

УДК 582.475:551.583

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

РЕАКЦИЯ РОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ШИРОТНОМ ГРАДИЕНТЕ*

Е.Н. Наквасина¹, д-р с.-х. наук, проф.

Н.А. Прожерина², канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

А.В. Чупров³, асп., ст. специалист

В.В. Беляев², д-р с.-х. наук, проф.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, 163000, Россия; e-mail: pronad1@yandex.ru, beljaew29@mail.ru

³Министерство природных ресурсов и ЛПК Архангельской области, ул. Выучейского, д. 18, г. Архангельск, 163000; e-mail: alexchuprov@mail.ru

На примере потомства сосны обыкновенной, произрастающей в географических культурах подзоны средней тайги (Архангельская область), смоделирована реакция породы на различные сценарии изменения климата. Подобраны климатипы с различным местоположением исходных насаждений, отличающимся в широтном градиенте на 2...3° с. ш. Пинежский климатип (Архангельская область, подзона северной тайги) при выращивании в подзоне средней тайги имитирует потепление климата, тотемский климатип (Вологодская область, подзона южной тайги) – похолодание. Плесецкий климатип (Архангельская область, средняя подзона тайги) – местный для пункта испытания, является сравнительным эталоном сохранения адаптационных признаков в постоянстве климата. Изучены выживаемость (сохранность), рост и продуктивность культур. У тотемского климатипа заметное снижение сохранности происходит в первые годы после посадки, у плесецкого и пинежского климатипов процесс снижения сохранности, а следом и дифференциации насаждения растянуты, сдвинуты на более поздние сроки. К концу 2-го класса возраста происходит нивелирование ростовых процессов, связанное с изменением климатических характеристик места произрастания. Пинежский климатип сохраняет наследственно обусловленное отставание по радиальному и линейному росту от местной популяции одновозрастной сосны в пункте испытания соответственно на 13 и 8 %, тотемский климатип близок по диаметру к плесецкому, но опережает его по высоте на 10 %. Распределение диаметров ствола северотаежного потомства сосны значительно отличается от средне- и южнотаежного климатипов. Используя широтные коэффициенты роста, предложенные И.В. Волосевичем (1984 г.), для культур того же возраста рассчитаны соответствующие показатели в местах произрастания исходных насаждений, что позволило определить отклонения в показателях при имитации потепления или похолодания. Установлено, что при потеплении климата в бореальном поясе с повышением суммы температур воздуха более 10 °С на каждые 100 °С суммы эффективных температур

**Финансирование:* Исследование частично выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы № 0409-2015-0141 «Структура и изменчивость популяций лесных сообществ на приарктических территориях севера Русской равнины в условиях изменяющегося климата».

Для цитирования: Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

можно ожидать увеличения показателей по росту и продуктивности сосны обыкновенной на 2...5 %. При похолодании климата (снижение суммы эффективных температур на каждые 100 °С) изменение ростовых показателей (диаметр, высота, объем ствола) будет аналогично случаю повышения температуры – они уменьшаться на 2...5 %. Однако пониженная приживаемость южнотаежного потомства при выращивании в более суровых климатических условиях (снижение сохранности в первые годы после посадки) может привести к значительной потере продуктивности – до 15 % на каждые 100 °С снижения суммы температур более 10 °С. Сгладить эффект от реакции можно за счет повышения качества лесокультурного производства.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, географические культуры, климатипы, рост, продуктивность, климатические изменения.

Введение

Сосна обыкновенная имеет непрерывный ареал распространения, на протяжении которого наблюдается климатическая дифференциация популяции на географические расы. Дж. Райт [10] предполагает, что расстояние, при котором одна раса отличается от другой, у сосны обыкновенной составляет 50...100 миль. В пределах непрерывного ареала географические расы входят в клинальный ряд. Клинальность изменения признаков на обширной территории России, по крайней мере в пределах 800 км, в широтном направлении была обоснована И.В. Волосевичем [1]. Он связывает проявление клинальности в росте древесных пород, в том числе сосны обыкновенной, с изменением суммы температур выше более чем на 10 °С, принимая температурный фактор ведущим, от которого зависит рост растений, что согласуется с исследованиями В. Persson [18]. При этом на каждый градус широты показатели, изменяясь на одинаковую величину в процентном выражении, создают единство широтной изменчивости.

