

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В СИБИРИ

С.Р. Кузьмин¹, Н.А. Кузьмина²

¹д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции,

²к.б.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции,
*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ
СО РАН, г. Красноярск, Россия*

Аннотация. В ходе исследований географических культур сосны обыкновенной в южной тайге Красноярского края выявлены популяции, успешно адаптирующиеся к условиям песчаной почвы в Средней Сибири. Отклонение отдельных климатипов от общей тенденции зависимости средней высоты или диаметра от факторов места происхождения объясняется разной адаптационной способностью климатипов. Доля прямоствольных деревьев является более универсальным признаком, чем высота и диаметр дерева, который комплексно может свидетельствовать об успешности отклика как на биотические и абиотические факторы в пункте испытания.

Ключевые слова: географические культуры, средняя высота и диаметр дерева, прямоствольность, климат, адаптация, перемещение семян.

MAIN ADAPTATION TRENDS OF SCOTS PINE FROM DIFFERENT PROVENANCES IN SIBERIA

S.R. Kuzmin¹, N.A. Kuzmina²

1

*Doctor of Biological Sciences, Principal Researcher of Forest Genetics and Breeding
Laboratory,*

*²Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Forest
Genetics and Breeding Laboratory,*

*Sukachev Institute of Forest SB RAS – separate division of FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk,
Russia*

Abstract. The research of provenance trial in the southern taiga of the Krasnoyarsk krai make it possible to identify populations that successfully adapt to the sandy soil conditions in Central Siberia. The deviation of individual climatypes from the general trend of dependence of average height or diameter on factors of origin is explained by climatype's different adaptive capacity. The proportion of straight-stemmed trees is a more universal feature. Compared to height and diameter, it can comprehensively indicate the success of the response to both biotic and abiotic factors at the test site.

Keywords: provenance trial, mean tree height and diameter, straight-stemmed trees, climate, adaptation, seed transfer.

Введение

Интенсивное развитие Нижнего Приангарья, связанное с созданием крупных лесоперерабатывающих комбинатов, строительством Богучанской ГЭС, алюминиевого завода, поиском и добычей различных полезных ископаемых приводит к постепенному сокращению лесопокрытой площади на территории Сибири. Успешное использование семян популяций, которые являются местными, а значит наиболее адаптированными к условиям южной тайги в Сибири не всегда может быть осуществлено на практике по ряду причин. Локальные условия выращивания оказывают критически важное значение на сохранность и продуктивность культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Разница в продуктивности древостоев на суглинистой и песчаной почвах является значительной. Сосна обыкновенная на песчаных почвах гораздо уязвимее к засушливым климатическим условиям, которые возникают в условиях потепления климата. Именно сосновые участки на песчаных почвах из-за лучшей транспортной доступности, так как приурочены к надпойменным террасам реки Ангары, испытывают сильную антропогенную нагрузку, которая сопряжена с повышенным риском возникновения пожаров и вырубкой леса для развития инфраструктуры ближайших населенных пунктов и промышленных объектов.

В этой связи оценка адаптационных способностей потомств различных популяций в географических культурах сосны обыкновенной, созданных в условиях песчаной почвы, позволяет на основе научных фундаментальных исследований выявлять перспективные для лесовосстановления популяции. Оценка закономерностей высоты и диаметра деревьев и доли прямоствольных деревьев у потомства 83 популяций сосны обыкновенной от ряда климатогеографических параметров исходных популяций, а также анализ дифференциации отдельных популяций является целью данного исследования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются географические культуры сосны обыкновенной, созданные в 1977 г. в Богучанском районе Красноярского края в условиях песчаной почвы из потомства 83 популяций, далее называемых климатипами. Измерение высоты деревьев проводили с помощью ультразвукового высотомера Vertex IV (Haglof, Швеция), измерение диаметра дерева проводили мерной вилкой на высоте 1.3 м. К прямоствольным относили деревья, у которых отсутствовало видимое искривление ствола в любой его части. Основная выборка для каждого климатипа – 50 деревьев. В основе статистического анализа лежит использование программы STATISTICA 8.0 (Statsoft, США). Корреляционно-регрессионный анализ проводили с использованием коэффициента корреляции Пирсона (r), и рангового коэффициента корреляции Спирмена (r_s), так как некоторые характеристики могут отклоняться от нормального распределения у представленных в географических культурах климатипов. Контроль – местный богучанский климатип. Сравнение многолетних климатических характеристик мест происхождения климатипов проведено на основе данных из серии справочников по климату СССР [4].

