



УДК 630*(561.21+582.475):630*24(571.1)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА КЕДРА СИБИРСКОГО *Pinus sibirica* Du Tour ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РУБОК УХОДА

Н.М. Дебков^{1,2}, канд. с.-х. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [H-1146-2019](#),

ORCID: [0000-0003-3791-0369](#)

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

²Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская область, Россия, 141202

Создание и формирование кедровников различного целевого назначения, и особенно кедросадов, является актуальной проблемой российского лесоводства. Рассмотрена динамика радиального прироста деревьев кедров сибирского *Pinus sibirica* Du Tour после рубок ухода с разными режимами (способ, число приемов и др.). Анализ выполнен как на уровне всего сообщества, так и по элементам леса. Исследования проведены на экспериментальных объектах, расположенных на территории Ханты-Мансийского автономного округа и Тюменской области в подзоне средней тайги. Установлено, что реакция кедров сибирского на рубки формирования кедросадов зависит от интенсивности, числа приемов и времени проведения рубок ухода, а также от возрастной и морфологической структуры кедров сибирского на вырубках и под пологом производных лесов. Выявлено, что экстенсивные кедросады формируются как при интенсивных, так и при систематических рубках ухода. В этом случае средний радиальный прирост колеблется от 3 до 5 мм/год, что обеспечивает не только ритмичный поступательный рост, но и физиологическое развитие. Как следствие, по истечении 30–35 лет практически все деревья уже вступили в генеративную фазу и активно семенуют. Однократные, особенно рубки с малой выборкой (менее 50 %), приводят к формированию интенсивных кедросадов со средним приростом ствола от 2 до 3 мм/год. Перегущенность древостоя не только снижает радиальный прирост кедров сибирского, но и замедляет скорость протекания онтогенетических стадий и фаз, поэтому в этих кедросадах присутствуют деревья, которые еще ни разу не давали урожая шишек.

Для цитирования: Дебков Н.М. Динамика радиального прироста кедров сибирского *Pinus sibirica* Du Tour при различных режимах рубок ухода // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 9–24. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

Ключевые слова: кедр сибирский *Pinus sibirica* Du Tour, рубки ухода, структура древостоя, радиальный прирост ствола, Западная Сибирь.

Введение

В мире наблюдается смена парадигмы лесопользования от крупномасштабной сплошнолесосечной формы к различным видам выборочных рубок

[11]. Среди них наибольшее значение придается рубкам ухода, в результате проведения которых увеличивается пространство роста и снижается конкуренция за ресурсы питания, что стимулирует интенсивный прирост остающихся деревьев [17]. Первостепенную важность имеют первые приемы рубок ухода в молодняках [8], что и обеспечивают целевые показатели (породно-размерно-качественные параметры) будущих древостоев. В отношении кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour основополагающее значение принадлежит информации о ходе роста деревьев, который одновременно является и катализатором, и индикатором начала семеношения. Ранее было установлено, что генеративная фаза онтогенеза у кедра сибирского наступает после первых 20 лет интенсивного и поступательного роста, особенно по диаметру [2].

Цель исследования – изучение динамики радиального прироста у кедра сибирского в зависимости от типа кедросадов, вида и режимов рубок ухода.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования расположены в пределах среднетаежной подзоны Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югры) и Тюменской области. Большая их часть – это экспериментальные участки, заложенные в 1980-е гг. Тюменской лесной опытной станцией (ТЛОС) на территории урочища «Острова» Ханты-Мансийского лесничества.

Первая серия пробных площадей (ПП) заложена в насаждении, где сделана попытка сформировать постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ). Учитывая специфику формирования, было заложено 4 ПП, которые имеют разную историю лесоводственного воздействия и структуру древостоя (табл. 1):

Таблица 1

Характеристика экспериментальных объектов кедр сибирского

ПП	Состав, ед.	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Густота, шт./Га	Запас, м ³ /Га	Крона, м/%	
							Протяженность	Ширина
41	9К	15,8±0,3	32,6±0,7	50,0±2,1	375	307,5	8,2±0,3 52±2	3,9±0,3 25,2
	1Б	13,7±0,9	9,4±0,3	31,3±2,6	335	20,1		
	ед. Е	10,5±1,0	10,0±0,6	31,0±0,6	127	5,1		
42	9К	13,9±0,5	21,9±0,8	42,9±2,7	930	204,6	5,4±0,3 39±2	2,2±0,1 16±1
	1Б	12,8±0,1	9,9±0,8	27,5±2,6	270	16,2		
	ед. Е	9,8±1,3	10,5±0,6	27,2±1,2	80	2,4		
43	10К	15,0±0,2	34,3±0,6	48,9±2,2	435	356,7	8,2±0,3 55±2	3,1±0,1 21±1
44	10К	16,4±0,4	23,8±0,4	48,5±1,6	920	331,2	7,2±0,3 44±2	2,8±0,2 17±1
Уват	10К	16,2±1,1	29,1±1,5	67,4±6,8	355	181,0	9,9±0,6 61±4	2,9±0,2 18±1
	ед. Б	10,7±0,9	9,3±1,0	15,5±0,5	40	2,0		
	ед. Е	10,5±1,5	10,0±0,9	19,5±1,5	40	1,6		
ТЛОС К	7К	15,6±1,4	19,8±1,5	91,1±17,7	1046	251,0	5,0±0,3 32±2	2,5±0,3 16±2
	2Е	18,8±1,9	24,1±2,5	80,2±19,7	324	77,8		
	1Б	20,5±2,5	25,3±4,8	89,0±25,5	103	24,7		

Окончание табл. 1

ПП	Состав, ед.	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Густота, шт./га	Запас, м ³ /га	Крона, м/%	
							Протяженность	Ширина
ТЛОС 25	7К	17,3±1,0	22,8±1,2	80,0±14,2	1008	241,9	<u>6,4±0,5</u> 37±3	<u>2,6±0,3</u> 15±2
	2Б	20,5±2,5	23,4±2,0	89,0±25,5	331	79,4		
	1Е	18,8±1,9	19,3±1,7	80,2±19,7	101	24,2		
ТЛОС 50	10К	16,0±1,5	23,3±0,9	60,7±5,7	915	283,6	<u>6,4±0,5</u> 40±3	<u>2,4±0,3</u> 15±2
ТЛОС 75	10К	15,1±0,5	21,2±0,9	46,4±2,8	830	258,6	<u>6,2±0,3</u> 41±2	<u>2,3±0,1</u> 15±1
Хим- уход	9К	15,0±1,2	22,7±1,7	81,2±3,4	625	206,2	5,8±0,1 39±2	2,1±0,1 14±1
	1П	12,7±4,5	11,6±1,7	64,5±6,5	225	15,3		
	+Б	19,1±1,5	24,2±1,9	85,3±14,4	25	9,2		
	ед. Е	7,8±0,5	8,2±0,9	52,1±12,2	100	2,3		

Примечание. К – кедр, Е – ель, П – пихта, Б – береза.