Предполагается, что географические расы древесных пород отличаются адаптационными признаками, генетическими комплексами [2], а следовательно, могут иметь различную отзывчивость на климатические изменения. При этом может проявиться широкий спектр генетического разнообразия вида, отражающий его дифференциацию и экологическую устойчивость [9]. Вопросы реакции древесных пород ростом и продуктивностью на происходящие изменения климата обсуждаются учеными [11, 17, 18, 22, 23]. Предполагается [19] присутствие явления «адаптивного запаздывания» – ответной реакции вида на климатические изменения с отставанием примерно на 100 лет. По мнению J. Beaulieu, A. Rainville [12], потребуется несколько поколений для адаптации породы к климатическим изменениям. Однако прогнозирование изменений в росте и продуктивности лесобразующих пород на современном этапе позволит правильно спланировать подход к подбору источников семян, их трансфер для лесовосстановительных работ и в целом подходы к сценариям ведения устойчивого лесного хозяйства в новых условиях [14, 23].

В настоящее время единственной природной моделью имитации климатических изменений считаются географические культуры. Значение их в этом аспекте исследований признается в мировой науке [13, 15, 16, 21] и поддержано нами в процессе реакции сосны обыкновенной и ели обыкновенной ростом и репродукцией при изучении имитации потепления климата [6–8]. Сосна обыкновенная при сохранении наследственно закрепленной реакции деревьев на климатические факторы обладает значительной адаптивностью при резких изменениях климата [11].

В настоящей работе рассматривается гипотеза сохранения или нивелирования генетически обусловленных ростовых процессов сосны обыкновенной в широтном градиенте произрастания при имитации разнонаправленных климатических изменений (потепление и похолодание).

Объекты и методы исследования

Исследования выполняли в географических культурах, созданных в 1977 г. в Плесецком районе Архангельской области, в подзоне средней тайги, по С.Ф. Курнаеву [4]. Проводили посадку 3-летних сеянцев по сплошь подготовленной почве на старой вырубке из-под ельника черничного. Размещение: в ряду – 0,75 м, между рядами – 2,5 м. Географические культуры входят в государственную сеть географических культур, заложенную по приказу Гослесхоза СССР № 29 от 06.02.1973 г., и курируются Северным НИИ лесного хозяйства (СевНИИЛХ).

Для исследований были подобраны 3 климатипа сосны обыкновенной (табл. 1) с различным местоположением исходных насаждений, отличавшихся в широтном градиенте на 2...3° с. ш. Обследования климатипов в возрасте культур 11–39 лет проведены авторами в различном составе, данные по сохранности культур в возрасте 5 лет взяты из архивных материалов СевНИИЛХ.

Таблица 1

Географические координаты и климатические характеристики мест произрастания исходных насаждений климатипов сосны обыкновенной

Область, район, номер климатипа*	Географические координаты мест заготовки семян, град с. ш. / в. д.	Длина вегетационного периода, дн.	Средняя годовая температура, °С	Сумма температур более 10 °С**, °С	Широтный коэффициент роста **
Архангельская, Пинежский, 3	64°45' / 43°14'	132	-0,1	1066	1,08
Архангельская, Плесецкий, 4	62°54' / 40°24'	148	1,0	1350	1,36
Вологодская, Тотемский, 9	60°00' / 43°00'	155	1,9	1600	1,56

*Номера климатипов приведены согласно паспортам географических культур.

**Средние данные суммы температур для координат северной широты и широтные коэффициенты роста (ш.к.р.) для сосняков черничного типа леса по И.В. Волосевич [1].

Плесецкий климатип (Плесецкий район Архангельской области) – местный для пункта испытания, является сравнительным эталоном сохранения адаптационных признаков в постоянстве климата. Потомство Пинежского климатипа (Пинежский район Архангельской области, подзона северной тайги) перемещено для выращивания в пункте испытания на 2° с. ш. к югу и имитирует потепление при повышении суммы эффективных температур более 10 °С на 280 °С. Тотемский климатип (Тотемский район Вологодской области), исходное насаждение которого произрастает в подзоне южной тайги, а потомство перемещено для выращивания в пункте испытания на 3° с. ш., имитирует похолодание с разницей в сумме эффективных температур более 10 °С на 250 °С.

Все климатипы имеют близкое расположение в меридианальном отношении, отклонение составляет 3° в. д. и соответствует степени изменчивости температурного показателя не более 0,3 % [1].

