

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2023. № 1(70). С. 81–90.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov. 2023;1(70):81–90.

Научная статья

УДК 630*5

doi : 10.34655/bgsha.2023.70.1.011

ХОД РОСТА ДРЕВОСТОЕВ В ЕЛОВЫХ ТИПАХ ЛЕСА ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС»

**Николай Николаевич Дубенок¹, Александр Вячеславович Лебедев^{1,2},
Сергей Анатольевич Чистяков^{1,2}**

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Сеницына, Кологрив, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лебедев Александр Вячеславович,
alebedev@rgau-msha.ru

Аннотация. Региональные особенности хода роста древостоев Костромской области являются слабоизученными. Поэтому целью исследования являлось изучение хода роста древостоев основных лесообразующих пород в еловых типах леса на примере заповедника «Кологривский лес». Объектом исследования являлись древостои ели, пихты, березы, осины, липы и ольхи серой, произрастающие в еловых типах заповедника «Кологривский лес». Для изучения хода роста использованы материалы лесоустройства 1998 года (Кологривское, Нейское, Чухломское и Парфеньевское лесничества) и 2009 года (Центральное участковое лесничество заповедника «Кологривский лес»). В общей сложности проанализированы данные о 14846 элементах дендроценозов. Для анализа экспериментальных данных применялись общепринятые эмпирические регрессионные модели. В результате получены регрессионные уравнения, описывающие изменения средних высот и диаметров, запасов древесины от возраста основных лесообразующих пород в еловых типах леса заповедника «Кологривский лес». Выявлено, что лучший лесорастительный эффект по рассматриваемым таксационным показателям проявляется в типах леса ельник кисличный и ельник черничный, а худший – в ельниках папоротниковых. При этом для всех рассматриваемых древесных пород проявляется общая закономерность, что в лучших лесорастительных условиях распад древостоев начинается раньше, чем в худших. По полученным регрессионным зависимостям таксационных показателей от возраста древостоев могут быть составлены таблицы хода роста путем расчета сумм площадей сечений, числа деревьев, текущего и среднего изменения запасов по общепринятым в лесной таксации методам. Такие таблицы могут служить основой при прогнозировании изменений таксационных показателей совокупности древостоев в лесном фонде заповедника «Кологривский лес».

Ключевые слова: ход роста древостоев, Кологривский лес, заповедник.

FOREST STAND DEVELOPMENT IN THE SPRUCE FOREST TYPES OF "THE KOLOGRIVSKY LES" NATURE RESERVE

Nikolay N. Dubenok¹, Aleksandr V. Lebedev^{1,2}, Sergey A. Chistyakov^{1,2}

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²Kologrivsky Forest Nature Reserve, Kologriv, Russia

Corresponding author: Aleksandr V. Lebedev, alebedev@rgau-msha.ru

Abstract. *Regional features of the forest stand development in the Kostroma region are poorly studied. Therefore, the aim of the research was to study the forest stand development of the main forest-forming species in spruce forest types using "The Kologrivsky Les" ("The Kologrivsky Forest") Nature Reserve as an example. The object of the study was stands of spruce, fir, birch, aspen, linden and gray alder growing in spruce types of "The Kologrivsky Les" Nature Reserve. To study the forest stand development, forest inventory materials of 1998 (Kologrivskoye, Neyskoye, Chukhlomskoye and Parfenyevskoye forestries) and of 2009 (Central district forestry of "The Kologrivsky Les" Nature Reserve) were used. In total, data on 14846 elements of dendrocenoses were analyzed. To analyze the experimental data the generally accepted empirical regression models were used. As a result, regression equations have been obtained that describe changes in average heights and diameters, wood reserves from the age of the main forest-forming species in the spruce forest types of "The Kologrivsky Les" Nature Reserve. It was found out that the best forest growth effect in terms of the stand indicators is demonstrated in the forest types of sorrel spruce and blueberry spruce forests, and the worst - in fern spruce forests. At the same time, for all considered tree species, a general pattern is manifested that under the best forest growing conditions, the decay of forest stands begins earlier than under the worst ones. Based on the obtained regression dependences of stand indicators on the age of forest stands, tables of forest stand development can be compiled by calculating the basal areas, the number of trees, the current and average changes in stocks according to methods generally accepted in forest measurement and inventory. Such tables can serve as a basis for predicting changes in the stand indicators of the totality of forest stands in the forest area of "The Kologrivsky Les" Nature Reserve.*

Keywords: forest stand development, Kologrivsky Les (Kologrivsky Forest), nature reserve.