ПП № 41 – участок, где полностью выполнена программа рубок ухода 1985 г. по удалению сопутствующих пород и снижению густоты деревьев кедра сибирского до 500 шт./га;

ПП № 42 – участок, где вырублены только второстепенные породы (ель сибирская, береза пушистая) в 1985 г.;

ПП № 43 – опытный участок, где проведены первые рубки формирования, в 2012 г. на нем прошла рубка второстепенных пород (ель сибирская *Picea obovata* Ledeb., береза пушистая *Betula pubescens* Ehrh.), появившихся после 1981 г., и сухостоя кедр сибирского;

ПП № 44 – участок, где вырублены только второстепенные породы (ель сибирская, береза пушистая) в 1985 г. и удалены нежелательные деревья кедр сибирского в 2007 г.

Вторая серия ПП ТЛОС заложена на экспериментальном объекте, где в 1987 г. проведено изреживание 30-летнего кедровника с разной интенсивностью по числу деревьев: 25 (ТЛОС 25), 50 (ТЛОС 50) и 75 (ТЛОС 75) %. На контрольной секции уход не проводился.

Объект, расположенный в Тюменской области (ПП «Уват»), находится в Уватском лесничестве. Закладка ПЛСУ кедр сибирского произведена в 1994 г. на площади 5 га из естественного молодняка. Интенсивность рубок ухода в молодняках составляла 25 %. Первый прием был проведен в 1987–1988 гг. (общая интенсивность 50 %), второй – в 1994–1995 гг. (50 %), третий – в 1998 г. (выборка около 15 м³/га березы пушистой и ели сибирской последующего происхождения). Впоследствии, с 2003 по 2006 г., проводилась ежегодная рубка как уход за ПЛСУ с выборкой 8...10 м³/га древесины березы пушистой и ели сибирской, а также сухостоя кедр сибирского.

Объект «Химуход» располагается на территории ХМАО-Югры в окрестностях д. Чембакчино. Общая площадь вторичного спелого осиново-березового насаждения, обработанная препаратом «Утал» к 1986 г. составила около 9 га. В результате химической подсушки дерева мягколиственных пород погибли почти полностью и к моменту исследования уже перегнили.

Схожие лесорастительные условия характерны для деревьев, произрастающих на среднесуглинистой подзолистой почве (ПП № 41–43). Общее

проективное покрытие напочвенного покрова – 60...80 %, доминантами которого являются кисличка (*Oxalis acetosella*), черника (*Vaccinium myrtillus*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*) и др. В аналогичных условиях заложена ПП «Химуход» (но почва легкосуглинистая).

Отличие ПП № 44 и серии ПП ТЛОС заключается в том, что они расположены на гривном возвышении, сложенном рыхлыми отложениями. Почва там супесчаная подзолистая, более влажная, что отражается в изменении доминантов напочвенного покрова, в котором появляются осочка (*Carex macroura*) и кукушкин лен (*Polytrichum commune*). Для ПП «Уват» характерно преобладание в напочвенном покрове (наряду с вышеперечисленными для ПП № 41–43 видами) хвоща лесного (*Equisetum sylvaticum*), вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii*), голокучника (*Gymnocarpium dryopteris*), чины весенней (*Lathyrus vernus*) с общим проективным покрытием 90 %, что позволяет диагностировать эту ассоциацию как разнотравный тип леса на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве. Остальные объекты относятся к мелкотравно-зеленомошному типу.

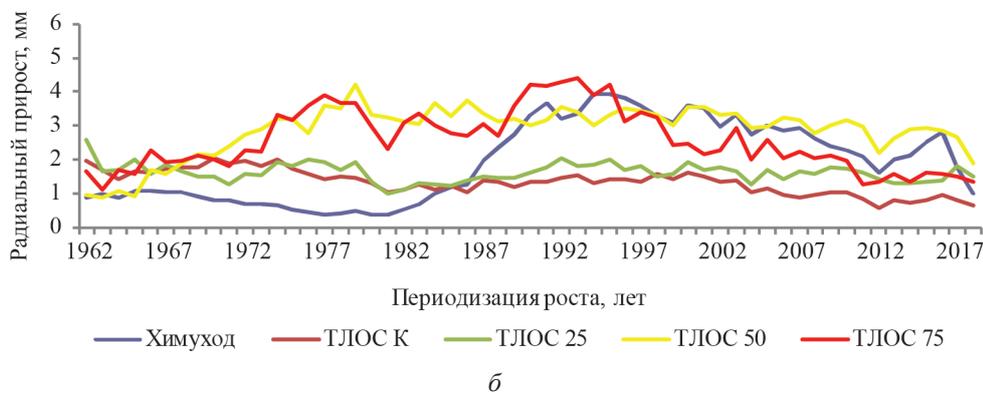
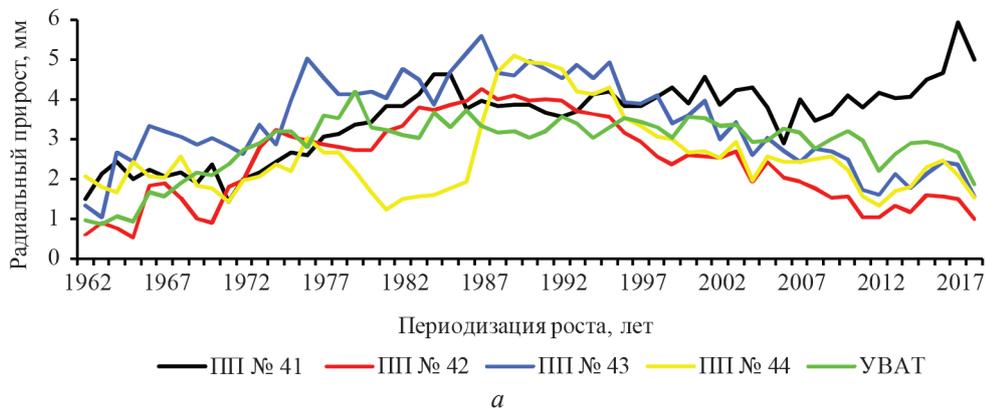
Вслед за Ю.Б. Алексеевым [1] кедросады как насаждения с преобладанием кедр сибирского, целью которых является продуцирование семенного материала (кедрового ореха), поделены нами на 2 типа: интенсивные и экстенсивные. Для экстенсивных кедросадов характерно редкое размещение с максимизацией семеношения на конкретном дереве (например, ПЛСУ и окультуренные редкостойные припоселковые кедровники). В противоположность им интенсивные кедросады имеют загущенный древостой (таежные и близкие к ним припоселковые кедровники).

