

А.В. Чупров, Е.Н. Наквасина, Н.А. Прожерина

**ОЦЕНКА РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ КЛИМАТИПОВ
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В 39-ЛЕТНИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ
В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Введение. Основополагающими целями создания географических культур являлось изучение географической изменчивости и возможности отбора географических рас для совершенствования лесовосстановления. Однако богатая история изучения сохранившихся опытных объектов, в том числе на Европейском севере России, показывает, что роль географических культур значительно шире. В настоящее время они признаны наиболее значимыми природными объектами для прогнозирования изменения климата, а также для широкого спектра генетико-экологических исследований [Наквасина и др., 2008; Reich, Oleksyn, 2008; Наквасина и др., 2018].

Первые опытные географические объекты на Европейском Севере заложены в 1959 г. П.И. Войчалем на базе учебно-опытного лесхоза АЛТИ Архангельской области Следующими, уже местными географическими культурами сосны, являлись культуры, созданные П.И. Войчалем и В.Я. Поповым в 12 лесхозах Архангельской области. Посевным материалом являлись семена сосны, собранные в северной и средней подзонах тайги [Наквасина и др., 2008]. *К сожалению, эти опытные географические объекты, несмотря на удовлетворительные результаты роста в первые годы жизни, были утрачены по разным причинам.*

Изучаемые авторами географические культуры сосны обыкновенной являются единственным сохранившимся объектом в Архангельской области, который к настоящему времени достиг второго класса возраста и составляет часть широкомасштабного эксперимента, заложенного в 70-х годах прошлого века на территории страны.

Стабилизация роста и развития хвойных древесных пород ко II классу возраста, составляющего половину оборота их рубки, позволяет произвести оценку по отбору лучших потомств для лесовосстановления, а также проследить проявление закономерностей их роста и развития. Учитывая возможность изменения наследственных закономерностей с возрастом,

считается, что проводить достоверную оценку воспроизводимых пород, в том числе и сосны обыкновенной, лучше не ранее 25 лет [Кузьмина, 2017], что соответствует ранее установленным критериям 1/3 возраста рубки, принятого для региона [Ефимов, 1997].

Особое значение селекционная оценка и отбор наиболее продуктивных климатипов лесообразующих пород имеет в настоящее время, что связано с корректировкой принятого ранее Лесосеменного районирования¹, требующего уточнения трансфера семенного материала для лесовосстановления по результатам испытания потомств в природных объектах государственной сети географических культур, являющихся общепризнанными мировыми аналогами.

Материалы и методика исследования. Географические культуры сосны обыкновенной (24 климатипа) расположены в средней подзоне тайги [Журнаев, 1973] в Плесецком лесничестве Архангельской области (куратор объекта Северный НИИ лесного хозяйства). С информацией о создании объекта, характеристике испытываемых потомств и основных результатах исследования культур 1 класса возраста, основанных на классической методике изучения географической вариативности основных лесообразующих пород, разработанной ВНИИЛМ и утвержденной проблемным советом по лесной генетике, селекции и семеноводству авторы писали неоднократно [Наквасина и др., 2008; Наквасина, Прожерина и др., 2018]. В настоящей работе приводятся результаты обследования климатипов сосны обыкновенной в конце II класса возраста (возраст культур 39 лет, биологический возраст сосны – 42 года). В каждом климатипе производили сплошной пересчет не менее 100 деревьев, с замером их диаметра на высоте груди. Среднюю высоту определяли по графику высот, путем замеров высоты не менее чем у 20 (при низкой приживаемости у всех) деревьев разных ступеней толщины каждого климатипа. Качество стволов определяли в баллах: 1 – прямоствольные, 2 – двухвершинные, 3 – слабоискривленные, 4 – многовершинные.

На учетных рядах определили количество выживших растений от первоначально высаженных и рассчитали показатель приживаемости согласно ГОСТ². Для выявления закономерностей выживаемости потомств в I – II классах возраста использовали данные из паспорта географических культур.

¹ Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 366 с.

² ГОСТ 17559–82 Лесные культуры. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1982.

Объем ствола в коре рассчитали по формуле, предложенной Е.Г. Тюриным, преобразованной Г.С. Войновым³. Запас древесины рассчитали с учетом густоты лесных культур 4000 шт./га, являющейся средней для Архангельской области, с учетом приживаемости климатипов.

Для отбора климатипов использовали принцип выражения запаса как комплексного показателя, в единицах стандартного отклонения [Shutyaev, Giertych, 1997; Matras, 2009]. Все испытываемые климатипы по продуктивности (запасу древесины в коре на корню) разделили на четыре группы: I – (ниже -0,5); группа II – (-0,5 – 0); группа III – (0- +0,5); группа IV – (выше +0,5), что применялось авторами ранее для оценки происхождений ели [Nakvasina et al., 2017].

Статистические расчеты проведены с помощью пакета статистического анализа Microsoft Excel, оценку коэффициента корреляции, с учетом селекционного подхода [Мамаев, 1975].

Результаты исследования. Результаты изучения 39-летних географических культур сосны обыкновенной в Архангельской области показывают, что климатипы различного географического происхождения имеют свои особенности по выживаемости, росту и продуктивности (табл. 1).