Введение. Ход роста древостоев отражает соотношение между средними таксационными показателями и возрастом для совокупности древостоев, так как большинство моделей и таблиц получены по материалам временных пробных площадей или массовой таксации. Данные зависимости, представленные либо в табличной форме, либо в виде математических выражений, не отражают закономерностей роста древостоев, а позволяют судить об общих тенденциях в изменении лесного фонда, выявлять общие закономерности влияния условий произрастания на производительность древостоев. На несоответствие таблиц хода роста динамике фактических древостоев многократно сообщалось в литературе

[1, 2, 3, 4, 5].

Первые таблицы хода роста (запаса и прироста) для основных лесообразующих пород (сосна, ель, береза, осина и ольха) Костромской губернии при средней полноте 0,6-0,7 ед. были опубликованы В.А. Чернеевским под общим руководством Н. Воробьева в 1908 году [6]. В их основу были положены данные 1410 пробных площадей в казенных, удельных и частновладельческих лесных дачах и 1459 модельных деревьев сосны и ели. В этих таблицах ряды изменений запасов и прироста древесины приводятся для песчаной, супесчаной, суглинистой почв и для древостоев, растущих по болоту.

В 1965 году В.М. Павловым [7], по данным 61 пробной площади, рубки 466

модельных деревьев и проведения 14 полных анализов древесных стволов в южной части Костромской области по левому берегу реки Унжи (Понизовский массив) были составлены таблицы хода роста растущей части сосновых древостоев I-III классов бонитета. В 1970-е годы П.В. Алексеевым [8] выполнены работы по исследованию хода роста генетически эталонных березняков Приветлужья на почвенно-типологической основе, а в 1990-е годы А.В. Алексеевым [9] изучены особенности хода роста пирогенных березняков Поветлужья в различных ландшафтно-типологических условиях.

В 2016 году опубликованы таблицы хода роста сосновых древостоев Костромской области по типам леса [10], а в 2017 году – по типам лесорастительных условий [11]. Кроме изменений таксационных показателей с возрастом, эти таблицы дополнены сведениями о биологической и товарной продуктивности древостоев, рядах распределения таксационных показателей по классам толщины деревьев.

Ввиду слабой изученности региональных особенностей хода роста древостоев Костромской области целью исследования являлось изучение хода роста древостоев основных лесообразующих по-

род в еловых типах леса на примере заповедника «Кологривский лес».

Объекты и методы исследования.

Объектом исследования являлись древостои ели, пихты, березы, осины, липы и ольхи серой, произрастающие в еловых типах леса государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М.Г. Сеницына (рис. 1). Заповедник расположен на территории Костромской области и включает два обособленных и удаленных участка: Кологривский (48094,6 га) и Мантуровский (10845,0 га). На первом преобладающими являются вторичные леса из березы повислой (*Betula pendula*), березы пушистой (*Betula pubescens*), осины (*Populus tremula*), ольхи серой (*Alnus incana*) на местах сплошнелесосечных вырубок 1930-1990 годов. В памятнике природы «Кологривский лес», по берегам малых лесных рек заповедника сохранились участки коренных южно-таежных ельников, в которых в составе древостоев преобладают ель обыкновенная (*Picea abies*) и ель финская (*Picea x fennica*), липа мелколистная (*Tilia cordata*). На втором участке типичными являются древостои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), произрастающие в местах крупного лесного пожара 1972 года.



Рисунок 1. Расположение Кологривского (1) и Мантуровского (2) участков заповедника в границах Костромской области (объект исследования – красная заливка)

Для изучения хода роста использованы материалы лесоустройства 1998 года (Кологривское, Нейское, Чухломское и Парфеньевское лесничества) и 2009 года (Центральное участковое лесничество заповедника «Кологривский лес»). В общей сложности проанализированы данные о 14846 элементах дендроценозов. По данным последнего лесоустройства, проведенного в 2009 году, на ельники черничные (ЕЧ) приходится 55,7 % площади Кологривского участка заповедника, ельники кисличные (ЕКИС) – 39,8 %, ельники папоротниковые (ЕПРК) – 2,5 %, ельники долгомошные (ЕДМ) – 0,2 % и иные типы леса – 1,8 %.