ПП отграничивались в натуре по буссоли Suunto с помощью ниткомера, производился сплошной пересчет мерной вилкой Haglof. На его основании по методу пропорционально-ступенчатого представительства отбирались модельные деревья в количестве 20–30 шт. для взятия ядер приростным буром Haglof и измерения высоты с помощью электронного высотомера Nikon Forestry Pro. Для деревьев кедр сибирского с использованием крономера Кондратьева дополнительно измерялись такие морфологические параметры кроны, как протяженность и ширина.

Камеральную обработку экспериментального материала производили в программе Statistica 10, применяя стандартные описательные статистики, непараметрические критерии оценки достоверности разности для независимых (для двух – Манна–Уитни, для нескольких – Краскела–Уоллиса) и зависимых (для двух – Вилкоксона, для нескольких – Фридмана) переменных. Ширину древесных колец измеряли с помощью комплекса LINTAB-5 с пакетом компьютерных программ TSAP (точность измерений $\pm 0,01$ мм).

Результаты исследования и их обсуждения

Динамика радиального прироста древостоев кедр сибирского на экспериментальных объектах. Более выраженная реакция отмечалась у кедр сибирского на уровне древостоя на рубки формирования интенсивных кедросадов, несмотря на большую угнетенность роста кедровых молодняков под пологом производных лесов по сравнению с молодняками на вырубке после химической подсушки верхнего полога (см. рисунок).



Динамика радиального прироста кедровников, формируемых как интенсивные (*a*) и экстенсивные (*b*) кедросады

The dynamics of the radial growth of Siberian pine forests formed as intensive (*a*) and extensive (*b*) Siberian pine seed orchards

Слабой реакцией характеризуется секция ухода с выборкой 25 % деревьев. Более рельефно выглядит увеличение радиального прироста на секции с удалением 75 % сопутствующих пород и отставших в росте деревьев кедра сибирского. Однако отличие реакции на рубку на данной секции от участка с химическим уходом заключается в том, что в первое десятилетие на ней происходило более интенсивное наращивание прироста ствола, а потом его резкое снижение. На секции с 50 %-й интенсивностью ухода ввиду того, что на момент рубки ухода кедровый молодняк находился в состоянии интенсивного роста, влияние рубки заключалось в создании оптимальных условий, что привело к увеличению периода повышенного прироста ствола. Проведение санитарной рубки не оказало существенного влияния на динамику радиального прироста у кедра сибирского на контрольной секции.

На объектах формирования экстенсивных кедросадов отмечаются несколько иные результаты. На участках с более редкостойными (ПП № 41, 43, «Уват») древостоями динамика более выровненная, которая показывает, что рубки ухода обеспечили рост без значительного угнетения. Более густые древостои (ПП № 42, 44) характеризуются куполообразной формой динамики радиального прироста. Влияние рубок ухода второго и последующих приемов не оказывает такого стимулирующего воздействия на увеличение роста деревьев кедра сибирского, как первый прием.

Варьирование радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как интенсивные кедросады. На контрольной секции (ТЛОС К) кедровый древостой сформировался на 88 % из крупного подроста и на 12 % из тонкомера. Динамика роста кедра обеих групп высот характеризуется относительной выровненностью (с увеличением прироста до 1,5 раз) в период с 1988 по 2006 г. и падением (в 1,5–2 раза) в период с 2007 по 2018 г. (табл. 2). Данная закономерность является отправной точкой при анализе изменений в радиальном приросте кедра для других секций ТЛОС.

Таблица 2

Динамика радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как интенсивные кедросады

ПП	Элемент древостоя	Период, лет	Статистические показатели радиального прироста			
			M±m, мм	Lim, мм	σ, мм	CV, %
ТЛОС К	Крупный подрост	1917–1987	0,88±0,06	0,07...2,01	0,50	57,0
		1988–2006	1,45±0,05	1,02...1,77	0,22	15,2
		2007–2018	0,94±0,06	0,64...1,22	0,19	20,8
	Тонкомер	1836–1987	1,07±0,05	0,13...3,19	0,63	58,7
		1988–2006	1,06±0,09	0,47...1,80	0,37	35,5
		2007–2018	0,54±0,04	0,33...0,73	0,13	24,8
ТЛОС 25	Крупный подрост	1946–1987	1,42±0,11	0,26...2,61	0,69	48,3
		1988–2006	1,51±0,07	1,08...2,23	0,31	20,7
		2007–2018	1,67±0,08	1,24...2,06	0,28	16,6
	Тонкомер	1866–1987	0,90±0,04	0,30...3,31	0,40	44,6
		1988–2006	1,73±0,10	1,00...2,48	0,43	25,1
		2007–2018	1,37±0,06	1,08...1,83	0,21	15,6
ТЛОС 50	Крупный подрост	1965–1987	2,03±0,15	0,77...3,36	0,72	35,5
		1988–2006	2,04±0,11	1,39...2,90	0,46	22,7
		2007–2018	1,26±0,10	0,84...1,80	0,34	27,3
	Тонкомер	1925–1987	2,13±0,15	0,37...4,72	1,17	55,0
		1988–2006	2,11±0,10	1,56...3,14	0,44	20,7
		2007–2018	1,10±0,06	0,78...1,44	0,20	17,9
ТЛОС 75	Последующий подрост	1995–2006	2,13±0,44	0,53...5,15	1,52	71,3
		2007–2018	1,51±0,25	0,25...3,05	0,88	58,2
	Мелкий и средний подрост	1965–1987	1,28±0,18	0,11...3,14	0,85	66,8
		1988–2006	2,97±0,17	1,91...4,23	0,72	24,3
		2007–2018	1,91±0,14	1,22...2,75	0,49	25,5
	Крупный подрост	1962–1987	2,25±0,18	0,85...4,27	0,92	40,8
		1988–2006	2,80±0,22	1,65...4,40	0,94	33,7
		2007–2018	1,50±0,12	0,85...2,09	0,43	28,4
	Тонкомер	1960–1987	3,19±0,21	0,98...4,97	1,12	35,1
		1988–2006	3,96±0,19	2,46...5,99	0,85	21,5
2007–2018		1,75±0,13	1,29...2,67	0,45	25,8	
Химуход	Крупный подрост 1-го поколения	1951–1985	1,35±0,07	0,77...2,50	0,41	30,7
		1986–2018	4,87±0,21	1,38...6,67	1,20	24,6
	Крупный подрост 2-го поколения	1928–1985	0,63±0,03	0,19...1,14	0,24	38,9
		1986–2018	2,09±0,12	0,88...3,18	0,68	32,7

