

УДК 630\*238 (470.343)

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.36

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕВОСТОЯ НА ПЛАНТАЦИИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В КРАТКОПОЙМЕННОМ ЭКОТОПЕ

Ю. П. Демаков<sup>1,2</sup>, В. Г. Краснов<sup>2</sup>, А. В. Исаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»,  
Российская Федерация, 424038, Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26

<sup>2</sup> Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: DemakovYP@volgatech.net; KrasnovVG@volgatech.net

Приведены цифровые материалы и математические модели, характеризующие закономерности строения и развития древостоя на плантации лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Led.), созданной в 1959 году в пойме реки Малая Кокшага (Республика Марий Эл) на аллювиально-луговой легкоглинистой почве, богатой гумусом и обменными основаниями. Показано, что площадь сечения стволов всех деревьев 1 и 2 классов роста по Крафту увеличилась на 5,73 и 8,91 м<sup>2</sup>/га, а деревьев 4–5 классов снизилась за счёт их отпада на 2,28 и 1,30 м<sup>2</sup>/га. Деревья 4 класса практически не реагировали на изменение условий среды и приросли за 25 лет наблюдений в среднем всего на 1,3 см. Сделан вывод о том, что создавать плантации лиственницы сибирской в краткопойменных экотопах на не покрытых лесом землях Республики Марий Эл целесообразно, так как они обладают высокой производительностью и значительно превосходят по тактовой стоимости древесины аналогичные культуры в других лесорастительных условиях. Для увеличения доли крупной древесины на плантациях необходимо своевременно проводить рубки ухода с удалением всех деревьев 4–5 классов роста или же снижать исходную густоту культур, создавая их по схеме 4 × 4 м.

**Ключевые слова:** пойменные экотопы; лиственница сибирская; лесные плантации; древостой; структура; производительность; развитие.

**Введение.** Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью повышения эколого-ресурсного потенциала территорий за счёт создания лесных плантаций на не покрытых лесом землях, которых довольно много в долинах малых рек Республики Марий Эл. Одной из перспективных пород для этой цели может являться, по мнению исследователей [1], лиственница сибирская (*Larix sibirica* Led.), продуктивность культур которой обычно значительно выше (600–800, а иногда даже 2 тыс. м<sup>3</sup>/га), чем естественных древостоев аборигенных пород [2–13]. На террито-

рии Марий Эл в настоящее время зафиксировано наличие 1219 участков культур с участием лиственницы сибирской на площади 3573 га [14], что составляет всего 0,3 % лесного фонда республики. Каждый из сохранившихся участков, размер которых варьирует от 0,1 до 47,1 га, является по структуре и технологиям создания во многом уникальным, имеет большую научную ценность и требует детального изучения для обоснования мероприятий по сохранению и рациональному использованию ресурсного потенциала этой ценной древесной породы.

© Демаков Ю. П., Краснов В. Г., Исаев А. В., 2017.

**Для цитирования:** Демаков Ю. П., Краснов В. Г., Исаев А. В. Закономерности строения и развития древостоя на плантации лиственницы сибирской в краткопойменном экотопе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 36–49. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.36

**Цель** работы заключается в выявлении закономерностей развития древостоя и процесса дифференциации деревьев при равномерном их размещении на плантации лиственницы сибирской, созданной в краткочайном экотопе, существенно отличающемся от естественных условий её обитания.

**Объект и методика исследования.** Объектом исследования являлись чистые культуры плантационного типа лиственницы сибирской, созданные в 1959 году посадкой по схеме  $2 \times 2$  м на лугу в краткочайном экотопе лесопарка «Дубовая роща», расположенного в зеленой зоне г. Йошкар-Олы. Рельеф в пределах всего участка, размер которого составляет 1,2 га, ровный, почва аллювиально-луговая легкоглинистая (содержание физической глины варьирует по горизонтам от 52 до 57 %, илестых частиц – от 25 до 41 %) на карбонатном глинистом аллювии, слабокислая, богатая гумусом и обменными основаниями (табл. 1). Весной участок часто затапливается на непродолжительное время (5–7 дней) водами р. Малая Кокшага, а летом уровень грунтовых вод опускается до 1,5 м. Подрост на участке, состоящий из липы сердцевидной и вяза гладкого, в момент закладки пробной площади в 1990 году был редким и слабо развитым. В настоящее время он обильен (5–6 тыс. экз./га) и достигает высоты 4 м. Подлесок густой и представлен

в основном черёмухой птичьей, рябиной обыкновенной, малиной лесной, жимолостью обыкновенной и смородиной колосистой высотой от 0,8 до 2,5 м. Травяной покров хорошо развит и состоит из 29 видов растений, наиболее обильны из которых крапива двудомная, гравилат речной, будра плющевидная и пырейник собачий. Моховой покров представлен *Mnium cuspidatum*, который развивается на опавших мёртвых ветвях деревьев.

В 1990 году в центре данного участка была заложена постоянная пробная площадь размером  $21,5 \times 49$  м, включающая 10 рядов культур, пронумерованы деревья и проведён замер их параметров. Для изучения хода роста деревьев в высоту было детально проанализировано шесть средних по размерам экземпляров с разделкой стволов на двухметровые отрезки. Для анализа динамики радиального прироста были взяты керны у 25 деревьев разных классов рангового положения в древостое. В дальнейшем на пробной площади ежегодно проводили оценку состояния древостоя, а в 1998, 2003, 2009 и 2016 годах – замеры их параметров. Для вычисления объёма и фитомассы ствола деревьев использовали полученные нами ранее математические модели [15]. Обработку собранного цифрового материала проводили стандартными методами математической статистики, используя соответствующие прикладные программы.

Таблица 1

**Физико-химические свойства почвы на объекте исследования**

Горизонт, глубина	рН		Гумус, %	Содержание				Степень насыщенности основаниями, %
	H <sub>2</sub> O	KCl		мг/100 г		мг/экв. на 100 г		
				K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca + Mg	ГК*	
A <sub>1</sub> (1-22 см)	6,00	4,52	5,60	3,00	5,70	26,40	8,14	76,4
A <sub>2</sub> (22-37 см)	6,20	4,41	1,29	2,50	5,30	26,00	7,26	78,2
B (37-68 см)	7,45	6,50	0,64	2,75	5,70	34,40	1,14	96,8
BC (68-120 см)	8,02	6,90	0,23	2,75	11,43	30,20	0,70	97,7

**Примечание:** ГК\* – гидролитическая кислотность.

**Результаты.** Исследования показали, что деревья лиственницы в ценопопуляции, несмотря на их равномерное размещение в пространстве экотопа, сильно различаются между собой по размерам. Так, размах диаметра их ствола в возрасте 32 года составил 21,9 см, а среднеквадратическое (стандартное) отклонение 4,38 см (табл. 2). В 2016 году, когда культурам исполнилось 57 лет, значения этих параметров увеличились, составив соответственно 27,5 и 5,17 см. Значение коэффициента вариации диаметра ствола деревьев наиболее высоким за период наблюдения было в возрасте

культур 32 года, а самым низким – в возрасте 40 лет. По мере развития древостоя изменялись также значения коэффициентов асимметрии и эксцесса рядов их распределения: величина первого из этих параметров в целом увеличивалась, а второго вначале также возрастала, а после 45 лет вновь снижалась. Распределение числа деревьев по величине диаметра их ствола из одномодального постепенно превращалось в бимодальное (рис. 1), причиной чего являлась неоднородность ценопопуляции лиственницы по скорости роста и конкурентоспособности разных особей.