Использовали общепринятую методику изучения географических культур [3], которую применяли и ранее [2]. Определяли сохранность (в процентах) деревьев в блоках сплошным пересчетом на учетных рядах. Проводили замеры диаметров не менее чем у 100 деревьев, выбранных случайно в рядах каждого климатипа, фиксировали качество ствола (прямоствольные, слабоискривленные, сильноискривленные и многоствольные). Среднюю высоту определяли по графику высот, для построения которого замеры высоты и диаметр на высоте груди не менее чем у 20 деревьев разных ступеней толщины в климатипе. Объем ствола рассчитывали по формуле В.Е. Левина в модернизации Г.С. Войнова [5, с. 42], запас – с учетом сохранности из расчета на среднюю плотность лесных культур, принятую для региона (4 тыс./га). Строили гистограммы распределения диаметра стволов с использованием интервальных оценок критериев согласия хи-квадрат и Колмогорова–Смирнова, количество интервалов определяли по эмпирической формуле Старджесса.

Результаты исследования и их обсуждение

Адаптационные свойства породы, закрепленные наследственно в потомстве географической расы, прежде всего отражаются в сохранности растений при посадке лесных культур. Показатели коэффициента корреляции сохранности с северной широтой в коллекции климатипов сосны обыкновенной в географических культурах 1-го класса возраста в Мурманской и Архангельской областях, Республике Коми составили 0,74...0,86 [2].

При выращивании породы в условиях подзоны средней тайги (Плесецкий район, Архангельская область), что для пинежского и тотемского климатипов представляется имитацией изменения климата, эти наследственные адаптационные способности сохраняются, хотя, скорее всего, несколько нивелируются равными условиями произрастания в одном пункте испытания. Стабильно более высокую сохранность в течение двух десятилетий роста культур имеет потомство пинежской сосны из подзоны северной тайги. Потомство сосны из подзоны южной тайги к концу второго десятилетия заметно отстает по сохранности от пинежского (на 14,4 %) и плесецкого (на 6,0 %) климатипов (рис. 1).



Рис. 1. Динамика сохранности климатипов сосны обыкновенной
Fig. 1. Dynamics of climatypes preservation of Scots pine

Адаптационные различия по сохранности сосны проявились сразу после посадки сеянцев на лесокультурную площадь. В первые 5 лет отпад высаженных деревьев у тотемского потомства из подзоны южной тайги был в 2,5–3 раза выше, чем у более северных потомств. С возрастом различия по сохранности несколько сглаживаются, что связано с динамикой формирования древостоев. В культурах 1-го класса возраста наследственно обусловленное соотношение отпада деревьев между потомствами сохраняется (табл. 2), позднее заметно усиление отпада деревьев у пинежского потомства. В этот период при смыкании крон в рядах и междурядах и увеличении конкуренции за площадь питания усиливается дифференциация деревьев, которая проявляется более заметно в культурах у потомства с большей густотой.

Таблица 2

Динамика отпада высаженных деревьев в климатипах сосны обыкновенной

Климатип	Отпад, %, за период возраста культур, лет				
	> 5	5–11	11–21	21–31	31–39
Пинежский	13,3	6,7	7,0	14,9	14,3
Плесецкий	18,2	9,9	–	13,3	12,7
Тотемский	39,7	12,1	0,5	11,3	7,1

В результате в возрасте 39 лет наблюдаются отличия в росте между климатипами разного происхождения, связанные с отпадом высаженных растений. Распределение деревьев по диаметру можно считать нормальным (хи-квадрат равен 9,7 при критическом значении 11,1) только у тотемского климатипа, начавшего и завершившего процесс возрастной дифференциации деревьев, связанной со смыканием крон, раньше, чем северные потомства. У плесецкого и пинежского климатипов процесс дифференциации растянут, сдвинут на более поздние сроки, и эмпирическое распределение деревьев по диаметру во 2-м классе возраста отличается от теоретического (хи-квадрат равен соответственно 17,3 и 21,3 при критическом значении 11,1).

Эта тенденция проявляется и в средних показателях роста потомств. В 1-м классе возраста наблюдается лучший рост по высоте и диаметру у тотемского климатипа сосны обыкновенной, несмотря на то, что климатические условия произрастания при имитации похолодания стали хуже (табл. 3).

Таблица 3

Рост и продуктивность климатипов сосны обыкновенной

Климатип	Диаметр, см, в возрасте культур, лет		Высота, м, в возрасте культур, лет		Объем ствола, м ³	Запас древесины, м ³ /га	Количество прямоствольных деревьев, %
	21	39	21	39			
Пинежский	9,2	15,9	5,6	15,3	0,150	258	86
Плесецкий	10,2	18,2	6,2	16,6	0,213	298	87
Тотемский	10,7	17,8	6,6	18,2	0,218	253	81

Отличие тотемского потомства от местного среднетаежного (плесецкого) климатипа сосны по диаметру и высоте составляло 5...10 %. Примерно такое же отклонение характерно и для пинежского климатипа сосны, т. е. несмотря на имитацию потепления (перенос потомства в более южное место произрастания) наблюдалось устойчивое отставание в росте.