На секции с выборкой 25 % кедровый древостой сформировался на 57 % из крупного подроста и на 43 % из тонкомера. При этом крупный подрост характеризуется незначительным увеличением прироста после рубки ухода, а тонкомер – резким (в 2 раза) повышением и незначительным снижением после 2006 г. Сравнительный анализ показал, что до 1987 г. радиальный прирост у крупного подроста был достоверно выше, чем у тонкомера (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$). После рубки ухода разница нивелировалась (критерий Манна–Уитни, $p = 0,1365 > 0,05$). После 2006 г. снова лучше стал расти кедр, развивающийся из крупного подроста (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0140 < 0,05$). Кедр из тонкомера отреагировал на рубку ухода через 4 года, положительная динамика длилась 13 лет. Резкое падение прироста отмечено с 2004 г. Крупный подрост кедра сразу отреагировал на рубку ухода и сохранял этот эффект на протяжении 25 лет. Падение прироста началось с 2012 г.

На секции с выборкой 50 % кедровый древостой сформировался на 50 % из крупного подроста и на 50 % из тонкомера. Рост кедра обеих групп высот показывает схожую динамику: после рубки ухода выровненный радиальный прирост и его резкое падение после 2006 г. До рубки ухода радиальный прирост не имел достоверных отличий (критерий Манна–Уитни, $p = 0,9611 > 0,05$). В последующие периоды он также не различался (критерий Манна–Уитни, $p = 0,6197 > 0,05$ и $p = 0,9611 > 0,05$ соответственно). Реакция на рубку кедра из тонкомера отмечена сразу, повышенный прирост наблюдался на протяжении 19 лет, из них интенсивный – 15 лет. Крупный подрост кедра отреагировал на рубку ухода сразу. При этом лесоводственный эффект составил 24 года, в том числе 10 лет интенсивного роста. Резкое падение прироста отмечено с 2011 г.

На секции с выборкой 75 % кедровый древостой сформировался на 7 % из последующей генерации подроста, на 21 % – из мелкого и среднего подроста, на 43 % – из крупного подроста, на 29 % – из тонкомера. Рост кедра предварительных генераций имеет схожую динамику: после рубки ухода увеличение радиального прироста и его резкое (в 2–2,5 раза) падение после 2006 г. Причем усиление роста демонстрирует обратную зависимость с категорией высоты. Только рост кедра из последующего подроста не имеет достоверных отличий (ранговый дисперсионный анализ Фридмана, $p = 0,7630 > 0,05$), но его динамика также характеризуется снижением прироста ствола в период после 2006 г. Сравнительный анализ показал, что до 1987 г. радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0001 < 0,05$). После рубки ухода достоверно отличался только прирост у тонкомера (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0001 < 0,05$). После 2006 г. различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,2624 > 0,05$). Кедр из последующего возобновления не отреагировал на лесоводственный уход, но надо учитывать, что он появился на 8-й год после рубки. Предварительные генерации откликнулись на рубку практически сразу, и период повышенного роста составил от 18 до 23 лет, из них интенсивного – от 6 до 16 лет. Резкое падение прироста отмечено с 2011 г.

До рубки ухода прирост ствола у крупного подроста на ПП ТЛОС 25 был выше, чем в контроле (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$), но после рубки ухода разница нивелировалась (критерий Манна–Уитни, $p = 0,8040 > 0,05$). С 2007 по 2018 г. вновь отмечается более интенсивный рост подроста на ПП ТЛОС 25 (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$). Радиальный прирост

у тонкомера имел достоверные отличия после рубки ухода и в период с 2007 по 2018 г. (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$), а до рубки ухода различий не было (критерий Манна–Уитни, $p = 0,1967 > 0,05$). Таким образом, на данной секции только тонкомер кедрового полога положительно и устойчиво увеличил радиальный прирост после рубки ухода.

Сравнение роста как крупного подростка, так и тонкомера на ПП ТЛОС 50 и контроле показало, что на протяжении всех периодов существовали достоверные различия (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0387 < 0,05$ и $p = 0,0001 < 0,05$ соответственно). При этом лучшим ростом характеризуются растения на секции с уходом.

Аналогичные результаты отмечены и на участке ПП ТЛОС 75, где крупный подрост и тонкомер также показали положительную динамику по сравнению с контролем (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0015 < 0,05$ и $p = 0,0001 < 0,05$ соответственно).

На экспериментальном участке с химическим уходом кедровый элемент древостоя сформировался из крупного подростка, причем 75 % приходится на 1-е возрастное поколение (81–91 год), 25 % – на 2-е (61–69 лет). Рост кедрового полога обоих поколений характеризуется резким (в 3–3,5 раза) усилением роста после химического ухода. При этом различия в приросте между возрастными поколениями были как до ухода (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$), так и после него (критерий Манна–Уитни, $p = 0,0001 < 0,05$). Кедр более молодой генерации среагировал на химический уход сразу, и повышенный прирост сохраняется до сих пор. Старшее возрастное поколение имеет схожую динамику, но лесоводственный эффект изменяется по постепенно убывающей кривой.

Варьирование радиального прироста элементов леса кедрового полога на объектах, формируемых как экстенсивные кедровые сады. На ПП № 41 кедровый древостой на 7 % сформировался из последующей генерации подростка, на 15 % – из мелкого и среднего подростка, на 46 % – из крупного подростка, на 31% – из тонкомера. Рост кедрового полога из предварительного подростка имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечено увеличение радиального прироста в 1,5–3 раза (табл. 3).