Результаты и обсуждение

Морфологические исследования роста и состояния климатипов сосны в географических культурах позволили выявить ряд закономерностей по росту в высоту и по диаметру. Выявлена зависимость средней высоты от климатогеографических факторов мест происхождения климатипов. Анализ средней высоты деревьев у климатипов в географических культурах на участке с песчаной почвой выявил значимую отрицательную линейную модель связи с длиной периода с продолжительностью безморозного периода в пункте происхождения ($y = 9.306 - 0.028 x$; $r = -0.40$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.16$) (Рисунок 1).

На графике видно, что среди климатипов, имеющих продолжительность безморозного периода короче 104 дней происходит разделение на две группы. Климатипы одной из них, состоящую из 12 популяций, можно условно назвать пластичными, адаптирующимися к условиям испытания. Несмотря на то, что у них в пункте происхождения безморозный период

короче (менее 104 дней), чем в пункте испытания (110 дней), средняя высота их деревьев не менее 7 м, что превышает среднее значение контроля (6.3 м). Это происходит благодаря успешной адаптации, увеличению периода вегетации и темпов прироста в высот, что свидетельствует о том, что эти климатипы более устойчивы к раннему началу вегетационного периода и поздневесенним заморозкам. К этим климатипам относятся как географически относительно близкие климатипы из Средней и Восточной Сибири (северо-енисейский, нижне-енисейский и енисейский из Красноярского края, усть-кутский, вихоревский, катангский и мамский из Иркутской области, заудинский из Бурятии, нерчинский из Забайкальского края), так и географически удаленные: авзянский из Башкортостана, корткеросский из Коми, кандалакшский из Мурманской области.

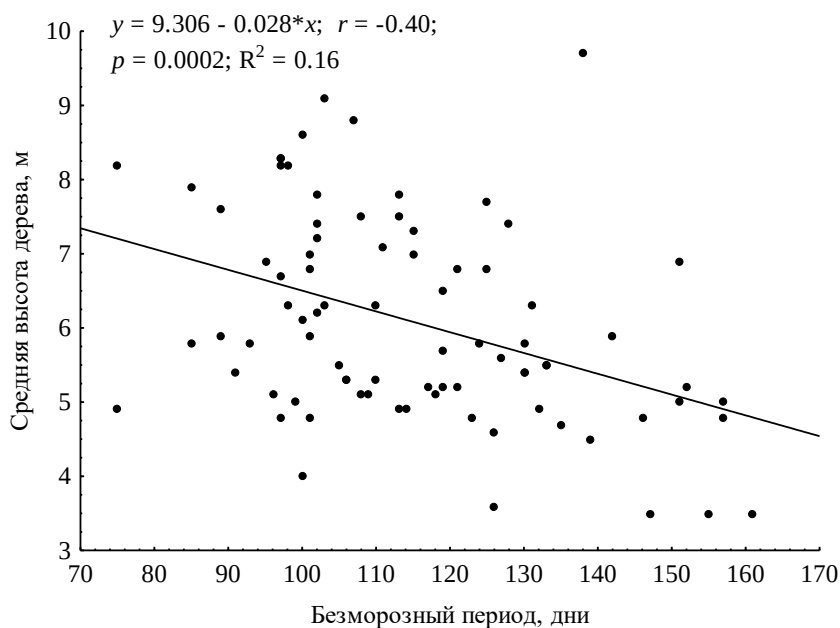


Рисунок 1. Зависимость средней высоты деревьев у 82 климатипов от продолжительности безморозного периода в виде линейной регрессионной модели.

