

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛИНЕЙНЫЙ ПРИРОСТ ЛЕСОКУЛЬТУР И ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.Л. Волкова¹⁾, Е.А. Позднякова¹⁾, А.А. Волков^{1), 2)}, А.Е. Кухта^{1), 2)}

¹⁾ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б; galina-wolk@mail.ru

²⁾ Институт географии РАН, Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер. 29

Резюме. В работе представлены результаты анализа реакции линейных приростов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в посадках и под пологом леса на воздействие метеорологических факторов. Для осуществления процедуры сравнения оценивалась степень сходства ходов роста лесокультур и естественного возобновления данной породы деревьев. Исследования проводились на двух экополигонах, расположенных на территории Никольского лесничества (Пензенская область) в лесокультурах и в естественных древостоях. Обнаружены как сходные тенденции, так и случаи несходства откликов на климатические сигналы у лесокультур и у сосны естественного возобновления. Таким образом, древостои даже в рамках одной территории могут демонстрировать неоднородность тенденций хода роста. Такие факторы, как происхождение семенного материала и локальные условия произрастания каждого отдельного дерева, могут иметь значительное влияние на ход роста, перекрывающее общие закономерности развития подроста сосны обыкновенной на определенном экополигоне.

Ключевые слова. Линейный прирост, воздействие климатических факторов, *Pinus sylvestris*, лесокультура, естественное возобновление леса, Пензенская область.

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON SCOTS PINE FORESTATION AND NATURAL UNDERGROWTH IN THE PENZA REGION

G.L. Volkova¹⁾, E.A. Pozdnyakova¹⁾, A.A. Volkov^{1), 2)}, A.E. Koukhhta^{1), 2)}

¹⁾ Institute of Global Climate and Ecology of Roshydromet and RAS, 20B, Gleboskaya street, 107258, Moscow, Russia; galina-wolk@mail.ru

²⁾ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences
29, Staromonetny, 109017, Moscow, Russia

Summary. The issue considers the analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) linear increment response to climatic factors impact in forestation and under canopy. In order to fulfill the comparison procedure the forestation and natural stands growth course

similarity extent was evaluated. The investigation was carried out on two plots located in the Nikolskoye forest area (Penza region) in forestation and natural undergrowth. Both similar and unlike climatic signals of pine in natural and planted stands were identified. So even within the boundaries of the same territory forest stands can show growth course tendencies heterogeneity. Such factors as seed material origin and local growth conditions can have influence over the growth course. This impact may exceed general Scots pine undergrowth development regularities on the investigated plots.

Key words. Linear increment, climatic factors impact, *Pinus sylvestris*, forestation, natural undergrowth, Penza region.

Введение

Для оценки состояния древостоев в современной экологии широко применяются методы дендрохронологии по радиальному и по линейному (в высоту) приросту деревьев. Результатами подобных исследований являются как фиксация текущего воздействия климатических изменений на параметры роста деревьев, так и реконструкции климатов прошлого на основании связи параметров прироста с климатическими показателями. Кроме того, изучение подобных хронологий позволяет делать прогнозные оценки состояния лесных экосистем в будущем в условиях изменения климата (Демежко, Соломина, 2009; Ловелиус, 1979; Овчинникова, Ваганов, 1999; Рысин, Савельева, 2008; Соломина и др., 2012; Шиятов, 1983, Solomina et al., 2014; Эколого-географические последствия..., 2011). Внимание исследователей в данном случае фокусируется, в основном, на таких метеорологических переменных, как температура и количество осадков.

Изучение динамики роста древостоев сосны обыкновенной на участках, где произрастают как деревья естественного возобновления, так и лесокультуры (т.е. посадки), дает возможность сопоставить силу и характер климатических откликов у деревьев различного происхождения. В ряде научных исследований существует мнение, что отклики лесокультур и естественных древостоев на сигналы внешней среды сходны (Касаткин, Семышев, 2008; Усольцев, 2013; Кузьмичев, Пшеничникова, 2014). В ходе работы производилась проверка данной гипотезы для территории Никольского лесничества, а также поиск факторов, влияющих на различия в характере откликов деревьев на климатический сигнал в географически близких лесных экосистемах.