Таблица 2

**Динамика статистических показателей диаметра ствола деревьев лиственницы на плантации**

Год учета	Значения статистических показателей*								
	N	$M_x$	min	max	$S_x$	$m_x$	V	A	E
1990	249	13,5	3,2	25,1	4,38	0,28	32,4	-0,226	-0,708
1998	186	16,4	6,9	26,7	3,75	0,27	22,9	-0,123	-0,313
2003	183	17,8	7,2	30,6	4,35	0,32	24,4	-0,141	-0,348
2009	178	19,0	7,2	32,8	4,78	0,36	25,2	-0,064	-0,460
2016	171	19,8	7,4	34,9	5,17	0,39	26,2	-0,036	-0,474

\*Примечание: N – число деревьев в выборке, шт.;  $M_x$  – среднее арифметическое значение диаметра ствола, см; min, max – минимальное и максимальное значения, см;  $S_x$  – среднеквадратическое (стандартное) значение параметра, см;  $m_x$  – ошибка среднего арифметического, см; V – коэффициент вариации, %; A – коэффициент асимметрии; E – коэффициент эксцесса.

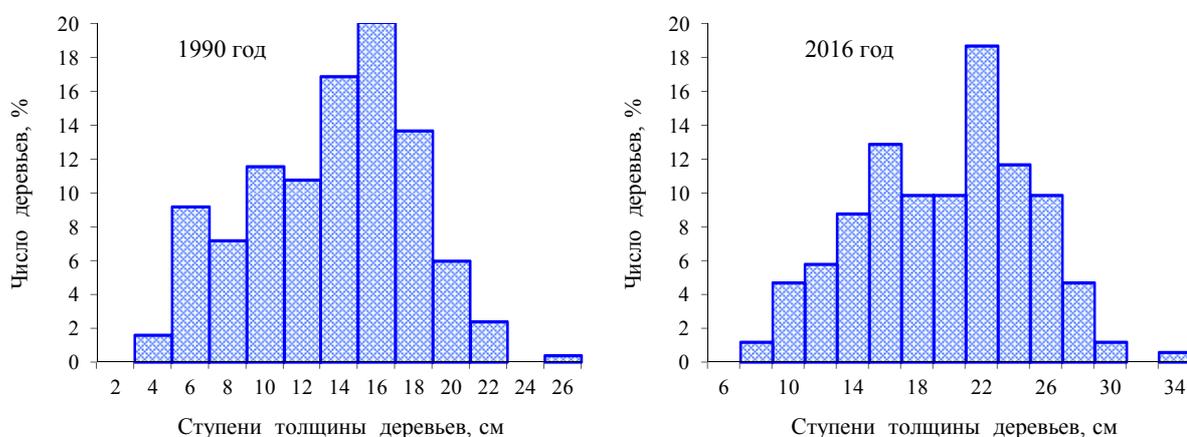


Рис. 1. Характер распределения числа деревьев лиственницы по их диаметру в 1990 и 2016 годах

Диаметр ствола деревьев является одним из наиболее простых показателей, позволяющих в определённой мере прогнозировать их дальнейшую судьбу [16]. Так, за 25 лет наблюдений практически полностью выпали деревья самых низших ступеней толщины, а среди деревьев диаметром 10–12 см выпала половина особей (табл. 3). Отпад же среди деревьев более высоких ступеней толщины единичен и является по своей природе патологическим, обусловленным возникновением корневой гнили, вызванной трутовиком Швейница *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.,

широко распространённым в хвойных лесах Марий Эл, особенно в чистых культурах лиственницы [17]. Наибольший абсолютный прирост площади поперечного сечения стволов дали деревья ступени толщины 16 см, а относительный – 26 см. Вместе с тем, как показали исследования, диаметр ствола деревьев не является вполне надёжным показателем их конкурентоспособности и жизнестойкости, поскольку теснота связи между его исходным значением и величиной прироста за 25 лет наблюдений недостаточно высокая (рис. 2).

Таблица 3

Отпад и прирост деревьев разных ступеней толщины за 25 лет наблюдений

Исходный диаметр, см	Число деревьев, шт.		Отпад, %	Площадь сечения всех стволов, дм <sup>2</sup>		Прирост сечения всех стволов	
	в 1990 г.	в 2016 г.		в 1990 г.	в 2016 г.	дм <sup>2</sup>	%
4	4	0	100,0	0,5	0,0	-0,5	-100,0
6	23	2	91,3	7,1	0,4	-6,7	-94,0
8	18	1	94,4	9,0	0,6	-8,4	-93,4
10	29	12	58,6	22,3	11,5	-10,8	-48,4
12	27	13	51,9	30,3	18,9	-11,4	-37,5
14	42	40	4,8	65,5	89,5	24,1	36,8
16	50	49	2,0	100,9	170,8	69,9	69,2
18	34	33	2,9	87,0	146,6	59,6	68,6
20	15	15	0,0	45,3	79,3	34,0	75,0
22	6	5	16,7	22,2	33,4	11,2	50,5
24	0	0	-	0,0	0,0	-	-
26	1	1	0,0	4,9	9,5	4,6	92,8
<b>Итого</b>	<b>249</b>	<b>171</b>	<b>30,9</b>	<b>395,0</b>	<b>560,6</b>	<b>165,6</b>	<b>41,9</b>

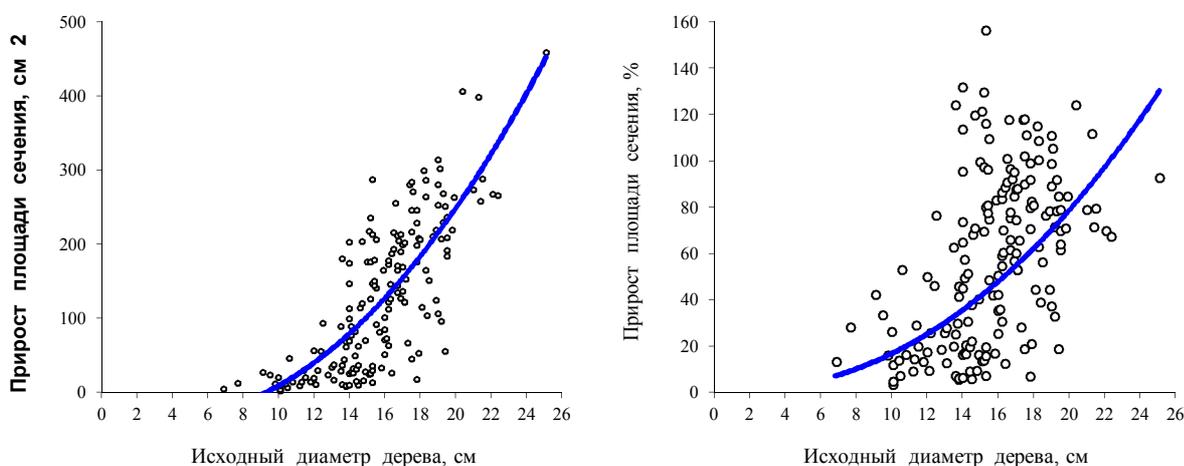


Рис. 2. Связь между исходным диаметром деревьев и величиной их прироста за 25 лет наблюдений