Для выравнивания значений средних высот (H) от возраста (A) использовалась ростовая функция А. Митчерлиха, в отечественной литературе также известная как функция Дракина-Вуевского [3, 12, 13]:

$$H = a_0(1 - \exp(-a_1 A))^{a_2}$$

Выравнивание зависимости средних диаметров (D) от возраста (A) выполнялось с применением квадратичной функции в логарифмическом масштабе зависимой и независимых переменных [10, 11], которая сводится к виду:

$$D = \exp(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A).$$

Зависимость запаса древесины (M) от возраста (A) была аппроксимирована функцией оптимума, согласно которой кривая имеет точку кульминации [14, 15]:

$$M = a_0 A^{a_1} \exp(-a_2 A).$$

В качестве показателя надежности регрессионных уравнений в исследовании использовались следующие метрики качества: коэффициент детерминации (R^2) и среднеквадратическая ошибка (SE).

Результаты исследований и их обсуждения. Оценки параметров и достоверность уравнений хода роста по средней высоте основных лесообразующих пород (ель, береза, осина, пихта, липа и ольха серая) по типам леса представлены в таблице 1. Во всех случаях оценки параметров статистически значимы (при $p < 0,05$). Уравнения позволяют охватить

от 85,7 до 96,4 % изменчивости средних высот. Среднеквадратическая ошибка находится в диапазоне от 1,5 до 2,4.

Графическая визуализация хода роста по средней высоте основных лесообразующих пород в еловых типах леса в сравнении с линиями из бонитетной шкалы [16] показана на рисунке 2. Полученные из уравнений кривые являются синхронными с бонитетными для еловых древостоев до возраста 70 лет, для березовых, осиновых и сероольховых – до 50 лет, для пихтовых и липовых – до 60 лет. После указанных возрастов прослеживается тенденция к снижению класса бонитета.

Наилучшими лесорастительными условиями по показателю средней высоты для всех рассматриваемых пород характеризуются типы леса ельник кисличный и ельник черничный, в которых формируются наиболее производительные древостои. В переувлажненных местообитаниях (типы леса ельник долгомошный и ельник папоротниковый) древостои являются менее производительными, в среднем, на I класс бонитета.

Оценки параметров и достоверность уравнений хода роста по среднему диаметру для основных лесообразующих пород по типам леса представлены в таблице 2. Во всех случаях оценки параметров статистически значимы (при $p < 0,05$). Полученные уравнения объясняют от 70,2 до 95,7 % вариации средних диаметров. Среднеквадратическая ошибка находится в диапазоне от 1,7 до 3,6.

Кривые хода роста по среднему диаметру древостоев основных лесообразующих пород в разных еловых типах леса показаны на рисунке 3. В ельниках черничных наилучший лесорастительный эффект по среднему диаметру стволов проявляется в еловых и березовых древостоях. В древостоях осины, ольхи серой, пихты и липы – в типе леса ельник кисличный. Наименьших значений средние диаметры для всех рассматриваемых древесных пород наблюдаются в ельниках папоротниковых, что связано с избыточным переувлажнением почвы.

Запасы элементов леса были приве-

Таблица 1 – Параметры уравнений хода роста по средней высоте

Древесная порода	Тип леса	Оценки параметров уравнения			R^2	SE
		a_0	a_1	a_2		
Ель (до 180 лет)	ЕКИС	26,920	0,033	1,532	0,882	2,375
	ЕЧ	26,830	0,027	1,387	0,898	1,973
	ЕДМ	25,882	0,023	1,262	0,956	1,526
	ЕПРК	25,367	0,022	1,164	0,916	1,695
Береза (до 140 лет)	ЕКИС	28,514	0,033	1,443	0,929	1,780
	ЕЧ	26,010	0,031	1,319	0,910	1,791
	ЕДМ	25,389	0,029	1,449	0,963	1,294
	ЕПРК	24,117	0,030	1,356	0,909	1,871
Осина (до 120 лет)	ЕКИС	28,433	0,034	1,464	0,909	1,833
	ЕЧ	25,270	0,035	1,310	0,895	1,848
	ЕДМ	25,132	0,031	1,610	0,964	1,519
	ЕПРК	25,131	0,026	1,228	0,922	1,856
Пихта (до 160 лет)	ЕКИС	27,858	0,037	1,756	0,858	1,634
	ЕЧ	25,739	0,037	1,732	0,857	1,416
	ЕПРК	24,381	0,039	2,559	0,922	1,455
Липа (до 160 лет)	ЕКИС	27,324	0,029	1,155	0,935	1,619
	ЕЧ	26,520	0,025	1,126	0,902	1,898
	ЕПРК	22,031	0,042	2,802	0,939	1,816
Ольха серая (до 100 лет)	ЕКИС	26,157	0,033	1,436	0,964	1,641
	ЕЧ	25,475	0,023	1,086	0,950	1,484
	ЕПРК	24,648	0,025	1,254	0,895	2,118