Наибольшей приживаемостью (40,9–44,9%) в коллекции климатипов отличаются климатипы, места происхождения исходных насаждений которых по широтному расположению близки к 61–62° северной широты и по лесорастительным условиям отнесены к средней подзоне тайги (республика Карелия, № 14–17). Близок к ним по приживаемости также пинежский климатип (№3) из северной подзоны тайги (43,8%). Эти потомства несколько превосходят по приживаемости местную одновозрастную сосну (плесецкий климатип, №4).

Наименьшая приживаемость отмечена у псковского (№ 22) и свердловского (№ 77) климатипов (4,8%). За период испытания погибли три климатипа (тюменский № 82, московский № 43 и новгородский № 23). Потомство исходных насаждений климатипов, произрастающих южнее 60° с.ш. (южная подзона тайги, зона смешанных лесов), резко снижало приживаемость уже в первые годы жизни, особенно в период выхода из-под защиты снегового покрова (рис. 1), что отмечалось авторами ранее [Наквасина и др., 2008].

³ Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми), Архангельск: СевНИИЛХ: Правда Севера, 2012. 672 с.

Таблица 1

**Характеристика климатипов сосны обыкновенной
в географических культурах Архангельской области в 39-летнем возрасте**

**Characteristics of Scots pine climatotype in geographical cultures
of the Arkhangelsk region at the 39-year age**

номер климатипа	Происхождение потомства		Лесорастительная зона/подзона	Приживаемость культур, %	Высота, м	Диаметр, см	Объем, м ³	Запас, м ³ /га
	область (республика), лесхоз	географические координаты, с.ш./в.д. град. мин.						
1	Мурманская, Мончегорский	$\frac{67^{\circ}51'}{32^{\circ}57'}$	СТ	39,9	13,1	13,4±0,42	0,094	149
2	Мурманская, Кандалакшский	$\frac{67^{\circ}00'}{32^{\circ}33'}$	СТ	36,6	14,6	14,7±0,38	0,123	180
3	Архангельская, Пинежский	$\frac{64^{\circ}45'}{43^{\circ}14'}$	СТ	43,8	15,4	15,9±0,42	0,151	264
4	Архангельская, Плесецкий	$\frac{62^{\circ}54'}{40^{\circ}24'}$	СрТ	35,3	16,7	18,3±0,42	0,214	302
9	Вологодская, Тотемский	$\frac{60^{\circ}00'}{43^{\circ}00'}$	СрТ	29,3	18,3	17,8±0,40	0,219	257
12	Карелия, Чупинский	$\frac{66^{\circ}22'}{33^{\circ}00'}$	СТ	29,5	15,7	14,2±0,38	0,122	144
14	Карелия, Медвежьегорский	$\frac{62^{\circ}54'}{34^{\circ}27'}$	СрТ	44,9	18,0	17,2±0,46	0,202	363
15	Карелия, Пряжинский	$\frac{61^{\circ}40'}{33^{\circ}40'}$	СрТ	43,3	17,4	16,4±0,50	0,178	309
16	Карелия, Сортавальский	$\frac{61^{\circ}50'}{30^{\circ}28'}$	СрТ	40,9	17,0	16,7±0,44	0,181	296
17	Карелия, Пудожский	$\frac{61^{\circ}40'}{36^{\circ}33'}$	СрТ	42,2	17,8	18,0±0,51	0,219	371
19	Ленинградская, Лисинский	$\frac{60^{\circ}00'}{30^{\circ}25'}$	ЮТ	10,8	18,4	23,8±0,80	0,394	170
22	Псковская, Псковская	$\frac{57^{\circ}50'}{28^{\circ}26'}$	СмЛ	0,0	–	–	–	–

Окончание табл. 1

Происхождение потомства			Лесорастительная зона/подзона	Приживаемость культур, %	Высота, м	Диаметр, см	Объем, м ³	Запас, м ³ /га
номер климатипа	область (республика), лесхоз	географические координаты, с.ш./в.д. град. мин.						
23	Новгородская, Крестецкий	$\frac{58^{\circ}15'}{32^{\circ}28'}$	СрТ	5,0	14,2	25,4±0,81	0,359	72
42	Тверская, Бежецкий	$\frac{57^{\circ}45'}{36^{\circ}40'}$	ЮТ	9,3	14,3	27,4±1,15	0,421	157
43	Московская, Куровской	$\frac{55^{\circ}32'}{38^{\circ}57'}$	ЮТ	0,0	–	–	–	–
47	Костромская, Мантуровский	$\frac{58^{\circ}30'}{44^{\circ}45'}$	ЮТ	20,6	16,1	23,6±0,62	0,345	285
48	Костромская, Костромской	$\frac{57^{\circ}50'}{41^{\circ}00'}$	ЮТ	15,9	15,9	22,6±0,80	0,313	199
67	Удмуртия, Воткинский	$\frac{57^{\circ}03'}{54^{\circ}00'}$	СмЛ	8,2	17,9	24,0±1,06	0,389	128
68	Кировская, Слободской	$\frac{58^{\circ}49'}{50^{\circ}06'}$	ЮТ	16,9	16,9	20,8±0,42	0,280	189
77	Свердловская, Тавдинский	$\frac{58^{\circ}04'}{65^{\circ}18'}$	ЮТ	4,8	18,1	25,8±0,83	0,456	87
78	Свердловская, Ивдельский	$\frac{60^{\circ}40'}{60^{\circ}24'}$	СрТ	16,9	16,0	21,2±0,68	0,277	188
81	Тюменская, Сургутский	$\frac{61^{\circ}25'}{73^{\circ}20'}$	СрТ	27,2	15,5	17,0±0,50	0,173	188
82	Тюменская, Заводоуковский	$\frac{56^{\circ}30'}{66^{\circ}57'}$	ЮТ	2,4	–	–	–	–
88	Томская, Колпашевский	$\frac{58^{\circ}33'}{83^{\circ}00'}$	ЮТ	29,3	16,5	20,9±0,49	0,276	324