Целью данной работы является сравнение параметров хода роста и откликов древостоев сосны обыкновенной на воздействие климатических факторов в географически близких лесокультурах и естественных древостоях подроста сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Материалы и методы

Объектом исследования послужил подрост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Измерения годовичного линейного прироста молодых растений проводились в 2002 г. на экополигонах «Покровка» и «Усовка», заложенных

на территории Междуреченского лесничества Никольского лесхоза Пензенской области (53°40' с.ш., 46° в.д.) (в настоящее время – Никольское лесничество). Территория исследования входит в Поволжский Федеральный округ и географически относится к региону Поволжья.

Пробные площади были заложены на двух географически близких экополигонах «Покровка» и «Усовка», в сосняках. На каждом экополигоне проводились измерения как в лесокультурах, так и в естественных древостоях сосны обыкновенной. На экополигоне «Покровка» 6 пробных площадей было заложено в посадках и 10 – под пологом леса; на экополигоне «Усовка» – 10 и 10 соответственно. Следует отметить, что на всех пробных площадях в посадках на момент исследования наблюдалась сильная загущенность древостоев, их сомкнутость (отношение площади проекции древесного полога к площади, занимаемой древостоем) достигала 0.9.

Экополигоны расположены в Юго-восточной подобласти Атлантико-континентальной европейской климатической области (Алисов, 1956). Климат здесь умеренно-континентальный. Для этой зоны характерны высокая амплитуда температур, преобладание западных ветров, интенсивная циклоническая деятельность, в связи с чем погода в этих широтах очень изменчива (Алисов, 1956; Косарев, 2002). Лето весьма теплое, средняя температура июля + 22 °С. Максимум температуры приближается к +40 °С.

Рельеф Никольского лесничества денудационный, представлен пластовыми возвышенными равнинами. Здесь характерно сильное эрозионное расчленение, местами превышающее 100 метров. Исследуемая территория относится к окско-донской провинции оподзоленных, выщелоченных и типичных среднегумусных и тучных маломощных и среднемощных черноземов и серых лесных почв (Добровольский, Урусевская, 2006; Кухта, Титкина, 2005; Гальдин, 2001). Почвенный покров характеризуется периодически промывным водным режимом, представлен темно- и светлосерыми лесными почвами, суглинистого механического состава. Экополигоны были заложены на каменистых склонах холмов, в условиях склонового стока, в сухих биотопах, маркированных ксерофитными растительными сообществами.

На территории лесничества маршрутным методом было заложено 36 пробных площадей (размер их не превышал 0.5 га). На каждой пробной площади измерено по 5 деревьев. Общее количество исследуемых образцов составило 180 экземпляров. Согласно методике, линейный прирост измерялся у подроста высотой не ниже 1 м и не выше 2.5 м (Кухта, Семенов, 2002; Кухта, 2003; Кухта, 2009). Значения приростов осреднялись для каждой пробной площади.

Все рассматриваемые далее дендрохронологические временные ряды относительных значений линейных приростов (индексов прироста) были вычислены путем деления абсолютных значений линейного годичного прироста на скользящее среднее за 5 лет. Таким образом проводилось выявление откликов приростов на воздействие внешних факторов (Демежко, Соломина, 2009; Кухта, 2003; Кухта, 2009).

Для анализа связи хода роста с параметрами окружающей среды были использованы климатические данные с режимной метеостанции Росгидро-

мета № 27962 (г. Пенза) за соответствующие вегетационные периоды (данные о среднемесячных температурах и количестве осадков). Использовался массив данных за 1979 – 2001 гг. При этом оценивалась корреляция между рядами линейной изменчивости прироста и климатическими параметрами как текущего, так и предыдущего года, т.к. для роста междуузлий определяющим является как наличие оптимальных условий непосредственно в период роста, так и в период формирования почки возобновления, которое приходится на предыдущий вегетационный сезон (Gavrikov, Karlin, 1993). Статистический анализ производился с помощью пакетов MS Excel и SPSS.