К концу 2-го класса возраста эта тенденция сохранялась, но происходило нивелирование ростовых процессов, связанное с изменением климатических характеристик места произрастания. Пинежский климатип сохранял наследственно обусловленное отставание по радиальному и линейному росту от местной популяции одновозрастной сосны в пункте испытания на 13 и 8 % соответственно, тотемский климатип был близок по диаметру к плесецкому, но опережал его по высоте на 10 %.

Распределение деревьев по диаметру в климатипах достаточно близкое (средние показатели входят в одну ступень толщины). В климатипах, которые растут в измененных климатических условиях, число крупных деревьев (более средней ступени) меньше, чем в местном климатипе на 7...13 % (рис. 2), при аналогичном увеличении численности в «левой» стороне кривой численности. Левосторонний эксцесс (-0,125) особенно проявляется у пинежского климатипа по сравнению с плесецким и тотемским (-0,566 и -0,787). Распределение диаметров ствола северотаежного потомства значительно отличается от средне- и южнотаежного климатипов (хи-квадрат соответственно равен 118,6 и 82,6, что выше критического значения 11,1). У плесецкого и тотемского климатипов характер кривых распределения близок (хи-квадрат равен 11,0, что ниже критического 11,1).

Нивелирование средних показателей происходит за счет реакции на имитацию климатических изменений (потепление у пинежского климатипа, похолодание у тотемского), однако при этом наследственные свойства потомства популяций, сформированных на разных широтах, в определенной мере сохраняются и влияют на реализацию продукционных процессов. Влияет также и адаптационный процесс, отражающийся в выживаемости потомства на разных этапах развития насаждений. Косвенно на этапах формирования насаждений в стабильных или измененных климатических условиях он может быть связан с темпами дифференциации древостоя в связи с разной их сохранностью в 1-2-м классах возраста. Все это отражается в средних показателях роста потомства, объема ствола и запаса стволовой древесины.

Вследствие разной сохранности потомств, их ростовых особенностей, связанных с наследственными свойствами роста, реализующимися в новых условиях произрастания, сосна из северной и южной подзон тайги формирует запас стволовой древесины на 15 % ниже, чем одновозрастные рядовые культуры местного происхождения. Число прямоствольных деревьев во всех испытываемых потомствах достаточно высокое (табл. 3), но при имитации похолодания оно снижается до 81 % у тотемского климатипа.

Представляется интересным сравнение климатипов по росту и продуктивности не только с одновозрастным местным климатипом в пункте испытания, но и с местными лесными культурами того же возраста в местах произрастания исходных насаждений. Однако проблематично найти объекты сравнения, совпадающие по возрасту, технологии создания, экологическим условиям произрастания. Мы воспользовались возможностью перерасчета исходных данных через ш. к. р., предложенные И.В. Волосевичем [1] и позволяющие по показателям роста эталонного местного (плесецкого) климатипа рассчитать соответствующие показатели для любой широты (в пределах 58...67° с. ш.). Показатель ш. к. р. основывается на данных 98 метеостанций, анализе материалов по 13 лесхозам и базе натуральных материалов. Он показывает сходство по высотам натурального обследования лесных культур $\pm 3,5$ %.

