

УДК 582.475.4:[630*561:631.524.82]

ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ¹

© 2020 г. С. Р. Кузьмин^{a, b, *}, Н. А. Кузьмина^a

^aИнститут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036 Россия

^bСибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041 Россия

*E-mail: skr_7@mail.ru

Поступила в редакцию 16.03.2018 г.

После доработки 17.01.2019 г.

Принята к публикации 06.06.2020 г.

Показана динамика роста, стволовой продуктивности и сохранности у 83 климатических экотипов сосны обыкновенной (географические культуры), тестируемых в разных лесорастительных условиях в Богучанском лесничестве Красноярского края. На участках с дерново-подзолистой песчаной и темно-серой лесной суглинистой почвами выделены группы климатипов, различающихся средней высотой в возрасте 40 лет. Выявлено, что более стабильный рост отмечается у климатипов, условно принятых за быстрорастущие, по отношению к контрольным древостоям. Климатипы, имеющие средние значения высот и представляющие среднюю группу, меняют свое ранговое положение, особенно в последние 15 лет. Значительная часть медленнорастущих климатипов третьей группы стабильно отстает от контрольных. Стабилизация рангового положения по росту в высоту у исследуемых климатипов в 40-летнем возрасте не закончена, процесс формирования структуры насаждений имеет специфические особенности, обусловленные генетическими свойствами климатипов и их реакцией на экологические факторы. Лесорастительные условия выращивания географических культур выявили разную средовую чувствительность и изменчивость ростовых показателей у одноименных климатипов на экспериментальных участках. Средняя высота и стволовая продуктивность на суглинистой почве на 100% и более превосходят данные показатели у одноименных климатипов на песчаной. В пределах каждого участка отобраны перспективные климатипы, которые рекомендуются кандидатами в сорта-популяции. Среди отобранных только у восьми в разных почвенных условиях отмечаются одинаково хорошие результаты по комплексу лесоводственных показателей. На основании оценки успешности роста географических культур сделаны рекомендации для лесного хозяйства региона по перемещению семян сосны обыкновенной и уточнению лесосеменного районирования на территории Красноярского края. Выделены три лесосеменных района: 1. Туруханско-Эвенкийский (севернее 60°30' с.ш.); 2. Ангаро-Енисейский (60°30'–55°30' с.ш.); 3. Саянский (южнее 55°30' с.ш.) с подрайоном Минусинско-Шушенские боры.

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, климатипы, динамика роста в высоту, стволовая продуктивность, сорта-популяции, лесосеменное районирование.

DOI: 10.31857/S0024114820050083

Исследование географических культур сосны обыкновенной широко распространено в мире. Причиной является возможность изучения контрастных по месту обитания происхождений в условиях однородного экологического фона как в связи с изменением климата, так и отбором наиболее подходящих для лесного хозяйства произ-

хождений (Eriksson et al., 1976; Persson, 1998; Reich, Oleksyn, 2008). Исследования разных серий географических культур сосны обыкновенной в России показали, что географические культуры являются надежным методом изучения внутривидовых категорий, формового разнообразия и основным способом установления генетической ценности селекционного материала (Правдин, Вакуров, 1968; Тимофеев, 1973; Патлай, 1976; Gertych, Oleksyn, 1981; Нарышкин и др., 1983; Проказин, Куракин, 1983; Шутяев, Вересин, 1990; Редько, 1994; Черепнин, 1999; Тараканов и др.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта ИЛ СО РАН (0356-2019-0024) и частичной финансовой поддержке проектов РФФИ (16-05-00496; 20-05-00540), правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности (16-44-243031).

2001; Чернодубов и др., 2005; Наквасина и др., 2008; Мерзленко и др., 2017). Прямой отбор перспективных климатических экотипов на устойчивость, быстроту роста и стволовую продуктивность является эффективным методом в лесной селекции. Правильный выбор географических происхождений необходим для создания лесосеменных плантаций (Проказин, Куракин, 1981; Родин, Проказин, 1997), а также стабильности и сохранности будущих популяций в связи с изменением климата (Rehfeldt et al., 2002).

Целью работы является отбор лучших климатических типов сосны обыкновенной кандидатами в сорта-популяции в географических культурах в разных лесорастительных условиях и уточнение схемы лесосеменного районирования на территории Красноярского края.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами исследований являются географические культуры сосны обыкновенной, созданные в Богучанском лесхозе Красноярского края по программе и методике ВНИИЛМа в 1976–1977 гг. (Изучение ..., 1972) на участках с разными лесорастительными условиями и принадлежащие к географической сети. Пункт испытания находится в Ангарском южно-таежном районе лиственнично-сосновых лесов на территории Ангаро-Илимского лесосеменного района (Лесосеменное ..., 1982). Первый участок (№1) расположен на дерново-подзолистой песчаной почве с мало-мощным гумусовым горизонтом (до 3 см), почва второго участка (№ 2) относится к темно-серому лесному типу с суглинистым составом и имеет мощный гумусовый горизонт (до 40 см). Участок № 2 расположен на более богатом питательными элементами субстрате, он значительно богаче первого по микробиологическому азоту, диоксиду калия, нитритному азоту и диоксиду фосфора (Наумова и др., 2009). По лесорастительной характеристике участок № 1 с песчаной почвой до вспашки относился к типу леса “сосняк бруснично-толокнянковый” с составом 10С, участок № 2 – к сосняку разнотравному с составом 9С + 1Л, где С – сосна, Л – лиственница. Площади участков составляют соответственно 15 и 9 га, подготовка почвы сплошная, посадка под меч Колесова с размещением 1.5 × 0.75 м, или 8000 шт. семян на 1 га. Создавались географические культуры 3-летними сеянцами, высаженными рядами в отдельные блоки. Термин “блок” используется согласно программе и методике работ по созданию географических культур (Изучение ..., 1972). Площадь блоков у климатических экотипов (климатических типов) сосны разная, в зависимости от числа высаженных семян. На первом участке у большей части климатических типов высажено от 235 до 900 шт., на втором – от 100 до 900 шт. Число повторностей на

участке № 1 у климатических типов разное, от 1 до 3, контрольный вариант имеет 7 повторностей. На участке № 2 контрольный климатический тип имеет 5 повторностей, остальные – по одной. Инвентаризация географических культур проводилась в 2013 г. В 2016 г. сделан дополнительный учет сохранности на первом участке.

В географических культурах испытывается 83 климатического типа сосны обыкновенной, места происхождения которых находятся в долготном направлении – от Кольского полуострова 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 климатических типов даны по названиям лесхозов 1973–1975 гг., на территории которых проводился сбор семян в наиболее распространенных хозяйственно-ценных сосняках. Каждому климатическому типу присвоен индивидуальный номер, контрольным является богучанский климатический тип. Перечень климатических типов с названием и номером опубликован ранее (Кузьмина и др., 2004).

В данной работе места происхождения климатических типов на картах-схемах показаны номерами. Для сравнительного анализа роста исследуемых климатических типов сосны на разных испытательных участках и отбора кандидатов в сорта-популяции использованы материалы регулярных учетов сохранности, высоты, диаметра, формы ствола деревьев. Также учтено фитопатологическое состояние географических культур в период эпифитотий. Объем выборки для определения средних высот и диаметров составлен в первые 15 лет по 100 растений для каждого климатического типа. В последующие годы (20 и 25 лет) измерения проводили у 50 деревьев и, начиная с 30-летнего возраста, диаметр измеряли у 50, а высоту – у 30 деревьев. Форма ствола и степень заболевания учитывались у всех живых деревьев. Измерения в высоту проводили с помощью электронного высотомера Vertex IV, диаметр измеряли на высоте груди (1.3 м) мерной вилкой с сантиметровой шкалой.

