

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*5+502.21

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.5

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ХОДА РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

В. К. Хлюстов¹, А. В. Лебедев^{1, 2}

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: 89035269073@mail.ru

²Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына,
Российская Федерация, 157440, Костромская обл., Кологрив, ул. Некрасова, 48
E-mail: avl1993@mail.ru

Приведены результаты статистического моделирования хода роста сосновых древостоев Костромской области по средней высоте, среднему диаметру и запасу, исходными данными для которого служили материалы прицельно-измерительной таксации 103 тыс. выделов лесного фонда и земель государственного заповедника «Кологривский лес». Дано экологическое объяснение форм кривых роста древостоев, которые в разных типах лесорастительных условий имеют в раннем возрасте одну общую точку, далее расходятся, а затем, в ряде случаев, опять сходятся, что указывает на асинхронность динамических изменений. Сделан вывод о том, что модели роста древостоев, являющиеся не только таксационными нормативами, но и программой по управлению развитием насаждений, следует создавать не по классам их бонитета, как это принято сейчас, а по типам региональных лесорастительных условий.

Ключевые слова: *сосновые древостои; типы лесорастительных условий; моделирование хода роста; типы роста; индексные кривые роста.*

Введение. Теория продуктивности леса основывается на закономерностях роста, строения, сортиментной и товарной структуры древостоев, опираясь на бонитетную классификацию уровней продуктивности древостоев. Повсеместно применяемая общепониманная шкала профессора М. М. Орлова и шкала ВНИИЛМ, учитывающая энергию роста древесных пород в высоту, являются порядковыми, построенными на условных понятиях. Так, искусственно заданная четырёхметровая градация средней высоты в 100-летнем возрасте древостоев лишь условно связана с экологическими условиями произрастания

насаждений. Наиболее яркий пример относится к сосновым древостоям, которые характеризуются V классом бонитета и могут произрастать в диаметрально противоположных экологических условиях: в ксерофильных сосняках лишайниковых и ультрагигрофильных сосняках сфагновых. В последние годы, в связи с этим, в научных кругах сформировалось убеждение в том, что путь разработки новых лесотаксационных нормативов по классам бонитета древостоев является тупиковым [1–5], поскольку не отражает закономерностей роста реальных насаждений и не даёт лесоведам программу действий по управлению ими.

© Хлюстов В. К., Лебедев А. В., 2016.

Для цитирования: Хлюстов В. К., Лебедев А. В. Экологическая типизация хода роста древостоев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.5

В своём классическом варианте таблицы хода роста древостоев представляют соотношение между возрастом и соответствующим ему значением таксационного показателя. Для систематизации всего многообразия кривых хода роста древостоев в середине XX века было предложено упорядочить возрастные изменения таксационных показателей, назвав их типовыми линиями роста. Первая попытка по созданию унифицированных шкал хода роста была предпринята Б. Б. Зейде [6, 7]. Анализируя множество естественных рядов роста, он предложил типовые шкалы хода роста древостоев, в которых таксационные показатели выражались в долях от значения таксационных показателей в 50-летнем возрасте. В дальнейшем работа по типизации хода роста была продолжена В. В. Загреевым [8, 9] и его последователями, которые получили индексные ряды возрастных изменений основных таксационных показателей древостоев многих лесообразующих пород. Главным недостатком этих типовых кривых хода роста древостоев является их условность, так как они получены по данным таблиц хода роста, построенных на бонитетной основе, не увязанной с лесной типологией. Устранить указанные недостатки можно с помощью построения типовых рядов путём моделирования кривых хода роста таксационных показателей древостоев с учётом экологических условий их произрастания.

Целью исследования является моделирование хода роста сосновых древостоев по средней высоте, среднему диаметру и запасу, а также экологическое обоснование формы ростовых кривых по типам лесорастительных условий (ТЛУ).

Объект исследований. Объектом исследований служили сосновые древостои естественного происхождения, произрастающие в разных ТЛУ Костромской области на площади 1013 тыс. га, занимая 23,3 % лесопокрытой площади [10]. Закономерности их роста и продуктивности

выявлены недостаточно полно, так как имеющиеся результаты исследований носят фрагментарный характер. Первые таблицы хода роста сосняков Понизовского лесного массива были составлены в 1965 году В. М. Павловым [11], который указывал на значительное расхождение фактической их производительности от данных, указанных во всеобщих таблицах хода роста А. В. Тюрина [12]. Выявлению закономерностей хода роста, строения и продуктивности сосняков Костромской области посвящены работы В. К. Хлюстова, А. В. Лебедева [4, 5, 13, 14], в которых впервые показана взаимосвязь рядов роста древостоев по чистой экосистемной и чистой первичной продукции с конкретными ТЛУ.

Материал и методика исследований. Исходными данными для проведения исследования послужили материалы прицельно-измерительной таксации древостоев с преобладанием соснового элемента леса на 103 тыс. выделах лесного фонда Костромской области и земель государственного заповедника «Кологривский лес». В качестве модели хода их роста использовали функцию Корсуня-Бакмана [15]:

$$T = \exp(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A), \quad (1)$$

в которой T – таксационный показатель древостоя; A – возраст древостоя, лет; a_i – численные коэффициенты уравнения.

Данная функция отвечает всем требованиям изменения с возрастом таксационных показателей древостоев: отображающая её линия исходит из начала координат, имеет точки перегиба и максимума, а также последующее убывание, происходящее в период естественной спелости древостоя. Другим важным аргументом в пользу этой функции является возможность её сочетания с другими функциями линейно-логарифмического типа и бинарными переменными, кодирующими качественные переменные в уравнениях множественной регрессии.

Моделирование хода роста сосновых древостоев по средней высоте и среднему диаметру проведено с использованием этой функции в сочетании с фиктивными переменными, кодирующими условия произрастания древостоев (влажность и трофность почв). Форма ростовой кривой определяется коэффициентами, стоящими перед логарифмом и квадратом логарифма от возраста древостоя, поэтому с целью учёта влияния условий произрастания в уравнение введено произведение логарифма и квадрата логарифма от возраста с фиктивными переменными. В общем виде уравнение выглядит следующим образом:

$$T = \exp\left(\sum_{k=0}^2 \ln^k A \left(a_k + \sum_{i=1}^n b_{k,i} Z_i + \sum_{j=1}^m c_{k,j} X_j\right)\right), \quad (2)$$

где T – таксационный показатель; A – возраст древостоя, лет; X , Z – фиктивные переменные, кодирующие соответственно трофность и влажность почв; a , b , c –

численные коэффициенты уравнения; k , i , j – индексы. В развёрнутом виде уравнение выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} T = \exp & (k_0 + k_1 Z_1 + k_2 Z_2 + k_3 X_1 + k_4 X_2 + \\ & + k_5 X_3 + k_6 X_4 + k_7 \ln A + k_8 \ln^2 A + \\ & + k_9 Z_1 \ln A + k_{10} Z_2 \ln A + k_{11} X_1 \ln A + \\ & + k_{12} X_2 \ln A + k_{13} X_3 \ln A + k_{14} X_4 \ln A + \\ & + k_{15} Z_1 \ln^2 A + k_{16} Z_2 \ln^2 A + k_{17} X_1 \ln^2 A + \\ & + k_{18} X_2 \ln^2 A + k_{19} X_3 \ln^2 A + k_{20} X_4 \ln^2 A). \end{aligned} \quad (3)$$

Число фиктивных переменных, введённых в модель, на единицу меньше исходного количества значений признака. Это сделано с целью недопущения мультиколлинеарности, которая приводит к неопределённости параметров регрессии вне зависимости от способа их оценивания. Матрица кодирования типов лесорастительных условий произрастания сосновых древостоев фиктивными переменными представлена в табл. 1.