Другую группу климатипов, имеющих среднюю высоту менее 6 м, и продолжительность безморозного периода менее 104 дней, представляют менее пластичные климатипы, которые в условиях более длинного вегетационного периода имеют низкие показатели средней высоты деревьев относительно контроля. К ним относятся 11 климатипов: печенгский из Мурманской области, плесецкий и пинежский из Архангельской области, чупинский из Карелии, ревдинский из Свердловской области, абазинский из Хакасии, зиминский из Иркутской области, могочинский и читинский из Забайкальского края, урушинский из Амурской области и туруханский из Красноярского края. Эти климатипы, из-за консервативного характера средней высоты, можно условно отнести к генетически стабильным или обособленным по данному показателю, и которые с высокой вероятностью будут отличаться от других по комплексу физиологических и биохимических признаков. Отдельный график без учета этих климатипов показывает значительное увеличение коэффициента корреляции и детерминации линейной модели ($y = 11.4387 - 0.0441 x$; $r = -0.59$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.35$) (Рисунок 2). Таким образом, основной условный тренд для климатипов, тестируемых в условиях южной тайги Красноярского края выглядит как снижение средней высоты дерева на 44 см при увеличении безморозного периода места происхождения на 10 дней.

Схожесть распределения средних значений высоты и диаметра по климатипам показывает, что диаметр в условиях песчаной почвы в целом реагирует на условия роста схожим образом, что и высота, но более высокие показатели индивидуальной изменчивости

диаметра (14–65 %) по сравнению с высотой (7–43 %) сигнализируют о том, что этот показатель более изменчив внутри исследуемых климатипов. Коэффициент корреляции между средней высотой и диаметром равен 0.94 ($p < 0.001$). Значимой корреляционной связи между диаметром и густотой не отмечается ($r_s = 0.04$), это свидетельствует об индивидуальных реакциях деревьев внутри древостоев климатипов на факторы, которые в меньшей степени связаны с конкурентными отношениями, чем с наследственными свойствами и реакцией на климатические условия в пункте испытания.

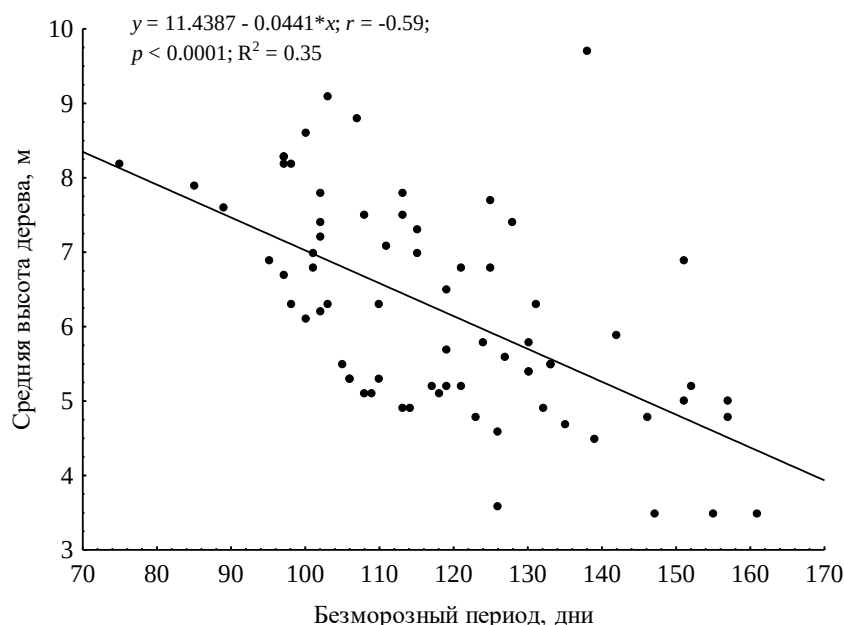


Рисунок 2. Зависимость средней высоты деревьев у 71 климатипа от продолжительности безморозного периода в виде линейной регрессионной модели.

