, ревдинский из Свердловской, зиминский из Иркутской области. Остальные климатипы отстали в росте по высоте или отбракованы из-за неудовлетворительной формы ствола и стволовых повреждений в результате заболевания смоляным раком.

Таким образом, результаты исследований показывают, что с увеличением возраста географических культур результаты отбора становятся более объективными. По литературным данным объективный выбор климатипов в конкретных условиях произрастания может обеспечить преимущество по росту в высоту, устойчивости и стволовой продуктивности от 10 до 40 % [Пихельгас, 1982; Наквасина, Гвоздухина, 2005; Наквасина и др., 2008].

Анализ итоговых результатов по высоте показал, что перспективными по росту в высоту на суглинистой почве являются 15 климатипов, отобранных из групп с относительно большими и средними высотами. Представляют их девять климатипов из Сибири: Новосибирской области (кыштовский, болотнинский), Красноярского края (нижне-енисейский, канский), Иркутской области (усть-кутский, зиминский, катангский, мамский), Забайкальского края (нерчинский), и четыре – с европейской части России: Вологодской области (тотемский), Карелии (пудожский), Кировской области (слободской) и Республики Коми (корткеросский) и два из таежных лесов Зауралья и Свердловской области (ревдин-

ский, тавдинский). Преимущество по средней высоте у некоторых из них достигает 15 % относительно контроля. Превышение над средней высотой участка варьирует от 0,1σ до 2,0σ (выделены на рис. 4 темным цветом).

Таким образом, почвенные условия в комплексе с климатическими факторами оказывают значительное влияние на рост и продуктивность одних и тех же климатипов сосны не только в разных пунктах испытания географических культур, но и в одном и том же пункте испытания. По данным В. В. Тараканова [Тараканов и др., 2001], средняя высота сосны в географических культурах в лесостепной зоне в Западной Сибири в 19-летнем возрасте варьировала от 5,8 м (енисейский климатип из Красноярского края) до 9,9 м (зеленодольский климатип из Татарстана) при средней высоте 9,0 м у контрольного сузунского климатипа. Близкие значения к этим параметрам отмечались нами в возрасте 23 лет у потомства климатипов сосны в условиях темно-серой лесной суглинистой почвы в географических культурах в южной тайге Богучанского лесничества. Средняя высота варьировала на участке от 6,7 м (печенгский из Мурманской области и ковровский из Владимирской области) до 9,9–10,2 м (сузунский из Новосибирской области и зиминский из Иркутской области). Средняя высота контрольного богучанского климатипа составляла 8,1 м. В этом же возрасте параметры средних высот перечисленных климатипов в условиях дерново-подзолистой песчаной почвы были почти в 3 раза меньше.

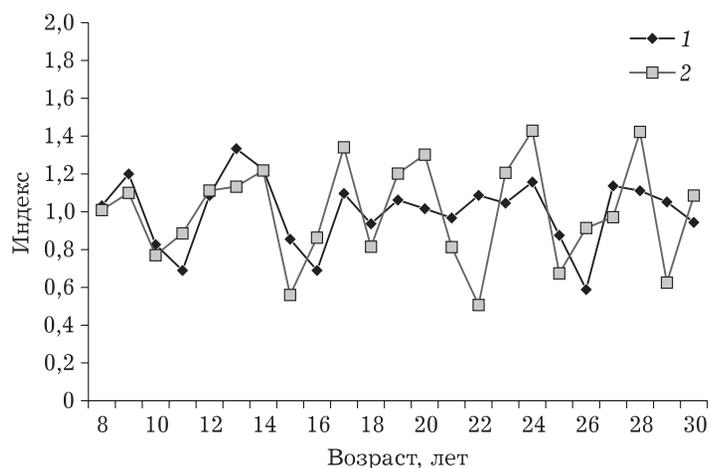


Рис. 6. Индексные кривые годичного прироста в высоту у чемальского климатипа (1) и индексированные значения количества осадков с мая по август в пункте испытания (2)

Связь средней высоты на суглинистой почве с климато-географическими факторами мест происхождения климатипов и массой семян. Индексированные значения чемальского климатипа имеют высокую значимую положительную корреляцию с индексированными значениями по количеству осадков в мае–августе ($r = 0,54$; $p < 0,01$) (рис. 6). Применение индексирования осадков оправдано, так как в этом случае учитываются условия предыдущих лет. Установлено, что условия предыдущего года, влияющие на прохождение фаз развития хвои и роста годичных побегов, в значительной степени влияют на качество закладываемых почек [Кухта, 2009]. Таким образом, на примере чемальского климатипа, имеющего в пункте происхождения значительно большее количество осадков, чем в пункте испытания, отмечается высокая чувствительность к осадкам вегетационного периода в пункте испытания.