Таблица 3

Динамика радиального прироста элементов леса кедрового полога на объектах, формируемых как экстенсивные кедровые сады

ПП	Элемент древостоя до рубки	Период, лет	Статистические показатели радиального прироста			
			$M \pm m$, мм	Lim, мм	σ , мм	CV, %
41	Последующий подрост	1986–2018	4,83±0,45	1,12...11,31	2,60	53,8
	Мелкий и средний подрост	1971–1985	1,27±0,15	0,56...2,59	0,57	45,2
		1986–2018	3,85±0,22	1,59...6,23	1,26	32,8
	Крупный подрост	1963–1985	2,44±0,26	0,65...4,99	1,27	52,1
		1986–2018	3,68±0,20	1,96...5,59	1,16	31,4
	Тонкомер	1957–1985	3,43±0,26	1,20...6,26	1,38	40,4
1986–2018		3,17±0,24	1,90...6,73	1,40	44,2	

Окончание табл. 3

ПП	Элемент древостоя до рубки	Период, лет	Статистические показатели радиального прироста			
			M±m, мм	Lim, мм	σ, мм	CV, %
42	Последующий подрост	1986–2018	2,94±0,16	1,36...4,79	0,96	32,6
	Мелкий и средний подрост	1966–1985	0,70±0,07	0,28...1,29	0,30	43,2
		1986–2018	2,01±0,11	0,77...3,31	0,65	32,6
42	Крупный подрост	1938–1985	1,21±0,21	0,08...4,91	1,43	118,4
		1986–2018	2,41±0,21	0,71...4,60	1,18	49,1
	Тонкомер	1966–1985	3,83±0,24	1,56...5,11	1,07	27,9
		1986–2018	2,97±0,30	0,80...6,73	1,74	58,7
43	Последующий подрост	1986–2012	3,67±0,21	1,57...6,36	1,19	32,4
		2013–2018	1,95±0,14	1,36...2,28	0,33	17,2
	Мелкий и средний подрост	1976–1985	1,95±0,24	1,32...2,76	0,60	30,5
		1986–2012	2,31±0,28	0,63...5,47	1,54	66,6
		2013–2018	0,61±0,05	0,55...0,88	0,13	21,4
	Крупный подрост	1960–1985	2,86±0,24	0,96...4,96	1,13	39,4
		1986–2012	4,09±0,18	1,94...5,52	0,98	23,9
		2013–2018	2,41±0,16	1,88...2,84	0,40	16,6
	Тонкомер	1959–1985	3,39±0,27	1,01...5,94	1,32	38,9
		1986–2012	3,71±0,26	1,19...6,94	1,47	39,8
2013–2018		1,91±0,19	1,16...2,44	0,46	24,2	
44	Последующий подрост	1986–2007	4,25±0,24	2,72...7,41	1,17	27,6
		2008–2018	2,38±0,30	1,34...4,17	1,00	42,1
	Мелкий и средний подрост	1968–1985	1,11±0,11	0,36...1,82	0,45	40,9
		1986–2007	2,71±0,18	0,93...3,97	0,86	31,7
		2008–2018	1,59±0,12	0,90...2,19	0,40	25,1
	Крупный подрост	1962–1985	1,97±0,09	1,18...2,89	0,44	22,5
		1986–2007	3,49±0,23	1,83...5,07	1,07	30,8
		2008–2018	2,13±0,13	1,46...2,72	0,42	19,8
	Тонкомер	1970–1985	4,01±0,33	1,97...6,36	1,34	33,3
		1986–2007	2,75±0,31	0,70...5,13	1,47	53,3
2008–2018		0,69±0,09	0,34...1,18	0,30	42,7	
Уват	Мелкий и средний подрост	1942–1987	0,47±0,07	0,07...2,58	0,51	108,4
		1988–1994	1,53±0,12	1,17...1,91	0,31	20,5
		1995–1998	2,76±0,23	2,29...3,16	0,46	16,7
		1999–2003	2,52±0,06	2,36...2,68	0,13	5,3
		2004–2018	2,42±0,16	1,64...4,03	0,62	25,7
	Крупный подрост	1945–1987	1,33±0,15	0,22...3,45	0,98	73,5
		1988–1994	2,75±0,17	2,33...3,46	0,44	16,1
		1995–1998	3,00±0,16	2,73...3,37	0,32	10,6
		1999–2003	2,99±0,10	2,67...3,19	0,21	7,2
		2004–2018	2,37±0,09	1,67...2,91	0,35	14,6
	Тонкомер	1934–1987	2,33±0,20	0,83...5,42	1,43	61,6
		1988–1994	4,26±0,08	3,99...4,55	0,20	4,7
		1995–1998	3,77±0,29	2,98...4,29	0,57	15,2
		1999–2003	3,91±0,13	3,53...4,24	0,30	7,7
2004–2018		3,39±0,13	2,10...4,25	0,54	15,9	

У кедров из тонкомера отмечено несущественное снижение прироста после рубки. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0115 < 0,05$) у тонкомера и крупного подростка по сравнению с мелким и средним подростком. В период после рубки ухода различия нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,4833 > 0,05$). Лесоводственный эффект у подростка обеих генераций сохраняется до сих пор, а у тонкомера он наблюдался на протяжении 25 лет.

На ПП № 42 кедровый древостой на 21 % сформировался из последующей генерации подростка, на 16 % – из мелкого и среднего подростка, на 47 % – из крупного подростка, на 16 % – из тонкомера. Рост кедров из предварительного подростка имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечено резкое (в 2–4,5 раза) увеличение радиального прироста. Разница в приросте до и после рубки у тонкомера недостоверна (критерий Вилкоксона, $p = 0,9702 > 0,05$), хотя отмечено незначительное его снижение после рубки. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0001 < 0,05$) у тонкомера с подростком. В период после рубки различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,3430 > 0,05$). Лесоводственный эффект у последующего и предварительного мелкого и среднего подростков сохраняется до сих пор (у крупного – 22 года, у тонкомера – 11 лет), т. е. просматривается связь с высотно-возрастной структурой кедров.

На ПП № 43 кедровый древостой на 20 % сформировался из последующей генерации подростка, на 7 % – из мелкого и среднего подростка, на 46 % – из крупного подростка, на 27 % – из тонкомера. Рост кедров из предварительного подростка и тонкомера имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечены увеличение (до 1,5 раз) радиального прироста и его резкое падение (в 2–3,5 раза) после санитарной рубки 2012 г. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0287 < 0,05$) у тонкомера с подростком. Различия в приросте сохранились у мелкого и среднего подростка по сравнению с другими категориями в период после рубки ухода (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0014 < 0,05$) и после санитарной рубки (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0007 < 0,05$). Лесоводственный эффект у последующего подростка сохранялся на протяжении 22 лет, у мелкого и среднего – 19 лет, у крупного – 23 года, у тонкомера – 14 лет, т. е. просматривается связь с высотно-возрастной структурой кедров.