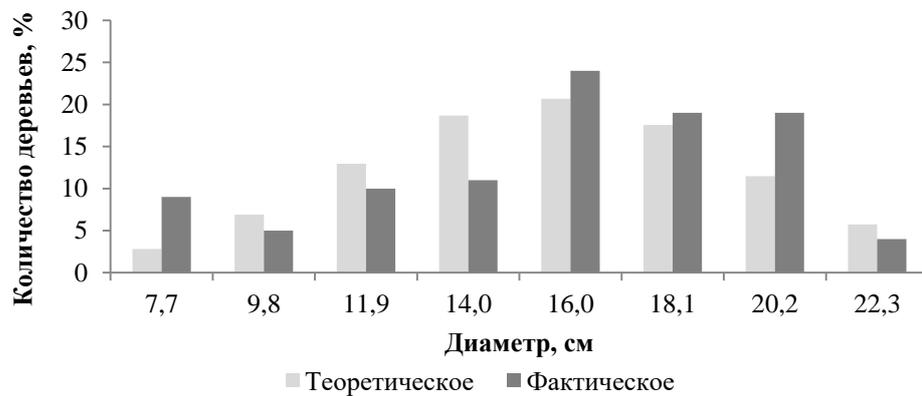
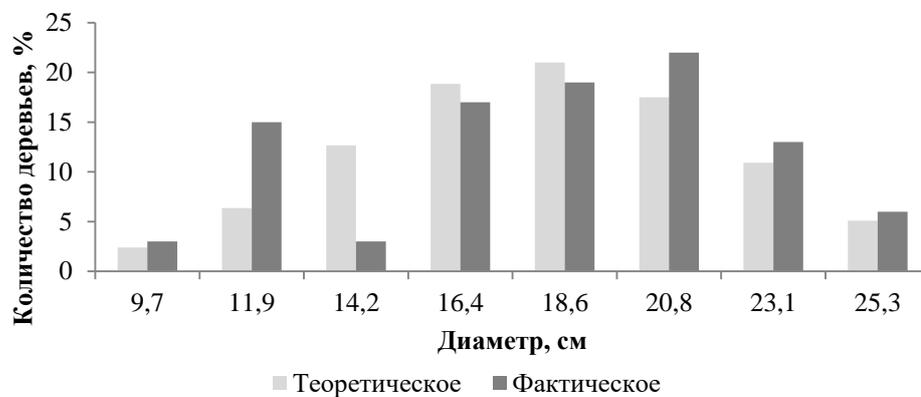
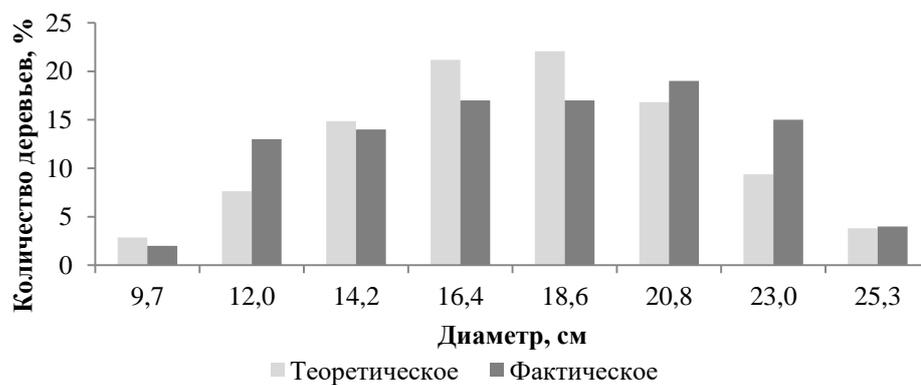
*a**б**в*

Рис. 2. Гистограммы фактического и теоретического распределения деревьев в климатипах по ступеням толщины в возрасте 39 лет: *a* – пинежский; *б* – плесецкий; *в* – тотемский

Fig. 2. Histograms of actual and theoretical distribution of trees in climatypes according to the diameter classes at the age of 39: *a* – Pinega; *б* – Plesetsk; *в* – Totma

Рассчитанные для пинежского и тотемского климатипов сосны обыкновенной показатели, приведенные в табл. 4, позволяют судить об уровне их повышения и понижения в связи с изменением климатических условий произрастания (имитация изменения климата).

Таблица 4

Изменение показателей роста климатипов сосны обыкновенной при имитации потепления и похолодания в возрасте культур 39 лет

Климатип	Средний диаметр		Средняя высота		Объем ствола среднего дерева	
	см	Δр	м	Δр	м ³	Δр
Пинежский	<u>15,9</u>	+8,8	<u>15,3</u>	+18,4	<u>0,150</u>	+12,7
	14,5		12,5		0,169	
Тотемский	<u>17,8</u>	-14,8	<u>18,2</u>	-4,4	<u>0,218</u>	-11,9
	20,9		19,0		0,244	

Примечания. 1. В числителе приведены фактические данные для культур в возрасте 39 лет, в знаменателе – рассчитанные с использованием ш. к. р. по [1]. 2. Δр – различия (%) фактических данных и расчетных при имитации потепления и похолодания.

Так, при потеплении климата на сумму температур более 10 °С, равную 280 °С, в культурах 2-го класса возраста произойдет увеличение средних высоты, диаметра, объема ствола среднего дерева не более чем на 10...20 %, т. е. при потеплении климата в бореальном поясе увеличение показателей по росту может составить порядка 3...6 % на каждые 100 °С суммы эффективных температур.