Для определения запаса рассчитывали средний объем ствола каждого климатического типа по формуле: $V = 0.000050822 \times \text{Exp}(357.5482 \times \lg(d) + 356.4727 \lg(h) - 355.556 \lg(d \times h))$ (Лесотаксационный ..., 2002), где V – средний объем ствола, d – средний диаметр ствола, h – средняя высота ствола. Запас стволовой древесины исследуемых климатических типов сосны определяли с помощью произведения среднего объема ствола и числа сохранившихся живых деревьев, переведенных с площади блока на 1 га. Вычисление основных средних статистических показателей проводилось общепринятыми методами с использованием компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica 7.0. В ходе анализа в пределах каждого участка климатические типы были разделены на три группы при помощи среднего значения участка (\bar{x}) и стандартного откло-

нения (σ): с максимальными ($> \bar{x} + 0.5\sigma$), средними ($= \bar{x} \pm 0.5\sigma$) и минимальными ($< \bar{x} - 0.5\sigma$) средними высотами. Для оценки и демонстрации успешности роста 83 климатипов сосны средняя высота и запас стволовой древесины показаны в долях стандартного отклонения от средних значений на участках. Этот методический прием широко используется многими исследователями географических культур (Giertych, 1979; Наквасина и др., 2008; Мерзленко и др., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сохранность. При относительно одинаковой густоте посадки географических культур приживаемость климатипов сосны обыкновенной на двух участках с разными почвенными условиями существенно различалась. На участке с суглинистой почвой элиминация сеянцев была значительной, максимальный отпад — от 80 до 90% — отмечался у климатипов в основном с территорий западного, центрального, южного регионов европейской части ареала вида. На участке с песчаной почвой максимальный отпад составлял 65–85% в первые четыре года и характерен для меньшей части климатипов сосны по сравнению с участком на суглинистой почве. В основном элиминация сеянцев произошла у сосны с территории Украины, а также Амурской и Читинской областей. Результаты наших исследований согласуются с результатами исследований в других экспериментах (Ирошников, 1977; Наквасина, Бедрицкая, 1999; Новикова, 2002; Чернодубов и др., 2005; Черепнин, 2007), показывающих, что наибольшая элиминация географических культур сосны происходит в первые 2–4 года после посадки. В этот период на приживаемость сеянцев оказывают влияние не только трудно учитываемые факторы, в частности, качество посадки, зарастание травяной растительностью и др., но начинают проявляться генетические особенности климатипов сосны, влияющие на их адаптацию и дальнейшую сохранность.

Сохранность является одним из важных показателей, отражающим адаптивную способность климатипов сосны в географических культурах. В 40-летнем возрасте средняя сохранность географических культур на участке № 1 составляет 62%, на участке № 2 — 25%. Контрольный вариант (богучанский, Красноярский край), имеет сохранность соответственно участкам: 76 и 46%. Значительная часть климатипов на участке с песчаной почвой имеет сохранность в пределах 50–93%. Высокая сохранность деревьев, более 80%, отмечается у климатипов из северных регионов европейской части России (Мурманская, Архангельская области и Карелия), Урала (Свердловская и Курганская области), Сибири (Омская и Новосибирская области). Сохранность менее 50% отмечается у 17 климатипов, среди них у шести — из за-

падной части ареала сосны (Московская, Саратовская, Рязанская области, Беларусь и Украина) — сохранность составляет менее 30%. К этой группе относится и туруханский климатип с севера Красноярского края с 25%-й сохранностью. Полная элиминация сосны отмечена у бориспольского климатипа из Украины.

На участке № 2 низкая выживаемость растений (менее 20%) отмечается у потомств сосны из зоны смешанных лесов, лесостепных и степных территорий центральных областей России: Псковской, Московской, Горьковской, Тамбовской, Пензенской областей, а также Урала (Республика Башкортостан и Курганская область), Алтая и Казахстана. Минимальная сохранность сосны, менее 3%, отмечается у 12 климатипов с территории европейской части России и ближнего зарубежья. Из них у шести климатипов из Воронежской и Новгородской областей, Татарстана, Латвии и Украины отмечается полная элиминация сосны. Сосна остальных шести климатипов из Псковской, Саратовской, Рязанской областей, Белоруссии, Украины и Казахстана сохранилась в пределах 1–3%. Высокая сохранность, на уровне контроля и более (46–60%), отмечается у климатипов сосны из таежных и лесостепных районов Красноярского края, Иркутской области, горно-степных территорий Читинской области и Якутии, северных регионов европейской части России: Архангельской области, Республики Карелии и северного Урала.

В целом анализ сохранности географических культур показывает, что определяющим фактором выживаемости и устойчивости сосны разных климатипов является соотношение климатических и лесорастительных условий места происхождения потомств и пункта их испытания. Результаты корреляционного анализа материалов богучанского эксперимента подтверждают эту закономерность. Сохранность деревьев у климатипов сосны отрицательно связана с климатическими факторами их места происхождения: среднегодовой температурой ($r = -0.37; p < 0.01$), суммой температур $> 5^\circ\text{C}$ ($r = -0.41; p < 0.01$) и вегетационным периодом ($r = -0.44; p < 0.01$) (Кузьмин, 2008). Об этом свидетельствуют и литературные данные (Черепнин, 1999; Наквасина и др., 2001; Новикова, 2002), отмечающие, что наиболее устойчивым является потомство сосны, место происхождения которого характеризуется относительно коротким вегетационным периодом и меньшей суммой эффективных температур, чем в условиях выращивания. Чем значительнее отличия условий происхождения от условий выращивания, тем меньше показатель сохранности испытываемых климатипов. Но эта тенденция не всегда сохраняется: например, в нашем эксперименте показатели сохранности, близкие к контрольному варианту и даже более высокие, имеют климатипы сосны из отдаленных регионов:

тавдинский Свердловской области, плесецкий Архангельской области, сортавальский и чупинский из Карелии. Эти климатипы заслуживают особого внимания и дальнейшего изучения их роста и развития.

Таким образом, с момента посадки семян сосны в географических культурах включается реализация генетической программы устойчивости и роста, согласно которой климатипы по-разному адаптируются к новым условиям среды. Если в раннем возрасте приживаемость семян является начальным этапом реализации этой программы, то с увеличением возраста географических культур наступает период конкурентных взаимоотношений, влияющих на ценотические процессы и в целом на направление стратегии роста климатических экотипов. Особенно это проявляется на участке с песчаной почвой, имеющем высокую сохранность сосны (62%). При сравнительно одинаковой густоте посадки географических культур, возможно, стратегия роста сосны разного происхождения направлена на формирование определенной численности деревьев в древостое, при которой наиболее полно используются потенциальные возможности климатипов для устойчивости и продуцирования стволовой древесины.

Рост в высоту и стволовая продуктивность. Средние высоты 83 климатипов сосны, тестируемых на двух участках, показаны на рис. 1а и 1б в стандартных отклонениях от средней высоты каждого участка. В условиях дерново-подзолистой песчаной почвы хорошим ростом по высоте отличаются деревья 34 климатипов сосны из таежной зоны Сибири, Забайкалья, Европейского Севера России, но не все лучшие по росту климатипы имеют хорошую сопротивляемость к грибным патогенам и удовлетворительную форму ствола (Кузьмина, Кузьмин, 2007). Средняя высота деревьев климатических экотипов, выделенных в группу с максимальными высотами, превышает на 1σ среднюю высоту географических культур на участке и на 23% высоту контрольного варианта. Анализ высоты в динамике показывает, что большая часть климатипов этой группы в основном стабильно превосходит контрольный вариант. Средняя высота климатипов сосны в группе варьирует от 6.8 до 9.7 м, высота контроля составляет 6.3 ± 0.20 м. Отбор лучших климатипов проводился среди представителей первой и второй групп, имеющих наибольшие и средние высоты соответственно (Кузьмина, Кузьмин, 2017). По результатам последнего учета роста и сохранности географических культур в возрасте 40 лет скорректирована группа перспективных древостоев, состоящая из 16 климатипов. К ним относятся 10 климатипов первой группы из лесостепной зоны сосновых лесов и южной тайги Сибири: Кемеровская, Томская, Иркутская области и Красноярский край (№№ 38, 39, 43, 46, 47, 49, 51–

53, 74) и шесть – с Севера европейской части России: Мурманская, Вологодская, Кировская области, Карелия и Республика Коми (№№ 2, 4, 8, 9, 23, 63). Места происхождения этих климатипов показаны на рис. 1а. Преимущество по высоте относительно контрольного варианта в среднем составляет 28% и варьирует от 0.5 до 2.6 σ относительно среднего значения на участке.