Таблица 4

**Параметры распределения в 1990 году числа деревьев по диаметру в разных классах Крафта**

Класс Крафта	Значения статистических показателей*								
	N	M <sub>x</sub>	min	max	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V	A	E
1	23	19,9	17,5	25,1	1,84	0,38	9,3	1,061	1,447
2	58	17,2	14,0	21,4	1,51	0,20	8,8	0,081	0,025
3	75	14,6	11,2	19,4	1,49	0,17	10,2	0,271	0,725
4	54	10,3	6,5	14,1	1,57	0,21	15,2	-0,059	0,216
5	39	6,6	3,2	9,8	1,41	0,23	21,2	-0,011	0,289
<b>В целом</b>	<b>249</b>	<b>13,5</b>	<b>3,2</b>	<b>25,1</b>	<b>4,38</b>	<b>0,28</b>	<b>32,4</b>	<b>-0,226</b>	<b>-0,708</b>

\*Примечание: обозначения статистических показателей те же, что в табл. 2.

Степень дифференциации деревьев в ценопопуляции по размерам достаточно хорошо отражает характер распределения их по классам роста Г. Крафта, каждому из которых соответствуют сугубо специфические значения статистических показателей (табл. 4). Так, средний диаметр ствола деревьев 1 класса составляет 147,4 % среднего диаметра древостоя в целом, а деревьев 5 класса – только 48,9 %. Наибольший размах значений диаметра деревьев отмечен среди деревьев 3 класса. Величина же стандартного отклонения этого таксационного параметра уменьшается от первого класса к пятому, а коэффициента вариации, наоборот, от пятого к первому. Изменение значений коэффициентов асимметрии и эксцесса не связано напрямую с классами роста деревьев. Так, группа сверхгосподствующих деревьев 1 класса характеризуется наиболее высокими коэффициентами асимметрии и эксцесса, значения последнего из

которых особенно мало в группе деревьев 2 класса, а первого – 4-5 классов.

Исследования показали, что класс роста деревьев является надёжным и простым показателем, позволяющим прогнозировать их дальнейшую судьбу. Так, за 25 лет наблюдений практически полностью элиминировали деревья 5 класса, а отпад среди деревьев 1–3 классов, обусловленный в основном поражением их корней трутовиком Швейница, был единичен (табл. 5). По относительной величине прироста площади поперечного сечения стволов лидируют деревья 1 класса, однако по абсолютной величине прироста из-за невысокой их доли в насаждении, составившей в 2016 году 13,5 %, они значительно уступают деревьям 2 класса и лишь немногим превосходят деревья 3 класса. Площадь же поперечного сечения стволов у деревьев 4–5 классов снизилась за счёт их отпада на 2,28 и 1,30 м<sup>2</sup>/га.

Таблица 5

**Отпад и прирост деревьев разных классов роста за истекшие 25 лет**

Класс Крафта	Число деревьев, шт.		Отпад, %	Средний диаметр ствола, см		Площадь сечения стволов, м <sup>2</sup> /га		Прирост сечения стволов	
	в 1990 г.	в 2016 г.		в 1990 г.	в 2016 г.	в 1990 г.	в 2016 г.	м <sup>2</sup> /га	
								м <sup>2</sup> /га	%
1	23	23	0,0	19,9	27,0	6,81	12,54	5,73	84,1
2	58	56	3,5	17,3	22,9	12,94	21,85	8,91	68,9
3	75	71	5,3	14,6	17,8	11,98	16,67	4,69	39,1
4	54	20	63,0	10,5	11,8	4,40	2,12	-2,28	-51,8
5	39	1	97,4	6,8	7,4	1,34	0,04	-1,30	-97,0
<b>В целом</b>	<b>249</b>	<b>171</b>	<b>31,3</b>	<b>14,2</b>	<b>20,4</b>	<b>37,47</b>	<b>53,22</b>	<b>15,75</b>	<b>42,0</b>

Прирост ствола, как было установлено, варьировал в очень больших пределах, достигая у наиболее развитых деревьев 10,2 см по диаметру и 459,4 см<sup>2</sup> по площади сечения (табл. 6). Не оставался он постоянным и у деревьев одного класса роста, наиболее значительно изменяясь у особей 3 класса, что свидетельствует о нестабильности их рангового положения в древостое. Оставшиеся живые деревья 4 и 5 классов приросли за 25 лет наблюдений в среднем всего на 1,3 и 0,6 см, а их диаметр составил соответственно 112 и 109 % от исходного. Радиальный годичный при-

рост у наиболее развитых деревьев уже в первые годы их жизни был значительно выше, чем у особей низших классов (рис. 3). Они, кроме того, сильнее реагировали на изменение параметров среды, увеличивая прирост в благоприятные по погодным условиям годы. Отставшие же в росте деревья 4 класса практически не реагировали на изменение условий среды и не образовывали годичных колец в течение многих лет (до 15–25), продолжая при этом жить за счёт образования хвои на новых побегах, появляющихся почти по всей длине их ствола.

Таблица 6

## Статистические показатели прироста деревьев разных классов Крафта за 25 лет наблюдений

Класс Крафта	Значения статистических показателей*								
	N	M <sub>x</sub>	min	max	S <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>	V	A	E
По диаметру ствола, см									
1	23	7,05	3,31	10,2	1,52	0,32	21,5	0,133	1,209
2	56	5,63	1,29	9,21	1,84	0,25	32,8	-0,481	-0,172
3	71	2,87	0,00	7,91	2,07	0,25	72,1	0,736	-0,348
4	20	0,95	0,00	2,51	0,59	0,13	62,6	0,787	1,228
<b>В целом</b>	<b>171</b>	<b>4,19</b>	<b>0,00</b>	<b>10,2</b>	<b>2,91</b>	<b>0,22</b>	<b>69,4</b>	<b>0,973</b>	<b>3,500</b>
По диаметру ствола, %									
1	23	35,6	18,0	49,8	7,3	1,5	20,5	0,033	0,643
2	56	33,1	8,2	60,2	11,2	1,5	33,8	-0,326	0,005
3	71	19,4	0,0	51,6	13,6	1,6	70,0	0,688	-0,409
4	20	8,9	0,0	23,7	5,9	1,3	65,8	0,911	0,930
<b>В целом</b>	<b>171</b>	<b>24,7</b>	<b>0,0</b>	<b>60,2</b>	<b>14,4</b>	<b>1,1</b>	<b>58,3</b>	<b>0,070</b>	<b>-1,087</b>
По площади сечения ствола, кв. см									
1	23	262,4	104,2	459,4	76,5	16,0	29,2	0,880	1,761
2	56	179,2	33,4	314,6	66,9	8,9	37,3	-0,132	-0,309
3	71	77,2	0,0	255,4	62,5	7,4	80,9	0,983	0,244
4	20	17,1	0,0	46,8	11,3	2,5	66,1	0,826	1,007
<b>В целом</b>	<b>171</b>	<b>127,4</b>	<b>0,0</b>	<b>459,4</b>	<b>98,8</b>	<b>7,5</b>	<b>77,5</b>	<b>0,589</b>	<b>-0,265</b>
По площади сечения ствола, %									
1	23	84,4	39,2	124,4	19,8	4,14	23,5	0,220	0,457
2	56	78,3	17,0	156,6	29,4	3,92	37,5	-0,089	0,065
3	71	44,3	0,0	129,9	33,6	3,99	75,9	0,870	-0,043
4	20	19,0	0,0	53,1	13,1	2,93	69,0	1,055	1,262
<b>В целом</b>	<b>171</b>	<b>57,5</b>	<b>0,0</b>	<b>156,6</b>	<b>36,3</b>	<b>2,76</b>	<b>63,1</b>	<b>0,234</b>	<b>-0,948</b>

\*Примечание: обозначения статистических показателей те же, что в табл. 2.