Положительная отзывчивость ростовыми характеристиками при переносе сосны обыкновенной в более теплые условия произрастания была выявлена и при изучении евразийских климатипов сосны обыкновенной [20].

При похолодании климата на величину примерно того же порядка (250 °С суммы эффективных температур более 10 °С) сосна обыкновенная 2-го класса возраста в рядовых лесных культурах снизит диаметр, высоту и объем ствола на 4...15 % по отношению к росту и объему ствола среднего дерева. В среднем при похолодании климата уменьшение продуктивности при понижении суммы эффективных температур на каждые 100 °С составит 2...5 %.

В процессе выращивания потомства северо- и южнотаежной сосны обыкновенной в условиях имитации потепления и похолодания примерно на одинаковую величину, выраженную в сумме эффективных температур выше 10 °С, наблюдается адекватная реакция ростом.

Запас лесных культур в значительной степени определяется их сохранностью, отражающей адаптационную выживаемость потомства. Повышение запаса в искусственных насаждениях будет обеспечиваться как ростовыми показателями, связанными с реакцией на климат, так и сохранностью лесных культур, которую могут обеспечить высокая агротехника лесокультурного производства и использование посадочного материала с закрытой корневой системой.

Заключение

Географические культуры, как уникальный природный объект, при использовании различных научных подходов дают возможность проводить прогнозные исследования, позволяющие моделировать реакцию древесных пород на различные сценарии изменения климата. Подбор соответствующих климатипов

может обеспечить понимание ожидаемых изменений и предложить варианты адаптации при проигрывании направлений ведения устойчивого лесного хозяйства на севере нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волосевич И.В.* Закономерности широтной изменчивости роста древесной растительности в лесах Европейского Севера и их практическое использование // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. Архангельск: АрхНИИЛиЛХ, 1984. С. 27–38.
2. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
3. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 240 с.
4. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: нормативные материалы для НАО, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми / сост.: Войнов Г.С. и др. Архангельск: Правда Севера, 2012. 672 с.
5. *Наквасина Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Ест. науки. 2003. В. 2, т. 4. С. 48–53.
6. *Наквасина Е.Н.* Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Изв. СПбЛТА. 2014. Вып. 209. С. 114–125.
7. *Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Покатило А.В.* Ростовая и репродуктивная реакции *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) при имитации потепления климата // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2016. № 1. С. 89–96.
8. *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: АГТУ, 2008. 308 с.
9. *Петров С.А.* Генетические ресурсы лесообразующих видов, пути их создания и рационального использования // Лесоразведение и лесомелиорация: обзор. информ. М.: ЦБНТИлесхоз, 1987. Вып. 1. 30 с.
10. *Райт Дж.* Введение в лесную генетику / пер. с англ. А.Ф. Клячко, Л.Я. Полозовой, Л.П. Воеводкиной; под ред. Л.Ф. Правдина, В.А. Бударягина. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 470 с.
11. *Савва Ю.Е., Ваганов Е.А.* Адаптация сосны обыкновенной к изменению климатических условий // Докл. АН РАН. 2002. Т. 385, № 1. С. 135–138.
12. *Beaulieu J., Rainville A.* Adaptation to Climate Change: Genetic Variation is Both a Short – and a Long-Term Solution // The Forestry Chronicle. 2005. Vol. 81, no. 5. Pp. 704–709.
13. *Beuker E., Koski V.* Adaptation of Tree Populations to Climate as Reflected by Ages Provenance Tests // Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995. Tampere, Finland, 1995. P. 248.
14. *Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerová D.* Adaptation to Common Optimum in Different Populations of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.) // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131, iss. 2. Pp. 401–411.
15. *Kapeller S., Lexer M. J., Geburek T., Hiebl J., Schueler S.* Intraspecific Variation in Climate Response of Norway Spruce in the Eastern Alpine Range: Selecting Appropriate Provenances for Future Climate // Forest Ecology and Management. 2012. Vol. 271. Pp. 46–57.
16. *Mátyás Cs.* Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances // Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995. Tampere, Finland, 1995. P. 250.

17. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to Changing Environment in Scots Pine Populations across a Latitudinal Gradient // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, iss. 2. Pp. 129–140.

18. Persson B. Will Climate Change Affect the Optimal Choice of *Pinus sylvestris* Provenances? // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, iss. 2. Pp. 121–128.