Таблица 1

Кодирование типов условий произрастания сосновых древостоев фиктивными переменными

Характеристика условий произрастания древостоев			Фиктивные переменные					
Трофность почв	Влажность почв	ТЛУ	Z_1	Z_2	X_1	X_2	X_3	X_4
Низкая (боры)	Мезоксерофильные (сухие)	A_1	0	0	0	0	0	0
	Мезофильные (свежие)	A_2	0	0	1	0	0	0
	Мезогигрофильные (влажные)	A_3	0	0	0	1	0	0
	Гигрофильные (сырые)	A_4	0	0	0	0	1	0
	Ультрагигрофильные (мокрые)	A_5	0	0	0	0	0	1
Относительно низкая (субори)	Мезофильные (свежие)	B_2	1	0	1	0	0	0
	Мезогигрофильные (влажные)	B_3	1	0	0	1	0	0
	Гигрофильные (сырые)	B_4	1	0	0	0	1	0
	Ультрагигрофильные (мокрые)	B_5	1	0	0	0	0	1
Относительно высокая (сложные субори)	Мезофильные (свежие)	C_2	0	1	1	0	0	0
	Мезогигрофильные (влажные)	C_3	0	1	0	1	0	0
	Гигрофильные (сырые)	C_4	0	1	0	0	1	0
	Ультрагигрофильные (мокрые)	C_5	0	1	0	0	0	1

Переменным из блока Z соответствуют разные уровни трофности почв, а переменным из блока X – разные уровни их влажности. Объединение фиктивных переменных блока Z и блока X позволяет получить закодированную характеристику почв как с учётом влажности, так и с учётом трофности: вектор (0, 0, 0, 0, 0, 0) соответствует бедным сухим почвам, а вектор (1, 0, 0, 0, 1, 0) – относительно бедным сырым почвам. Параметры уравнения (2) в логарифмическом преобразовании независимых переменных и результирующего признака получены методом наименьших квадратов.

Результаты и их обсуждение. При математическом моделировании важно оценить степень однородности исходных данных в разрезе каждого конкретного ТЛУ и класса возраста. Расчёты показали, что изменчивость средней высоты древостоев с возрастом уменьшается от 45 до 5 %, а диаметра – соответственно от 40 до 5 %. Точность же определения средних значений высоты совокупности древостоев соответственно снижается от 5 до 1 %, а значений диаметров – от 8 до 1 %. Та-

ким образом, массив исходных данных вполне соответствует требованиям достоверности и пригодности для статистического моделирования динамики таксационных показателей древостоев.

В результате проведённого множественного регрессионного анализа над исходным массивом данных были получены оценки параметров уравнений (3) хода роста древостоев, которые приведены в табл. 2.

Для удобства практического использования численные коэффициенты уравнений хода роста по средней высоте и среднему диаметру, представленные в табл. 2, сведены в табл. 3. Они позволяют проводить на практике довольно простые расчёты, используя, например, для этой цели программу Microsoft Excel. В функции Корсуня-Бакмана следует выделить две группы коэффициентов. К первой группе относится константа начального роста a_0 , которая отвечает за смещение начальных значений зависимой переменной относительно оси ординат в возрасте одного года. Вторая группа коэффициентов отвечает за форму кривой-ростовой функции.

Таблица 2

Параметры и достоверность регрессионных уравнений хода роста древостоев

Коэффициент регрессии	Аргумент	Средняя высота, м			R ²	Средний диаметр, см			R ²
		коэффициент	t-статистика	значимость t		коэффициент	t-статистика	значимость t	
k_0		-3,40944	-7,16	0,00	0,982	-2,73643	-7,40	0,00	0,989
k_1	Z_1	0,36494	1,31	0,19		0,15286	0,63	0,53	
k_2	Z_2	0,41389	1,28	0,20		0,06635	0,22	0,82	
k_3	X_1	-0,56184	-1,01	0,32		-0,17126	-0,39	0,70	
k_4	X_2	-0,24043	-0,43	0,67		-0,21237	-0,47	0,64	
k_5	X_3	-0,05723	-0,10	0,92		-0,37426	-0,83	0,41	
k_6	X_4	-0,23562	-0,42	0,67		-0,85129	-1,82	0,07	
k_7	$\ln A$	2,28866	8,56	0,00		1,92417	9,39	0,00	
k_8	$\ln^2 A$	-0,19357	-5,29	0,00		-0,13587	-4,91	0,00	
k_9	$Z_1 \ln A$	-0,00405	-0,03	0,98		0,01061	0,08	0,93	
k_{10}	$Z_2 \ln A$	-0,00820	-0,05	0,96		0,13087	0,84	0,40	
k_{11}	$X_1 \ln A$	0,47381	1,53	0,13		0,14803	0,61	0,54	
k_{12}	$X_2 \ln A$	0,31702	1,02	0,31		0,15469	0,63	0,53	
k_{13}	$X_3 \ln A$	0,02491	0,08	0,94		0,11535	0,47	0,64	
k_{14}	$X_4 \ln A$	-0,10125	-0,33	0,74		0,17666	0,70	0,49	
k_{15}	$Z_1 \ln^2 A$	-0,01280	-0,65	0,52		-0,00651	-0,39	0,70	
k_{16}	$Z_2 \ln^2 A$	-0,01297	-0,58	0,56		-0,02791	-1,40	0,16	
k_{17}	$X_1 \ln^2 A$	-0,07015	-1,67	0,10		-0,01862	-0,57	0,57	
k_{18}	$X_2 \ln^2 A$	-0,05003	-1,19	0,24		-0,01723	-0,52	0,60	
k_{19}	$X_3 \ln^2 A$	-0,00587	-0,14	0,89		-0,01210	-0,37	0,71	
k_{20}	$X_4 \ln^2 A$	0,01929	0,46	0,64	-0,00937	-0,28	0,78		

Таблица 3

Значения коэффициентов регрессии уравнений хода роста древостоев по средней высоте и среднему диаметру для разных ТЛУ