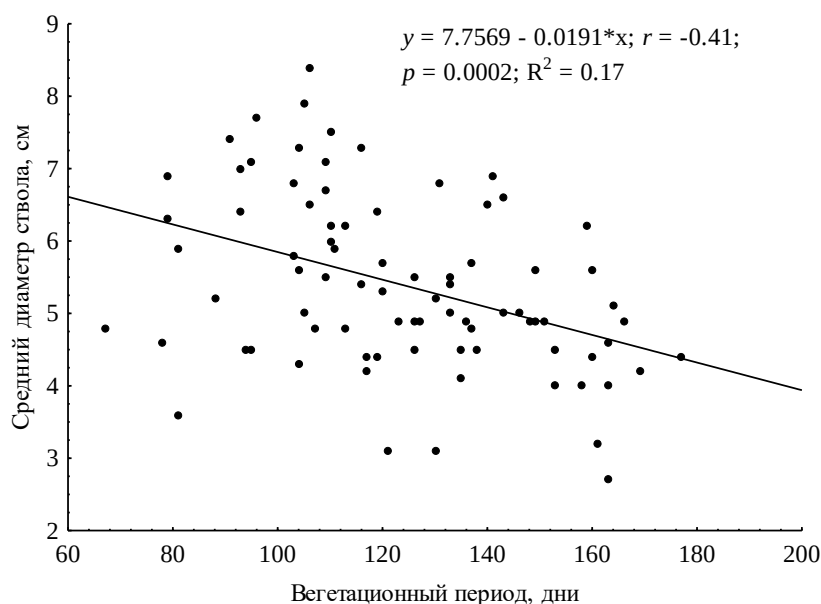


Рисунок 3. Зависимость среднего диаметра ствола дерева у 82 климатипов от продолжительности вегетационного периода в виде линейной регрессионной модели.

Наиболее значимая отрицательная связь диаметра ствола в отличие от высоты дерева отмечается с продолжительностью периода с температурами выше 10°C (вегетационный

период), описываемая линейной моделью ($y = 7.7569 - 0.0191 x$; $r = -0.41$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.17$) (Рисунок 3).

Низкими показателями среднего диаметра (< 5 см), что ниже контроля (5.6 см), при общем тренде его увеличения с уменьшением продолжительности вегетационного периода места происхождения, отличаются печенгский (Мурманская область), плесецкий (Архангельская область), чупинский (Карелия), могочинский (Забайкальский край) и аянский из Хабаровского края, имеющие короткий вегетационный период (67–95 дней) по сравнению с контролем (104 дня). Высокие показатели среднего диаметра (> 6 см) показывают некоторые климатипы, у которых длина вегетационного периода значительно больше, чем у контроля (131–159 дней): солотчинский (6.2 см) из Рязанской области, авзянский (6.5 см) и белорецкий (6.8 см) климатипы из Башкортостана, боровлянский (6.6 см) из Алтайского края, курганский (6.9 см) из Курганской области. Этот факт свидетельствует об успешной адаптации данных климатипов к возникновению раннеосенних заморозков.

Оценка доли прямоствольных деревьев на участке с песчаной почвой в древостоях климатипов показала, что самая сильная связь, при которой регрессионная линейная модель наиболее точно описывает зависимость доли прямоствольных деревьев от климатических характеристик места происхождения, отмечается с суммой температур > 10 °C ($y = 169.843 - 0.0556 x$; $r = -0.78$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.61$) (Рисунок 4). Климатипы из более холодных условий (с суммой температур < 1800 °C) способны иметь в географических культурах 100 % прямоствольных деревьев, тогда как при сумме температур > 2200 °C ряд климатипов имеет 100 % кривоствольных деревьев. Положительные значимые связи отмечаются с северной широтой ($r_s = 0.53$; $p < 0.001$) и восточной долготой ($r_s = 0.35$; $p < 0.01$). Значимая положительная корреляция отмечается с густотой древостоев ($r_s = 0.46$; $p < 0.001$). Это объясняется тем, что южные климатипы в условиях испытания отличаются худшей сохранностью, причинами которой могут быть раннеосенние заморозки, и уязвимость к различным патогенам и стрессовым факторам, способствующим ослаблению дерева и возникновению искривлений ствола в результате различных нарушений, как апикального, так и радиального роста.