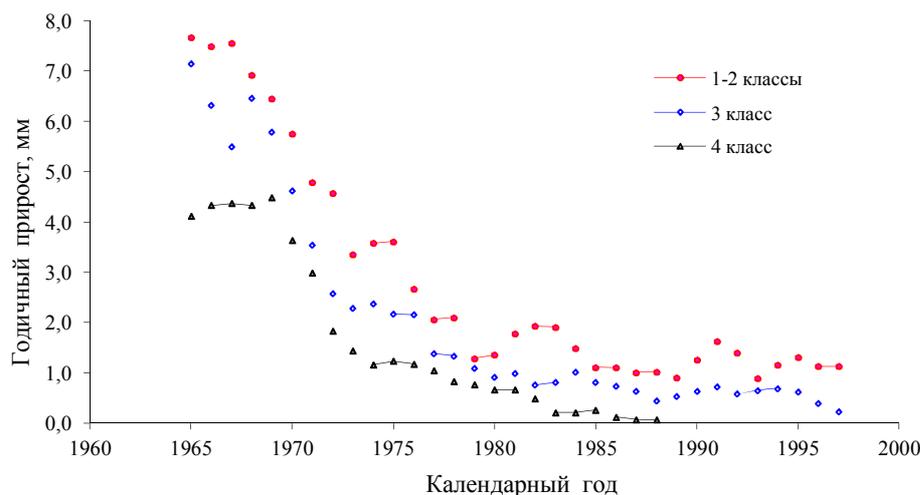


Рис. 3. Динамика радиального годового прироста деревьев лиственницы разных классов Крафта в короткопийменном экотопе

Одним из наиболее информативных показателей, характеризующих успешность роста деревьев в тех или иных лесорастительных условиях, является их высота. Для описания динамики значения этого параметра древостоя лучше всего подходит, как показали расчёты, функция Митччерлиха:

$$H = 23,3 \cdot [1 - \exp(-67,69 \cdot 10^{-3} \cdot A)]^{2,398};$$

$$R^2 = 0,991; p < 0,001;$$

в которой  $H$  – средняя высота древостоя, м;  $A$  – возраст древостоя, лет.

Культуры лиственницы, созданные в короткопийменном экотопе, значительно отличаются по характеру динамики средней высоты и текущего годового прироста деревьев от культур, созданных в других лесорастительных условиях Республики Марий Эл [14]. Так, по высоте они пре-

восходят культуры в ТЛУ  $D_2$  до 35 лет, а в ТЛУ  $C_2$  – до 55 лет (рис. 4). Средняя высота деревьев в короткопийменном экотопе вплотную приближается к своему биологическому пределу уже в возрасте 55–60 лет, что обусловлено, на наш взгляд, двумя причинами: 1) излишней густотой древостоя и слабой интенсивностью его изреживания, что связано с отсутствием естественных регуляторов (насекомых и грибов) и равномерным размещением особей в пределах экотопа; 2) достижением корнями деревьев плотных горизонтов почвы, неблагоприятных для их развития. Максимум текущего годового прироста деревьев в высоту, достигающий 74 см, отмечался у них в возрасте 13–14 лет, а в других ТЛУ – в 20–25 лет.

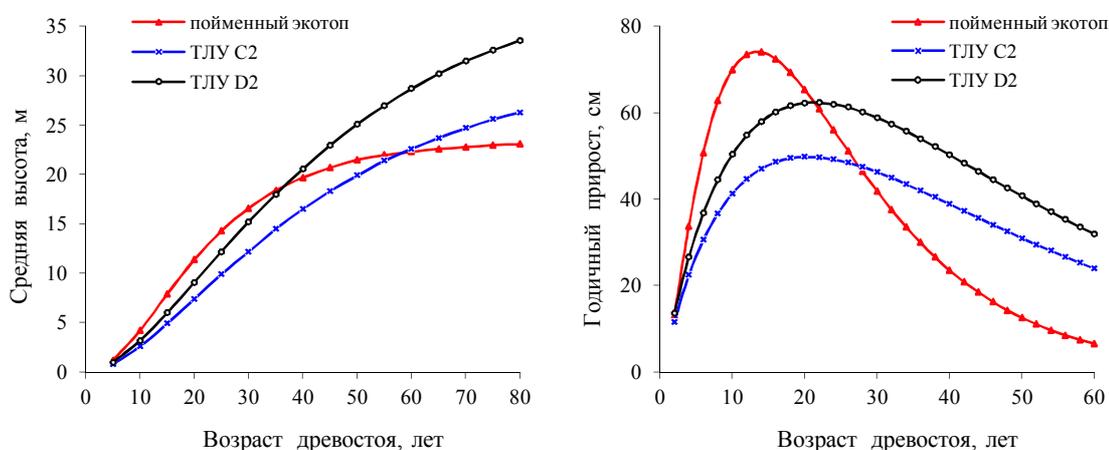


Рис. 4. Динамика средней высоты и текущего годового прироста деревьев в культурах лиственницы сибирской, созданных в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Успешность роста деревьев характеризует также их диаметр, для математического описания динамики значений которого лучше всего подходит степенная функция:

$$D = 2,48 \cdot (A - 5)^{0,538};$$

$$R^2 = 0,998; p < 0,001;$$

в которой  $D$  – средний диаметр деревьев, см;  $A$  – возраст древостоя, лет.

По величине этого показателя культуры лиственницы, созданные в краткопийменном экотопе, начинают значительно уступать культурам в ТЛУ D<sub>2</sub> уже с 30 лет, а в ТЛУ С<sub>2</sub> – после 55 лет (рис. 5), что связано с излишней густотой древостоя и слабой интенсивностью его изреживания

из-за равномерного размещения деревьев в пространстве экотопа. По текущему годичному приросту деревьев в толщину различия проявляются уже в возрасте 15–20 лет. Большие различия имеются также по объёму ствола и коэффициенту напряжения роста среднего дерева в ценопопуляциях (рис. 6). Всё это указывает на необходимость снижения исходной густоты культур, создаваемых по данной схеме в подобных лесорастительных условиях, либо в проведении своевременных рубок ухода с удалением всех деревьев 4–5 классов роста, а также особей со значительными дефектами ствола, которых на этой плантации довольно много.