ТЛУ	Средняя высота, м			Средний диаметр, см		
	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
A ₁	-3,40944	2,28866	-0,19357	-2,73643	1,92417	-0,13587
A ₂	-3,97129	2,76247	-0,26372	-2,90768	2,07220	-0,15448
A ₃	-3,64987	2,60568	-0,24360	-2,94880	2,07886	-0,15310
A ₄	-3,46668	2,31357	-0,19943	-3,11068	2,03952	-0,14796
A ₅	-3,64506	2,18741	-0,17428	-3,58772	2,10083	-0,14523
B ₂	-3,60634	2,75842	-0,27652	-2,75482	2,0828	-0,16099
B ₃	-3,28493	2,60163	-0,25640	-2,79593	2,08947	-0,15961
B ₄	-3,10174	2,30952	-0,21223	-2,95782	2,05012	-0,15447
B ₅	-3,28012	2,18336	-0,18708	-3,43485	2,11143	-0,15175
C ₂	-3,55740	2,75427	-0,27668	-2,84134	2,20306	-0,18239
C ₃	-3,23598	2,59748	-0,25656	-2,88245	2,20973	-0,18100
C ₄	-3,05279	2,30537	-0,21240	-3,04434	2,17038	-0,17587
C ₅	-3,23118	2,17921	-0,18725	-3,52137	2,23169	-0,17314

Для оценки вклада трофности и влажности почв в изменение таксационных показателей древостоев целесообразно использовать графические визуализации зависимости коэффициентов ростовой функции от типов лесорастительных условий, построенные по результатам полученных регрессий (рис. 1, 2). В гидрогенном ряду в лучших условиях произрастания для сос-

новых древостоев (мезофильные) наблюдаются максимальные абсолютные значения параметров ростовой функции. При движении в сторону переувлажнённых почв и недостаточного увлажнения абсолютные значения параметров снижаются. При повышении трофности почв происходит увеличение абсолютных значений параметров ростовой функции.

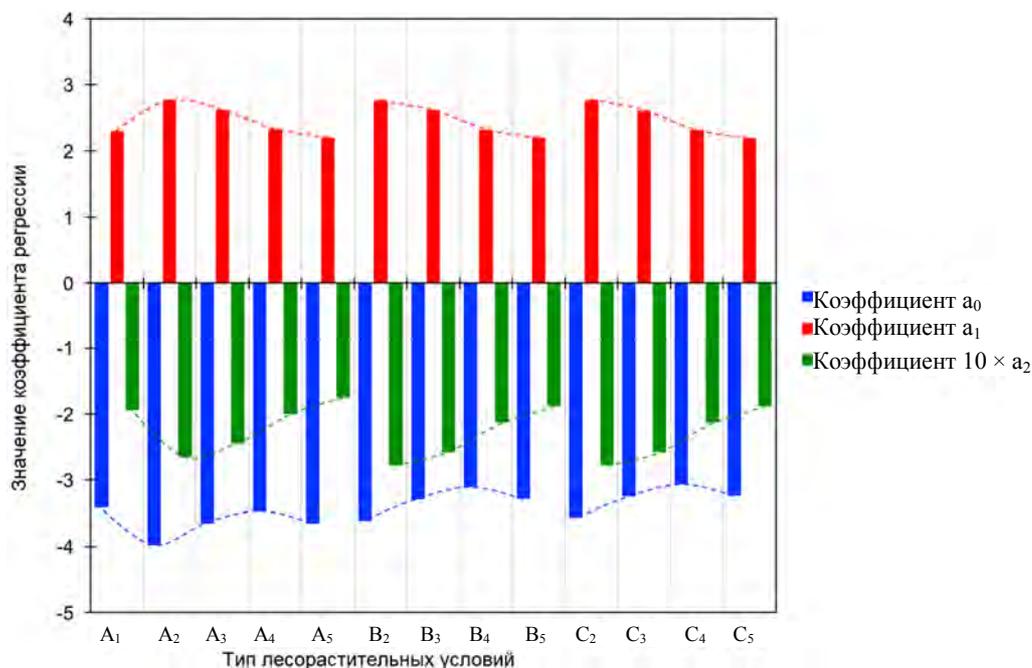


Рис. 1. Взаимосвязь численных коэффициентов уравнений хода роста по средней высоте с типами лесорастительных условий

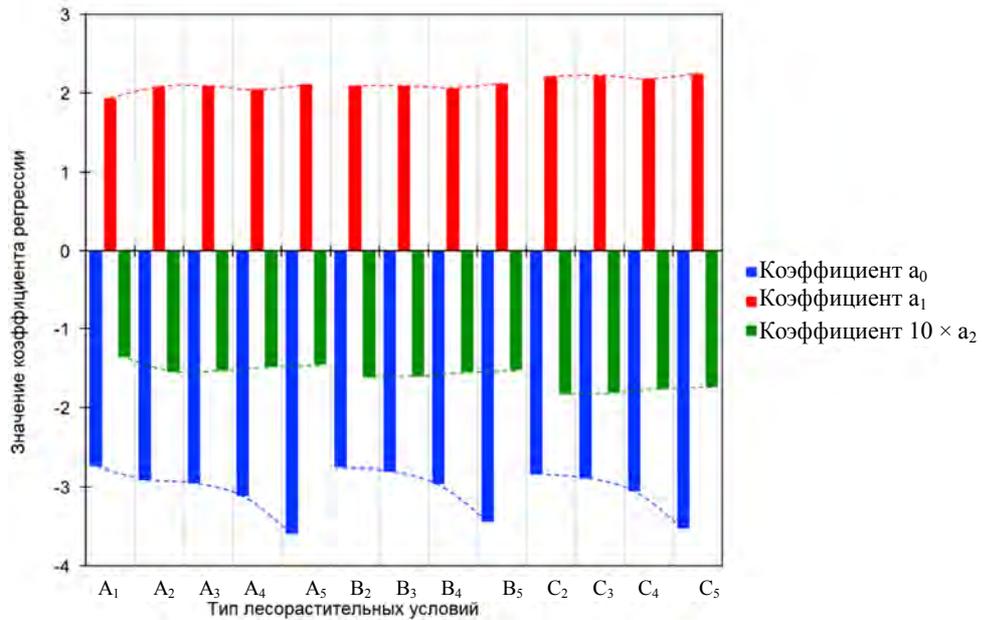


Рис. 2. Взаимосвязь численных коэффициентов уравнений хода роста по среднему диаметру с типами лесорастительных условий

Так, к примеру, лучше всего древостои растут в ТЛУ С₃ (рис. 3–5), где отмечается оптимальное сочетание для них влажности и трофности почв. Самые плохие условия для роста сосновых древостоев отмечаются в ТЛУ А₅, где их высота в 100-летнем возрасте составляет всего 15,4 м, а диаметр – 20,2 см. Амплитуда значений средней высоты для лучших и худших почвенно-грунтовых условий произрастания составляет 11,3 м, а среднего диаметра – 11,4 см.