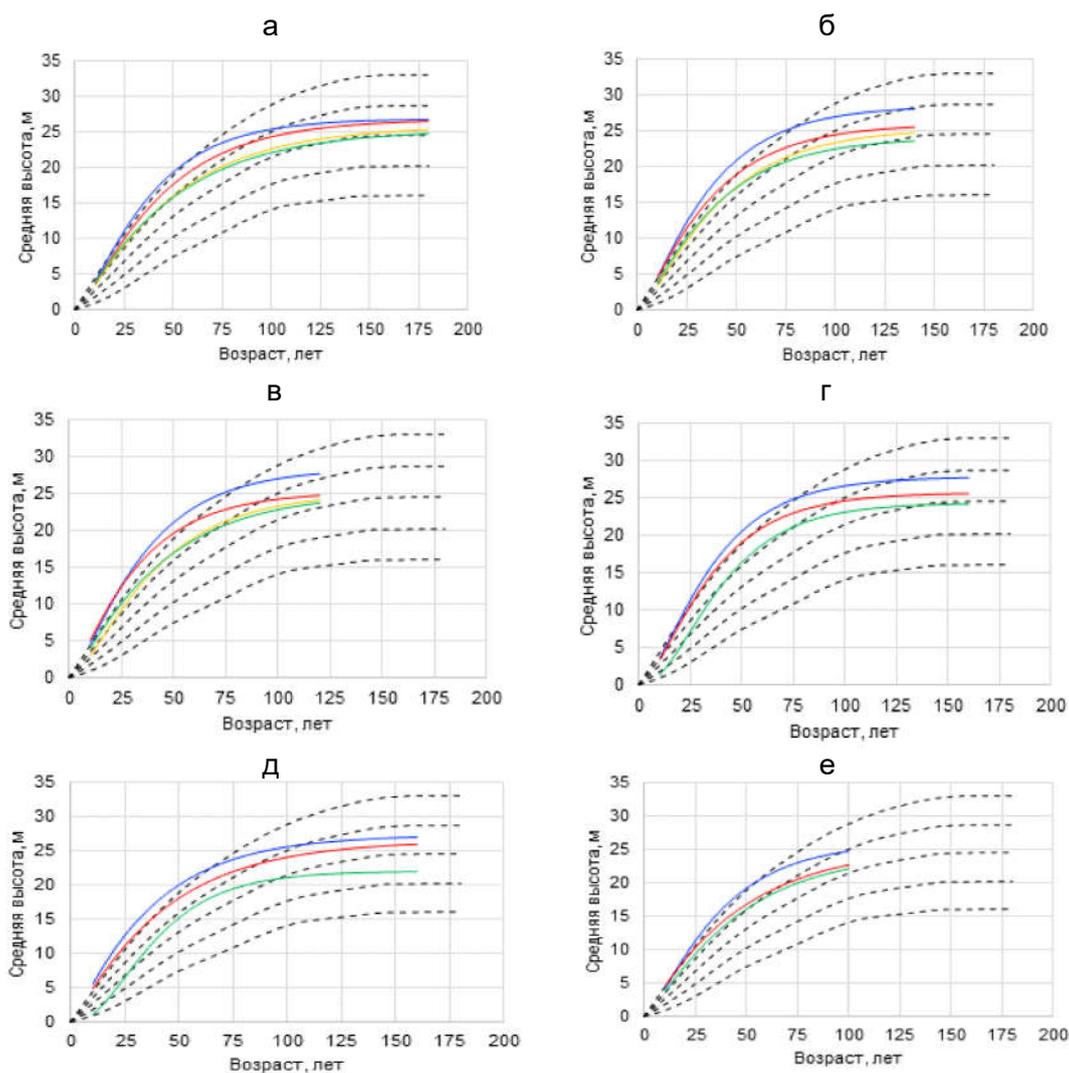


Рисунок 2. Ход роста по средней высоте (пунктирная линия – I-V классы бонитета, синяя линия – ЕКИС, красная линия – ЕЧ, желтая линия – ЕДМ, зеленая линия – ЕПРК): а) ель, б) береза, в) осина, г) пихта, д) липа, е) ольха серая