19. Savolainen O., Bokma F., Garcia-Gil R. Genetic Variation in Cessation of Growth and Frost Hardiness and Consequences for Adaptation of *Pinus sylvestris* to Climatic Changes // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 197, iss. 1–3. Pp. 79–89.

20. Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models // *Eurasian Journal of Forest Research*. 2003. Vol. 6, iss. 2. Pp. 83–98.

21. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. Beiträge zum Symp. “Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau”. Wien, 9 Nov., 1994. FBVA–Berichte, 1994. Bd. 81. S. 37–47.

22. Savanto S., Nöjd P., Henttonen H.M., Beuker E., Mäkinen H. Geographical Patterns in the Radial Growth Response of Norway Spruce Provenances to Climatic Variation // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2016. Vol. 222. Pp. 10–20.

23. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of Climate and Drought Events on the Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 307. Pp. 30–42.

Поступила 05.04.18

UDC 582.475:551.583

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient

*E.N. Nakvasina*¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*N.A. Prozherina*², Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

*A.V. Chuprov*³, Postgraduate Student, Senior Specialist

*V.V. Belyaev*², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

²Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: pronad1@yandex.ru, beljaew29@mail.ru

³Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region, ul. Vyucheyskogo, 18, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: alexchuprov@mail.ru

The species reaction to the different climate change scenarios is simulated on the example of Scots pine offspring growing on provenance trials of the middle taiga subzone (Arkhangelsk region). Climatypes with different in the latitudinal gradient by 2–3° N locations of the original stands were selected. Pinega climatype (Arkhangelsk region, the northern taiga subzone) growing in the middle taiga subzone simulates climate warming. Totma climatype (Vologda region, the southern taiga subzone) simulates cooling. Plesetsk climatype (Arkhangelsk region, the middle taiga subzone) local for the test point is a comparative standard for preservation of adaptive features in the constant climate. Safety, growth and productivity of crops were studied. Safety reduction of Totma climatype is evident during the first years after planting. Safety reduction and then plantation differentiation of Plesetsk and Pinega

For citation: Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 82–93. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

climatypes are extended and shifted. There is a growth processes leveling associated with changes in climatic characteristics of habitats by the end of the second age class. Pinega climatype maintains the inherited radial and linear stagnation from even-age pine local population at the test point by 13 % and 8 % respectively. Totma climatype is close to Plesetsk climatype in diameter, but outstrips it in height by 10 %. The trunk diameter distribution of the north taiga offspring of pine is significantly different from the middle and south taiga climatetypes. The corresponding indicators of initial planting habitats are calculated using the latitudinal growth coefficients proposed by I.V. Volosevich (1984) for crops of the same age. This allowed defining the indicators deviations under warming or cooling simulation. It was found that we can expect an increase in growth and productivity of Scots pine by 2–5 % with climate warming in boreal zone with an increase of air temperatures above 10 °C for each 100 °C of the effective temperatures sum. Changing of the growth indicators (diameter, height, trunk volume) with climate cooling (reduction of effective temperatures sum for each 100 °C) will be similar to the increase in temperature. Indicators will decrease 2–5 %. However, the reduced survival index of the south taiga offspring grown in severer climatic conditions (reduced safety during the first years after planting) can lead to a significant loss of productivity up to 15 % for each 100 °C of reduction of temperatures sum above 10 °C. The effect of the reaction can be mitigated by improving the forestry production quality.

Keywords: Scots pine, provenance trials, climatetypes, growth, productivity, climatic changes.