Третья группа климатипов с минимальными средними высотами существенно отстает от контроля ($p < 0.001$). Представляют эту группу сосны из ближнего зарубежья (Латвия, Эстония, Белоруссия, Украина), некоторые климатипы северного, западного, центрального и южного регионов европейской части России, а также Урала, юга Сибири и Дальнего Востока; средняя высота климатипов в группе составляет 4.8 ± 0.11 м. Отставание от средней высоты географических культур у них достигает более двух стандартных отклонений. Анализ динамики рангового положения климатипов по высоте показывает, что большая часть климатипов имеет нестабильный рост, другая часть (около 40%) сохраняет низкий рост в течение всего исследуемого периода. Таким образом, выделенные группы климатипов сосны обыкновенной на песчаной почве по интенсивности и характеру роста в 40-летнем возрасте достоверно различаются между собой. Ранговое положение исследуемых климатипов в разные возрастные периоды значительно меняется в связи с их биологическими особенностями и разной реакцией на изменение экологических факторов. На данном возрастном этапе 16 климатипов из 21, отобранных ранее (Кузьмина, 2005) в качестве кандидатов в сорта-популяции, подтверждают высокий ранг по росту в высоту и рекомендуются для дальнейших испытаний в регионе.

Рост в высоту географических культур на темно-серой лесной суглинистой почве на 100% и более превосходит среднюю высоту одноименных климатипов на песчаной почве, аналогичная картина отмечается по объему ствола и запасу стволовой древесины. Климатипы, выделенные в первую группу с максимальными высотами, в последние годы стабильно превосходят на 10% высоту контрольного варианта (рис. 2). В 40-летнем возрасте средняя высота для группы составляет 16.8 ± 0.14 м, максимальное преимущество по отношению к контролю у некоторых климатипов достигает 15%, по отношению к средней высоте на участке варьирует от 0.6 до 2.1 σ . (рис. 1б). При сравнении состава быстрорастущих климатипов первых групп на песчаной и суглинистой почвах выявлено только семь случаев совпадений. Высокие показатели по высоте относительно контроля на двух участках отмечаются у климатипов из Вологодской (№ 4), Кировской (№ 23), Омской (№ 34), Иркутской (№№ 52, 53), Читинской (№ 80) областей и Бурятии (№ 82). Сохранность у них

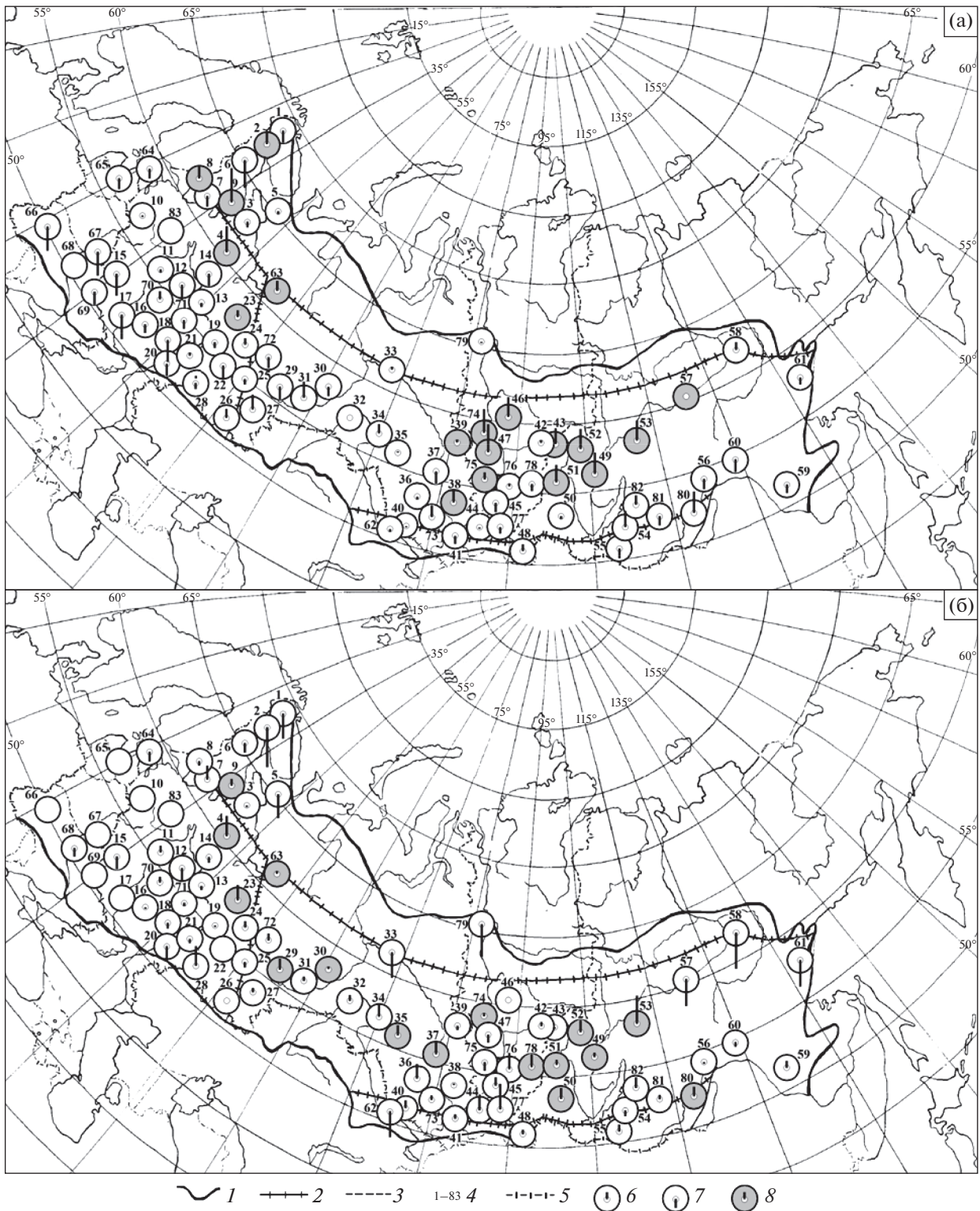


Рис. 1. Средняя высота климатических экотипов сосны в долях стандартного отклонения от среднего значения на участках с песчаной (а) и суглинистой (б) почвами. 1 – граница ареала вида; 2 – граница подвидов по Л.Ф. Правдину (1964); 3 – граница Красноярского края; 4 – номера климатипов; 5 – граница государств; 6 – превышение среднего значения; 7 – отставание от среднего (радиус окружности для 6 и 7 равен 1σ); 8 – выделенные на участках перспективные климатипы.