Таблица 2 – Параметры уравнений хода роста по среднему диаметру

Древесная порода	Тип леса	Оценки параметров уравнения			R^2	SE
		a_0	a_1	a_2		
Ель (до 180 лет)	ЕКИС	-2,152	1,765	-0,130	0,881	3,154
	ЕЧ	-3,932	2,748	-0,255	0,886	2,667
	ЕДМ	-3,784	2,637	-0,239	0,901	2,304
	ЕПРК	-4,183	2,778	-0,256	0,865	2,805
Береза (до 140 лет)	ЕКИС	-3,828	2,770	-0,269	0,894	2,163
	ЕЧ	-3,715	2,688	-0,251	0,905	2,265
	ЕДМ	-4,184	2,817	-0,261	0,869	3,365
	ЕПРК	-4,772	3,173	-0,316	0,865	2,600
Осина (до 120 лет)	ЕКИС	-4,972	3,272	-0,313	0,870	3,059
	ЕЧ	-3,594	2,642	-0,246	0,881	2,494
	ЕДМ	-2,841	2,057	-0,156	0,932	2,652
	ЕПРК	-4,286	2,910	-0,277	0,867	3,124
Пихта (до 160 лет)	ЕКИС	-3,834	2,740	-0,256	0,702	3,588
	ЕЧ	-3,696	2,768	-0,273	0,775	2,233
	ЕПРК	-2,604	2,119	-0,189	0,706	2,588
Липа (до 160 лет)	ЕКИС	-1,152	1,370	-0,084	0,899	2,218
	ЕЧ	-3,877	2,806	-0,274	0,898	2,222
	ЕПРК	-2,181	1,555	-0,097	0,957	1,533
Ольха серая (до 100 лет)	ЕКИС	-1,926	1,605	-0,096	0,931	1,929
	ЕЧ	-2,337	1,935	-0,156	0,895	1,756
	ЕПРК	-2,283	1,782	-0,129	0,943	1,681