Результаты и обсуждение

В ходе исследований предварительно было проведено сравнение динамики хода роста лесокультур и естественных древостоев сосны обыкновенной на одних и тот же участках за весь исследуемый период. На первом этапе исследований требовалось выявить сходство или различие рядов индексов приростов древостоев на экополигонах «Покровка» и «Усовка», т.е. индексированных ходов роста лесокультур и естественного возобновления. Для сопоставления полученных рядов осредненных индексированных линейных приростов был применён метод корреляционного анализа.

При этом использование статистических методов для проверки значимости сходства или различия рядов индексов приростов было затруднено в связи со свойствами объекта измерения. Поскольку объектом является подрост, а не приспевающие или спелые деревья, в каждом временном ряду имеется относительно небольшое число наблюдений. Гипотеза о нормальном распределении данных не может быть с достаточной степенью надежности проверена из-за короткого ряда наблюдений. При таких малых объемах выборки основные критерии проверки на нормальность (такие, как Шапиро-Уилка или Колмогорова-Смирнова) не обладают достаточной мощностью, и существует большая вероятность принятия гипотезы о нормальности распределения в том случае, когда она на самом деле не верна (Лемешко, Лемешко, 2005). Следовательно, для осуществления корреляционного анализа необходимо применить не стандартный параметрический коэффициент корреляции Пирсона, а ранговые коэффициенты корреляции Кендалла и Спирмена, которые используются в тех случаях, когда есть сомнения в применимости гауссовой модели распределения данных. Оба этих коэффициента являются ранговыми, то есть используют в процессе расчета не сами абсолютные значения признаков, а их ранги (порядковые номера наблюдений, отсортированных по возрастанию). Такие коэффициенты корреляции, как и стандартный коэффициент Пирсона, характеризуют силу связи между двумя переменными по степени выраженности какого-либо признака (в нашем случае – то, насколько связаны между собой ряды осредненных индексированных линейных приростов сосны обыкновенной на разных участках).

Коэффициент корреляции Спирмена вычисляется по формуле:

$$\rho = 1 - \frac{6}{n(n-1)(n+1)} \sum_{i=1}^n (R_i - S_i)^2,$$

где R_i – ранг наблюдения x_i в ряду x , S_i – ранг наблюдения y_i в ряду y .

Коэффициент корреляции рангов Кендалла рассчитывается по формуле:

$$r = 1 - \frac{4}{n(n-1)} R,$$

где $R = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [[x_i < x_j] \neq [y_i < y_j]]$ – количество инверсий, образованных

величинами y_i , расположенными в порядке возрастания соответствующих x_i .

В данной работе ранговые коэффициенты корреляции были автоматически рассчитаны в статистическом пакете SPSS. Результаты корреляционного анализа по всему массиву наблюдений приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции Кендалла для рядов приростов на эколопигонах «Усовка» и «Покровка»

Название эколопигона	Покровка (посадки)	Покровка (естеств.)	Усовка (посадки)	Усовка (естеств.)
Покровка (лесокультуры)	1	-0.111	-0.200	-0.022
Покровка (естеств.)		1	0.378	0.822
Усовка (лесокультуры)			1	0.378
Усовка (естеств.)				1

Таблица 2. Значения коэффициентов корреляции Спирмена для рядов приростов на эколопигонах «Усовка» и «Покровка»

Название эколопигона	Покровка (посадки)	Покровка (естеств.)	Усовка (посадки)	Усовка (естеств.)
Покровка (лесокультуры)	1	-0.152	-0.285	-0.018
Покровка (естеств.)		1	0.552	0.939
Усовка (лесокультуры)			1	0.564
Усовка (естеств.)				1



Рисунок 1. Динамика индексов линейного прироста *Pinus sylvestris* L. на экополигонах «Покровка» и «Усовка» («Междуречье»)

В ходе корреляционного анализа рядов индексов прироста обнаружены значимые коэффициенты корреляции ($p=95\%$) для естественных древостоев экополигонов «Покровка» и «Усовка». Между рядами приростов лесокультур и естественных древостоев на одних и тех же участках, а также между лесокультурами на различных участках значимых взаимосвязей обнаружено не было. Таким образом, можно констатировать сходство рядов приростов естественных древостоев между собой и несходство их с лесокультурами.