На рисунках чётко видно, что кривые роста в отдельных ТЛУ, имея одну общую точку в раннем возрасте, далее могут рас-

ходиться, а затем, в ряде случаев, вновь пересекаться, что указывает на асинхронность динамики таксационных параметров древостоев, которую необходимо учитывать при разработке лесотипологических шкал их роста. Следует обратить особое внимание на тот факт, что древостои, произрастающие в противоположных почвенно-грунтовых условиях (в мезоксерофильных борах и в гигрофильных сложных субориях), в возрасте 100 лет относятся к III классу бонитета со значениями средней высоты соответственно 20,6 и 21,3 м, однако имеют разный характер роста.

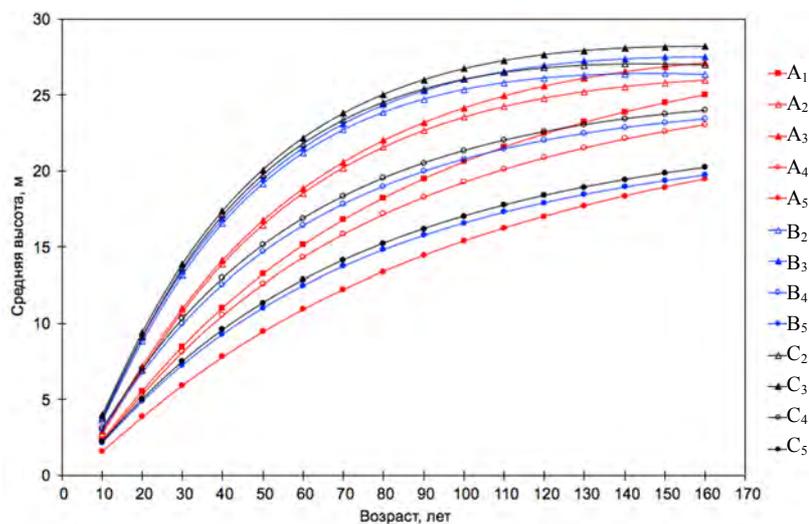


Рис. 3. Ход роста по средней высоте сосновых древостоев в различных ТЛУ

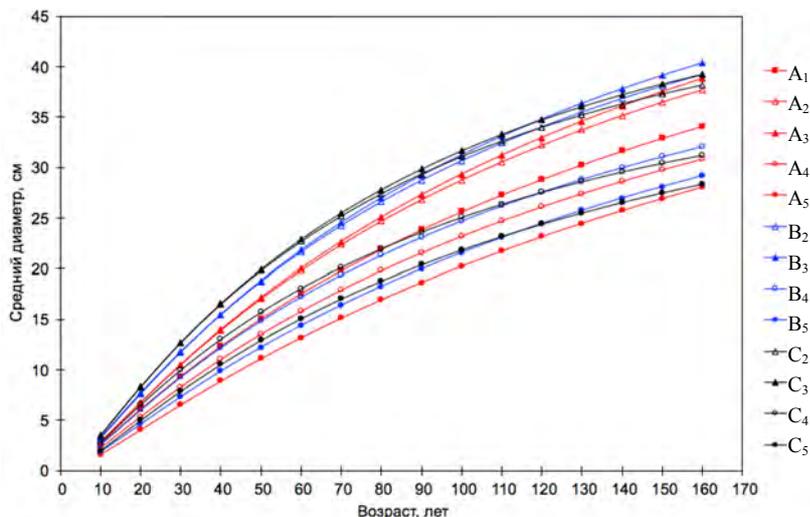


Рис. 4. Ход роста по среднему диаметру сосновых древостоев в различных ТЛУ

Важным таксационным показателем древостоев, наряду с их средней высотой и средним диаметром, является запас стволовой древесины. Для моделирования его величины, проведённого по данным стандартной таблицы [9], можно использовать регрессионное уравнение, сочетающее взаимосвязь запаса со средней высотой древостоя, его полнотой и долевым участием той или иной породы:

$$M = \exp(-1,48427 + 2,09778 \ln H - 0,13332 \ln^2 H + \ln P + \ln K), \quad (4)$$

где M — запас, $\text{м}^3/\text{га}$; H — средняя высота, м; P — относительная полнота, ед.; K — доля участия породы в составе древостоя, ед. Для этого следует в данное уравнение ввести численные значения коэффициентов из табл. 2.

Модель запаса древостоя можно представить также в виде функции от возраста (A , лет) для отдельно взятых типов лесорастительных условий, в которой независимыми переменными являются также коэффициент состава и относительная полнота:

$$M = \exp(-1,48427 + 2,09778(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A) - 0,13332(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A)^2 + \ln P + \ln K). \quad (5)$$

Результаты расчётов, проведённые по уравнению (4), показали, что запас чистых максимально сомкнутых сосновых древо-

стояков закономерным образом изменяется по ТЛУ в зависимости от богатства и трофности почв (рис. 3). Так, например, в гигрофильных борах его величина в возрасте 100 лет составляет $350 \text{ м}^3/\text{га}$, в гигрофильных субориях — $385 \text{ м}^3/\text{га}$, в гигрофильных сложных субориях — $400 \text{ м}^3/\text{га}$. По градиенту увлажнения в борах запас в этом же возрасте изменяется следующим образом: ТЛУ A_1 — $380 \text{ м}^3/\text{га}$, A_2 — 450 , A_3 — 465 , A_4 — 350 и A_5 — $260 \text{ м}^3/\text{га}$.

Для удобства сравнения хода роста древостоев по форме их значения лучше представить в виде индексных кривых, которые являются отношением значения таксационного показателя в возрасте A к значению показателя в базовом возрасте 100 лет. В соответствии с ростовой функцией Корсуня-Бакмана (1) уравнения индексной кривой средней высоты и среднего диаметра имеют следующий вид:

$$I_{H(D)} = \exp(a_0 + a_1(\ln A - \ln 100) + a_2(\ln^2 A - \ln^2 100)). \quad (6)$$

Уравнение индексных кривых запаса сосновых древостоев выглядит следующим образом:

$$I_M = \exp(2,09778(a_1(\ln A - \ln 100) + a_2(\ln^2 A - \ln^2 100)) - 0,13332((a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A)^2 - (a_0 + a_1 \ln 100 + a_2 \ln^2 100)^2)).$$