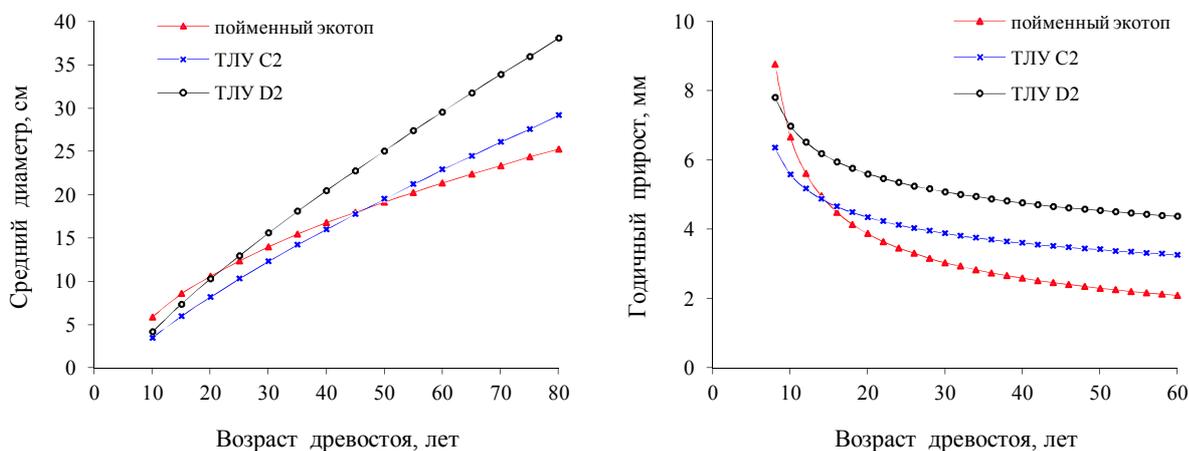


Рис. 5. Динамика среднего диаметра и текущего годичного прироста деревьев в культурах лиственницы сибирской, созданных в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

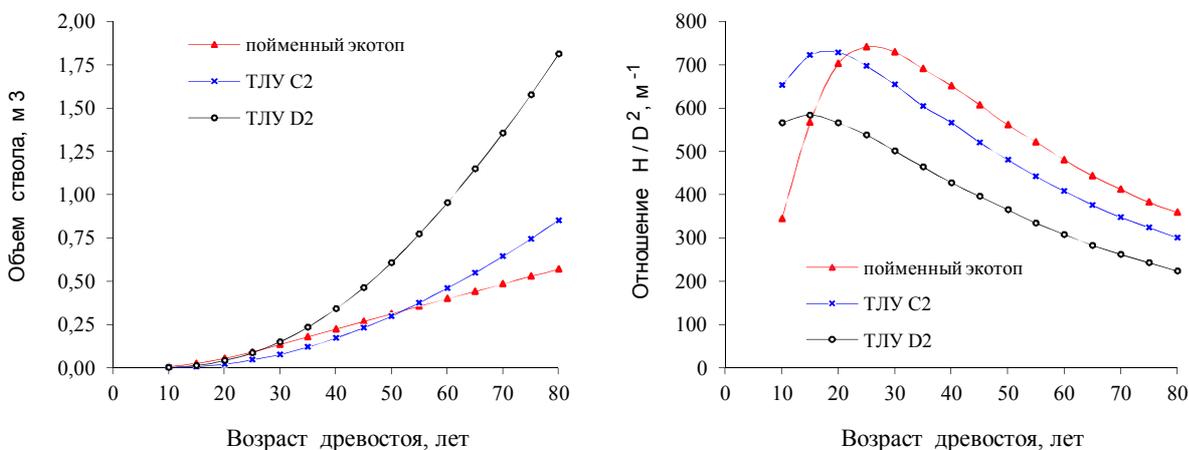


Рис. 6. Динамика объёма ствола и коэффициента напряжения роста среднего дерева в культурах лиственницы, созданных в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Расчёты показали, что все остальные параметры древостоя в культурах лиственницы также закономерно изменяются с увеличением их возраста, что с высокой точностью ( $p < 0,001$ ) описывают следующие уравнения регрессии:

$$N = 3068 \cdot \exp(-19,33 \cdot 10^{-3} \cdot A^{0,873});$$

$$R^2 = 0,987;$$

$$\Sigma G = 1,577 \cdot (A - 5) \exp(-83,60 \cdot 10^{-4} \cdot (A - 5));$$

$$R^2 = 0,998;$$

$$\Sigma V = 88,79 \cdot 10^{-3} \cdot A^{2,681} \exp(-35,47 \cdot 10^{-3} \cdot A);$$

$$R^2 = 0,996;$$

$$M = 42,12 \cdot 10^{-3} \cdot A^{2,7540} \exp(-36,44 \cdot 10^{-3} \cdot A);$$

$$R^2 = 0,997;$$

в которых  $N$  – густота древостоя, экз./га;  $\Sigma G$  – сумма площади сечения стволов деревьев на высоте 1,3 м,  $m^2$ /га;  $\Sigma V$  – запас стволовой древесины,  $m^3$ /га;  $M$  – абсолютно сухая масса стволов с корой, т/га;  $A$  – возраст древостоя, лет.

Довольно высокая текущая густота древостоя, обусловленная слабым темпом её изреживания, привела к значительному превосходству плантационных культур лиственницы в короткопийменном экотопе по величине этих таксационных параметров над культурами этой породы в других лесорастительных условиях в интервале от 15 до 120 лет. Кульминация наличного

запаса стволовой древесины в них наступает, как показали расчёты, в возрасте 75 лет и составляет  $661 m^3$ /га (рис. 7). В ТЛУ  $C_2$  и  $D_2$  запас стволовой древесины культур лиственницы в этом возрасте составляет соответственно 303 и  $432 m^3$ /га, что в 2,2 и 1,5 раза меньше, чем в короткопийменном экотопе. Кульминация среднего годовичного прироста запаса стволовой древесины наступает здесь в возрасте культур 45 лет и составляет  $10,82 m^3$ /га, что выше, чем в ТЛУ  $C_2$  и  $D_2$  в 2,43 и 1,76 раза соответственно. Абсолютно сухая масса стволов деревьев с корой в этом возрасте составляет 392,6 т/га, а её средний годовичный прирост – 6,4 т/га. Энергетический потенциал этой массы, половина которой приходится на депонированный углерод, равен 7807,5 и 127,3 ГДж/га, что эквивалентно 174,4 и 2,8 т нефти.