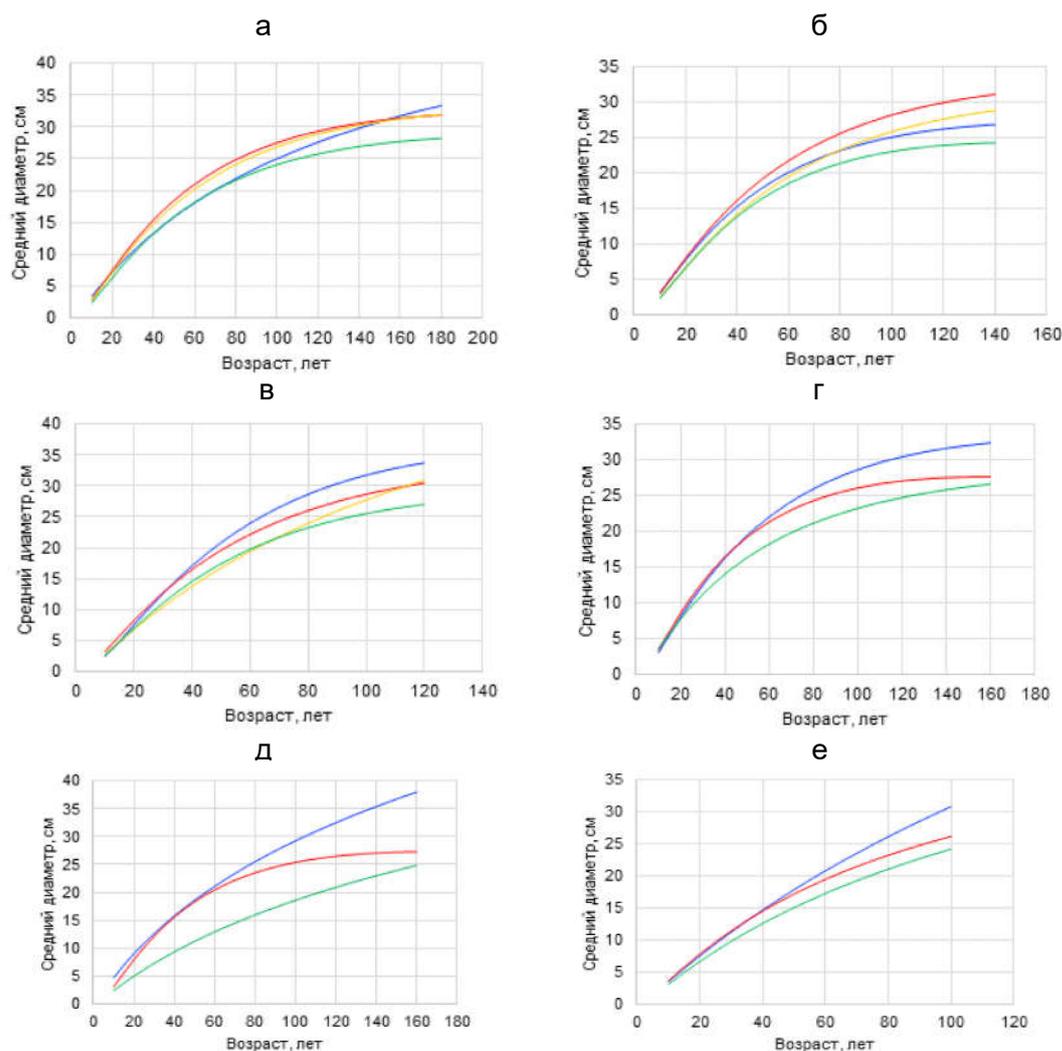


Рисунок 3. Ход роста по среднему диаметру (синяя линия – ЕКИС, красная линия – ЕЧ, желтая линия – ЕДМ, зеленая линия – ЕПРК):
а) ель, б) береза, в) осина, г) пихта, д) липа, е) ольха серая

дены к 100 % участия породы в составе древостоя, но при этом полученные уравнения отражают их зависимость от возраста при фактической средней полноте (0,6-0,7 ед.). Оценки параметров и достоверность уравнений хода роста по запасу чистых древостоев основных лесооб-

разующих пород по типам леса представлены в таблице 3. Во всех случаях оценки параметров статистически значимы (при $p < 0,05$). Уравнения позволяют охватить от 70,0 до 96,4 % изменчивости запасов. Среднеквадратическая ошибка находится в диапазоне от 12,9 до 66,2.

Таблица 3 – Параметры уравнений хода роста по запасу чистых древостоев

Древесная порода	Тип леса	Оценки параметров уравнения			R^2	SE
		a_0	a_1	a_2		
Ель (до 180 лет)	ЕКИС	0,283	1,737	0,013	0,858	34,989
	ЕЧ	0,484	1,745	0,016	0,790	43,336
	ЕДМ	1,128	1,463	0,012	0,763	41,714
	ЕПРК	0,664	1,481	0,010	0,700	43,432
Береза (до 140 лет)	ЕКИС	1,035	1,487	0,012	0,780	40,895
	ЕЧ	0,464	1,758	0,016	0,822	39,546
	ЕДМ	0,534	1,522	0,009	0,832	39,320
	ЕПРК	0,372	1,651	0,012	0,748	43,693
Осина (до 120 лет)	ЕКИС	0,857	1,555	0,013	0,814	36,445
	ЕЧ	0,719	1,623	0,015	0,781	37,861
	ЕДМ	0,898	1,310	0,006	0,964	12,865
	ЕПРК	0,308	1,703	0,012	0,844	35,672
Пихта (до 160 лет)	ЕКИС	0,661	1,698	0,015	0,761	45,013
	ЕЧ	2,881	1,280	0,012	0,649	50,364
	ЕПРК	0,918	1,306	0,007	0,690	66,157
Липа (до 160 лет)	ЕКИС	1,082	1,502	0,014	0,863	28,573
	ЕЧ	0,737	1,551	0,012	0,848	33,537
	ЕПРК	0,835	1,345	0,007	0,820	39,064
Ольха серая (до 100 лет)	ЕКИС	0,730	1,579	0,015	0,882	26,318
	ЕЧ	0,365	1,799	0,017	0,859	19,428
	ЕПРК	0,114	2,107	0,024	0,747	29,166

Согласно полученным регрессионным уравнениям, в среднем, максимальный запас на всех временных этапах в чистых древостоях ели, березы, осины и липы не превышает $300 \text{ м}^3 + \text{га}^{-1}$, в пихтовых – $370 \text{ м}^3 + \text{га}^{-1}$ и в сероольховых – $260 \text{ м}^3 + \text{га}^{-1}$ (рис. 4). Для всех древесных пород прослеживается общая закономерность, что в лучших лесорастительных условиях распад древостоев начинается раньше, чем в худших. Например, для ели в типе леса ельник черничный – в 110 лет, а в ельниках папоротниковых – в 140 лет. Данный факт необходимо принимать во внимание при установлении возрастов рубки лесных насаждений в еловых типах леса в зоне сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» и при оценке интенсивности выполнения древостоями эко-

системных функций.

По полученным в работе регрессионным зависимостям таксационных показателей от возраста древостоев могут быть составлены таблицы хода роста путем расчета сумм площадей сечений, числа деревьев, текущего и среднего изменения запасов по общепринятым в лесной таксации методам. Такие таблицы могут служить основой при прогнозировании изменений таксационных показателей совокупности древостоев в лесном фонде заповедника «Кологривский лес».