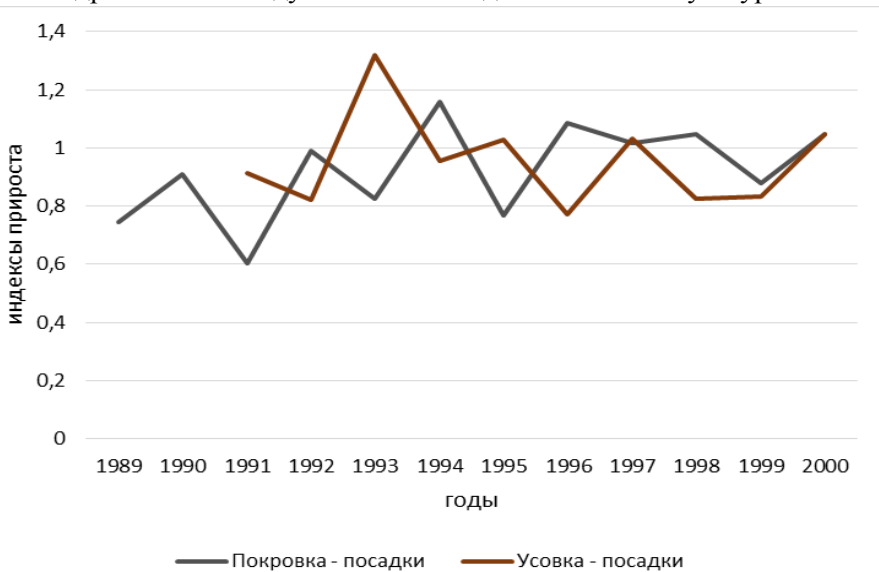


Рисунок 2. Динамика индексов линейного прироста лесокультур (посадок) *Pinus sylvestris* L. на экополигонах «Покровка» и «Усовка»



Рисунок 3. Динамика индексов линейного прироста естественного возобновления *P. sylvestris* на экополигоне «Покровка»

Данные выводы подтверждаются и при визуальном анализе графиков индексированных линейных приростов – динамика хода роста у лесокультур и естественных древостоев на одном и тот же участке различается (рис. 1).

При этом ходы роста лесокультур не показывают взаимной сопряженности (рис. 2), в то время как динамики индексов приростов деревьев естественного возобновления на двух различных участках обнаруживают сходство между собой. На рис. 3 графики, отражающие динамику индексированных приростов естественных древостоев, очень близки и для периода 1995 – 99 гг. практически сливаются.

Таким образом, в рассмотренном наборе дендрохронологических данных не наблюдаются сходные тенденции для индексированных линейных приростов сосны в лесокультурах и в естественном возобновлении. Причины отсутствия сопряженности динамики приростов лесокультур и естественного возобновления на исследуемых экополигонах, а также несходства ходов роста лесокультур между собой, по нашему мнению, могут крыться в разнородности семенного материала для посадок. Как неоднократно отмечалось в литературе, происхождение семян определяет биологические особенности экотипов, например, устойчивость проростков, характеристики линейного роста. Взятый из одной географической локации семенной материал обеспечивает генетическую близость и низкий уровень изменчивости растений (Кузьмина и др., 2004; Усольцев, 2013). В нашем случае, очевидно, посевной материал характеризовался разнородностью происхождения. Кроме того, отмеченная нами ранее загущенность посадок также могла сыграть роль в увеличении уровня конкуренции в древостое, что привело к более интенсивной дифференциации подроста. Указанные факторы, вероятно, и послужили причиной наблюдаемого различия параметров ходов роста изучаемых древостоев.