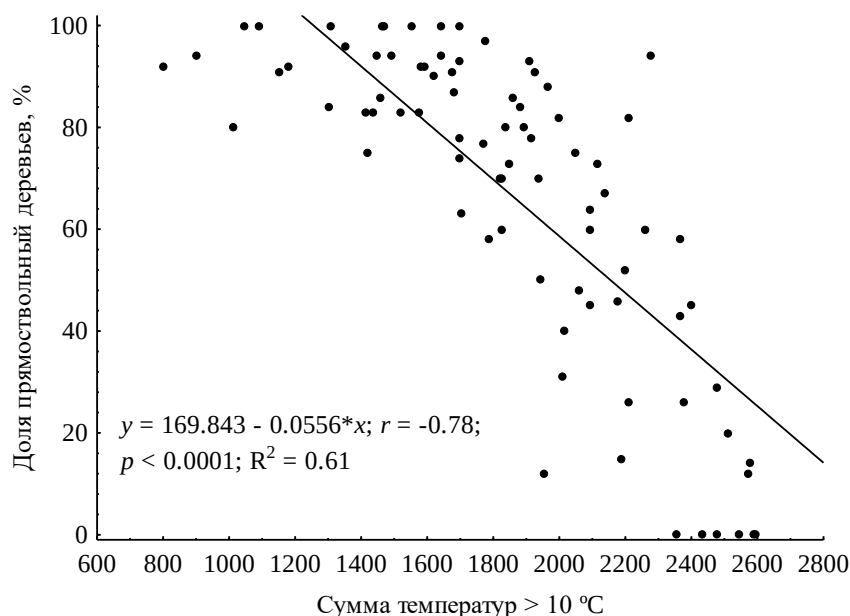


Рисунок 4. Зависимость доли прямоствольных деревьев у 82 климатипов от продолжительности вегетационного периода в виде линейной регрессионной модели.

Климатипы, превосходящие по доле прямоствольных деревьев контроль (87 %), относятся в основном к северным территориям, имеющим продолжительность безморозного периода короче, чем у контроля, или относительно невысокую сумму температур > 10 °C с небольшой продолжительностью вегетационного периода места их происхождения. Данные

результаты согласуются с исследованиями, в которых сообщается о высокой доле кривоствольности у относительно южных происхождений [2, 3, 5].

Средняя высота, диаметр, запас стволовой древесины и прямоствольность выше или значимо не отличающиеся от контроля в условиях песчаной почвы отмечаются у кандалакшского климатипа из Мурманской области, тотемского из Вологодской области, сортавальского и пудожского из Карелии, слободского из Кировской области, колпашевского из Томской области, гурьевского из Кемеровской области, проспихинского, ниже-енисейского, северо-енисейского и енисейского из Красноярского края, усть-кутского, катангского, мамского из Иркутской области, корткеросского из Коми, нерчинского климатипа из Забайкальского края.

Высокие показатели корреляции доли прямоствольных деревьев с другими характеристиками позволяют выделить этот признак как один из ключевых и интегральных для выделения перспективных климатипов или исключения отдельных популяций из числа возможных источников семян для лесовосстановления в условиях песчаных почв, так как при отборе важное значение имеет общая устойчивость потомства популяции и качество стволовой древесины.

Изученные признаки сосны обыкновенной являются частью комплекса признаков, позволившего выделить успешные климатипы и территории, на которых представлены представители данного вида со схожими показателями, положенными в основу рекомендаций по уточнению лесосеменного районирования в Средней и частично Восточной Сибири [1]

Благодарности

Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (№ FWES-2024-0028).

Список литературы

1. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Лесосеменные районы сосны обыкновенной на основе оценки роста географических культур в Сибири // Сибирский лесной журнал. 2020. № 6. С. 3–15.
2. 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 университет имени М.В. Ломоносова, 2008. 308 с.
3. Селекция лесных пород / П.И. Молотков, И.Н. Патлай, Н.И. Давыдова [и др.]. М.: Лесная промышленность, 1982. 223 с.
4. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1964–1969. Выпуски 1–29. Часть 2. Температура воздуха и почвы.
5. Shutyaev A.M., Giertych M. Genetic subdivisions of the range of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on a transcontinental provenance experiment // *Silvae Genetica*. 2000. Vol. 49. no. 3. P. 137–151.

References

1. Kuzmin S.R., Kuzmina N.A. Forest-seeded areas of Scots pine based on an assessment of the growth of geographical crops in Siberia // *Siberian Forest Journal*. 2020. No. 6. pp. 3-15.
2. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. Geographical cultures in genetic and ecological research in the European North. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2008. 308 p.
3. Breeding of forest species / P.I. Molotkov, I.N. Patlay, N.I. Davydova [et al.]. Moscow: Lesnaya promyshlenniya, 1982. 223 p.
4. Handbook of the USSR climate. L.: Hydrometeoizdat. 1964–1969. Issues 1-29. Part 2. Air and soil temperature.
5. Shutyaev A. M. - Gertych M. subdivisiones Geneticae teli scotorum pinus (*pinus sylvestris* L.) ex Experimento provenientiae Transcontinentis // *Geneticae Silvae*. 2000. Vol. 49. n. 3. P. 137-151.