Примечание: * – название лесхозов приведено в соответствии с реестром государственной регистрации; ** – наименование подзон тайги приведено по С.Ф. Курнаеву (1973); в таблице обозначено: северная подзона тайги – СТ; средняя подзона тайги – СрТ; южная подзона тайги – ЮТ; смешанные леса – СмЛ.

Потомство северо- и среднетаежных климатипов в I классе возраста культур отличалось высокой приживаемостью, активный процесс дифференциации начался после 30 лет. Процент отпада по отдельным климатипам за 10 лет составляет 10,7–22,7%. Снижение обусловлено отпадом деревьев IV–V классов Крафта. Однако несмотря на уменьшение показателя, группа северотаежных климатипов по-прежнему занимает лидирующее положение по приживаемости (табл. 2). Среднетаежные климатипы, несмотря на высокие показатели приживаемости климатипов из Республики Карелия, в целом по лесорастительным подзонам занимают второе положение по показателю приживаемости. Снижение обусловлено за счет гибели оставшихся деревьев в новгородском (№ 23) климатипе, а также значительного отпада в свердловском (№ 78) и тюменском (№ 81) климатипах, исходные насаждения которых значительно удалены от пункта испытания в меридиональном отношении.

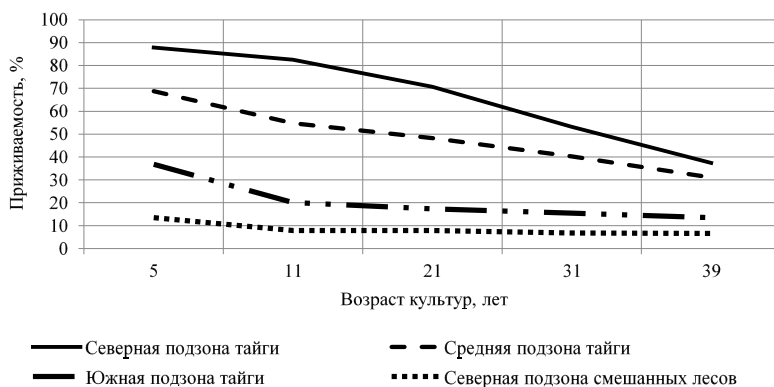


Рис. 1. Динамика приживаемости сосны обыкновенной из различных лесорастительных подзон в географических культурах Архангельской области
 Fig. 1. Dynamics of survival rate of Scots pine from different forest habitat subzones in geographical cultures of the Arkhangelsk region

В 39-летних потомствах сохраняются закономерности роста, обусловленные генетической предрасположенностью исходных насаждений (см. табл. 2). Северные потомства сохраняют замедленный рост по высоте и диаметру, южные потомства – более интенсивный рост по высоте и диаметру, что обусловлено не только наследственными особенностями, но и увеличением площади питания при низкой приживаемости.

Таблица 2

**Приживаемость, рост и продуктивность климатипов сосны
различного географического происхождения
в среднем по лесорастительным зонам/подзонам
в 39-летних географических культурах в Архангельской области**

**The survival rate, growth and yield of Scots pine of different geographical origin
on average by forest plantation zones/subzones
in 39-year old geographical cultures in the Arkhangelsk region**

Лесорастительная зона/подзона по С.Ф. Курнаеву [1973]	Число климатипов, шт.	Приживаемость, %	Высота, м	Диаметр (см) на высоте 1,3 м	Н/Д	Объем ствола, м ³	Запас, м ³ /га
Северотаежная	4	37,4	14,7	14,5	1,01	0,123	185
Среднетаежная	9	31,6	16,8	18,6	0,90	0,225	261
Южнотаежная	7	13,8	16,6	23,5	0,71	0,355	202
Северная подзона смешанных лесов	1	8,2	17,8	24,0	0,74	0,389	128

Минимальный диаметр – у мурманского северотаежного климатипа (№ 1) из северной подзоны тайги – 13,4 см, максимальный диаметр – у сохранившихся деревьев тверского климатипа (№ 42) из южной подзоны тайги – 27,4 см. Закономерность лучшего роста по диаметру прослеживается и в среднем по подзонам. Однако редкое стояние деревьев, которое наблюдается у южных потомств в связи со снижением приживаемости в I классе возраста, приводит к выравниванию высот. Различия по средней высоте у климатипов различных подзон минимальны (см. табл. 2). В коллекции климатипов наибольшее значение средней высоты обнаружено в ленинградском климатипе (№ 19) – 18,4 м, наименьшее в мурманском климатипе (№ 1) – 13,1 м. Наиболее выравнены по высоте климатипы восточного происхождения, материнские насаждения которых произрастают восточнее 40° в.д. и близки по лесорастительному районированию (подзоны средней и южной тайги).