Окончательный вывод об эффективности выращивания культур лиственницы сибирской в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл можно сделать лишь на основе оценки их таксовой стоимости [18], зависящей не только от запаса стволовой древесины, но и от товарной структуры. Доля ликвидной древесины ( $Q$ , %) и характер распределения её по категориям крупности зависит,

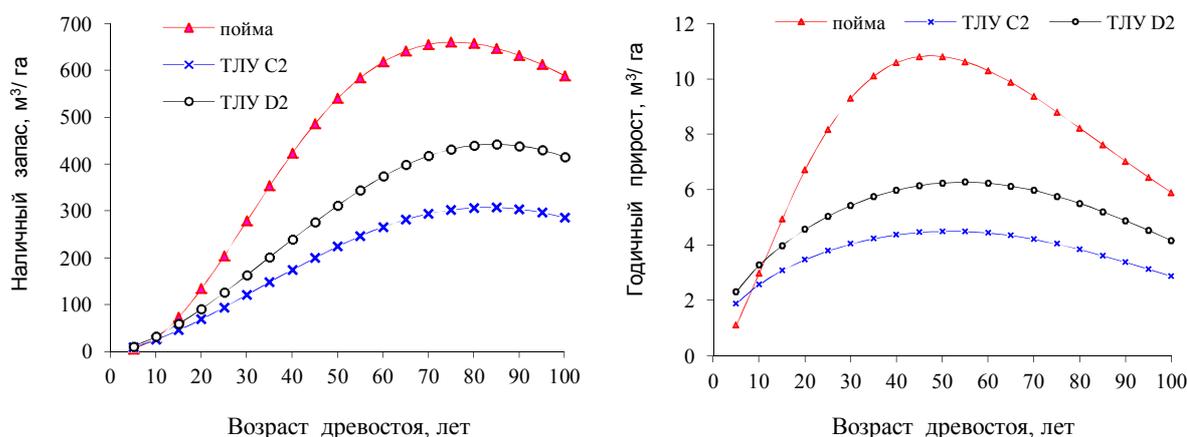


Рис. 7. Динамика наличного запаса и среднего годовичного прироста древостоя в культурах лиственницы, созданных в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

исходя из существующих всеобщих товарных таблиц\*, только от диаметра ствола ( $D$ , см) на высоте 1,3 м, что с высокой точностью ( $R^2 > 0,999$ ;  $p < 0,001$ ) описывает для лиственничников следующая система уравнений:

$$Q_{\text{ликвида}} = 9,9 \cdot [1 - \exp(-75,39 \cdot 10^{-4} \cdot D^{1,589})] + 73,0; \quad Q_{\text{дров}} = 6,2;$$

$$Q_{\text{крупной}} = 60,0 \cdot \{1 - \exp[-63,37 \cdot 10^{-4} \cdot (D - 16)^{1,773}]\};$$

$$Q_{\text{мелкой}} = 94,0 \cdot \exp(-36,07 \cdot 10^{-4} \cdot D^{2,025}) + 3,0;$$

$$Q_{\text{средней}} = Q_{\text{ликвида}} - Q_{\text{крупной}} - Q_{\text{мелкой}} - Q_{\text{дров}}.$$

Расчёт таксовой стоимости 1 м<sup>3</sup> древесины ( $C$ , руб.), проведённый на основе данных уравнений и ставок за единицу объёма древесины на корню, утверждённых Постановлением Правительства Российской Федерации 22 мая 2007 года за № 310, показал, что она нелинейно увеличивается с возрастанием среднего диаметра древостоя ( $D$ , см), выходя в конечном итоге на плато. Эту зависимость наилучшим образом аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$$C = 110,32 \cdot [1 - \exp(-20,32 \cdot 10^{-3} \cdot D^{1,297})].$$

Динамику таксовой (корневой) стоимости древостоя на плантациях листвен-

ницы с высокой точностью ( $p < 0,001$ ) описывают следующие уравнения регрессии:

- в пойменном экотопе:

$$C = 56,67 \cdot 10^{-5} \cdot A^{3,315} \exp(-38,42 \cdot 10^{-3} \cdot A);$$

- в ТЛУ  $C_2$ :

$$C = 45,61 \cdot 10^{-7} \cdot A^{4,492} \exp(-50,91 \cdot 10^{-3} \cdot A);$$

- в ТЛУ  $D_2$ :

$$C = 48,06 \cdot 10^{-7} \cdot A^{4,648} \exp(-54,05 \cdot 10^{-3} \cdot A);$$

в которых  $C$  – корневая стоимость древостоя по 2 разряду такс с учётом коэффициента индексации, тыс. руб./га;  $A$  – возраст древостоя, лет.

Расчёты, проведённые на основе данных уравнений, показали, что плантационные культуры лиственницы в пойме р. Малая Кокшага значительно превосходят по таксовой стоимости стволовой древесины аналогичные культуры, созданные в других лесорастительных условиях (рис. 8). Кульминация таксовой стоимости древостоя наступает в них в возрасте 85 лет и составляет 53,8 тыс. руб./га. В ТЛУ  $C_2$  и  $D_2$  её величина в этом возрасте составляет соответственно 28,0 и 45,1 тыс. руб./га, что в 1,9 и 1,2 раза меньше, чем в краткопойменном экотопе. Кульминация среднего годовичного прироста таксовой стоимости древостоя наступает здесь в возрасте культур 60 лет и составляет 739 руб./га, что выше, чем в ТЛУ  $C_2$  и  $D_2$  в 2,1 и 1,3 раза соответственно.

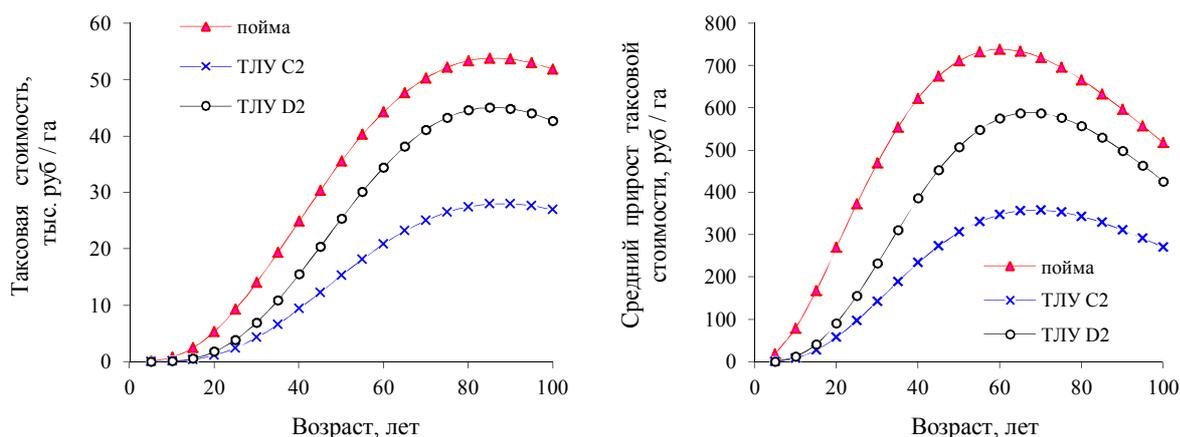


Рис. 8. Динамика таксовой стоимости стволовой древесины на корню и её среднего годовичного прироста в культурах лиственницы, созданных в различных ТЛУ Республики Марий Эл

\* Лесотаксационный справочник / Б.И. Грошев, С.Г. Сеницын, П.И. Мороз, И.П. Сиперович. М.: Лесная промышленность, 1980. С. 147-149.