На ПП № 44 кедровый древостой на 12 % сформировался из последующей генерации подростка, на 12 % – из мелкого и среднего подростка, на 69 % – из крупного подростка, на 7 % – из тонкомера. Кедр из предварительного подростка имеет схожую динамику роста: после первого приема ухода отмечено резкое (в 1,5–2,5 раза) увеличение радиального прироста, а после второго – его падение (в 1,5 раза). Тонкомер же на протяжении всего периода роста снижал прирост: после первого приема ухода – в 1,5 раза, после второго – в 6,5 раз. Подрост последующей генерации также достоверно снижал прирост после второго приема ухода в 2 раза. Сравнительный анализ показал, что до первого приема рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0013 < 0,05$) у тонкомера с подростком. В период после первого приема рубки различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,2941 < 0,05$), после второго приема различия в приросте есть только у кедров из тонкомера по сравнению со всеми другими категориями (критерий Кра-

скела–Уоллиса, $p = 0,0001 < 0,05$). Лесоводственный эффект у последующего подроста сохранялся на протяжении 26 лет, у мелкого и среднего – 14 лет, у крупного – 16 лет, у тонкомера – 12 лет, т. е. просматривается связь с высотой-возрастной структурой кедр.

На ПП «Уват» кедровый древостой на 15 % сформировался из мелкого и среднего подроста, на 38 % – из крупного подроста, на 47 % – из тонкомера. Рост кедров всех категорий имеет схожую динамику: после первого приема рубки ухода отмечено резкое увеличение (в 2–3 раза) радиального прироста. Продолжение наращивания прироста ствола после второго приема произошло только у мелкого и среднего подроста (до 5,5 раз). Крупный подрост и тонкомер стабилизировали рост и после третьего и четвертого приемов ухода постепенно уменьшили радиальный прирост. Незначительное снижение отмечено и у мелкого и среднего подроста. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0001 < 0,05$) у всех категорий крупности. После первого приема рубок различий в приросте крупного подроста и тонкомера не было, но они сохранялись у них по сравнению с мелким и средним подростом (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0012 < 0,05$). И только после второго приема ухода различия отсутствовали (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,5906 > 0,05$), т. е. мелкий и средний подрост догнал в росте крупный подрост и тонкомер. Но после третьего приема опять он стал меньше прирастать (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,0441 < 0,05$), а после четвертого приема различия в росте снова исчезли (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0,9914 > 0,05$). До рубки кедр находился в хорошем жизнеспособном состоянии и имел прирост, сопоставимый с приростом после первого приема рубки ухода. Это обусловило хороший и долгосрочный лесоводственный эффект, потому что прирост постоянен на протяжении всего периода роста после начала рубок ухода. Можно предположить, что, с одной стороны, рубки ухода были проведены своевременно, с другой – первый и второй приемы носили формирующий характер, а третий и четвертый – санитарный.

В целом эффект от рубок ухода высокой интенсивности – это уменьшение общего запаса и увеличение размеров остающихся деревьев (например, ПП № 41, 43 по сравнению с ПП № 42, 44). Аналогичные результаты получали и другие исследователи [20]. Однако эти выводы базируются на временном промежутке в 30–35 лет. По итогам 54-летнего эксперимента с разной плотностью древостоя (494, 890, 1680 шт./га) [14] можно констатировать, что различия в древесном запасе невелики. Суть ранних некоммерческих рубок ухода сводится к тому, чтобы сконцентрировать прирост на немногих устойчивых деревьях или на многих с неустойчивой динамикой роста. В большинстве случаев не получается на раннем этапе диагностировать деревья-лидеры с устойчивым ритмичным ростом, поэтому компенсационный прирост не всегда нивелирует разницу между контрольными объектами и секциями с уходом. Хотя, если брать во внимание не только стволую древесину, но и всю фитомассу, то существенных различий может и не быть даже на ранних этапах после рубок ухода. На первый взгляд, при формировании кедросадов это обстоятельство не имеет решающего значения, однако представляет первостепенную важность оставление максимального числа деревьев с устойчивым ростом, которые обеспечат раннее, постоянное и стабильное семеношение.

Безусловно, что величина и продолжительность отклика на лесоводственное воздействие зависят в большей степени от интенсивности ухода нежели от его вида [7], но наши данные, подтвердив вышеприведенную закономерность, также показали, что имеет значение и структурная организация насаждений. Долевое участие тех или иных элементов древостоя может нивелировать результат рубки ухода. Например, морфолого-таксационные показатели насаждения на момент закладки эксперимента на секции ТЛОС 50 оказались выше, чем на ТЛОС 75 (выше участие более низкорослого подроста высотой до 1,5 м и меньше тонкомера), что привело на момент обследования к практически аналогичной динамике радиального прироста и даже более высоким таксационным показателям у древостоя на секции ТЛОС 50. Также данная особенность организации сообществ сглаживает и лесоводственный эффект, который выражается не только в дополнительном световом приросте, но, что немаловажно, в продолжительности периода повышенного радиального прироста, который со временем уменьшается [18]. Систематические рубки ухода способны поддерживать выровненную динамику роста (например, на ПП «Уват»).

Время начала реакции на рубки ухода различно: как правило, более молодые деревья начинают увеличивать радиальный рост раньше, практически сразу после рубки, а более возрастным особям требуется некоторый промежуток времени. На скорость реагирования влияет и множество других факторов, но механизм влияния одинаков для всех деревьев. Например, исследованиями зарубежных авторов [21] установлено, что рост биомассы корней черной ели *Picea mariana* Mill. улучшился в первые 4 года после рубки ухода, в то время как реакция роста стволов была отложена и продолжалась еще 10 лет. Ситуация с ассимилирующими органами аналогична. Результаты исследований ученых из Китая [22] показали, что в первые 3 года достоверно увеличивается крона, а на 3–5-й год – диаметр ствола.

В связи с этим интересный вывод был сделан в работе коллектива авторов из США [4], которые установили, что время проведения рубок ухода необходимо корректировать по возрасту насаждения и другим признакам, отвечающим за эффективность использования лучистой энергии. Теоретически, более молодые деревья и древостои, как правило, имеют больший потенциал ассимилировать биомассу после освобождения от конкуренции [13], что наблюдается и на ПП «Химуход». Однако реализация этой закономерности справедлива в случае, когда возрастные поколения обладают сопоставимыми биометрическими размерами. С биологической точки зрения доминантные деревья с большими кронами демонстрируют минимальную (относительную) реакцию на изреживание, что помогает им поддерживать быстрый темп роста, в то время как менее развитые (угнетенные) деревья показывают относительно больший отклик [12], в абсолютном выражении доминирующие деревья увеличивают свой диаметр в большей степени, чем угнетенные [10]. Хотя из этой закономерности есть обоюдные исключения. Например, при низкоинтенсивных рубках в сильно перегушенных древостоях (ПП ТЛОС) именно старовозрастной тонкомер более всего отреагировал на изреживание, а при высокоинтенсивных рубках (серия ПП ПЛСУ) – мелкий и средний подрост догнал в росте крупный подрост и тонкомер. Данная новая закономерность расширяет возможности регулирования структуры кедросадов лесоводственными методами.