В результате у климатипов разного географического происхождения у растущих деревьев меняется соотношение по высоте и толщине (Н/Д), которое предложено [Маслаков, 1984] для оценки конкуренции в формирующихся древостоях. В целом по коллекции климатипов показатель Н/Д колеблется от 1,11 у карельского климатипа (№ 12) до 0,52 у тверского (№ 42). Наиболее сбалансированные формы стволов (Н/Д близок к 1) характерны

для северо- и среднетаежных климатипов, места исходных насаждений которых произрастают в европейской части страны. Потомства сосны обыкновенной из восточной части страны (Урал, Сибирь) снижают показатель Н/Д до 0,7–0,9. Снижение соотношения Н/Д у южных и восточных потомств связано с усилением роста по диаметру как реакции на увеличение площади питания и отсутствие смыкания крон при низкой приживаемости (рис. 2).

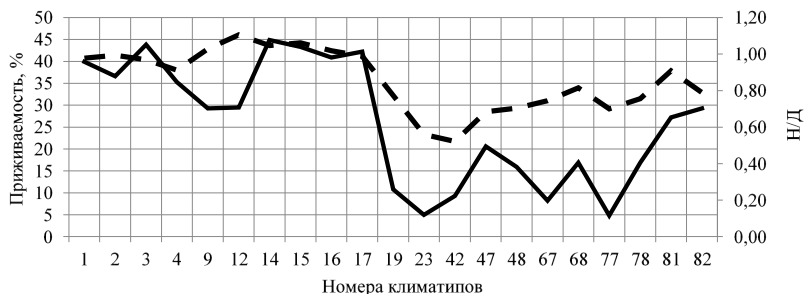


Рис. 2. Распределение показателя Н/Д в зависимости от приживаемости географических культур в Архангельской области во II классе возраста: (—) – приживаемость, (---) – Н/Д

Fig. 2. Distribution of N/D indicator depending on the survival rate of geographic crops in the Arkhangelsk region in age class II: (—) – survival rate, (---) – N/D

Корреляционный анализ показывает наличие сильной обратной связи между приживаемостью культур и их диаметром ($r = -0,83$), в то время как с высотой корреляционная связь слабая ($r = -0,17$). Корреляционная связь с показателем Н/Д прямая и наиболее высокая (коэффициент корреляции $r = 0,86$). Отрицательная связь приживаемости и роста отмечалась [Budeanu et al., 2012] при изучении коллекций ели разного географического происхождения с широкой представленностью вариантов в широтном направлении.

Редкое стояние деревьев отражается также на качестве стволов и габитусе кроны. Южные климатипы и климатипы из северной подзоны смешанных лесов, в которых происходит снижение показателя Н/Д, отличаются увеличением сбежистости стволов деревьев, по сравнению с климатипами из других лесорастительных подзон. Для них характерно плохое очищение от сучьев, наличие низкоопущенных достаточно толстых сучьев, а крона занимает часто более половины длины ствола. Такие деревья снижают качество ствола, могут иметь искривления и многовершинность. У климатипов северо- и среднетаежного происхождения, как правило, формируются прямоствольные стволы (балл 1). Подобное более быстрое

изреживание и быстрый рост, но неустойчивость к благоприятным условиям среды у южных потомств, в результате чего формируются искривленные и многовершинные образцы деревьев (3, 4 балла) было отмечено [Кузьмина, Кузьмин, 2004] в географических культурах Красноярского края.

Объем ствола в коре учитывает радиальный и линейный приросты, поэтому его распределение по лесорастительным подзонам близко к закономерностям по диаметру (см. табл. 2), что и подтверждается коэффициентом корреляции в целом по коллекции климатипов, который между объемом ствола и диаметром сосны составляет 0,99, тогда как между объемом и высотой ствола 0,37. Также закономерна и сильная обратная связь объема ствола с приживаемостью потомства ($r = -0,75$).

Самый низкий объем ствола – у мурманских климатипов (№ 1, 2), он почти в 2 раза меньше, чем у местного плесецкого потомства, произрастающего в этой же коллекции (см. табл. 1). С продвижением мест происхождения исходных насаждений с севера на юг, происходит увеличение объемов стволов у сохранившихся деревьев от 0,093 м³ (климатип № 1) до 0,421 м³ (климатип № 42). При меридиональном продвижении родины исходных насаждений к востоку колебания в объемах стволов среднего дерева климатипа меньше: от 0,173 м³ у тюменского климатипа № 81 до 0,454 м³ у свердловского климатипа № 77.

Наиболее близкие к местному климатипу из Архангельской области (№ 4) значения объема ствола имеют климатип № 9 из Вологодской области (0,219 м³), а также № 14 и 17 из Республики Карелия, имеющие объем ствола 0,202 и 0,220 м³ соответственно. Некоторые климатипы в силу своих популяционных фенотипических вариантов могут обеспечить почти вдвое больший объем стволов: свердловский (№ 77) – 0,457 м³, костромской (№ 47) – 0,440 м³ и тверской (№ 42) – 0,421 м³. Однако эти потомства, имеющие большой объем стволов, не могут обеспечить достаточной выживаемости в культурах, что не позволяет рассчитывать на них для отбора с целями лесовосстановления.