### Выводы

1. Деревья лиственницы на плантации, несмотря на их равномерное размещение в пространстве экотопа, сильно различаются между собой по размерам: диаметр их ствола в возрасте 32 года изменялся от 3,2 до 25,1 см, а среднеквадратическое отклонение составило 4,38 см. По мере развития древостоя размах между минимальным и максимальным значениями диаметра деревьев, а также значения коэффициента асимметрии рядов возрастают, а величина коэффициента эксцесса до 45 лет увеличивается, а затем снижается. Распределение числа деревьев по диаметру из одномодального постепенно превращается в бимодальное, причиной чего является неоднородность ценопопуляции по скорости роста и конкурентоспособности особей.

2. Диаметр ствола деревьев и класс их роста являются наиболее простыми и достаточно надёжными показателями их конкурентоспособности и жизнестойкости, позволяющими проводить их отбор при рубках ухода. Так, за 25 лет наблюдений практически полностью выпали деревья 5 класса Крафта, а отпад среди деревьев 1–3 классов был единичен и обусловлен возникновением корневой гнили, вызванной трутовиком Швейница. Наибольший абсолютный прирост площади сечения отмечен среди деревьев ступени толщины 16 см, а относительный – 26 см. Площадь сечения стволов всех деревьев 1 и 2 классов увеличилась на

5,73 и 8,91 м<sup>2</sup>/га, а деревьев 4–5 классов снизилась за счёт их отпада на 2,28 и 1,30 м<sup>2</sup>/га.

3. Прирост ствола деревьев варьировал в очень больших пределах, достигая у наиболее развитых особей 10,2 см по диаметру и 459,4 см<sup>2</sup> по площади поперечного сечения. У наиболее развитых деревьев он уже в первые годы их жизни был значительно выше, чем у особей низших классов развития, которые практически не реагировали на изменение условий среды и приросли за 25 лет наблюдений в среднем всего на 1,3 см.

4. Создавать плантации лиственницы сибирской в краткопойменных экотопах на не покрытых лесом землях Республики Марий Эл не только возможно, но и целесообразно, так как они обладают высокой производительностью и значительно превосходят по тактовой стоимости древесины аналогичные культуры в других лесорастительных условиях. Для увеличения доли крупной древесины на плантациях необходимо своевременно проводить уход с удалением всех деревьев 4–5 классов роста или же снизить исходную плотность культур, создавая по схеме 4×4 м. Оптимальный оборот рубки плантаций должен составлять 60 лет, что обеспечит не только наивысший прирост тактовой стоимости древесины, но и снизит до минимума хозяйственный ущерб от корневых гнилей, которые широко распространены в хвойных лесах Республики Марий Эл.

### Список литературы

1. Карасева М. А. Лиственница сибирская в Среднем Поволжье. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 376 с.
2. Яблоков А. С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослесбумиздат, 1934. 128 с.
3. Боченко Л. Г. Лиственница в Заволжье // Внедрение лиственницы в лесные насаждения. М.-Л.: Сельхозгиз, 1956. С. 150-154.
4. Дементьев П. И. Опыт выращивания лиственницы в Бронницком лесничестве // Внедрение лиственницы в лесные насаждения. М.-Л.: Сельхозгиз, 1956. С. 136-144.
5. Харитонов Г. А., Видякова А. Л. Культура лиственницы на Среднем Урале // ИВУЗ: Лесной журнал. 1965. № 3. С. 3-7.
6. Никитин К. Е. Лиственница на Украине. Киев: Урожай, 1966. 332 с.
7. Куприянов Н. В. Опыт выращивания лиственницы в культуре Горьковской области // ИВУЗ: Лесной журнал. 1969. № 1. С. 39-43.
8. Шебалов А. М. Культуры лиственницы в

лесостепной зоне // Труды Уральского лесотехнического института. Свердловск: УЛТИ, 1970. Вып. 21. С. 328-333.

9. *Калиниченко Н. П., Писаренко А. И., Смирнов Н. А.* Лесовосстановление на вырубках. М.: Лесная промышленность, 1973. 325 с.

10. *Баталов П. П.* Опыт выращивания лиственницы сибирской // Лесное хозяйство. 1975. № 1. С. 92-94.

11. *Лобанов Я. Я., Снарский Е. С.* Лиственница сибирская в Куйбышевском Заволжье // Лесное хозяйство Куйбышевской области. Куйбышев: Куйбышевское кн. изд-во, 1976. Вып. 2. С. 53-60.

12. *Дерюга Е. С.* Культуры лиственницы в Волжско-Камском государственном заповеднике // Лесное хозяйство. 1981. № 2. С. 53-55.

13. *Тимофеев В. П.* Лиственница в культуре. М.: Лесная промышленность, 1981. 162 с.

14. Состояние культур лиственницы *Larix sibirica* (Pinaceae) в Республике Марий Эл /

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, М. А. Карасева и др. // Растительные ресурсы. 2016. Т. 52, № 4. С. 465-483.

15. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. Л. Черных и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2. С. 19-36.

16. *Демаков, Ю. П.* Устойчивость лесных экосистем: методические и методологические аспекты. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 416 с.

17. *Рублев С. И., Алексеев И. А.* Эпифитотии трутовика Швейница в хвойных лесах Республики Марий Эл // Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. С. 91-94.

18. *Туркевич И. В.* Кадастровая оценка лесов. М.: Лесная промышленность, 1977. 168 с.

Статья поступила в редакцию 22.12.16.

#### Информация об авторах

*ДЕМАКОВ Юрий Петрович* – доктор биологических наук, главный научный сотрудник заповедника «Большая Кокшага»; профессор-консультант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, биогеоценология. Автор 300 публикаций, в том числе 11 монографий и учебных пособий.

*КРАСНОВ Виталий Геннадьевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – искусственное лесовосстановление и лесоразведение, экология древесных растений, биогеоценология. Автор 90 публикаций, в том числе пяти учебных пособий.

*ИСАЕВ Александр Викторович* – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора государственного природного заповедника «Большая Кокшага» по научной работе. Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение, охрана природы. Автор 54 публикаций, в том числе одной монографии.

УДК 630\*238 (470.343)

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.36

## STRUCTURAL AND DEVELOPMENTAL PATTERNS OF THE STAND IN THE SIBERIAN LARCH PLANTATIONS IN THE BOTTOMLAND ECOTOPE

Iu. P. Demakov<sup>1,2</sup>, V. G. Krasnov<sup>2</sup>, A. V. Isaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bolshaya Kokshaga State Nature Reserve,  
26, Voinov-Internatsionalistov St., Yoshkar-Ola, 424038, Russian Federation

<sup>2</sup> Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: DemakovYP@volgatech.net; KrasnovVG@volgatech.net

**Key words:** *bottomland ecotopes; siberian larch; forest plantations; forest stand; structure; yielding capacity; development.*