Заключение. В исследовании получены регрессионные уравнения, описывающие изменения средних высот и диаметров, запасов древесины от возраста основных лесообразующих пород (ель, береза, осина, пихта, липа и ольха серая)

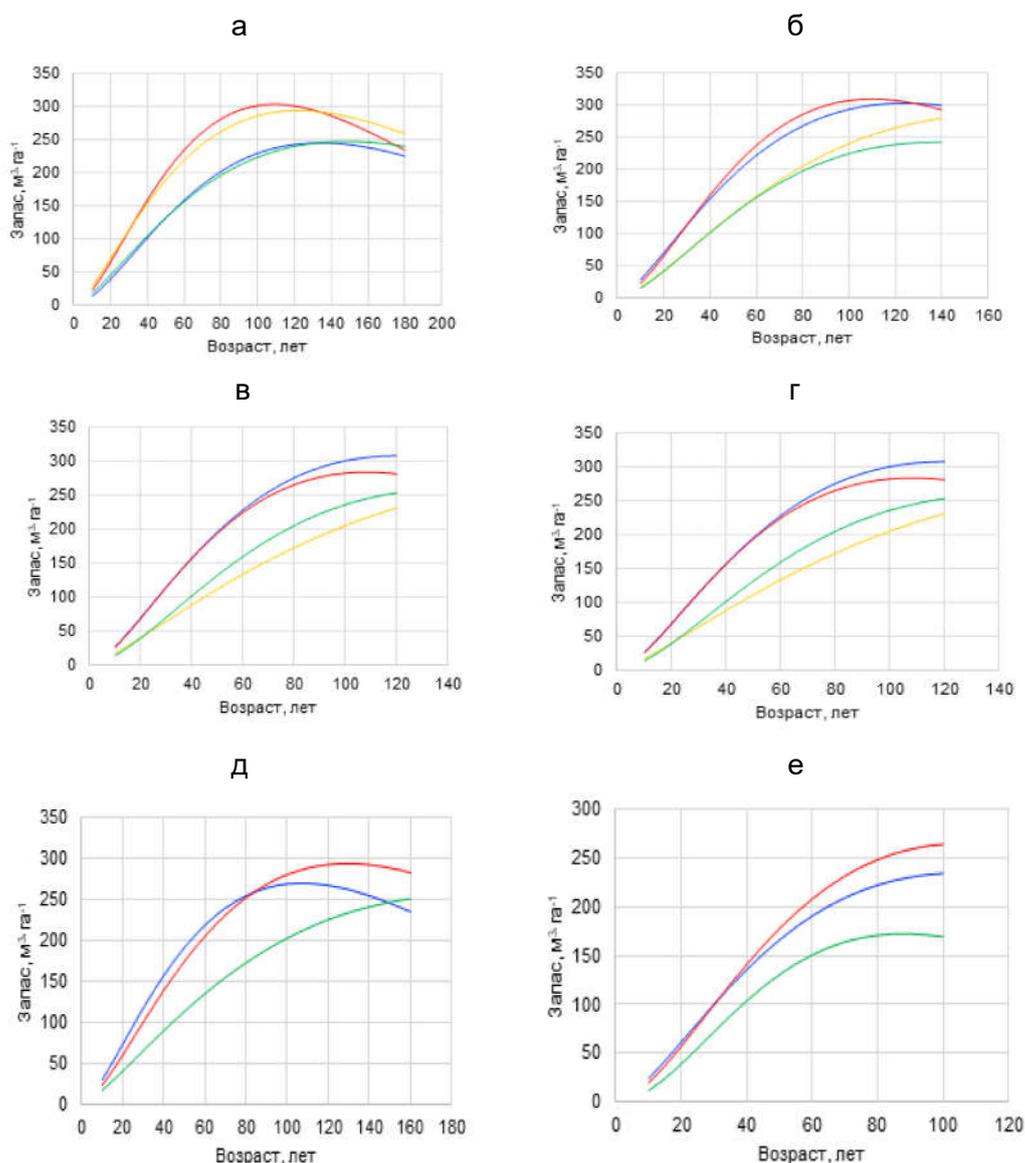


Рисунок 4. Ход роста по запасу чистых древостоев (синяя линия – ЕКИС, красная линия – ЕЧ, желтая линия – ЕДМ, зеленая линия – ЕПРК):
а) ель, б) береза, в) осина, г) пихта, д) липа, е) ольха серая

в еловых типах леса заповедника «Кологривский лес». Выявлено, что лучший лесорастительный эффект по рассматриваемым таксационным показателям проявляется в типах леса ельник кисличный и ельник черничный, а худший – в ельниках папоротниковых. При этом для всех рассматриваемых древесных пород проявляется общая закономерность, что в лучших лесорастительных условиях распад древостоев начинается раньше, чем в худших.