Приведенные примеры показывают, как при улучшении фитоценологических условий за счет увеличения доступности ресурсов может происходить усиление асимметричной конкуренции [19], когда более крупные особи получают непропорционально большую долю ресурсов и подавляют рост менее развитых особей [3, 15]. Данный биологический процесс начинается по мере того, как древесный полог постепенно смыкается, конкуренция увеличивается и деревья-лидеры подавляют рост менее развитых путем перехвата ресурсов питания. Чем выше густота древостоя и плодородие почвы, тем скорее начинается этот процесс [5] и тем выше становится неравенство в древостое. С течением времени асимметричная конкуренция может приводить к снижению роста всего древостоя [16], как произошло на серии ПП ТЛОС.

Еще одно интересное наблюдение заключается в том, что проведение рубки ухода в момент, когда молодняк характеризуется активным ростом, может усиливать эффект от рубки ухода и, в случае с кедром сибирским, приводить к более раннему вступлению в семеношение. В данном случае изреживание уменьшает конкуренцию между остающимися деревьями и тем самым поддерживает или увеличивает темпы роста, либо предотвращает их снижение, которое могло произойти без лесоводственного вмешательства [9].

В результате анализа строения кедровников по элементам леса обращает на себя внимание присутствие на ряде ПП (ТЛОС 75, серия ПП ПЛСУ) значимой доли кедра сибирского, возникшего из последующего возобновления. Общим для этих объектов являются высокоинтенсивные рубки ухода. Как правило, при проведении рубок ухода, особенно при формировании кедросадов, стремятся равномерно оставлять деревья-лидеры, и наши экспериментальные объекты не исключение. Тем самым исходная пространственная структура из ярко выраженной групповой трансформировалась в более регулярную. Отмеченное появление новых генераций кедра сибирского показывает, что кедросады имеют потенциал для буферизации последствий рубок ухода на пространственном уровне. Ранее аналогичная закономерность была показана для лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. в Монголии [6].

Заключение

Обобщение опыта по направленному формированию кедровников в зоне оптимума произрастания на Западно-Сибирской равнине (Тюменская область и ХМАО-Югра) показало, что при различных режимах рубок ухода можно создавать кедросады разных типов в зависимости от целевого назначения и материально-технического обеспечения. Установлено, что экстенсивные кедросады (типа ПЛСУ) формируются как при интенсивных, так и при систематических рубках ухода. В этом случае средний радиальный прирост колеблется в пределах от 3 до 5 мм/год, что обеспечивает не только ритмичный поступательный рост, но и развитие, поскольку по истечении 30–35 лет практически все деревья уже вступили в генеративную фазу и активно семеносят. Однократные, особенно рубки с малой (менее 50 %) выборкой, приводят к формированию интенсивных кедросадов (типа таежных кедровников) со средним приростом ствола от 2 до 3 мм/год. Перегущенность древостоя не только снижает радиальный прирост у кедра сибирского, но и замедляет скорость протекания онтогенетических

стадий и фаз. В результате в этих кедросадах присутствуют деревья, которые еще ни разу не давали урожая шишек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев Ю.Б., Мишуков Н.П., Седых В.Н. Размещение деревьев в семенных участках кедр сибирского // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1978. Вып. 5. С. 59–67. [Alekseyev Yu.B., Mishukov N.P., Sedykh V.N. Placing Trees in Seed Orchards of Siberian Pine. *Genetics, Breeding, Seed Production and Introduction of Forest Species*. Voronezh, TsNILGiS Publ., 1975, vol. 5, pp. 59–67].
2. Воробьев В.Н. Рост и начало генеративной фазы кедр сибирского // Интродукция древесных растений и вопросы семеноводства древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов. Новосибирск, 1981. С. 179–181. [Vorob'yev V.N. Growth and the Beginning of Generative Phase of Siberian Pine. *Introduction of Forest Plants and Issues of Seed Production of Tree Species as a Basis for the Creation of Highly Productive Forests*. Novosibirsk, 1981, pp. 179–181].
3. Binkley D., Stape J.L., Bauerle W.L., Ryan M.G. Explaining Growth of Individual Trees: Light Interception and Efficiency of Light Use by *Eucalyptus* at Four Sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, pp. 1704–1713. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.05.037](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.037)
4. Bose A.K., Weiskittel A., Kuehne C., Wagner R.G., Turnblom E., Burkhart H.E. Does Commercial Thinning Improve Stand-Level Growth of the Three Most Commercially Important Softwood Forest Types in North America? *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 409, pp. 683–693. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.12.008](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.008)
5. Caplat P., Anand M., Bauch C. Symmetric Competition Causes Population Oscillations in an Individual-Based Model of Forest Dynamics. *Ecological Modelling*, 2008, vol. 211, iss. 3-4, pp. 491–500. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2007.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.002)
6. Gradel A., Ammer C., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Wagner S. On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 4, art. 105. DOI: [10.3390/f8040105](https://doi.org/10.3390/f8040105)
7. Kuehne C., Weiskittel A.R., Wagner R.G., Roth B.E. Development and Evaluation of Individual Tree- and Stand-Level Approaches for Predicting Spruce-Fir Response to Commercial Thinning in Maine, USA. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 376, pp. 84–95. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.06.013](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.013)
8. Novák J., Dušek D., Slodičák M., Kacálek D. Importance of the First Thinning in Young Mixed Norway Spruce and European Beech Stand. *Journal of Forest Science*, 2017, vol. 63, no. 6, pp. 254–262. DOI: [10.17221/5/2017-JFS](https://doi.org/10.17221/5/2017-JFS)
9. Omari K., MacLean D.A., Lavigne M.B., Kershaw J.A., Adams G.W. Effect of Local Stand Structure on Leaf Area, Growth, and Growth Efficiency Following Thinning of White Spruce. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 368, pp. 55–62. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.03.005](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.005)
10. Peltola H., Miina J., Rouvinen I., Kellomäki S. Effect of Early Thinning on the Diameter Growth Distribution along the Stem of Scots Pine. *Silva Fennica*, 2002, vol. 36, no. 4, art. 523, pp. 813–825. DOI: [10.14214/sf.523](https://doi.org/10.14214/sf.523)
11. Puettmann K.J., Wilson S.M., Baker S.C., Donoso P.J., Drössler L., Amente G., Harvey B.D., Knoke T., Lu Y., Nocentini S., Putz F.E., Yoshida T., Bauhus J. Silvicultural Alternatives to Conventional Even-Aged Forest Management – What Limits Global Adoption? *Forest Ecosystems*, 2015, vol. 2, art. 8. DOI: [10.1186/s40663-015-0031-x](https://doi.org/10.1186/s40663-015-0031-x)
12. Pukkala T., Miina J., Kellomäki S. Response to Different Thinning Intensities in Young *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1998, vol. 13, iss. 1-4, pp. 141–150. DOI: [10.1080/02827589809382970](https://doi.org/10.1080/02827589809382970)