Выше сказано, что в условиях песчаной почвы не отмечается значимой связи между ростом в высоту и бонитетом материнских насаждений. В условиях суглинистой почвы все климатипы на 1–2 класса увеличили свой бонитет в сравнении с бонитетом материнских насаждений. Также в условиях суглинистой почвы отмечается значимая отрицательная связь средней высоты с северной широтой места заготовки семян тестируемых климатипов. Связь описывается линейной моделью ($y = 23,03 - 0,13x$; $r = -0,43$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,19$) (рис. 7).

Согласно основному тренду – чем севернее место происхождения климатипа, тем меньше его показатель средней высоты. На рис. 7 выделяются два климатипа со средней высотой меньше 13 м, имеющих не северные пункты происхождения, это аянский и долонский, которые представляют уникальные климатические условия по своему происхождению. Один из них – долонский (51° с. ш.), с юга ареала граничит с экстремальными сухими условиями пустынь Казахстана, второй – аянский (57° с. ш.) – представитель муссонного климата в сочетании с влиянием морского. Оба этих климатипа демонстрируют на двух участках рост в высоту существенно ниже контроля, что свидетельствует о том, что их адаптация в данных климатических условиях направлена на медленный рост из-за несоответствия экологических условий пунктов происхождения и испытания.

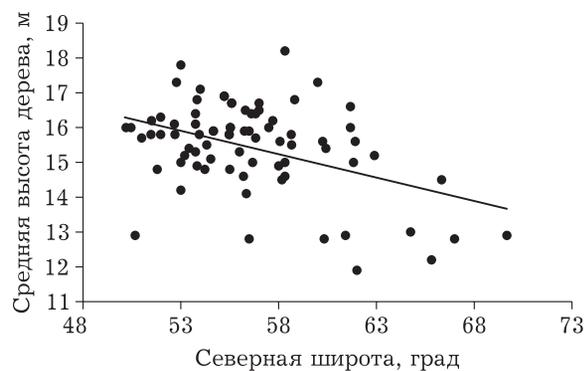


Рис. 7. Регрессионная линейная модель зависимости средней высоты климатипов сосны в условиях суглинистой почвы от северной широты пунктов происхождения

Среди представителей относительно северных климатипов (между 60°–62° с. ш.), выбивающихся из общего тренда и показывающих среднюю высоту деревьев от 16 м и выше (выше среднего), выделяются три климатипа, географически рядом расположенные – на северо-востоке Европейской равнины в среднетаежной лесной зоне. К ним относятся пряжинский и пудожский климатипы с юго-востока Карелии и тотемский из Вологодской области. Климат этих регионов умеренно континентальный, с умеренно-теплым летом, продолжительной умеренно-холодной зимой и неустойчивым режимом погоды. Схожесть климата мест происхождения и испытания по неустойчивому режиму погоды позволяет этим климатипам успешно расти в условиях южной тайги в Средней Сибири.

Между высотой и густотой древостоя, варьирующей у климатипов от 200 до 4964 шт./га, на участке с суглинистой почвой значимой корреляции не отмечается (см. рис. 3). В отличие от участка на песчаной почве, на суглинистой почве значимых корреляционных связей между средней высотой деревьев и характеристиками мест происхождения климатипов не обнаружено. Различия между климатипами по высоте деревьев в условиях суглинистой почвы в меньшей степени связаны с адаптацией к температуре вегетационного периода по сравнению с участком на песчаной почве.

ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах экспериментальных участков дифференциация сосны по росту обусловле-

на особенностями климатипов сосны, сформированными под действием экологических факторов в местах происхождения и разной реакцией на экологические факторы в пункте испытания. Значительные различия по высоте и стволовой продуктивности климатипов сосны [Кузьмин, Кузьмина, 2020], выявленные между экспериментальными участками с разными лесорастительными условиями, в первую очередь связаны с разными свойствами почв. Известно, что в сухих условиях у сосны возрастает отношение веса корней к надземным частям. Более слабое развитие корней растений в пересчете на единицу объема почвы отмечается на высокотрофных почвах по сравнению с низкотрофными песками [Патранин, 1958; Гаель, Воронков, 1965; Залесов и др., 2004]. В связи с этим основная часть ресурсов растений, произрастающих на песчаных почвах, тратится на развитие корневой системы, способной поддерживать жизнедеятельность растений. В результате такой адаптации деревья сосны, произрастающие на песчаной почве в географических культурах, значительно уступают по продуктивности надземной части деревьям, произрастающим в условиях темносерой лесной суглинистой почвы.

Изучение динамики роста в высоту выявило нестабильность рангового положения климатипов сосны в онтогенезе в связи с их биологическими особенностями и разной реакцией на климат и экологические факторы в пункте их испытания. Большинство климатипов сосны, выделенных в группу “быстрорастущие”, в том числе перспективные, рекомендованные в сорта-популяции, в первые годы отставало по высоте от контроля, но с увеличением возраста успешно стало конкурировать с контрольным климатипом, и в последние годы значимо его превосходят.

Одной из причин дифференциации, в том числе и по динамике роста климатипов сосны, является разная стратегия их роста в географических культурах, которая находится под влиянием наследственных особенностей и экологических факторов в пункте испытания. Динамика годичных приростов в высоту у климатипов сосны с относительно одинаковой густотой деревьев в условиях экспериментального участка с суглинистой почвой показала, что у сосны из южных регионов ареала формирование максимальных приростов

наступает на 5–8 лет раньше, чем у сосны из северных регионов [Кузьмин и др., 2013]. Другой причиной нестабильного роста климатипов сосны является разная восприимчивость к грибным патогенам. Эпифитотия, вызванная ценангиевым некрозом в 24-летнем возрасте географических культур, привела к существенному замедлению или к остановке роста деревьев в высоту и по диаметру у климатипов сосны из центральных, южных и западных регионов европейской части ареала, имеющих сильную степень повреждения хвои и вегетативных почек [Кузьмина, Кузьмин, 2007]. Также ранговая нестабильность роста в высоту у климатипов сосны в разных почвенных условиях связана с неодинаковой требовательностью к осадкам и температуре в течение вегетационных периодов.

Таким образом, процесс формирования структуры насаждения каждого климатического экотипа имеет специфические особенности, обусловленные их наследственными свойствами, поэтому ранговое положение определенной части исследуемых климатипов меняется в течение онтогенеза в связи с разной адаптивной реакцией на внешнюю среду до 40-летнего возраста. Относительно стабильный рост в высоту в течение последних 15–20 лет отмечается у перспективных климатипов, а также у большей части климатипов из группы медленнорастущих, значительно отстающих по средней высоте от контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пределах экспериментальных участков различия по высоте между климатипами сосны связаны с их наследственными особенностями. Густота древостоев у климатипов в 40-летнем возрасте не оказывает значимого влияния на рост в высоту. В процессе роста сосны в географических культурах конкурентные отношения за площадь питания регулируются наследственными особенностями климатипов, определяющими в конечном итоге их дифференциацию по высоте и другим показателям стволовой продуктивности, особенно на участке с песчаной почвой. Изменчивость показателей роста и дифференциация сосны разного происхождения в географических культурах, обусловленные разной адаптивной реакцией на местные условия,

приводят к разной успешности роста климатипов по высоте и запасу стволовой древесины. Одни и те же климатипы, произрастающие в условиях темно-серой лесной суглинистой и дерново-подзолистой песчаной почв, имеют двукратные различия по высоте деревьев. Различия между климатипами сосны по средней высоте выражены сильнее на участке с дерново-подзолистой песчаной почвой, чем в условиях темно-серой лесной суглинистой. Значимые различия по росту и продуктивности климатипов сосны между экспериментальными участками в географических культурах объясняются влиянием лесных почвенных условий, в частности толщиной гумусового горизонта и концентрацией минеральных и органических веществ.