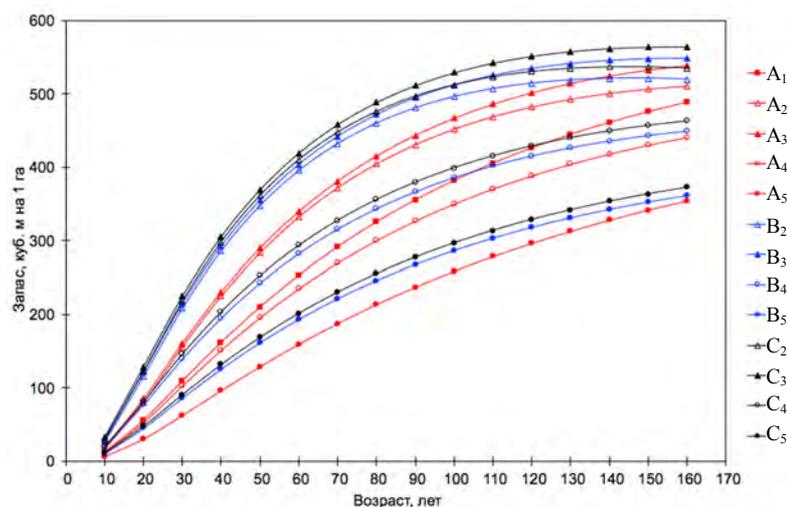


Рис. 5. Ход роста по запасу сомкнутых сосновых древостоев в различных ТЛУ

Типовые ряды хода роста сосновых древостоев по средней высоте, среднему диаметру и запасу древостоев по типам лесорастительных условий представлены в табл. 4, которая выступает в качестве норматива для прогнозирования значений таксационных показателей по их известному значению в базовом возрасте (в данном случае в возрасте 100 лет).

Каждая типовая кривая роста, выраженная в относительных величинах, характеризует интенсивность возрастных изменений конкретного таксационного показателя в соответствующих лесорастительных условиях. При решении практических задач каждую индексную кривую роста следует перевести в абсолютные значения, охватывающие все уровни, названные классами показателя в разрезе конкретного типа лесорастительных условий.

Так, например, от типовой кривой средних высот в мезофильных сложных суборях (ТЛУ – С₂) можно перейти к абсолютным значениям по классам средних высот. При $H_{100} = 30$ м получим следующий ряд средних высот: 20 лет – 10,5 м; 40 лет – 19,7 м; 60 лет – 25,1 м; 80 лет – 28,3 м. При снижении средней высоты в возрасте 100 лет до 25 м ряд средних высот приобретает следующий вид: 20 лет – 8,8 м; 40 лет – 16,4 м; 60 лет – 20,9 м; 80 лет – 23,6 м. Использование классов высот позволяет охватить всё многообра-

зие значений средних высот древостоев в разрезе конкретного типа лесорастительных условий.

С учётом почвенно-грунтовых условий можно выявить следующие закономерности в изменении формы кривых роста. Наиболее интенсивный рост древостоев в молодости проявляется в лучших почвенно-грунтовых условиях (относительно богатые мезофильные и мезогигрофильные почвы), но в них возраст спелости наступает раньше, чем в худших условиях. В худших почвенно-грунтовых условиях (бедные и сильно переувлажнённые почвы) в связи с действием лимитирующих факторов в молодости происходит замедленный рост, но к тому времени, когда в лучших условиях начинается распад древостоя, здесь процессы роста продолжают, и возраст спелости наступает гораздо позже.

Таким образом, в качестве общей закономерности следует считать, что в сходных климатических условиях понижение лесорастительного эффекта происходит по мере ухудшения почвенно-грунтовых условий, которое сказывается на уменьшении значений классов высоты, диаметра и запаса и проявляется в индексной кривой более пологой S-образной формы. Отсюда следует, что наиболее вероятные возрастные изменения показателей должны быть строго увязаны с почвенно-грунтовыми

условиями произрастания древостоев, а не с классами бонитета, которые имеют условную градацию, функционально не связанную с экологическими факторами.

Следует обратить внимание на тот факт, что древостои, произрастающие в противоположных почвенно-грунтовых условиях – в мезоксерофильных борах (ТЛУ – А₁) и в гигрофильных сложных суборах (ТЛУ – С₄), относятся к III классу бонитета со значениями средних высот в 100 лет соответственно 20,6 и 21,3 м. Но кривые хода роста в данных почвенно-грунтовых условиях характеризуются со-

вершенно разными типами роста. Отсюда следует, что в пределах одного класса бонитета в зависимости от экологических условий ход роста описывается разными типовыми кривыми, поэтому целесообразно для каждого лесного района иметь в качестве базового норматива, характеризующего ход роста совокупности сомкнутых древостоев, индексные значения средней высоты, среднего диаметра и запаса отдельно по каждому типу лесорастительных условий. Для сосновых древостоев Костромской области этот норматив представлен в виде табл. 4.

Таблица 4

Индексы средней высоты, среднего диаметра и запаса сосновых древостоев по типам лесорастительных условий

Возраст, лет	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
<i>Индексы средней высоты (средняя высота в 100 лет принята за 1,0 ед.)</i>													
10	0,112	0,115	0,119	0,116	0,104	0,142	0,148	0,143	0,129	0,144	0,150	0,145	0,130
20	0,268	0,295	0,297	0,277	0,249	0,348	0,350	0,326	0,294	0,351	0,353	0,329	0,296
30	0,411	0,457	0,454	0,422	0,385	0,519	0,516	0,480	0,438	0,523	0,520	0,483	0,441
40	0,535	0,590	0,585	0,546	0,507	0,653	0,647	0,605	0,561	0,656	0,650	0,608	0,563
50	0,642	0,699	0,692	0,653	0,614	0,756	0,749	0,706	0,664	0,759	0,751	0,709	0,667
60	0,734	0,787	0,780	0,744	0,710	0,835	0,827	0,789	0,753	0,837	0,830	0,792	0,755
70	0,815	0,859	0,852	0,822	0,795	0,895	0,888	0,858	0,829	0,897	0,890	0,859	0,830
80	0,885	0,916	0,911	0,890	0,871	0,941	0,936	0,914	0,894	0,942	0,937	0,915	0,895
90	0,946	0,963	0,960	0,949	0,939	0,975	0,972	0,961	0,951	0,976	0,973	0,962	0,951
100	1,000												
110	1,048	1,030	1,033	1,045	1,055	1,018	1,021	1,032	1,043	1,017	1,020	1,032	1,043
120	1,090	1,053	1,060	1,084	1,106	1,030	1,036	1,059	1,081	1,029	1,035	1,058	1,080
130	1,127	1,072	1,081	1,118	1,151	1,037	1,046	1,082	1,114	1,036	1,045	1,080	1,112
140	1,160	1,086	1,099	1,148	1,193	1,041	1,053	1,100	1,143	1,039	1,051	1,098	1,141
150	1,189	1,096	1,113	1,174	1,231	1,041	1,057	1,115	1,169	1,039	1,054	1,113	1,166
160	1,215	1,104	1,123	1,197	1,265	1,039	1,058	1,127	1,191	1,036	1,055	1,124	1,188
<i>Индексы среднего диаметра (средний диаметр в 100 лет принят за 1,0 ед.)</i>													
10	0,103	0,099	0,095	0,096	0,080	0,107	0,103	0,104	0,086	0,114	0,110	0,111	0,092
20	0,238	0,236	0,229	0,229	0,201	0,251	0,244	0,244	0,214	0,269	0,261	0,261	0,229
30	0,365	0,366	0,358	0,357	0,323	0,385	0,376	0,376	0,340	0,409	0,400	0,399	0,361
40	0,482	0,484	0,476	0,475	0,440	0,504	0,496	0,494	0,458	0,531	0,522	0,521	0,482
50	0,588	0,592	0,584	0,583	0,549	0,611	0,603	0,601	0,567	0,637	0,629	0,627	0,592
60	0,684	0,689	0,683	0,681	0,652	0,706	0,699	0,697	0,667	0,730	0,723	0,721	0,690
70	0,773	0,778	0,773	0,771	0,748	0,791	0,786	0,784	0,760	0,811	0,805	0,804	0,779
80	0,855	0,858	0,855	0,854	0,837	0,868	0,864	0,863	0,846	0,882	0,878	0,877	0,860
90	0,930	0,932	0,930	0,930	0,921	0,937	0,935	0,934	0,926	0,944	0,943	0,942	0,933
100	1,000												
110	1,065	1,062	1,064	1,065	1,074	1,057	1,059	1,060	1,069	1,049	1,051	1,052	1,061
120	1,125	1,120	1,124	1,126	1,144	1,110	1,114	1,115	1,133	1,093	1,097	1,099	1,117
130	1,182	1,173	1,179	1,182	1,210	1,158	1,164	1,166	1,193	1,133	1,139	1,141	1,168
140	1,235	1,223	1,231	1,235	1,272	1,202	1,210	1,214	1,250	1,168	1,176	1,180	1,215
150	1,285	1,269	1,279	1,284	1,331	1,242	1,252	1,257	1,303	1,200	1,210	1,214	1,258
160	1,331	1,311	1,324	1,330	1,386	1,279	1,292	1,298	1,353	1,228	1,240	1,246	1,298