13. Ryan M.G., Binkley D., Fownes J.H. Age-Related Decline in Forest Productivity: Pattern and Process. *Advances in Ecological Research*. Ed. by M. Begon, A.H. Fitter. San Diego, Academic Press, 1997, vol. 27, pp. 213–262. DOI: [10.1016/S0065-2504\(08\)60009-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60009-4)
14. Schaedel M.S., Larson A.J., Affleck D.L.R., Belote R.T., Goodburn J.M., Wright D.K., Sutherland E.K. Long-Term Precommercial Thinning Effects on *Larix occidentalis* (Western Larch) Tree and Stand Characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47, no. 7, pp. 861–874. DOI: [10.1139/cjfr-2017-0074](https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0074)
15. Schwinning S., Weiner J. Mechanisms Determining the Degree of Size Asymmetry in Competition among Plants. *Oecologia*, 1998, vol. 113, iss. 4, pp. 447–455. DOI: [10.1007/s004420050397](https://doi.org/10.1007/s004420050397)
16. Soares A.A.V., Leite H.G., Souza A.L., Silva S.R., Lourenço H.M., Forrester D.I. Increasing Stand Structural Heterogeneity Reduces Productivity in Brazilian *Eucalyptus* Monoclonal Stands. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 373, pp. 26–32. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.04.035](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.035)
17. Štefančík I. Development of Target (Crop) Trees in Beech (*Fagus sylvatica* L.) Stand with Delayed Initial Tending and Managed by Different Thinning Methods. *Journal of Forest Science*, 2013, vol. 59, no. 6, pp. 253–259. DOI: [10.17221/9/2013-JFS](https://doi.org/10.17221/9/2013-JFS)
18. Tasissa G., Burkhart H.E. Modeling Thinning Effects on Ring Width Distribution in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, vol. 27, no. 8, pp. 1291–1301. DOI: [10.1139/x97-092](https://doi.org/10.1139/x97-092)
19. Thomas S.C., Halpern C.B., Falk D.A., Liguori D.A., Austin K.A. Plant Diversity in Managed Forests: Understory Responses to Thinning and Fertilization. *Ecological Applications*, 1999, vol. 9, iss. 3, pp. 864–879. DOI: [10.1890/1051-0761\(1999\)009\[0864:PDIMFU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[0864:PDIMFU]2.0.CO;2)
20. Valinger E., Sjögren H., Nord G., Cedergren J. Effects on Stem Growth of Scots Pine 33 Years after Thinning and/or Fertilization in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2018, vol. 34, iss. 1, pp. 33–38. DOI: [10.1080/02827581.2018.1545920](https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1545920)
21. Vincent M., Krause C., Zhang S.Y. Radial Growth Response of Black Spruce Roots and Stems to Commercial Thinning in the Boreal Forest. *Forestry*, 2009, vol. 82, iss. 5, pp. 557–571. DOI: [10.1093/forestry/cpp025](https://doi.org/10.1093/forestry/cpp025)
22. Zeng J., Lei Y.-C., Jia H.-Y., Cai D.-X., Tang J.-X. Dynamic Growth Response of *Pinus massoniana* Plantation on Intensive Thinning in Southwestern Guangxi, China. *Forest Research*, 2017, vol. 30, iss. 2, pp. 335–341. DOI: [10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.02.021](https://doi.org/10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.02.021)

DYNAMICS OF THE RADIAL GROWTH OF SIBERIAN PINE *Pinus sibirica* Du Tour UNDER DIFFERENT THINNING MODES

N.M. Debkov^{1,2}, Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [H-1146-2019](https://orcid.org/0000-0003-3791-0369),
ORCID: [0000-0003-3791-0369](https://orcid.org/0000-0003-3791-0369)

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, prosp. Akademicheskiiy, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

²All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Instituts-kaya, 15, Pushkino, Moscow Region, 141202, Russian Federation

Creation and formation of Siberian pine forests for various purposes, and especially Siberian pine seed orchards, is an urgent issue of Russian forestry. The article deals with the dynamics of the radial growth of Siberian pine *Pinus sibirica* Du Tour trees after thinning with different modes (method, number of methods, etc.). The analysis was performed both at the stand, and tree levels. The studies were carried out at the experimental plots located in the Khanty-Mansiysk autonomous district and Tyumen region in the middle taiga subzone. As a result

of the research it has been established that the response of Siberian pine to thinning depends on intensity, number of methods and timing, as well as on age and morphological structure of Siberian pine on clearings and under the canopy of secondary forests. It was found that extensive (low density) Siberian pine seed orchards are formed both under intensive and systematic thinning. In this case, the average radial growth ranges from 3 to 5 mm/yr, which provides not only a rhythmic progressive growth, but also physiological development. Thereby, after 30–35 years substantially all trees have already entered the generative phase and actively seeding. Single thinning, especially with small selection (less than 50 %) leads to the formation of intensive (high density) seed orchards with an average growth of trunk from 2 to 3 mm/yr. Overdense, aside from reduction of Siberian pine radial growth, slows down the rate of ontogenetic stages and phases. As a result, in these seed orchards there are trees that have never given cones.

For citation: Dynamics of the Radial Growth of Siberian Pine *Pinus sibirica* Du Tour under Different Thinning Modes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 9–24. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

Keywords: Siberian pine *Pinus sibirica* Du Tour, thinning, structure of stands, radial growth of trunk, Western Siberia.

Поступила 15.01.19 / Received on January 15, 2019