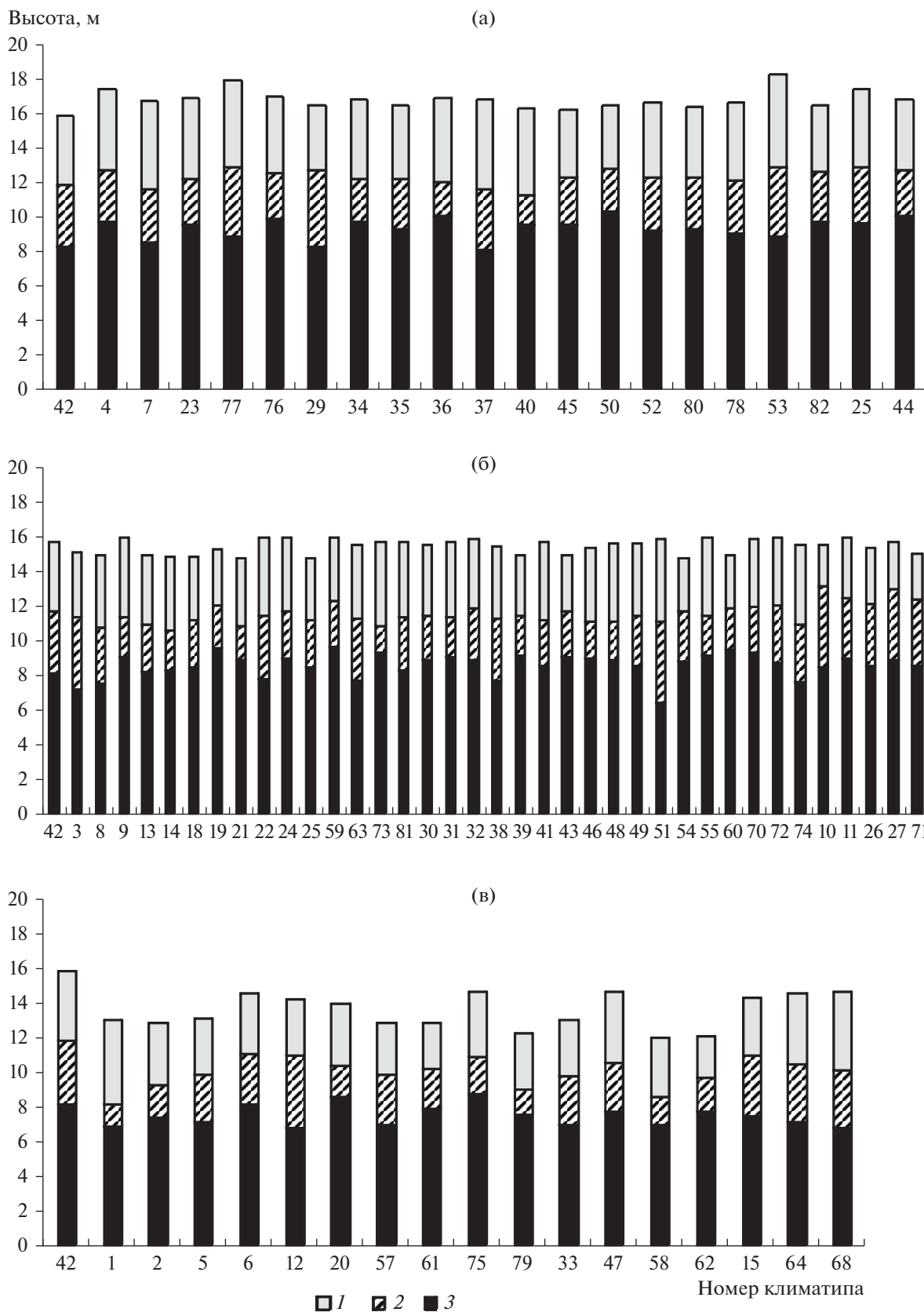


Рис. 2. Динамика средней высоты климатипов сосны, выделенных в три группы. а – быстрорастущие; б – средние по высоте; в – медленно растущие на участке с суглинистой почвой. Год исследования: 1 – 2013; 2 – 2004; 3 – 1999. Места происхождения климатипов см. рис. 1 и 3.

значительно различается как в пределах участков, так и между участками, на песчаной почве варьирует от 41 до 85%, на суглинистой – от 8 до 45%.

Наиболее многочисленной из трех групп является вторая группа климатипов, средняя высота которой отстает на 2% от контроля. В последние 15 лет 40% климатических экотипов имеют нестабильный рост. Третья группа с медленнорастущими климатипами сосны стабильно отстает от контроля. По данным последнего учета средняя высота для группы составляет 13.5 ± 0.22 м, климатипы сосны отстают от контроля в среднем на 30% и от средней высоты географических культур на участке – в пределах от -0.6 до -2.6σ (рис. 16). Между выделенными группами сосны отмечаются существенные различия по высоте ($p < 0.001$), причем различия между быстро- и медленнорастущими климатипами с возрастом увеличиваются. Достоверность различий подтверждается дисперсионным анализом, выполненным для групп климатипов с одинаковой густотой древостоев ($F = 43.6$; $p < 0.01$).

Анализ динамики роста климатических экотипов на суглинистой почве, как и на песчаной, показывает нестабильность в росте большинства климатипов. Среди климатипов, отобранных в группу перспективных в 20–25 летнем возрасте (Кузьмина, 1999), только 4 из 14 сохранили свое ранговое положение по средней высоте и сохранности до настоящего времени: к ним относятся № 9 из Карелии, № 4 – Вологодской, № 29 – Свердловской, № 50 – Иркутской областей. Остальные климатипы отстали в росте или отбракованы из-за неудовлетворительной формы ствола и стволовых повреждений в результате заболевания раком-смолянкой. Таким образом, результаты исследований показывают, что с увеличением возраста географических культур результаты отбора становятся более объективными. Оптимальный выбор климатипов для конкретных условий произрастания, согласно литературным данным, может обеспечить преимущество по росту в высоту, устойчивости и стволовой продуктивности от 10 до 40% (Пихельгас, 1982; Писаренко и др., 1992; Наквасина, Гвоздухина, 2005; Наквасина и др., 2008).

В возрасте 40 лет перспективными по росту в высоту на суглинистой почве являются 15 климатипов, отобранные из первой и второй групп. Их представляют девять климатипов из таежных и лесостепных зон Сибири: Новосибирская область (№№ 35, 37), Красноярский край (№№ 74, 78), Иркутская область (№№ 49, 50, 52, 53), Читинская область (№ 80), четыре – с европейской части России: Вологодская область, Карелия, Кировская область, Республика Коми (№№ 4, 9, 23, 63) и два из таежных лесов Зауралья, Свердловской области (№№ 29, 30). Преимущество по высоте относительно контроля у некоторых из них достигает

15%, в стандартных отклонениях превышение над средней высотой участка варьирует от 0.1 до 2.0σ (выделены на рис. 16 темными кружками).

Запас стволовой древесины многими исследователями считается одним из необходимых показателей при оценке успешности роста географических культур (Наквасина и др., 2008; Мерзленко и др., 2017; и др.). В нашем эксперименте данные по запасу стволовой древесины в основном подтверждают перспективность отбора по высоте 16 лучших климатипов на песчаной почве и 15 климатипов на суглинистой почве. Результаты оценки запаса стволовой древесины в географических культурах показаны на рис. 3а и 3б в долях стандартного отклонения от среднего запаса на каждом участке. На участке с суглинистой почвой запас стволовой древесины у перспективных климатипов варьирует от 0.3 до 1.7σ , на песчаной – от 0.6 до 3.8σ . Из 16 климатипов, отобранных на песчаной почве в качестве кандидатов в сорта популяции, только у восьми на суглинистой почве отмечаются хорошие показатели по сохранности и росту относительно контроля и средних значений (табл. 1). В абсолютных значениях запас стволовой древесины на песчаной почве у 16 лучших климатипов варьирует от 64 до $164 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, при этом запас контроля составляет $56 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. На суглинистой почве запас у 15 лучших климатипов варьирует от 340 до $460 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, запас контроля составляет $354 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Таким образом, между участками различия по запасу древесины у одноименных климатипов достигают более чем двукратного значения. Преимущество относительно контроля у перспективных климатипов на песчаной почве составляет в среднем 70%, с варьированием от 14 до 193%. На участке с суглинистой почвой преимущество у перспективных климатипов значительно меньше – у 10 климатипов варьирует от 9 до 38%, у пяти климатипов (№№ 4, 23, 35, 37, 52) запас стволовой древесины не отличается от контроля.

На запас стволовой древесины сосны на участке № 2 значительное влияние оказала сохранность деревьев. Коэффициент корреляции густоты древостоя с запасом положительный ($r = 0.80$; $p < 0.001$), отмечаются отрицательные корреляции густоты с диаметром и объемом ствола: $r = -0.60$ и -0.66 ($p < 0.001$). Значимых связей густоты с высотой дерева не выявлено, но выявлена значимая корреляция с долей прямоствольных деревьев: $r = 0.38$ ($p < 0.001$). На участке № 1 отмечается меньшая чувствительность запаса стволовой древесины климатипов сосны к густоте древостоев ($r = 0.39$; $p < 0.001$), что объясняется, в первую очередь, более сходными условиями по плотности стояния деревьев на этом участке. Высокая сохранность географических культур на участке с песчаной почвой определила большую густоту: у большинства климатипов она находится в пре-