На втором этапе исследований были рассмотрены отклики древостоев различного происхождения на воздействия климатических факторов. В целях исследования характера влияния указанных факторов были вычислены коэффициенты корреляции обобщенных рядов индексов линейного прироста по всем пробным площадям с рядами значений аномалий среднемесячных температур и сумм осадков (текущего и предыдущего вегетационных сезонов).

Для текущего вегетационного вегетационного сезона проверялась связь приростов с метеопараметрами апреля-июля, т.к. междуозлия прекращают рост в июле, и условия августа – сентября не влияют на прирост. Для предыдущего сезона проверялись связи с метеоданными апреля – сентября, т.к. условия августа – сентября определяют состояние почки возобновления и таким образом влияют на прирост следующего года. Были использованы парные коэффициенты корреляции Пирсона и отобраны значимые коэффициенты корреляции (гипотеза о значимом отличии от нуля которых не отвергается с вероятностью не менее 90 %). Результаты проведенного корреляционного анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между рядами индексов приростов и значениями метеорологических аномалий экополигонов Покровка и Усовка за 1979 – 2001 гг.

			Лесокультуры		Естественное возобновление	
			Покровка	Усовка	Покровка	Усовка
Текущий год	температура	апрель	-0.39	0.22	0.34	0.50
		май	-0.17	0.01	-0.47	-0.53*
		июнь	-0.39	-0.42	-0.47	-0.69*
		июль	0.15	-0.82*	-0.35	-0.35
		август	0.01	-0.48	-0.34	-0.48
	осадки	апрель	-0.06	0.19	-0.28	-0.30
		май	0.55*	-0.26	-0.01	0.02
		июнь	0.25	0.27	0.36	0.63*
		июль	-0.04	-0.27	0.11	-0.02
Предыдущий год	температура	апрель	0.07	-0.25	-0.26	-0.15
		май	0.59*	-0.22	0.29	0.16
		июнь	0.30	-0.45	0.27	0.05
		июль	-0.34	-0.04	0.05	-0.21
		август	0.31	0.26	0.38	0.24
		сентябрь	-0.25	0.17	0.51*	0.35
	осадки	апрель	-0.07	-0.47	-0.42	-0.56*
		май	-0.03	0.26	0.15	0.18
		июнь	-0.49	-0.03	-0.09	0.00
		июль	0.00	0.26	0.43	0.35
		август	-0.18	-0.13	-0.14	-0.04
		сентябрь	0.27	-0.17	-0.63*	-0.36

Выделены (жирный шрифт, звездочка) значимые на 5 %-м уровне величины

Как следует из табл. 3, и для естественных древостоев, и для посадок обнаружены отрицательные зависимости от температур и положительные зависимости от количества осадков текущего вегетационного сезона при прохождении фенофазы линейного роста побега и формирования ранней древесины. Это подтверждает результаты наших прежних исследований (Кухта, Титкина, 2005; Кухта 2009). Очевидно, что рост центрального побега сосны, приходящий на начало и середину лета, в южной части ареала *Pinus sylvestris* L., в Поволжье с его специфическими эдафическими (т.е. почвенными и грунтовыми) условиями (см. выше), ограничивается в соответствии с одним из основополагающих законов экологии, законом Либиха, который гласит, что выживаемость и функционирование организма лимитируется тем экологическим фактором, который присутствует в минимальном количестве (Одум, 1975). Таким лимитирующим фактором в данном случае, скорее всего, является нехватка почвенной влаги. Как было указано выше, все экополигоны были заложены на каменистых склонах в сухих биотопах с ксерофитной растительностью. Недостаток почвенной влаги является характерным для подобных местообитаний. В результате, снижение количества осадков ниже среднееголетнего уровня оказывается фактором, лимитирующим рост междоузлий в первой половине лета текущего года (июнь). Превышения температур над среднееголетним уровнем усиливают этот дефицит (отрицательная корреляция), причем таким образом, что, по-видимому, недостаток содержания почвенной влаги в большей степени зависит именно от высоких температур во все летние месяцы.