В географических культурах в условиях песчаной и суглинистой почв отмечаются разные закономерности в изменчивости наследственных особенностей тестируемых происхождений. В условиях песчаной почвы с увеличением северной широты места происхождения климатипов средняя высота деревьев увеличивается, в условиях суглинистой – уменьшается. С увеличением географической долготы места происхождения климатипов значимое увеличение высоты отмечается только на песчаной почве. В условиях песчаной почвы увеличивается высота у климатипов с меньшими суммами активных температур, осадков в начале вегетационного периода, меньшей продолжительностью вегетационного и безморозного периодов в местах происхождения. В условиях суглинистой почвы значимых зависимостей между показателями роста и климатическими характеристиками не выявлено. Таким образом, сравнение результатов разных географических культур, а также рекомендации по уточнению лесосеменного, должно проводиться с учетом почвенных условий места испытания.

В результате исследования динамики роста в высоту и других показателей стволовой продуктивности у климатипов сосны в географических культурах отобрано 16 перспективных климатипов на песчаной и 15 – на суглинистой почве. Только семь климатипов попали в группу с лучшими высотами одновременно на двух участках.

Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН № 0287-2021-0009.

ЛИТЕРАТУРА

- Агафонова Г. В. Влияние происхождения семян сосны на рост семенного потомства в условиях Среднего Урала // Повышение продуктивности лесов Урала. Свердловск: Уральский лесотехн. ин-т, 1990. С. 106–109.
- Гаель А. Г., Воронков Н. А. Корневая система сосны *Pinus sylvestris* L. на песчаных почвах Казахстана и Дона // Ботан. журн. 1965. Т. 50, № 4. С. 503–516.
- Залесов С. В., Аткина Л. И., Абрамова Л. П., Луганский Н. А., Жучков Е. А., Стародубцева Н. И., Степанов А. С. Строение корневой системы растений сосны в ювенильном возрасте в засушливых условиях Южного Урала // Леса Урала и хозяйство в них: сб. науч. тр. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. Вып. 24. С. 46–51.
- Ирошников А. И. Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 4–110.
- Кузьмин С. Р. Влияние географического происхождения сосны обыкновенной на морфоанатомические признаки культур в Приангарье: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16. Красноярск, 2008. 166 с.
- Кузьмин С. Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30, № 1-2. С. 106–110.
- Кузьмин С. Р., Кузьмина Н. А., Ваганов Е. А. Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2013. № 1. С. 30–38.
- Кузьмин С. Р., Кузьмина Н. А. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах разных лесорастительных условий // Лесоведение. 2020. № 5. С. 451–465.
- Кузьмина Н. А. Особенности роста географических культур сосны обыкновенной в Приангарье // Лесоведение. 1999. № 4. С. 23–29.
- Кузьмина Н. А. Оценка стволовой продуктивности сосны обыкновенной на песчаной почве в географических культурах Приангарья // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. № 2 (35). С. 416–419.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 4-5. С. 454–460.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском Приангарье // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 1-2. С. 115–119.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Анализ динамики роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 31–39.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р., Милютин Л. И. Дифференциация сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2004. Вып. 2. С. 48–56.
- Кухта А. Е. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива // Лесн. вестн. 2009. № 1. С. 61–67.
- Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.
- Мерзленко М. Д., Глазунов Ю. Б., Мельник П. Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182.