Именно выживаемость потомства, а не их рост будет определять общую продуктивность климатипа по запасу стволовой древесины в коре на корню: корреляционная связь приживаемости с запасом древесины по коллекции климатипов прямая высокая ($r = 0,75$), тогда как с диаметром и высотой значительно ниже ($r_{\text{диам}} = -0,22$; $r_{\text{выс}} = 0,24$). Подобная зависимость запаса от густоты стояния культур отмечена и в исследованиях других авторов [Михайлова, Чернышов, 2020]. Запас, являясь основой оценки продуктивности выращиваемых насаждений, изменяет ранговое положение потомств в географических культурах [Кузьмина, Кузьмин, 2010; Ребко, Поплавская, 2013].

Разнонаправленные связи выживаемости и роста сосны обыкновенной с характеристиками мест произрастания исходных насаждений, в которых

сформировались испытываемые климатипы, подтверждают ранее сделанные выводы [Наквасина и др., 2008] о наличии наследственно обусловленных реакций на изменение климатических характеристик (табл. 3), связанных с географическим местоположением. Схожие выводы сделаны при изучении географических культур сосны в условиях Красноярского края, Псковской области и Карелии [Раевский, 2011; Кузьмина, Кузьмин, 2004; Новикова, 2014]. Однако интегральный показатель продуктивности запас, учитывающий комплекс разнонаправленных показателей, не укладывается в клинальность изменений, и связи теряются.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между показателями приживаемости, роста и продуктивности географических культур сосны в Архангельской области с географическими координатами и основными климатическими характеристиками мест происхождения

Correlation coefficients between the survival rate, growth and yield of geographical cultures of pine in the Arkhangelsk region with geographical coordinates and the main climatic characteristics of the places of origin

Географические координаты и основные климатические характеристики	Коэффициенты корреляции, r				
	Приживаемость, %	Высота, м	Диаметр, см	Объем ствола, см ³	Запас, м ³ /га
Северная широта, град.	0,636	-0,335	-0,724	-0,704	0,122
Восточная долгота, град.	-0,132	0,024	0,485	0,445	-0,102
Продолжительность вегетационного периода, дни	-0,346	0,514	0,509	0,536	0,158
Среднегодовая температура воздуха, °С	-0,551	0,207	0,259	0,303	-0,003
Сумма температур за год > 5 °С	-0,524	0,354	0,628	0,614	-0,078
Годовая сумма осадков, мм	0,202	0,366	0,018	0,046	0,002

Причины неравнозначных откликов на изменение условий произрастания могут быть связаны с генетическим контролем, фенотипической изменчивостью и популяционными особенностями исходных насаждений, а также со специфической адаптацией к климатическим условиям произрастания географической расы, сформировавшейся при расселении сосны в голоцене [Wu, Ying, 2004; Шутяев, 2007; Kapeller et al., 2012]. Учитывая градиентный отбор при расселении, четкие тенденции в распространении популяций в географическом плане могут отсутствовать [Korshikov et al., 2005].

Тем важнее правильно отобрать наиболее производительные климатипы по запасу древесины в возрасте 1/2 возраста рубки для региона. В целом наибольший запас характерен среднетаежным потомствам климатипов, по местоположению исходных насаждений близким к месту испытания (см.

табл. 2). Существенное снижение запаса зафиксировано у климатипов сосны южнотаежного происхождения и зоны смешанных лесов в силу низкой приживаемости, у северотаежных – в силу медленного роста.

Лучший запас древесины (в коре) в расчете на исходную густоту лесных культур 4000 шт./га, являющейся средней для Архангельской области, с учетом приживаемости 39-летних потомств, у № 17 карельского среднетаежного климатипа (371 м³/га), что на 68 м³/га выше местного климатипа. Близки к местному потомству по запасу другие карельские климатипы из подзоны средней тайги (№ 14 и 16) с приживаемостью 43-45% во II классе возраста, что обеспечивает 1700–1800 шт./га деревьев. Климатип из Томской области (№ 88), имеющий запас близкий к местному, проигрывает по приживаемости (29,3%), что не сможет обеспечить подобный запас и численность деревьев в производственных посадках.

Для отбора лучших и худших климатипов сосны различного географического происхождения в пределах изучаемой коллекции в географических культурах Архангельской области показатель продуктивности насаждений (запас древесины) выразили в единицах стандартного отклонения [Shutyayev, Giertych, 1997; Matras, 2009]. Все испытываемые климатипы по продуктивности (запасу древесины в коре на корню) разделили на группы в единицах стандартного отклонения (табл. 4), что применялось авторами ранее для оценки происхождений ели [Nakvasina et al., 2017].