Окончание таблицы 4

Возраст, лет	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
<i>Индексы запаса (запас в 100 лет принят за 1,0 ед.)</i>													
10	0,031	0,035	0,039	0,032	0,023	0,054	0,059	0,049	0,036	0,056	0,061	0,051	0,037
20	0,145	0,177	0,180	0,150	0,116	0,233	0,237	0,199	0,157	0,238	0,242	0,204	0,160
30	0,285	0,344	0,344	0,293	0,240	0,420	0,419	0,361	0,300	0,426	0,425	0,366	0,305
40	0,423	0,497	0,493	0,432	0,371	0,577	0,571	0,505	0,438	0,582	0,577	0,511	0,443
50	0,549	0,627	0,620	0,559	0,497	0,701	0,693	0,628	0,563	0,705	0,698	0,633	0,568
60	0,663	0,735	0,727	0,671	0,616	0,797	0,788	0,732	0,674	0,801	0,792	0,736	0,679
70	0,763	0,823	0,816	0,770	0,725	0,871	0,863	0,818	0,772	0,874	0,866	0,821	0,776
80	0,852	0,895	0,889	0,857	0,825	0,927	0,921	0,890	0,858	0,929	0,923	0,892	0,860
90	0,931	0,953	0,950	0,933	0,917	0,969	0,966	0,950	0,934	0,970	0,967	0,951	0,935
100	1,000												
110	1,062	1,037	1,041	1,059	1,076	1,022	1,026	1,042	1,058	1,021	1,025	1,041	1,057
120	1,116	1,067	1,075	1,110	1,146	1,037	1,044	1,077	1,110	1,035	1,043	1,075	1,108
130	1,164	1,090	1,102	1,155	1,209	1,046	1,057	1,106	1,155	1,044	1,055	1,103	1,152
140	1,207	1,108	1,124	1,195	1,268	1,050	1,065	1,129	1,195	1,048	1,062	1,126	1,191
150	1,246	1,121	1,141	1,230	1,321	1,051	1,070	1,149	1,230	1,048	1,066	1,145	1,225
160	1,280	1,130	1,154	1,260	1,370	1,048	1,071	1,165	1,261	1,045	1,067	1,160	1,255

На рис. 6, 7 приведены фрагменты сопоставления типизированных кривых по средней высоте и запасу для наименее и наиболее продуктивных типов лесорастительных условий с типизированными кривыми сосновых древостоев по В. В. Загरेву [8], нормированными относительно 100-летнего возраста. Все кри-

вые хода роста древостоев по средней высоте по В. В. Загреву [8] укладываются в 16 типов роста, а по запасу – в 15. При этом типовые кривые наделены обычными порядковыми номерами, которые никаким образом не взаимосвязаны с климатическими и почвенно-грунтовыми условиями мест произрастания древостоев.

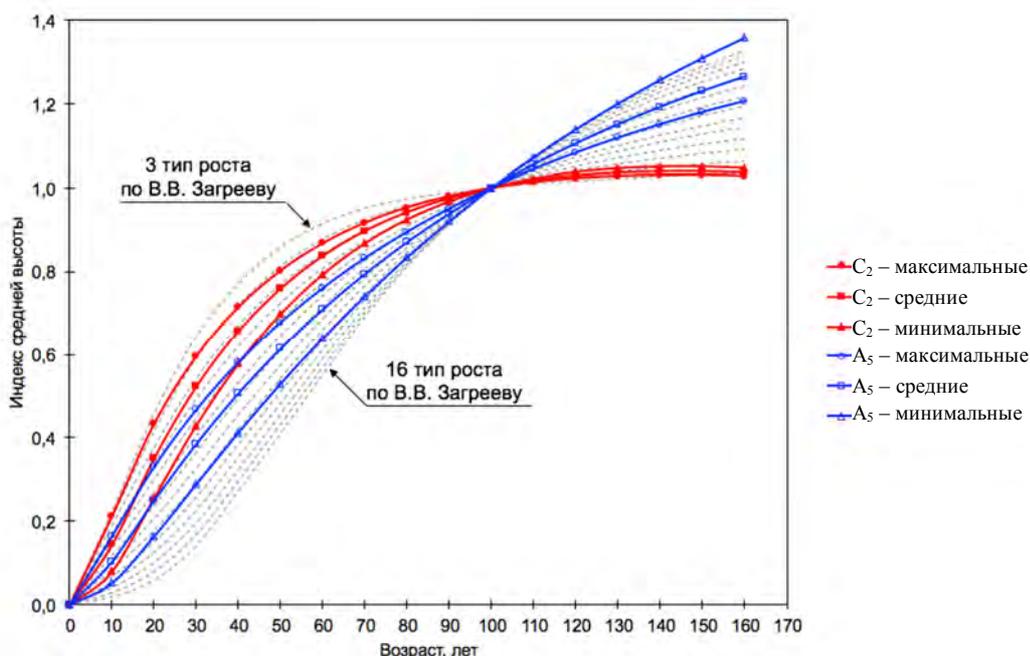


Рис. 6. Сопоставление индексных кривых средней высоты сосновых древостоев Костромской области с кривыми В. В. Загрева