- Наквасина Е. Н., Гвоздухина О. А. Оценка состояния и роста географических культур сосны и ели в Архангельской области // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы третьих Мелеховских чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения И. С. Мелехова (г. Архангельск, 15–16 сентября, 2005 г.). Архангельск: АГТУ, 2005. С. 58–63.
- Наквасина Е. Н., Бедрицкая Т. В., Гвоздухина О. А. Селекционная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2001. № 3. С. 27–34.
- Наквасина Е. Н., Юдина О. А., Прожерина Н. А., Камалова И. И., Минин Н. С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на европейском севере. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный им. М. В. Ломоносова, 2008. 308 с.
- Наумова Н. Б., Макарикова Р. П., Тараканов В. В., Кузьмина Н. А., Новикова Т. Н., Милютин Л. И. Влияние климатипов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сиб. экол. журн. 2009. Т. 16, № 2. С. 287–292 [Naumova N. B., Makarikova R. P., Tarakanov V. V., Kuzmina N. A., Novikova T. N., Milyutin L. I. Influence of climatypes of Scots pine on certain chemical and microbiological characteristics of soils // Contemporary Problems of Ecology. 2009. Vol. 2, N 2. P. 147–151].
- Патракин А. В. Некоторые особенности в отношении корневых систем сосны в боровых типах условий местопроизрастания Вологодской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 1958. № 2. С. 46–58.
- Пихельгас Э. И. Географические опытные культуры сосны обыкновенной в Эстонской ССР // Географические опыты в лесной селекции Прибалтики. Рига: Зинатне, 1982. С. 73–81.
- Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- Правдин Л. Ф., Вакуров А. Д. Рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов // Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосковья. М.: Наука, 1968. С. 160–195.
- Проказин А. Е., Куракин Б. Н. К вопросу о лесосеменном районировании сосны обыкновенной в центральном районе зоны смешанных лесов // Селекция, генетика и семеноводство древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов: тез. докл. и сообщ. на Всесоюз. науч.-техн. совещ. (г. Ленинград, 1–5 сентября 1980 г.). М.: Госкомлесхоз, 1980. С. 266–272.
- Селекция лесных пород / П. И. Молотков и др. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 224 с.
- Сидорова Н. С. Сосна обыкновенная в географических культурах Северного Казахстана // Агролесомелиорация в Западной Сибири. Новосибирск: СО ВАСХ-НИИ, 1982. С. 130–147.
- Смирнова Л. Ф., Карпачевский Л. О. Почвы сосновых насаждений на песках // Лесоведение. 2006. № 3. С. 31–41.
- Тараканов В. В., Демиденко В. П., Ишутин Я. Н., Бушков Н. Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
- Чернявский М., Гэртых М. Польские расы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в географических опытах // Географические опыты в лесной селекции Прибалтики. Рига: Зинатне, 1982. С. 105–119.
- Шольц Э. Географические опыты с сосной обыкновенной в ГДР // Географические опыты в лесной селекции Прибалтики. Рига: Зинатне, 1982. С. 131–144.
- Шуляев А. М., Вересин М. М. Продуктивность географических популяций сосны обыкновенной // Лесн. хозяйство. 1990. № 11. С. 36–38.
- European Climate Assessment and Dataset [Электронный ресурс]. 2022. Режим доступа: <https://www.ecad.eu/>
- Giertych M. Summary of results on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments // Silvae Genetica. 1979. Vol. 28, Iss. 4. P. 136–152.
- Giertych M. Provenance variation in growth and phenology // Genetics of Scots pine. Budapest: Akademiai Kiado, 1991. P. 87–101.
- Martinsson O. Testing Scots pine for resistance to Lophodermium needle cast // Studia forestalia Suecica. 1979. N 150. Uppsala: College of forestry, Swedish University of Agricultural Sciences. 63 p.
- Rehfeldt G. E., Tchebakova N. M., Parfenova Y. I., Wyckoff W. R., Kuzmina N. A., Milyutin L. I. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris* // Global Change Biol. 2002. Vol. 8, Iss. 9. P. 912–929.
- Reich P. B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north // Ecol. Lett. 2008. Vol. 11, Iss. 6. P. 588–597.

Growth regularities of Scots pine climatypes in the provenance trial under different soil conditions

S. R. KUZMIN, N. A. KUZMINA

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: skr_7@mail.ru

Dynamics of tree height of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of different origin was studied in the provenance trial on sandy and loam soils in Central Siberia. Plots with different soils are situated in the one geographical point in the Boguchany region in Krasnoyarsk krai. It has common climatic conditions. Different adaptive reaction of pine climatypes posterities to soil conditions and other ecological factors was revealed in the place of trial. Differentiation of Scots pine climatypes at mean height are shown in the article. Perspective climatypes were distinguished on base of growth dynamics.

Key words: *Pinus sylvestris*, tree height growth, provenance trial, soil conditions, Central Siberia.