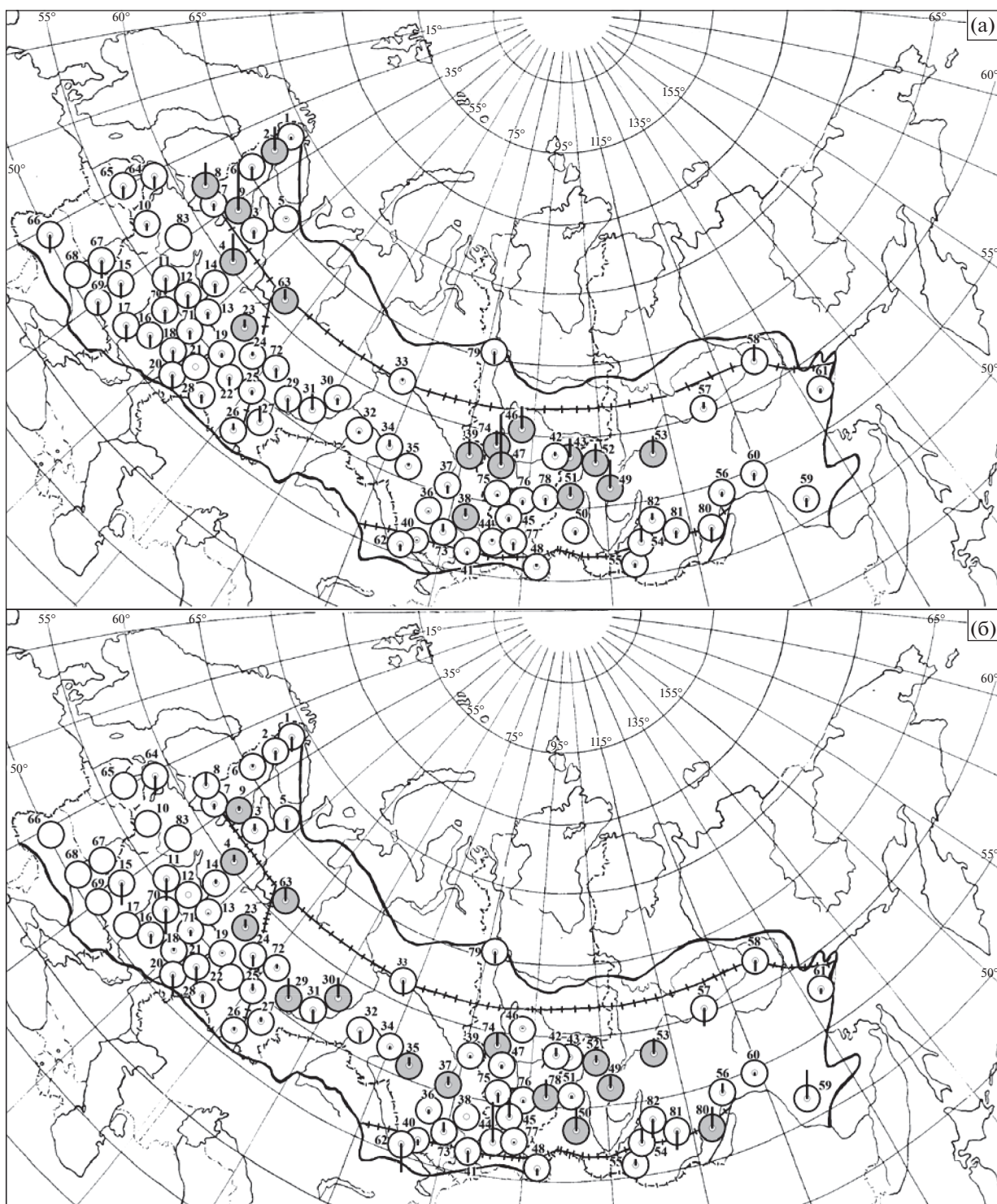


Рис. 3. Запас стволовой древесины климатипов в долях стандартного отклонения от среднего значения на участках с песчаной (а) и суглинистой (б) почвами. Условные обозначения см. рис. 1.

делах 4500–6500 шт. га⁻¹. На суглинистой почве густота деревьев значительно меньше, варьируя в пределах 1500–4000 шт. га⁻¹. В процессе роста сосны в географических культурах конкурентные отношения за площадь питания регулируются

генетическими адаптационными особенностями климатипов, которые определяют их сильную дифференциацию по параметрам стволовой продуктивности, особенно на участке с песчаной почвой.

Таблица 1. Средние показатели стволовой продуктивности в долях стандартного отклонения от средних значений у климатипов сосны, выделенных кандидатами в сорта-популяции на песчаной почве

Авторский номер и название климатипа	Участок на песчаной почве			Участок на суглинистой почве		
	высота	объем	запас	высота	объем	запас
2. Кандалакшский	0.9	1.5	1.7	-1.9	-0.9	-0.6
4. Тотемский	1.9	2.3	1.9	1.7	0.5	0.5
8. Сортавальский	1.0	1.5	1.7	-0.3	-0.8	0.9
9. Пудожский	2.5	3.4	3.3	0.4	0.1	0.3
23. Слободской	0.5	0.0	0.6	1.0	0.0	0.6
38. Гурьевский	1.0	0.7	0.6	0.1	-1.0	0.0
39. Колпашевский	1.0	0.9	1.2	-0.3	-0.2	-0.2
42. Богучанский (контрольный древостой)	0.2	-0.1	0.3	0.3	-0.4	0.6
43. Проспихинский	1.2	1.1	1.3	-0.1	-0.9	0.1
46. Северо-Енисейский	1.5	0.8	1.5	0.0	0.5	0.1
47. Енисейский	2.1	2.6	3.6	-0.6	-0.7	-0.3
49. Усть-Кутский	1.6	1.5	1.9	0.2	-0.3	0.9
51. Вихоревский	1.3	1.4	0.7	0.4	-0.1	-0.2
52. Катангский	1.5	1.7	1.2	0.8	0.2	0.5
53. Мамский	1.5	0.9	1.2	2.1	0.2	1.1
63. Корткеросский	1.0	0.6	0.8	0.2	-0.5	1.0
74. Нижне-Енисейский	1.8	2.2	1.0	0.2	-0.8	1.0

Помимо преимуществ по запасу стволовой древесины перспективные климатипы отличаются хорошей устойчивостью к патогенам (Кузьмина, 2007) и удовлетворительной формой ствола; доля прямоствольных деревьев на участках варьирует от 80 до 100%. Среди выделенных перспективных климатипов сосны восемь имеют одинаково хорошие результаты по комплексу показателей на участках с разными лесорастительными условиями. К ним относятся четыре климатипа из южно-таежных и подтаежных светлохвойных лесов Красноярского края и Иркутской области (№№ 49, 52, 53, 74) и четыре климатипа с севера европейской части ареала сосны из среднетаежных лесов Карелии, Республики Коми (№№ 9, 63) и подзоны южной тайги Вологодской и Кировской областей (№№ 4, 23). Данные климатипы рекомендуются кандидатами в сорта-популяции в результате изучения географических культур согласно методическим указаниям (Изучение ..., 1972).

Таким образом, исследования географических культур в Богучанском лесничестве Красноярского края показали существенные различия по росту и сохранности у климатипов, тестируемых на участках с разными лесорастительными условиями. На песчаной почве с относительно сухими и бедными условиями по органно-минеральному составу дифференциация климатипов сосны выражена сильнее, чем на участке с темно-серой лесной суглинистой почвой. Индивидуальная из-

менчивость высоты в древостоях каждого климатипа по С.А. Мамаеву (1973) варьирует на песчаной почве — от среднего до высокого уровня ($C.V. = 14-42\%$), изменчивость диаметра — от повышенного до высокого уровня ($C.V. = 30-60\%$). На суглинистой почве индивидуальная изменчивость высоты находится в пределах от низкого до среднего уровня ($C.V. = 5-17\%$), уровень изменчивости диаметра высокий ($C.V. = 31-50\%$). Географическая изменчивость высоты и диаметра на песчаной почве является одинаково повышенной ($C.V. = 22-24\%$), на суглинистой почве ее уровень ниже (высоты — 9%, диаметра — 17%). Результаты анализа динамики роста в высоту показывают, что стабилизация рангового положения по росту в высоту у исследуемых климатипов не закончена, процесс формирования структуры насаждений имеет специфические особенности, обусловленные генетическими особенностями климатипов. Разная реакция на экологические факторы у климатипов сосны в пункте испытания проявляется в разной восприимчивости к грибным патогенам и в неодинаковой требовательности к климатическим факторам в течение вегетационного периода. Выявлены значительные отрицательные связи между ростом в высоту сосны исследуемых климатипов на участках и географической широтой (от $r = -0.48$ до -0.68 ; $p < 0.01$), осадками за вегетационный период ($r = -0.65$; $p < 0.001$), суммой температур $> 10^\circ\text{C}$ (от $r = -0.48$ до -0.52 ; $p < 0.001$) и



Рис. 4. Карты-схемы лесосеменного районирования сосны обыкновенной на территории Красноярского края. а – лесосеменное районирование 1982 г.; б – уточнение лесосеменного районирования на основе изучения географических культур в Богучанском лесничестве; 1 – границы районов; 2 – граница Красноярского края; 3 – граница ареала вида; 4 – границы подрайонов; 5 – номера районов; 6 – подрайоны; 7 – Туруханско-Эвенкийский район; 8 – Ангаро-Енисейский район; 9 – Саянский район; 10 – Минусинско-Шушенские боры; 11 – пункт испытания).