Таблица 4

**Распределение климатипов сосны обыкновенной
в географических культурах Архангельской области
по группам стандартного отклонения по запасу древесины**

**Distribution of Scots pine climatypes in geographical cultures
of the Arkhangelsk region by groups of standard deviation by timber stock**

I группа (ниже –0,5)	II группа (–0,5–0)	III группа (0-0,5)	IV группа (выше 0,5)
Мурманская, Мончегорский (1)	Мурманская, Кандалакшский (2)	Архангельская, Пинежский (3)	Архангельская, Плесецкий (4)
Карелия, Чупинский (12)	Костромская, Костромской (48)	Вологодская, Тотемский (9)	Карелия, Медвежьегорский (14)
Ленинградская, Лисинский (19)	Кировская, Слободской (68)	–	Карелия, Пряжинский (15)
Псковская, Псковский (22)	Свердловская, Ивдельский (78)	–	Карелия, Соргавальский (16)
Тверская, Бежецкий (42)	Тюменская, Сургутский (81)	–	Карелия, Пудожский (17)
Удмуртия, Воткинский (67)	–	–	Костромская, Мантуровский (47)
Свердловская, Тавдинский (77)	–	–	Томская, Колпашевский (88)

Худшими климатипами (I–II группы) в 39-летних культурах сосны обыкновенной являются северотаежные потомства, большинство южнотаежных, а также климатипы происхождения из северной подзоны смешанных лесов. Из азиатских климатипов выделяется только два климатипа, позволяющих надеяться на хороший выход древесины в будущем. Однако их низкая выживаемость ставит под сомнение возможность использования в лесосеменном деле.

Лучшими по запасу древесины в единицах стандартного отклонения (III–IV группы) являются северотаежный пинежский (№ 3), среднетаежный вологодский (№ 9), карельские (№ 14–17) климатипы, а также местный плесецкий климатип (№ 4). Исходные насаждения этих потомств входят в ареал, ограниченный 60–65° с.ш., 36–44° в.д.

Выводы. Возраст культур (II класс) позволяет достаточно обоснованно проводить отбор по продуктивности (запасу древесины в корне на корню) климатипов сосны обыкновенной инорайонного происхождения и рекомендовать регионы для трансфера семян, планируемых к применению для лесовосстановления в условиях региона (Архангельская область).

С возрастом культур выявилась ведущая роль в обеспечении их хозяйственной продуктивности такого показателя, как выживаемость. При снижении приживаемости оставшиеся деревья, несмотря на высокие диаметры, снижают качество стволов и не могут обеспечить запас на уровне местных потомств. Усиливается роль местного потомства сосны в воспроизводстве лесов, что особенно важно в условиях наблюдаемых климатических изменений.

Для использования в лесовосстановлении в Архангельской области следует полностью исключить использование семян из насаждений Урала и Сибири. Для Архангельской области рекомендовать к использованию семена, заготовленные в трех лесосеменных районах¹: Южнокарельский, Двинско-Мезенский и Верхнедвинский, ограничив перемещение семян на расстояние не более 300 км.

Библиографический список

Ефимов Ю.П. Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы // Генетика и селекция – на службе лесу: матер. Междунар. науч. конференции (Воронеж, 28–29 июня 1996 г.). Воронеж: НИИЛГиС, 1997. С. 298–307.

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

Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Дифференциация сосны обыкновенной по росту и продуктивности в географических культурах Приангарья // Хвойные борельной зоны. 2004. № 2. С. 48–56.

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

Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 240 с.

Мамаев С.А. Основные признаки методики исследования видовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и экологическая изменчивость растений / под ред. П.Л. Горчаковского. Свердловск: Уральский научный центр АН СССР. 1975. С. 3–14.

Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-ть, 1984. 162 с.

Михайлова М.И., Чернышов М.П. Особенности роста лесостепных и степных экотипов сосны обыкновенной в географических культурах Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2020. № 2. С. 60–69.

Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // ИВУЗ. Лесной журнал. 2018. № 5. С. 82–93. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере: монография. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. 308 с.

Новикова Т.Н. Сосна обыкновенная (PINUS SYLVESTRIS) в географических культурах Минусинской лесостепи // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2014. № 3. С. 106–109.

Раевский Б.В. Ход роста географических культур сосны обыкновенной в Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 6. С. 65–69.

Рибко С.В., Поплавская Л.Ф. Рост климатипов сосны обыкновенной в географических культурах сосны обыкновенной // Природные ресурсы Дальневосточного региона. 2013. С. 159–162.

Шутяев А.М. Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М.: НИИЛГиС, 2007. 296 с.

Budeanu M., Șoftețea N., Pârnută Gh. Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies*): results on growth traits and survival at age 30 // Annals of Forest Research. 2012. No. 55(1). P. 43–52..

Korshikov I., Kalafat L.A., Pirko Ya.V., Velicoridko T.I. Population-Genetic Variation in Scots Pine *Pinus sylvestris* L. from the Main Forest Regions of Ukraine I. // Russian Journal of Genetics. 2005. Vol. 41, no. 2. P. 155–166. Translated from Genetika. 2005. Vol. 41, no. 2. P. 216–228.

Matras J. Growth and development of Polish provenances of *Picea abies* in the IUFRO 1972 experiment // Dendrobiology. 2009. Vol. 61. P. 145–158.

Наквасина Е.Н., Волков А.Г., Прожерина Н.А. Provenance experiment with spruce (*Picea abies* (L.) Karst. and *P. obovata* (Ledeb.)) in the North of Russia (Arkhangel'sk region) // Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry. 2017. Vol. 59 (3). P. 219–230. DOI: 10.1515/ffp-2017-0023

Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north // *Ecology Letters*. 2008. No. 11(6). P. 588–97. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x

Shutyayev A.M., Giertych M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of (*Pinus sylvestris* L.) // *Silvae Genetica*. 1997. Vol. 4(6). P. 6–23.