И для естественных древостоев, и для лесокультур выявлены как положительные, так и отрицательные корреляции приростов с количеством осадков вегетационного сезона предыдущего года. Закономерности отмечены для фенофаз линейного роста побега, а также формирования поздней древесины и почек возобновления. С температурами предыдущего вегетационного сезона ряды приростов лесокультур на экополигонах «Покровка» и «Усовка» связаны прямой зависимостью при прохождении фенофазы линейного роста и формирования ранней древесины. Прямая зависимость от температур и обратная - от осадков предыдущего года может объясняться потребностью в накоплении суммы эффективных температур на этапе формирования почки возобновления и перед вхождением дерева в период покоя (как правило, обильные осадки в сентябре на ЕТР сопряжены с падением значений температур ниже среднееголетнего уровня).

Важно заметить, что часть значимых корреляций с метеорологическими факторами характерна только для деревьев естественного происхождения, а часть – только для посадок. Таким образом, можно сделать вывод об отдельных отличиях в климатических реакциях у деревьев различного происхождения.

Заключение

На пробных площадях экополигонов «Покровка» и «Усовка» отмечено сходство рядов индексированных приростов деревьев в естественном воз-

обновлении сосны. При этом ряды индексов приростов лесокультур на указанных пробных площадях несходны с таковыми как в естественных древостоях, так и между собой. Однако для лесокультур и естественного возобновления обнаружено сходство откликов приростов на воздействие температур и количества осадков текущего вегетационного сезона. Эта зависимость характерна для фенофазы линейного роста побега и формирования ранней древесины.

Климатические факторы предыдущего года по-разному воздействуют не только на лесокультуры и естественные древостои в целом, но и на деревья отдельных пробных площадей в составе посадок и естественного возобновления на экополигонах «Покровка» и «Усовка». Основной эффект на прирост текущего года метеорологические условия предыдущего вегетационного сезона оказывают путём влияния на качество почек возобновления сосны. Несходство реакций параметров ходов роста деревьев на изучаемых пробных площадях, очевидно, отражает различие локальных условий местообитаний (в т.ч. конкуренции), играющих основную формирующую роль при прохождении деревьями данной фенофазы, и являющихся причиной «шума», затрудняющего обнаружение искомым закономерностей. Увеличению уровня неопределённостей способствует также различное происхождение древостоев (лесокультуры или естественное возобновление сосны).

Проведенные исследования показали, что при проведении дендроиндикации¹⁾ следует предъявлять строгие требования к репрезентативности пробных площадей. Для того, чтобы лесокультуры могли играть роль модельных древостоев в мониторинге лесных экосистем, необходимо выполнение ряда условий, в частности, должно быть уделено внимание степени густоты посадки (которая определяет уровень последующей конкуренции среди деревьев). В противном случае в ходе роста посадок могут наблюдаться тенденции, не соотносимые с ходом роста естественных древостоев на данной территории и они, таким образом, будут не пригодны для моделирования динамики древостоев в данной экосистеме.

Результаты проведенных исследований подтверждают перспективность применения такого показателя, как параметры динамики линейных приростов сосны обыкновенной, в качестве индикатора отклика лесных экосистем на воздействия климатических факторов. Применение данной методики позволит точнее прогнозировать динамику лесных биогеоценозов. Особенно это важно при учете результатов реализации сценариев, разработанных специалистами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

¹⁾ Дендроиндикация - это метод биоиндикации, позволяющий на основе анализа характеристик древесного яруса и подроста (радиальный и линейный прирост, продолжительность жизни хвои, наличие некроза и хлороза, жизненное состояние древостоя и т. д.) судить о состоянии экосистемы в целом.

Благодарности

Авторы приносят искреннюю благодарность к.б.н., зав. Лабораторией ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» М.Д. Корзухину за плодотворное обсуждение материала.