длиной активного вегетационного периода (число дней с температурой $>10^{\circ}\text{C}$) ($r = -0.31$; $p < 0.01$) места их происхождения. Менее существенная положительная связь выявлена между высотой, запасом стволовой древесины климатипов на песчаной почве и географической долготой места их происхождения ($r = 0.43$; $p < 0.05$).

Одной из причин нестабильности роста сосны обыкновенной в географических культурах является разная стратегия роста климатипов сосны. Исследование динамики годовых приростов в высоту у климатипов сосны с одинаковой густо-

той деревьев на 1 га на участке с суглинистой почвой (Кузьмин и др., 2013) показало, что у сосны из южных частей ареала формирование максимальных приростов наступает на 5–8 лет раньше, чем у сосны из северных. Причем северные климатипы способны формировать максимальный радиальный прирост в течение относительно длительного времени (от 3 до 7 лет), по сравнению с южными (до 3 лет). Другой причиной нестабильного роста сосны является разная устойчивость к грибным патогенам. Например, эпифитотия, вызванная ценангиевым некрозом в 24-летнем возрасте, суще-

ственно замедлила и в некоторых случаях остановила рост в высоту и по диаметру у климатипов сосны из южных, западных и центральных регионов ареала, имеющих сильную степень повреждения хвои и почек (Кузьмина, Кузьмин, 2007).

В рамках уточнения лесосеменного районирования 1982 г. ранее были сделаны рекомендации по расширению территории Ангаро-Илимского (№ 56) лесосеменного района (Кузьмина, Кузьмин, 2012). В настоящее время эти рекомендации сохраняются, и на территории Красноярского края выделяются три лесосеменных района: 1. Туруханско-Эвенкийский (до $60^{\circ}30'$ с.ш.); 2. Ангаро-Енисейский (в пределах $60^{\circ}30'$ – $55^{\circ}30'$ с.ш.); 3. Саянский (южнее $55^{\circ}30'$ с.ш.) с подрайоном Минусинско-Шушенские боры (рис. 4). Основанием для предлагаемого лесосеменного районирования на территории региона послужили результаты оценки успешности роста и устойчивости климатипов сосны, тестируемых в географических культурах, как с территории Красноярского края, так и прилегающих к нему других регионов Сибири.

Заключение. Рост сосны обыкновенной в географических культурах в пункте испытания в первую очередь зависит от почвенных и лесорастительных условий экспериментальных участков. У одноименных климатипов, произрастающих на суглинистой и песчаной почвах, отмечаются двукратные различия по высоте и запасу стволовой древесины. В пределах участков дифференциация сосны по росту обусловлена генетическими особенностями климатических экотипов, сформированными под действием экологических факторов в местах происхождения и разной реакцией на экологические факторы в пункте испытания. Разная реакция проявляется в неодинаковой требовательности к осадкам и температуре в течение вегетационных периодов и восприимчивости к грибным патогенам. Дифференциация климатипов сосны по средней высоте и запасу стволовой древесины выражена сильнее на участке с дерново-подзолистой песчаной почвой, чем на темно-серой суглинистой. Ранговая нестабильность климатических экотипов по росту в высоту отмечается в разных лесорастительных условиях до 40-летнего возраста.

В результате изучения географических культур предлагаются следующие рекомендации для лесного хозяйства региона. Перемещение семян на территории Красноярского края рекомендуем проводить: с севера на юг – начиная с $60^{\circ}30'$ с.ш. максимум на 4° – 5° ; с юга на север – на 3° – 4° ; с востока на запад – на 20° ; с запада на восток – на 15° . В рамках уточнения лесосеменного районирования 1982 г. выделяем три лесосеменных района: 1. Туруханско-Эвенкийский (севернее 59° – $60^{\circ}30'$ с.ш.); 2. Ангаро-Енисейский ($60^{\circ}30'$ – $55^{\circ}30'$ с.ш.); 3. Саянский

(южнее $55^{\circ}30'$ с.ш.) с подрайоном Минусинско-Шушенские боры.

В случае хронического отсутствия семян сосны обыкновенной в Ангаро-Енисейском регионе поставщиками семян для создания плантаций и лесных культур целевого назначения на дерново-подзолистой песчаной и темно-серой лесной суглинистой почвах могут быть материнские насаждения восьми климатических экотипов, выделенных кандидатами в сорта-популяции. Их представляют сосняки четырех лесничеств из южнотаежных и подтаежных лесов с территории Красноярского края и Иркутской области и четырех лесничеств из среднетаежных и южнотаежных лесов Карелии, Республики Коми, Вологодской и Кировской областей.

Материнские насаждения перспективных климатипов, отобранных на песчаной и суглинистой почвах, 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 ЛИТЕРАТУРЫ

- Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Под ред. Проказина Е.П. Пушкино: Всесоюз. НИИ Лесоводства и Механизац. лесного хоз-ва, 1972. 52 с.
- Ирошников А.И.* Географические культуры хвойных в южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. С. 4–110.
- Кузьмин С.Р.* Влияние географического происхождения сосны обыкновенной на морфо-анатомические признаки культур в Приангарье: Дис. ... канд. с.-х. наук (03.00.16). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2008. 166 с.
- Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А., Ваганов Е.А.* Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2013. № 1. С. 30–38.
- 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.* Устойчивость сосны обыкновенной к патогенам в географических культурах Приангарья // Лесная таксация и лесоустройство. 2007. № 1(37). С. 174–179.
- Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 4–5. С. 454–460.
- Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Анализ лесосеменного районирования сосны обыкновенной в Средней Сибири // Там же. 2012. Т. XXX. № 1–2. С. 111–113.

- Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Анализ динамики роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Средней Сибири // Сибирский лесной 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 борельной зоны. 2004. Т. XXII. № 1–2. С. 48–56.
- Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесная пром-ость, 1982. 368 с.
- Лесотаксационный справочник для южнотаежных лесов Средней Сибири / Сост. С.Л. Шевелев и др. Красноярск: Всерос. НИИ Лесоводства и Механизации лесн. хоз-ва, 2002. 166 с.
- Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 282 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., Бедрицкая Т.В. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: Изд-во Поморского гос. университета, 1999. 143 с.
- Наквасина Е.Н., Гвоздихина О.А. Оценка состояния и роста географических культур сосны и ели в Архангельской области // Проблемы лесоведения и лесоводства. Архангельск, 2005. С. 58–63.
- Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В., Гвоздихина О.А. Селекционная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области // Лесной журн. 2001. № 3. С. 28–34.
- Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в генэкологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: Архангельский гос. техн. университет, 2008. 308 с.
- Нарышкин М.А., Вакуров А.Д., Петерсон Ю.В. Географические культуры сосны обыкновенной под Москвой // Лесоведение. 1983. № 2. С. 50–57.
- Наумова Н.Б., Тараканов В.В., Макарова Р.П., Кузьмина Н.А., Новикова Т.Н., Милютин Л.И. Влияние климатипов сосны обыкновенной на некоторые химические и микробиологические свойства почв // Сибирский экологический журн. 2009. № 2. С. 287–292.
- Новикова Т.Н. Географические культуры и плантации сосны обыкновенной в лесостепных районах Сибири: Дис. ... канд. биол. наук (03.00.05). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2002. 224 с.
- Патлай И.Н. Рост и устойчивость сосны в географических культурах второго поколения в Тростянецком лесхозе Сумской области // Лесной журн. 1976. № 5. С. 155–160.
- Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса. М: ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 1, 2. 372 с.
- 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 Подмосквья. М.: Наука, 1968. С. 160–195.
- Проказин А.Е., Куракин Б.Н. Зональная изменчивость в росте географических культур сосны обыкновенной в Московской области // Разработка основ систем селекции древесных пород. Рига: Зинатне, 1981. Ч. 1. С. 37–40.
- Проказин А.Е., Куракин Б.Н. Происхождение сеянцев сосны обыкновенной и устойчивости их к шютте // Лесное Хоз-во. 1983. № 2. С. 51–53.
- Редько Г.И. Комплексная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Сборник научных трудов Моск. лесотех. института. 1994. С. 31–39.
- Родин А.Р., Проказин А.Е. Изучение географической изменчивости основных лесообразующих пород // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов. М.: Моск. гос. университет леса, 1997. С. 70–75.
- Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н., Бушков Н.Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 230 с.
- Тимофеев В.П. Особенности роста сосны разного происхождения в лесной опытной Тимирязевской академии // Известия Тимирязевской сельхоз. академии. 1973. Вып. 2. С. 130–146.
- Черепнин В.Л. Географические культуры сосны обыкновенной в Забайкалье // Ботанические исследования в Сибири: Сб. статей. Красноярск, 1999. Вып. 7. С. 180–193.
- Черепнин В.Л. Географические культуры сосны обыкновенной в Красноярской лесостепи / Там же. 2007. Вып. 15. С. 81–83.
- Чернодубов А.И., Галдина Т.Е., Смогунова О.А. Географические культуры сосны обыкновенной на юге Русской равнины. Воронеж: Воронежская гос. лесотех. академия, 2005. 128 с.
- Шутяев А.М., Вересин М.М. Продуктивность географических популяций сосны обыкновенной // Лесное хоз-во. 1990. № 11. С. 36–38.
- Eriksson G., Andersson S., Eiche V., Persson A. Variation between and within populations in a provenance trial of *Pinus sylvestris* at Nordanås, lat 64°19', long 18°09', alt 400 m // Studia Forestalia Suecica. 1976. № 133. P. 1–46.
- Giertych M. Summary of results on Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments // Silvae Genetica. V. 28. № 4. 1979. P. 136–152.
- Giertych M., Oleksyn J. Summary results on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) volume production in Ogievskij's pre-revolutionary Russian provenance experiments // Ibid. 1981. V. 30. P. 56–74.
- Persson B. Will climate change affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* provenances // Silva Fennica. 1998. V. 32. P. 121–128.
- Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris* // Global Change Biology. 2002. V. 8. P. 912–929.
- Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north // Ecology Letters. 2008. V. 11. P. 588–597.