Wu H.X., Ying Ch.C. Geographic pattern of local optimality in natural populations of lodgepole pine // *Forest Ecology and Management*. 2004. No. 194. P. 177–198.

References

Budeanu M., Șofletea N., Pârnută Gh. Testing Romanian seed sources of Norway spruce (*Picea abies*): results on growth traits and survival at age 30. *Annals of Forest Research*, 2012, no. 55(1), pp. 43–52.

Efimov Yu.P. Genetiko-selektionsnaya otsenka ob'ektov postoyannoi lesosemennoi bazy. *Genetika i selektsiya – na sluzhbe lesu*: mater. Mezhdunar. nauch. konf. (Voronezh, 28–29 iyunya 1996 g.). Voronezh: NIILGIS, 1997, pp. 298–307. (In Russ.)

Korshikov I., Kalafat L.A., Pirko Ya.V., Velicoridko T.I. Population-Genetic Variation in Scots Pine *Pinus sylvestris* L. from the Main Forest Regions of Ukraine I. *Russian Journal of Genetics*, 2005, vol. 41, no. 2, pp. 155–166. *Translated from Genetika*, 2005, vol. 41, no. 2, pp. 216–228.

Kurnaev S.F. Lesorastitel'noe raionirovanie SSSR. M.: Lesn. prom-st', 1973. 240 p. (In Russ.)

Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. Analiz i dinamika rosta klimatipov sosny obyknovЕННОI v geograficheskikh kul'turakh Srednei Sibiri. *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, no. 2, pp. 31–39. (In Russ.)

Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. Differentsiatsiya sosny obyknovЕННОI po rostu i produktivnosti v geograficheskikh kul'turakh Priangar'ya. *Khvoynye boreal'noi zony*, 2004, no. 2, pp. 48–56. (In Russ.)

Kuz'mina N.A., Kuz'min S.R. Otbor perspektivnykh klimatipov sosny obyknovЕННОI v geograficheskikh kul'turakh v Krasnoyarskom Priangar'e, *Khvoynye boreal'noi zony*, 2010, vol. XXVI, no. 1-2, pp. 115–119. (In Russ.)

Mamaev S.A. Osnovnye priznaki metodiki issledovaniya vidovoi izmenchivosti drevesnykh rastenii. *Individual'naya i ekologicheskaya izmenchivost' rastenii* / pod red. P.L. Gorchakovskogo. Sverdlovsk: Ural'skii nauchnyi tsentr akademii nauk SSSR, 1975, pp. 3–14. (In Russ.)

Maslakov E.L. Formirovanie osnovnykh molodnyakov. M.: Lesn. prom-t', 1984. 162 p. (In Russ.)

Matras J. Growth and development of Polish provenances of *Picea abies* in the IUFRO 1972 experiment. *Dendrobiology*, 2009, vol. 61, pp. 145–158.

Mikhailova M.I., Chernyshov M.P. Osobennosti rosta lesostepnykh i stepnykh ekotipov sosny obyknovЕННОI v geograficheskikh kul'turakh Voronezhskoi oblasti. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2020, no. 2, pp. 60–69. (In Russ.)

Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V., Reaktsiya rosta sosny obyknovЕННОI na klimaticheskie izmeneniya v shirotnom gradient. *IVUZ. Lesnoj zhurnal*, 2018, no. 5, pp. 82–93. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82. (In Russ.)

Nakvasina E.N., Volkov A.G. Prozherina Nadezhda A., Provenance experiment with spruce (*Picea abies* (L.) Karst. and *P. obovata* (Ledeb.)) in the North of Russia (Arkhangelsk region). *Folia Forestalia Polonica, Series A –Forestry*, 2017, vol. 59 (3), pp. 219–230. DOI: 10.1515/ffp-2017-0023

Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере: моногр. / Arkhangel'sk: Arkhang. gos. tekhn. un-t, 2008. 308 p. (In Russ.)

Novikova T.N. Sosna obyknovennaya (PINUS SYLVESTRIS) v geograficheskikh kul'turakh Minusinskoj lesostepi. *Vestnik SVNTs DVO RAN*, 2014, no. 3, pp. 106–109. (In Russ.)

Raevskii B.V. Khod rosta geograficheskikh kul'tur sosny obyknovЕННОj v Karelii. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 6, pp. 65–69. (In Russ.)

Rebko S.V., Poplavskaya L.F. Rost klimatipov sosny obyknovЕННОj v geograficheskikh kul'turakh sosny obyknovЕННОj. *Prirodnye resursy Dal'nevostochnogo regiona*, 2013, pp. 159–162. (In Russ.)

Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. *Ecology Letters*, 2008, no. 11(6), pp. 588–97. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x

Shutyaev A.M. *Izmenchivost' khvoinykh vidov v ispytatel'nykh kul'turakh Tsentral'nogo Chernozem'ya*. M.: NIILGiS, 2007. 296 p. (In Russ.)

Shutyaev A.M., Giertych M. Height Growth Variation in a Comprehensive Eurasian Provenance Experiment of (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae Genetica*, 1997, vol. 4(6), pp. 6–23.

Wu H.X., Ying Ch.C. Geographic pattern of local optimality in natural populations of lodgepole pine. *Forest Ecology and Management*, 2004, no. 194, pp. 177–198.