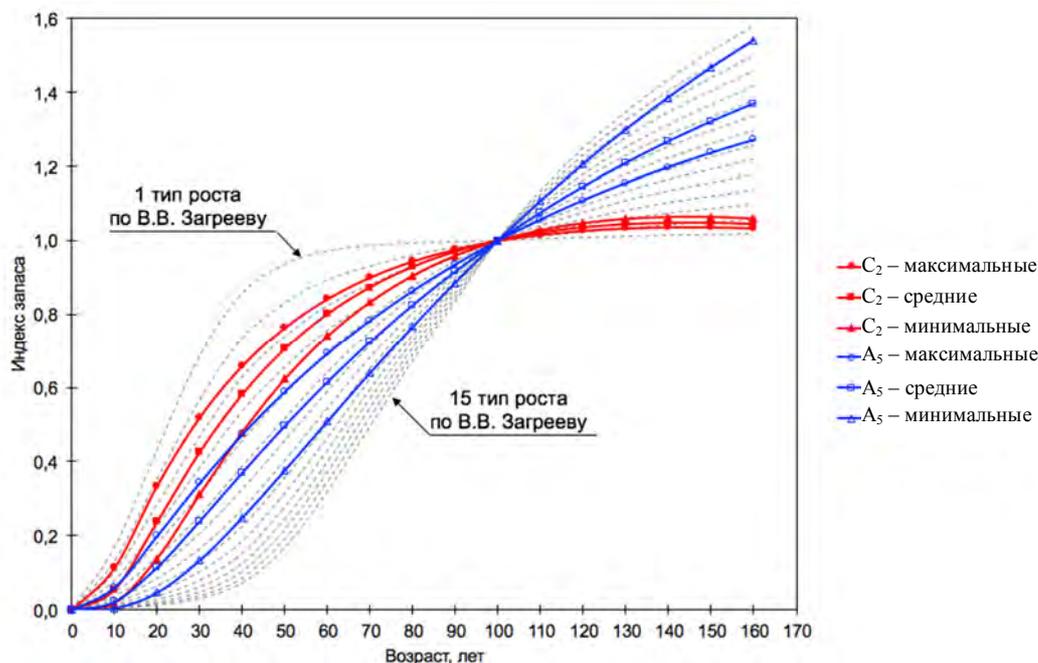


Рис. 7. Сопоставление индексных кривых запаса сосновых древостоев Костромской области с кривыми В. В. Загребеева

Сопоставление вееров индексных кривых средней высоты и запаса свидетельствует о необходимости проведения типизации роста древостоев на экологических принципах, так как лесотипологические индексные кривые, полученные для относительно небольшой лесной области (Костромская область) в диапазоне от древостоев с минимальными значениями средних высот и запасов до древостоев с максимальными значениями средних высот и запасов в разрезе конкретных типов лесорастительных условий, в подавляющем большинстве случаев укладываются в разброс бонитетных индексных кривых, стандартизированных В. В. Загребеевым, для всех евразийских регионов произрастания сосновых древостоев.

Заключение. Результаты лесотипологической типизации формы кривых роста во многом зависят от трофности и увлажнения почв. Наиболее интенсивный рост древостоев в молодости проявляется в лучших почвенно-экологических условиях (относительно богатые мезофильные и мезогигрофильные почвы), но в них воз-

раст спелости наступает раньше, чем в худших условиях на бедных и переувлажнённых почвах. Однако, когда в лучших условиях начинается распад древостоев, в худших их рост продолжается и возраст спелости наступает значительно позже. Таким образом, общей закономерностью следует считать, что в сходных климатических условиях уменьшение лесорастительного эффекта происходит по мере ухудшения почвенно-экологических условий, которые сказываются не только на снижении значений классов высоты, диаметра и запаса древостоев, но и характере их роста. Считаем целесообразным при отображении хода роста древостоев в регионах со сходными климатическими условиями использовать не бонитетные, а лесотипологические модели роста. Наличие общей классификационной схемы почвенно-экологических условий и изложенных методических положений позволяет выявлять и обобщать закономерности хода роста древостоев для разных лесных районов по климатическим градиентам.

Список литературы

1. Демаков Ю. П. Устойчивость лесных экосистем: методологические и методические аспекты. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 416 с.
2. Демаков Ю. П. Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе // ИВУЗ: Лесной журнал. 2002. № 4. С. 32-36.
3. Хлюстов В. К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели-нормативы-технологии. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. Книга I. 389 с.
4. Хлюстов В. К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели-нормативы-технологии. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. Книга II. 449 с.
5. Хлюстов В. К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Экобиоэнергетический потенциал сосняков Костромской области: Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 292 с.
6. Зейде Б. Б. Стандартизация рядов хода роста основных таксационных показателей // Лесное хозяйство. 1968. № 10. С. 54-57.
7. Zeide B. Standardization of growth curves // Journal of Forestry. 1978. Vol. 76, № 5. Pp. 289-292.
8. Загреев В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесная промышленность, 1978. 240 с.
9. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, и др. М.: Колос, 1992. 495 с.
10. Лесной план Костромской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dlh44.ru/i/u/NPA/new_les_plan_2012.pdf (дата обращения: 01.07.2016).
11. Павлов В. М. Особенности хода роста сосны в бассейне реки Унжи // Новое в лесной таксации и лесоустройстве. М.: Лесная промышленность, 1965. Вып. 2. С. 37-39.
12. Тюрин А. В. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели: всеобщие таблицы хода роста. – 2-е изд. М.-Л.: Сельхозгиз, 1931. 200 с.
13. Хлюстов В. К., Лебедев А.В. Возрастная динамика роста и продуктивности сосновых древостоев на лесотипологической основе в условиях боров Костромской области // Наука и Мир. 2013. №1 (1). С. 132-134.
14. Хлюстов В. К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Возрастная динамика биологической продуктивности сосновых древостоев по типам леса Костромской области // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международной конференции (14-15 окт. 2015 г.) / Отв. ред. проф. Э.А. Курбанов. – Электрон. дан. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. С. 77-84. URL: <http://www.volgatech.net/international-cooperation-department/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/publications>
15. Кивисте А. К. Функции роста леса. Тарту: Эстонская с.-х. академия, 1988. 108 с.

Статья поступила в редакцию 20.06.16.

Информация об авторах

ХЛЮСТОВ Виталий Константинович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Область научных интересов – лесоустройство и лесная таксация, лесоводство, дистанционное зондирование лесов. Автор 200 публикаций.

ЛЕБЕДЕВ Александр Вячеславович – хранитель фондов Музея леса имени А. Р. Варгаса де Бедемара, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Область научных интересов – лесоустройство и лесная таксация, лесоводство, анализ данных. Автор 16 публикаций, в том числе одной монографии.