Choosing the Promising Climatypes of Scots Pine in Geographic Cultures in Different Forest Growth Conditions

S. R. Kuz'min^{1, 2, *} and N. A. Kuz'mina¹

¹*Sukachev Institute of Forest SB RAS, Akademgorodok 50 bldg. 28, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

²*Siberian Federal University, Svobodny 79, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

*E-mail: skr_7@mail.ru

The dynamics of growth, trunk productivity and survivability of 83 climatic ecotypes of Scots pine (provenance trial) tested in different forest growth conditions in the Boguchansky forestry of the Krasnoyarsk Krai is shown. In some areas with sandy and loamy soils, groups of climatetypes were distinguished with different average height at the age of 40 years. A more stable growth was observed in climatetypes conventionally named fast-growing (compared to control stands). Climatetypes with average heights, representing the middle group, change their ranking position, especially in the last 15 years. A significant part of the slow-growing climatetypes of the third group systematically remains behind the control ones in terms of growth speed. The stabilization of the ranking position by height increase in the studied climatetypes at the age of 40 is not completed, the process of forming the structure of plantings has specific features due to the genetic properties of climatetypes and their response to environmental factors. Different vegetation conditions of provenance trial growing revealed different environmental sensitivity and variability of growth parameters in the climatetypes of the same name in the experimental plots. The average height and trunk productivity on loamy soil are by 100% or more higher than these characteristics of the same climatetypes on a sandy soil. Within each plot, promising climatetypes were selected, which are recommended as candidates for quality populations. Based on the assessment of the growth efficiency of the provenance trial the recommendations for the regional forest industry were formed, regarding the transport of the Scots pine seeds and specification of the seeding zoning in Krasnoyarsk Krai. Four seeding zones have been defined: 1. Turukhansko-Evenkiysky (to the north from 60°30' N); 2. Angaro-Yeniseysky (60°30'–55°30' N); 3. Sayansky (to the south from 55°30' N); 4. Minusinko-Shushensky pine forests (53°49'–53°12' N).

Keywords: provenance trial, Scots pine, climatetypes, height increase dynamics, trunk productivity, quality populations, seeding zones.

Acknowledgements: The study has been carried out with a financial support of SIF SB RAS base project (0356-2019-0024) and partial financial support of RFBF projects (16-05-00496; 20-05-00540), Krasnoyarsk Krai government and Krasnoyarsk Krai foundation for scientific and technical activities support (16-44-243031).

REFERENCES

- Cherepnin V.L., Geograficheskie kul'tury sosny obyknovЕННОЙ v Krasnoyarskoi lesostepi (Provenance trial plantations of Scots pine in the Krasnoyarsk forest-steppe), In: *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri* (Botanical research in Siberia), Krasnoyarsk, 2007, pp. 81–83.
- Cherepnin V.L., Geograficheskie kul'tury sosny obyknovЕННОЙ v Zabaikal'e (Provenance trial plantations of Scots pine in Transbaikalia), In: *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri* (Botanical research in Siberia), Krasnoyarsk, 1999, Vol. 7, pp. 180–193.
- Chernodubov A.I., Galdina T.E., Smogunova O.A., *Geograficheskie kul'tury sosny obyknovЕННОЙ na yuge Russkoi ravniny* (Provenance trial plantations of Scots pine in the south of the Russian Plain), Voronezh: Voronezhskaya gos. lesotekh. akademiya, 2005, 128 p.
- Eriksson G., Andersson S., Eiche V., Persson A., Variation between and within populations in a provenance trial of *Pinus sylvestris* at Nordanås, lat 64°19', long 18°09', alt 400 m, *Studia Forestalia Suecica*, 1976, No. 133, pp. 1–46.
- Giertych M., Oleksyn J., Summary results on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) volume production in Ogievskij's pre-revolutionary Russian provenance experiments, *Ibid*, 1981, Vol. 30, pp. 56–74.
- Giertych M., Summary of results on Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments, *Silvae Genetica*, 1979, Vol. 28, No. 4, pp. 136–152.
- Iroshnikov A.I., Geograficheskie kul'tury khvoynykh v Yuzhnoi Sibiri (Geographical provenance plantations of conifers in southern Siberia), In: *Geograficheskie kul'tury i plantatsii khvoynykh v Sibiri* (Provenance trials and plantations of conifers in Siberia), Novosibirsk: Nauka, 1977, pp. 4–110.
- Kuz'min S.R., Kuz'mina N.A., Vaganov E.A., Dinamika rosta sosny obyknovЕННОЙ v geograficheskikh kul'turakh (Growth dynamics of Scots pine in provenance trial plantations), *Lesovedenie*, 2013, No. 1, pp. 30–38.
- Kuz'min S.R., *Vliyanie geograficheskogo proiskhozhdeniya sosny obyknovЕННОЙ na morfo-anatomicheskie priznaki kul'tur v Priangar'e. Diss. kand. s.-kh. nauk* (The influence of the geographical origin of Scots pine on the morfo-anatomical features of crops in the Angara area. Candidate's of agric. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2008, 166 p.
- Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R., Analiz dinamiki rosta klimatipov sosny obyknovЕННОЙ v geograficheskikh kul'turakh v Srednei Sibiri (Analysis of the growth dynamics of climatetypes of Scots pine in provenance trial plantations in Central Siberia), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, No. 2, pp. 31–39.

- Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R., Analiz lesosemennogo raionirovaniya sosny obyknovЕННОй v Srednei Sibiri (Analysis of forest seed zoning of Scots pine in Central Siberia), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2012, Vol. XXX, No. 1–2, pp. 111–113.
- Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R., Milyutin L.I., Differentsiatsii sosny obyknovЕННОй po rostu i vyzhivaemosti v geograficheskikh kul'turakh Priangar'ya (Growth and resilience differentiations of Scots pine at the provenance trial plantations in Angara region), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2004, Vol. 22, No. 1–2, pp. 48–56.
- Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R., Ustoichivost' sosny obyknovЕННОй raznogo proiskhozhdeniya k gribnym patogenam v geograficheskikh kul'turakh Priangar'ya (Resistance of Scotch pine of different origin to fungal pathogens in the provenance trial plantations of the Angara), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2007, Vol. XXIV, No. 4–5, pp. 454–460.
- Kuz'mina N.A., Osobennosti rosta geograficheskikh kul'tur sosny obyknovЕННОй v Priangar'e (Features of the growth of provenance trial plantations of Scots pine in Angara), *Lesovedenie*, 1999, No. 4, pp. 23–29.
- Kuz'mina N.A., Otsenka stvolovoi produktivnosti sosny obyknovЕННОй na peschanoi pochve v geograficheskikh kul'turakh Priangar'ya (Assessment of the stem productivity of Scots pine on sandy soil in the provenance trial plantations of the Angara region), *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo*, 2005, No. 2(35), pp. 416–419.
- Kuz'mina N.A., Ustoichivost' sosny obyknovЕННОй k patogenam v geograficheskikh kul'turakh Priangar'ya (The resistance of Scots pine to pathogens in the provenance trial plantations of the Angara region), *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo*, 2007, No. 1(37), pp. 174–179.
- Lesosemennoe raionirovanie osnovnykh lesobrazuyushchikh porod v SSSR*, (Forest seed zoning of the main forest-forming species in the USSR), M.: Lesnaya prom-ost', 1982, 368 p.
- Lesotaksatsionnyi spravochnik dlya yuzhnotaevnykh lesov Srednei Sibiri*, (Forest mensuration handbook for the southern taiga forests of Central Siberia), Krasnoyarsk: Vseros. NII Lesovodstva i Mekhanizatsii lesn. khoz-va, 2002, 166 p.
- Mamaev S.A., *Formy vnutrividovoi izmenchivosti drevnykh rastenii* (Forms of intraspecific variability of woody plants), M.: Nauka, 1973, 282 p.
- Merzlenko M.D., Glazunov Y.B., Mel'nik P.G., Rezul'taty vyrashchivaniya provenientsii sosny obyknovЕННОй v geograficheskikh posadkakh Serebryanoborskogo opytного lesnichestva (Growing geographic trial provenances of the Scots pine in Serebryany Bor forestry), *Lesovedenie*, 2017, No. 3, pp. 176–182.
- Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V., Gvozdukhina O.A., Seleksionnaya otsenka klimatipov sosny obyknovЕННОй v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoi oblasti (Selection assessment of climatypes of Scots pine in geographical cultures of the Arkhangel'sk region), *Lesnoi zhurnal*, 2001, No. 3, pp. 28–34.
- Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V., *Semennye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovЕННОй* (Seed orchard of northern ecotypes of Scots pine), Arkhangel'sk: Izd-vo Pomorskogo gos. universiteta, 1999, 143 p.
- Nakvasina E.N., Gvozdukhina O.A., Otsenka sostoyaniya i rosta geograficheskikh kul'tur sosny i eli v Arkhangel'skoi oblasti (Assessment of the state and growth of geographical pine and spruce cultures in the Arkhangel'sk region), In: *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* (Challenges of Forest Science and Forest Management), Arkhangel'sk, 2005, pp. 58–63.
- Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S., *Geograficheskie kul'tury v genekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeiskom Severe* (Provenance trial plantation in genecological research in the European North), Arkhangel'sk: Arkhangel'skii gos. tekhn. universitet, 2008, 308 p.
- Naryshkin M.A., Vakurov A.D., Peterson Y.V., Geograficheskie kul'tury sosny obyknovЕННОй pod Moskvoy (Trial provenances of Scots pine around Moscow), *Lesovedenie*, 1983, No. 2, pp. 50–57.
- Naumova N.B., Makarikova R.P., Tarakanov V.V., Kuz'mina 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, No. 2, pp. 147–151.
- Novikova T.N., *Geograficheskie kul'tury i plantatsii sosny obyknovЕННОй v lesostepnykh raionakh Sibiri. Diss. kand. biol. nauk* (Geographic trial provenances and plantations of Scots pine in the forest-steppe regions of Siberia. Candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2002, 224 p.
- Patlai I.N., Rost i ustoichivost' sosny v geograficheskikh kul'turakh vtorogo pokoleniya v Trostyanetskom leskhoze Sumskoi oblasti (Pine growth and sustainability in second-generation trial provenances in the Trostyanetsky forestry of Sumy region), *Lesnoi zhurnal*, 1976, No. 5, pp. 155–160.
- Persson B., Will climate change affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* provenances, *Silva Fennica*, 1998, Vol. 32, pp. 121–128.
- Pikhel'gas E.I., Geograficheskie opytnye kul'tury sosny obyknovЕННОй v Estonskoi SSR (Geographic test crops of Scots pine in the Estonian SSR), In: *Geograficheskie opyty v lesnoi selektsii Pribaltiki* (Geographic experiments in forest breeding of the Baltic states), Riga: Zinatne, 1982, pp. 73–81.
- Pisarenko A.I., Red'ko G.I., Merzlenko M.D., *Iskustvennye lesa* (Homogeneous forest), M.: VNIITslesresurs, 1992, Vol. 1, 2, 372 p.
- Pravdin L.F., *Sosna obyknovENNAYA: izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* (Scots pine: variability, intraspecific systematics and selection), Moscow: Nauka, 1964, 191 p.
- Pravdin L.F., Vakurov A.D., Rost sosny obyknovЕННОй (*Pinus silvestris* L.) raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v podzone khvoino-shirokolistvennykh lesov (Growth of Scots pine of various origin in coniferous-broadleaved forest sub-domain), In: *Slozhnye bory khvoino-shirokolistvennykh lesov i puti vedeniya lesnogo khozyaistva v lesoparkovykh usloviyakh Podmoskov'ya* (Complex pine forests in mixed forests domain and means of forestry in municipal forests of Moscow region), M.: Nauka, 1968, pp. 160–195.
- Prokazin A.E., Kurakin B.N., Proiskhozhdenie seyantsev sosny obyknovЕННОй i ustoichivost' ikh k shyutte (The origin of seedlings of Scots pine and their resistance to pine-leaf cast), *Lesnoe khoz-vo*, 1983, No. 2, pp. 51–53.
- Prokazin A.E., Kurakin B.N., Zonal'naya izmenchivost' v roste geograficheskikh kul'tur sosny obyknovЕННОй v Moskovskoi oblasti (Zonal variability in the growth of trial provenances of Scots pine in the Moscow region), In: *Raz-*

- rabotka osnov sistem seleksii drevesnykh porod* (Development of the fundamentals of tree breeding systems), Riga: Zinatne, 1981, Vol. 1, pp. 37–40.
- Prokazin E.P., *Izuchenie imeyushchikhsya i sozdanie novykh geograficheskikh kul'tur (programma i metodika rabot)* (Study of existing provenance trial plantations and creating of the new ones (the program and methods)), Pushkino: Izd-vo VNIILM, 1972, 52 p.
- Red'ko G.I., *Kompleksnaya otsenka klimatipov sosny obyknovЕННОй v geograficheskikh kul'turakh* (Comprehensive assessment of climatypes of Scots pine in trial provenances), In: *Sbornik nauchnykh trudov Mosk. lesotekh. instituta* (Book of scientific papers of the Moscow Forestry Institute), 1994, pp. 31–39.
- Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I., *Intraspecific responses to climate in Pinus sylvestris*, *Global Change Biology*, 2002, Vol. 8, pp. 912–929.
- Reich P.B., Oleksyn J., *Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north*, *Ecology Letters*, 2008, Vol. 11, pp. 588–597.
- Rodin A.R., Prokazin A.E., *Izuchenie geograficheskoi izmenchivosti osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod* (The study of the geographical variability of the main forest-forming species), In: *Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov* (Forest management and reproduction of forest resources), M.: Mosk. gos. universitet lesa, 1997, pp. 70–75.
- Shutyaev A.M., Veresin M.M., *Produktivnost' geograficheskikh populyatsii sosny obyknovЕННОй* (Productivity of geographical populations of Scots pine), *Lesnoe khoz-vo*, 1990, No. 11, pp. 36–38.
- Tarakanov V.V., Demidenko V.P., Ishutin Y.N., Bushkov N.T., *Selektsionnoe semenovodstvo sosny obyknovЕННОй v Sibiri* (Selection seed production of Scots pine in Siberia), Novosibirsk: Nauka, 2001, 230 p.
- Timofeev V.P., *Osobennosti rosta sosny raznogo proiskhozhdeniya v lesnoi opytnoi Timiryazevskoi akademii* (Features of pine growth of different origin in the forest experimental Timiryazev Academy), *Izvestiya Timiryazevskoi sel'khoz. akademii*, 1973, Vol. 2, pp. 130–146.