Материал поступил в редакцию 31.05.2021

Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А. Оценка роста и продуктивности климатипов сосны обыкновенной в 39-летних географических культурах в Архангельской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 151–167. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.151-167

Впервые для региона изучены выживаемость, рост и продуктивность климатипов сосны обыкновенной в 39-летних географических культурах государственной сети (Плесецкий район Архангельской области). Прослежены особенности перераспределения климатипов в коллекции, отобраны лучшие потомства для использования для лесовосстановления в пределах региона испытания. Установлено, что северные потомства (северная и средняя подзоны тайги), отличающиеся в I классе возраста высокой приживаемостью, во II классе возраста начали процесс дифференциации, который привел к снижению показателя почти в два раза. К концу II класса возраста наблюдается выравнивание потомств климатипов по высоте, при сохранении различий, связанных с происхождением, по

диаметру. Наиболее крупные диаметры стволов имеют южнотаежные потомства, а также из северной подзоны смешанных лесов, отличающиеся самыми низкими показатели приживаемости и качеством стволов. Установлена прямая зависимость показателя Н/Д с приживаемостью, связанная с усилением роста климатипов по диаметру, увеличением сбежистости и искривленности стволов, формированием низкоопущенных крон. Показано, что в культурах II класса возраста сохраняются значительные корреляционные связи показателей роста и приживаемости с географическими координатами и климатическими характеристиками мест исходных насаждений, в то время как с запасом связь теряется. С использованием подхода оценки в единицах стандартного отклонения отобраны лучшие по продуктивности (запасу) климатипы: местный плесецкий, пинежский, вологодский, а также климатипы из Карелии. Исходные насаждения этих потомств входят в ареал, ограниченный 60–65° с.ш., 36–44° в.д. Для использования в лесовосстановлении в Архангельской области следует полностью исключить использование семян из насаждений Урала и Сибири. На европейской части страны рекомендовать к использованию семена, заготовленные в трех лесосеменных районах: Южнокарельский, Двинско-Мезенский и Верхнедвинский, ограничив перемещение семян на расстояние не более 300 км.

Ключевые слова: географические культуры, сосна обыкновенная, климатипы, приживаемость, рост, продуктивность, оценка.

Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Assessment of growth and productivity of Scots pine provenance tests in the Arkhangelsk region in 39-year. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 151–167 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.151-167

For the first time for the region, the survival, growth and productivity of scots pine climates in 39-year-old provenance test of the state network (Plesetsk district of the Arkhangelsk region) were studied. Features of climate redistribution in the collection were traced, the best offspring were selected for use for reforestation within the test region. It has been established that northern offspring (northern and middle subzones of the boreal forest), differing in the I grade of age with high livability, in the II grade of age began the process of differentiation, which led to a decrease in the indicator by almost half. By the end of grade II of age, the offspring of provenance are equalized in height, while maintaining differences related to origin in diameter. The largest diameters of trunks have southern offspring, as well as from the northern subzone of mixed forests, which differ in the lowest rates of survival and quality of trunks. Direct dependence of H/D index with livability is established, which is connected with increase of provenance growth by diameter, increase of escape and curvature of trunks, formation of low-lowered crowns. It has been shown that in cultures of the II class of age, significant correlation of growth and livelihood indicators with the geographical coordinates and climatic characteristics of the places of the initial plantations remains, while with the reserve the connection is lost. Using the assessment approach, in units of standard deviation, the best climates in terms of productivity (reserve) were selected: local mold, Pinezhsky, Vologda, as well as climates from Karelia. The initial plantations of these offspring are included in the

range, limited to 60–65° N, 36–44° E. For use in reforestation in the Arkhangelsk region, the use of seeds from plantations of the Urals and Siberia should be completely excluded. In the European part of the country, recommend the use of seeds harvested in three forested areas: South Karelian, Dvinsk-Mezensky and Verkhnedvinsky, limiting the movement of seeds for a distance of not more than 300 km.

Key words: provenance test, scots pine, provenance, survival ability, growth, productivity, assessment

ЧУПРОВ Алексей Владимирович – аспирант Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова; старший специалист 1 разряда управления использования лесов и договорных отношений министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8049-8587>, SPIN код: 4325-1362.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия.

CHUPROV Alexey V. – PhD student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; senior specialist of the 1st category of Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8049-8587>, SPIN code: 4325-1362.

163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia.

НАКВАСИНА Елена Николаевна – профессор Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор сельскохозяйственных наук. WoS ResercherID: A-5165-2013 ORCID: 0000-0002-7360-3975, ScopusID: 35389250000, SPIN-код: 6797-9434 AuthorID: 132027.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия.

NAKVASINA Elena N. – DSc (Agriculture), Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. WoS ResercherID: A-5165-2013, ORCID: 0000-0002-7360-3975, ScopusID: 35389250000, SPIN-code: 6797-9434 AuthorID: 132027.

163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia.

ПРОЖЕРИНА Надежда Александровна – старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, кандидат биологических наук. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5067-7007>, SPIN код: 7388-1053.

163000, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия.

PROZHERINA Nadezhda A. – PhD (Biological), Senior Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5067-7007>, SPIN code: 7388-1053.

163000. Severnoj Dviny emb. 23. Arkhangelsk. Russia.