Список литературы

- Алисов Б.П. 1956. Климат СССР. – М., Изд-во Моск. ун-та., 128 с.
- Гальдин Г.Б. 2001. Почвы. – Пензенская энциклопедия. – М., Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», с. 491 – 493.
- Демежко, Д.Ю., Соломина, О.Н. 2009. Изменения температуры земной поверхности на о. Кунашир за последние 400 лет по геотермическим и древесно-кольцевым данным. – Доклады Академии наук, т. 426, № 2, с. 240 – 243.
- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. 2006. География почв: учебник. 3-е изд. – М., Изд-во Моск. Ун-та, Наука, 460 с.
- Касаткин А.С., Семышев М.М. 2008. Индексы конкуренции в лесных насаждениях. – Электронные дан. – Екатеринбург, УГЛТУ – Режим доступа: http://science-bsea.narod.ru/2008/les_2008/kasatkin_ind.htm. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- Косарев В.П. 2002. Лесная метеорология с основами климатологии: учебное пособие для вузов. – СПб, ЛТА, 264 с.
- Кузьмичев В.В., Пшеничникова Л.С. 2014. Влияние плотности популяций сосны на изменчивость размеров деревьев. – Сибирский лесной журнал, № 3, с. 150 – 156.
- Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р., Милютин Л.И. 2004. Дифференциация сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья. – Хвойные бореальные зоны, вып. 2, с. 48 – 56.
- Кухта А.Е. 2009. Влияние температуры и осадков на годичный линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива. – Лесной вестник.– Издательство МГУЛ, № 1(64), с. 61 – 67.
- Кухта А. Е. 2003. Линейный прирост деревьев как индикатор состояния среды. – Сибирский экологический журнал, № 6, с. 767 – 771.
- Кухта А. Е., Семенов С. М. 2002. Метод мониторинга линейного прироста ювенильных древесных растений и его роль в оценке крупномасштабных изменений состояния природной среды и климата. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб., Гидрометеиздат, т. XVIII, с. 167 – 192.
- Кухта А.Е., Титкина С.Н. 2005. Климатогенные колебания линейного прироста ювенильных растений сосны обыкновенной в модельных древостоях в Пензенской области. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб., Гидрометеиздат, т. XX, с. 251 – 261.
-

Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. 2005. Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона. – Метрология, № 2, с. 3 – 23.

Ловелиус Н.В. 1979. Изменчивость прироста деревьев. – Ленинград, Наука, Ленинградское отделение, 232 с.

Овчинникова Д.В., Ваганов Е.А. 1999. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) на верхней границе леса в Горном Алтае. – Сиб. экол. ж., т. 6, № 2, с. 145 – 152.

Одум Ю. 1975. Основы экологии. – М.: Мир, 740 с.

Рысин Л.П., Савельева Л.И. 2008. Сосновые леса России. – М., Товарищество научных изданий КМК, 289 с.

Соломина О.Н., Долгова Е.А., Максимова О.Е. 2012. Реконструкция гидрометеорологических условий последних столетий на Северном Кавказе, Крыму и Тянь-Шане по дендрохронологическим данным. – М.; СПб., Нестор-История, 232 с.

Усольцев В.А. 2013. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. – М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ботанический сад. – Екатеринбург, УГЛТУ, с. 206 – 210.

Шиятов С. Г. 1986. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. – М., Наука, 137 с.

Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. 2011. /Под ред. Н.С. Касимова, А.В. Кислова/. – М., МАКС Пресс, 496 с.

Gavrikov V. L., Karlin I. V. 1993. A dynamic model of tree terminal growth. Can. J. For. res., vol. 23, p. 326 – 329.

Solomina, O., Maximova, O., Cook E. 2014. *Picea Schrenkiana* ring width and density at the upper and lower tree limits in the Tien Shan mts Kyrgyz republic as a source of paleoclimatic information. Geography, Environment, Sustainability, vol. 7, No 1, p. 66 – 79.

Статья поступила в редакцию: 18.04.2016.

После переработки: 23.09.2016.