UDC 630*5+502.21

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.5

ENVIRONMENTAL TYPES OF WOOD STAND GROWTH YIELD

V. K. Khlyustov¹, A. V. Lebedev^{1,2}

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazev St., Moscow, 127550, Russian Federation
E-mail: 89035269073@mail.ru

²Kologrivski Forest Nature Reserve,
48, Nekrasov St., Kologriv, the Kostroma Region, 157440, Russian Federation
E-mail: avl1993@mail.ru

Key words: pine wood stands; forest site types; yield modelling; growth types; index-linked growth curves.

ABSTRACT

The **rationale for research** is in the necessity to refine evaluation techniques of forest yield and inventory standards, showing the regularities of their growth rates. The work is aimed at modelling of pine wood stands growth in terms of their mean height, mean diameter and mean inventory, supported with environmental feasibility study of growth curves features depending on the forest site type. **Materials and methods.** The research is focused on the natural pine wood stand growing in different kinds of forest sites of the Kostroma Region covering 1,013 thousand ha which amounts to 23.3 % of the forested area. We used a multiple regression equation combining synergetic combinations of binary variables, encoding forest types with the age of wood stands and the growth function of Korsun-Backmann as a growth model. **Results.** The paper provides environmentally-based explanation that a growth curve form in wood stands, which starts from one point at the beginning, then feature differences and then in a number of cases come to the same point again, which points to the asynchronous character of dynamic changes. The most intensive young stand growth rate at a young age is observed in the best soil and environmental conditions on relatively rich mesophilic and mesohydrophilic soils. This stand becomes mature earlier than a stand growing in worse conditions on poor or overhydrated soils. However, when a stand growing in better conditions, starts to decline, a stand growing in worse conditions is still growing; it takes longer to become mature. It implies that the most probable age changes in the indicators should be linked to the forest site types rather than to quality classes, which are only relatively graded, but are functionally not linked to the environmental factors. Development of a general classification scheme of the soil and environmental conditions in different forest regions is bound to enable detection and generalization of the regularities of wood stand growth course by climatic gradients based on above stated methodical solutions. The authors come to a **conclusion** that the growth models of wood stands represent not only inventory standards, but also a programme for managing stand development, therefore, these models should be constructed not by their quality classes but should be based on the forest site types.

REFERENCES

- Demakov Yu. P. *Ustoychivost lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty* [Sustainability of forest ecosystems: methodological and methodical aspects]. Yoshkar-Ola: Periodical of Mari El, 2000. 416 p.
- Demakov Yu. P. *Izmenchivost i klassifikatsiya form krivyykh khoda rosta derevev v ontogeneze* [Variability and classification of tree growth curves in the ontogenesis]. *IVUZ: Lesnoy zhurnal* [Forest Journal]. 2002. No 4. Pp. 32-36.
- Khlyustov V. K. *Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii* [Integral assessment and management of timber resources: models-regulations-technologies]. Moscow: Publishing house RGAU-MSKHA named after K.A. Timiryazev, 2015. Vol. I. 389 p.
- Khlyustov V. K. *Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii* [Integral assessment and management of timber resources: models-regulations-technologies]. Moscow: Publishing house RGAU-MSKHA named after K.A. Timiryazev, 2015. Vol. II. 449 p.
- Khlyustov V. K., Lebedev A.V., Efimov O.E. *Ekobioenergeticheskiy potentsial sosnyakov Kostromskoy oblasti: Monografiya* [Environmental and bioenergetic potential of pine woods in the Kostroma Region: Monograph]. Moscow: Publishing house RGAU-MSKHA, 2016. 292 p.

6. Zeyde B. B. Standartizatsiya ryadov khoda rosta osnovnykh taksatsionnykh pokazateley [Standardization of the growth course series in terms of key inventory indicators]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1968. No 10. Pp. 54-57.
7. Zeide B. Standardization of growth curves. *Journal of Forestry*. 1978. Vol. 76, No 5. Pp. 289-292.
8. Zagreev V. V. *Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev* [Geographic regularities of wood stands growth rate and yield]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1978. 240 p.
9. Zagreev V.I. Sukhikh A.Z. Shvidenko N.N. Gusev A.G. Moshkalev. *Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union standards for forest inventory]. Moscow: Kolos, 1992. 495 p.
10. Lesnoy plan Kostromskoy oblasti [Forest plan of the Kostroma Region]. Available at: http://dlh44.ru/i/u/NPA/new_les_plan_2012.pdf (Date of reference: 01.07.2016).
11. Pavlov V. M. Osobennosti khoda rosta sosny v bassejne reki Unzhi [Peculiarities of pine growth rates in the basin of river Unzha]. *Novoe v lesnoy taksatsii i lesoustroystve* [Novelties in forest inventory and forest management]. Moscow: Lesnaya promyshlennost. 1965. Iss. 2. Pp. 37-39.
12. Tyurin A. B. Normalnaya proizvoditelnost nasazhdeniy sosny, berezy, osiny i eli: vseobshchie tablitsy khoda rosta [Normal yield of pine, birch, aspen and spruce stands: universal tables of growth rate]. 2nd Edition. Moscow-Leningrad: Selkolkhozgiz, 1931. 200 p.
13. Khlyustov V. K., Lebedev A.V. Vozrastnaya dinamika rosta i produktivnosti sosnovykh drevostoev na lesotipologicheskoy osnove v usloviyakh borov Kostromskoy oblasti [Age dynamics of growth and yield of pine stands based on the pine forest type in the Kostroma Region]. *Nauka i Mir* [Science and World]. 2013. No 1 (1). Pp. 132-134.
14. Khlyustov V. K., Lebedev A.V., Efimov O.E. Vozrastnaya dinamika biologicheskoy produktivnosti sosnovykh drevostoev po tipam lesa Kostromskoy oblasti [Age dynamics of biological productivity of pine stands based on the type of woods in the Kostroma Region]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost i distantsionnyy monitoring: materialy mezhdunarodnoy konferentsii (14-15 okt. 2015 g.)* [Forest ecosystems under the climate change; biological productivity and distant monitoring: proceedings of international conference (14-15 October, 2015)/ Editor-in-Chief Prof. E.A. Kurbanov. – e-version. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet [Volga State University of Technology], 2015. Pp. 77-84. URL: <http://www.volgatech.net/international-cooperation-department/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/publications>
15. Kiviste, A. K. *Funktsii rosta lesa* [Functions of the forest growth]. Tartu: Estonian Agricultural Academy, 1988. 108 p.

The article was received 20.06.16.

Citation for an article: Khlyustov V. K., Lebedev A. V. Environmental Types of Wood Stand Growth Yield // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2016. No 4(32). Pp. 5-18. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.5

Information about the authors

KHLYUSTOV Vitaly Konstantinovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry and Landscape melioration at a Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Research interests – forest management, forest inventory, silviculture, remote sensing. Author of 200 publications.

LEBEDEV Aleksandr Vyacheslavovich – Custodian of the Museum of Forest named after A.R. Vargas de Bedemar, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Research interests – forest management, forest inventory, data analysis. Author of 16 publications including 1 monograph.