REFERENCES

1. Volosevich I.V. Zakonomernosti shirotной izmenchivosti rosta drevesnoy rastitel'nosti v lesakh Evropeyskogo Severa i ikh prakticheskoye ispol'zovani [Regularities of the Latitudinal Variability of Growth of Woody Vegetation in the Forests of the European North and Their Practical Use]. *Lesovodstvennyye issledovaniya na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Silvicultural Research on a Zonal and Typological Basis]. Arkhangel'sk, ArkhNIIiKH Publ., 1984, pp. 27–38. (In Russ.)
2. *Izucheniye imeyushchikhya i sozdaniye novykh geograficheskikh kul'tur: Programma i metodika rabot* [The Study of Existing and Creation of New Provenance Trials: a Program and a Working Procedure]. Ed. by E.P. Prokazin. Pushkino, VNIILM Publ., 1975. 52 p. (In Russ.)
3. Kurnayev S.F. *Lesorastitel'noye rayonirovaniye SSSR* [Forest Vegetation Zoning of the USSR]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 240 p. (In Russ.)
4. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po severo-vostoku evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii: normativnyye materialy dlya NAO, Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Respubliki Komi* [Forest Mensuration Reference Book of the Northeast of the European Part of the Russian Federation: Specifications and Guidelines for Nenets Autonomous Okrug, Arkhangel'sk and Vologda regions and the Komi Republic]. Ed. by G.S. Voynov, Arkhangel'sk, Pravda Severa Publ., 2012. 672 p. (In Russ.)
5. Nakvasina E.N. Geograficheskiye kul'tury sosny obyknovennoy (*Pinussylvestris* L.) kak prirodnyaya model' imitatsii klimaticheskikh izmeneniy [Provenance Trials of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) as a Natural Model of Simulation of Climate Change]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2003, iss. 2, vol. 4, pp. 48–53.
6. Nakvasina E.N. Izmeneniya v generativnoy sfere sosny obyknovennoy pri imitatsii potepleniya klimata [Changes in the Generative Sphere of Scots Pine under Simulation of Climate Warming]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2014, no. 209, pp. 114–125.
7. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Pokatilo A.V. Rostovaya i reproduktivnaya reaksii *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) pri imitatsii potepleniya klimata [Growth and Reproductive Reactions of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) under Simulation of Climate Warming]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2016, no. 1, pp. 89–96.

8. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskiye kul'tury v gen-ekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Provenance Trials in Geno-Ecological Researches in the European North]. Arkhangel'sk, ASTU Publ., 2008. 308 p. (In Russ.)

9. Petrov S.A. Geneticheskiye resursy lesoobrazuyushchikh vidov, puti ikh sozdaniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya [Genetic Resources of Forest Forming Types, Paths of Their Creation and Rational Use]. *Lesorazvedeniye i lesomelioratsiya: obzor. inform.* [Afforestation and Forest Melioration: Precise Articles], 1987, no. 1, 30 p.

10. Wright J. *Vvedeniye v lesnuyu genetiku* [Introduction to Forest Genetics]. Translated from English by A.F. Klyachko, L.YA. Polozovoy, L.P. Voyevodkinoy. Ed. by L.F. Pravdina, V.A. Budaragina, Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 470 p. (In Russ.)

11. Savva Yu.E., Vaganov E.A. Adaptatsiya sosny obyknovennoy k izmeneniyu klimaticheskikh usloviy [Adaptation of Scots Pine to Climate Change]. *Doklady Akademii nauk* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 2002, vol. 385, no. 1, pp. 135–138.

12. Beaulieu J., Rainville A. Adaptation to Climate Change: Genetic Variation is Both a Short- and a Long-Term Solution. *The Forestry Chronicle*, 2005, vol. 81, no. 5, pp. 704–709.

13. Beuker E., Koski V. Adaptation of Tree Populations to Climate as Reflected by Ages Provenance Tests. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995*. Tampere, Finland, 1995, p. 248.

14. Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerová D. Adaptation to Common Optimum in Different Populations of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.). *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, iss. 2, pp. 401–411.

15. Kapeller S., Lexer M. J., Geburek T., Hiebl J., Schueler S. Intraspecific Variation in Climate Response of Norway Spruce in the Eastern Alpine Range: Selecting Appropriate Provenances for Future Climate. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 271, pp. 46–57.

16. Mátyás Cs. Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995*. Tampere, Finland, 1995, p. 250.

17. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to Changing Environment in Scots Pine Populations across a Latitudinal Gradient. *Silva Fennica*, vol. 32, iss. 2, 1998, pp. 129–140.

18. Persson B. Will Climate Change Affect the Optimal Choice of *Pinus sylvestris* Provenances? *Silva Fennica*, 1998, vol. 32, iss. 2, pp. 121–128.

19. Savolainen O., Bokma F., Garcia-Gil R. Genetic Variation in Cessation of Growth and Frost Hardiness and Consequences for Adaptation of *Pinus sylvestris* to Climatic Changes. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 197, iss. 1-3, pp. 79–89.

20. Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models. *Eurasian Journal of Forest Research*, vol. 6, iss. 2, 2003, pp. 83–98.

21. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. *Beiträge zum Symp. "Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau"*. Wien, 9 Nov., 1994. FBVA – Berichte, 1994, Bd. 81, S. 37–47.

22. Suvanto S., Nöjd P., Henttonen H.M., Beuker E., Mäkinen H. Geographical Patterns in the Radial Growth Response of Norway Spruce Provenances to Climatic Variation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, vol. 222, pp. 10–20.

23. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of Climate and Drought Events on the Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 307, pp. 30–42.

Received on April 05, 2018