### ABSTRACT

**The rationale for the research is urged by the demand to enlarge the ecological and resource potential of territories due to establishing forest plantations. A Siberian larch, *Larix sibirica* Led., can become one of the promising species for the set goal, as its yielding capacity is generally higher than that of natural indigenous stands. The research is aimed at finding out the patterns of the stand development and the principle of tree differentiation, in case they were evenly planted, in the Siberian larch artificial forest. The subject of research is axenic cultures of Siberian larch, established in 1959 by planting in the 2m x 2m layout in the bottomland ecotope on the alluvial-meadow light clay soil rich in humus and exchangeable bases. Results. The paper introduces numerical information and mathematical models demonstrating the structural and developmental patterns of the stand in the Siberian larch plantations in the bottomland ecotope. It is stated that Siberian larch trees in the research site greatly differ in sizes. As the stand develops, the amplitude between the minimal and maximal trunk diameter values and the row asymmetry ratio increase. The coefficient of excess increases up to 45 years, and after it - decreases. Though in the beginning the counting distribution of tree diameters was unimodal, gradually it became bimodal due to an uneven growth rate of the coenopopulation and the competition capacity of trees. The basal area of all the Kraft's Class 1 and Class 2 trees increased for 5.73 and 8.91 square meter per hectare, while the same parameter of the Class 4 and Class 5 trees decreased for 2.28 and 1.30 square meter per hectare due to waste of a growing forest. The average increment of the Class 4 trees was only 1.3 cm for 25 years of observation. Conclusion. It is considered to be appropriate to establish Siberian larch artificial forests in the bottomland ecotopes on unwooded territories in the Republic of Mari El, as they have a high yield capacity and significantly exceed the similar cultures in variable sites in their stumpage value. In order to increase the large timber share in an artificial forest it is necessary to perform cleaning cutting timely and to eliminate all Class 4-5 trees; or to arrange the initial density of cultures as a 4m x 4m layout. The optimal cutting period in the artificial forests should be 60 years, it will ensure the greatest increment of the stumpage value and reduce the damage due to root rot to the minimum.**

### REFERENCES

1. Karaseva M. A. *Listvennitsa sibirskaya v Srednem Povolzhe* [Siberian larch in the middle Volga region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2003. 376 p.
2. Yablokov A. S. *Kultura listvennitsy i ukhod za nasazhdeniyami* [Larch species and plantation maintenance]. Moscow: Goslesbumizdat, 1934. 128 p.
3. Bochenko L. G. *Listvennitsa v Zavolzhe* [Larch in the trans-Volga region]. *Vnedrenie listvennitsy v lesnye nasazhdeniya* [Larch introduction and forest plantations]. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz, 1956. Pp. 150-154.
4. Dementev P. I. *Opyt vyrashchivaniya listvennitsy v Bronnitskom lesnichestve* [Experience of larch tree cultivation in Bronnitskoe forestry enterprise]. *Vnedrenie listvennitsy v lesnye nasazhdeniya* [Larch introduction in wood plantations]. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz, 1956. Pp. 136-144.
5. Kharitonov G. A., Vidyakova A.L. *Kultura listvennitsy na Srednem Urale* [Larch species in the Middle Urals]. *IVUZ: Lesnoy zhurnal* [IVUZ: Forest Journal]. 1965. No 3. Pp. 3-7.
6. Nikitin K. E. *Listvennitsa na Ukraine* [Larch tree in Ukraine]. Kiev: Urozhay, 1966. 332 p.

7. Kupriyanov N. V. Opyt vyrashchivaniya listvennitsy v kulture Gorkovskoy oblasti [Experience of larch cultivation in the Gorkovskaya region]. *IVUZ: Lesnoy zhurnal* [IVUZ: Forest Journal]. 1969. No 1. Pp. 39-43.
8. Shebalov A. M. Kultury listvennitsy v lesostepnoy zone [Larch in forest-steppe zone]. *Trudy Uralskogo lesotekhnicheskogo instituta* [Works of the Ural Forest Engineering Institute]. Sverdlovsk: ULTI, 1970. Issue 21. Pp. 328-333.
9. Kalinichenko N. P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. Lesovosstanovlenie na vyrubkakh [Forest regeneration on the clearances]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1973. 325 p.
10. Batalov P. P. Opyt vyrashchivaniya listvennitsy sibirskoy [Experience of Siberian Larch cultivation]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1975. No 1. Pp. 92-94.
11. Lobanov YA. Ia., Snarskiy E.S. Listvennitsa sibirskaya v Kuybyshevskom Zavolzhe [Siberian larch in Kuibyshevskoe trans-Volga region]. *Lesnoe khozyaystvo Kuybyshevskoy oblasti* [Forestry of the Kuybyshevskaya region]. Kuybyshev: Kuybyshev Publishing House, 1976. Issue. 2. Pp. 53-60.
12. Deryuga E. S. Kultury listvennitsy v Volzhsko-Kamskom gosudarstvennom zapovednike [Larch species in the Volga-Kama State nature Reserve]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1981. No 2. Pp. 53-55.
13. Timofeev V. P. Listvennitsa v culture [Larch plantations]. Moscow: Lesnaya promyshlennost 1981. 162 p.
14. Demakov Iu.P., Isaev A.V., Karaseva M.A. et al. Sostoyanie kultur listvennitsy Larix sibirica (Pinaceae) v Respublike Mariy El [Condition of Larix sibirica (Pinaceae) larch plantations in the Mari El Republic]. *Rastitelnye resursy* [Plant Resources]. 2016. Vol. 52, No 4. Pp. 465-483.
15. Demakov Iu.P., Isaev A.V., Chernykh V.L. et al. Ispolzovanie allometricheskikh zavisimostey dlya otsenki fitomassy razlichnykh fraktsiy derezev i modelirovaniya ikh dinamiki [The use of allometric correlations in order to evaluate phytomass of different tree fractions and modelling their dynamics]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest, Ecology. Nature Management]. 2015. No 2. Pp. 19-36.
16. Demakov, Iu. P. Ustoychivost lesnykh ekosistem: metodicheskie i metodologicheskie aspekty [Sustainability of forest resources: methodical and methodological aspects]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 2000. 416 p.
17. Rublev S. I., Alekseev I.A. Epifitotii trutovika Shveynitsa v khvoynykh lesakh Respubliki Mariy El [Epiphytotics of velvet-top fungus (Phaeolus schweinitzii) in the coniferous forest of the Mari El Republic]. *Ratsionalnoe lesopolzovanie i zashchita lesov v Srednem Povolzhe* [Rational nature management and forest protection in the Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2003. Pp. 91-94.
18. Turkevich I. V. Kadastrrovaya otsenka lesov [Kadastral valuation of forest]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1977. 168 p.

The article was received 22.12.16.

**Citation for an article:** Demakov Iu. P., Krasnov V. G., Isaev A. V. Structural and Developmental Patterns of the Stand in the Siberian Larch Plantations in the Bottomland Ecotope. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2017. No 1(33). Pp. 36-49. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.36

#### Information about the authors

*DEMAKOV Iurii Petrovich* – Doctor of Biological Sciences, Professor-Consultant of the Department of Forest Species and Forest Works Mechanization, Volga State University of Technology; Senior Researcher of the nature reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – forest science, forestry, biogeocenology. Author of 300 publications including 11 monographs and students' manuals.

*KRASNOV Vitalii Gennadevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Sylviculture, Selection and Biotechnologies, Volga State University of Technology. Research interests – artificial reforestation and forest cultivation, ecology of wooden plants, biogeocenology. Author of 90 publications including 5 students' manuals.

*ISAEV Aleksandr Viktorovich* – Candidate of Agricultural Sciences, Vice Head for Research at the State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – biogeocenology, forest soil science, nature preservation. Author of 54 publications including 1 monograph.