Список источников

1. Богачев А.В. Лесотаксационные исследования. Москва : ВНИИЛМ, 2007. 344 с.

2. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Москва : Наука, 2020. 382 с. EDN : LXQMJS

3. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск : Наука, 1977. 160 с.

4. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск : Наука, 2013. 208 с.

5. Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы : монография. Пермь, 2015. 277 с.

6. Материалы для оценки земель Костромской губернии. Определение доходнос-

ти земельных угодий. Выпуск 1-й. Запас и прирост лесных насаждений Костромской губернии. Кострома : Типография Т.П. Андрониковой, 1908. 33 с.

7. Павлов В.М. Особенности хода роста сосны в бассейне реки Унжи // Новое в лесной таксации и лесоустройстве. 1965. Сб., 2. С. 37-39.

8. Алексеев П.В. Исследование хода роста генетически эталонных березняков Приветлужья на почвенно-типологической основе // Сборник трудов МарПИ. Йошкар-Ола, 1972. № 59. Вып. 3. С. 126-140.

9. Алексеев А.В. Зависимость роста пирогенных березняков от ландшафтов в лесорастительных условиях Поветлужья // Вавиловские чтения : материалы междисциплинарной научной конференции. Йошкар-Ола : МарГТУ, 1997. С. 18-20.

10. Хлюстов В.К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Экобиоэнергетический потенциал сосняков Костромской области. Москва. Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. 292 с.

11. Хлюстов В.К., Лебедев А.В. Товарно-денежный потенциал древостоев и оптимизация лесопользования. Иркутск : Мегалит, 2017. 328 с.

12. Демаков Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методические и методологические аспекты). Йошкар-Ола, 2000. 415 с.

13. Лебедев А.В. Использование функции Чапмана-Ричардса для выравнивания зависимости высот деревьев от диаметров на высоте груди // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона, Москва, 09–11 июня 2020 года. Том 1. Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. С. 251-253. EDN : HMDDEK

14. Лебедев А.В. Возрастные изменения структуры и продуктивности пихтового элемента леса в насаждениях заповедника “Кологривский лес” // Научные труды государственного природного заповедника “Кологривский лес”: Сборник научных трудов. Выпуск 1. Кологрив, 2017. С. 33-45.

15. Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2018. 432 с.

16. Таблицы и модели хода роста и про-

дуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии: нормативно-справочные материалы / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильсон, Ю.И. Булуй; 2-е издание, дополненное. Москва : Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008. 886 с.

References

1. Bogachev A.V. Forest inventory studies. Moscow. VNIILM, 2007. 344 p. (In Russ.)

2. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. The results of experimental work over 150 years in the forest experimental district of the Timiryazev Agricultural Academy. Moscow. Nauka, 2020. 382 p. (In Russ.)

3. Kuzmichev V.V. Patterns of growth of forest stands. Novosibirsk. Nauka, 1977. 160 p. (In Russ.)

4. Kuzmichev V.V. Patterns of tree stand dynamics: principles and models. Novosibirsk. Nauka, 2013. 208 p. (In Russ.)

5. Rogozin M.V. Tree development. Models, laws, hypotheses: monograph. Perm, 2015. 277 p. (In Russ.)

6. Materials for assessing the land of the Kostroma province. Determining the profitability of land. Issue 1st. Stock and growth of forest plantations in the Kostroma province. Kostroma. T.P. Andronikov Publ., 1908. 33 p. (In Russ.)

7. Pavlov V.M. Peculiarities of pine growth in the Unzha river basin / V.M. Pavlov. *New in forest inventory and forest management*. 1965;2:37-39 (In Russ.)

8. Alekseev P.V. Study of the growth course of genetically reference birch forests of the Privetluzhya on a soil-typological basis. *Coll. of art. MarPI*. Yoshkar-Ola, 1972;59(3):126-140 (In Russ.)

9. Alekseev A.V. Dependence of the growth of pyrogenic birch forests on landscapes in the forest conditions of Povetluzhye. *Vavilov readings. Proc. of an Interdisciplinary Sci. Conf.* Yoshkar-Ola, 1997. Pp. 18-20 (In Russ.)

10. Khlyustov V.K., Lebedev A.V., Efimov O.E. Ecobioenergy potential of pine forests in the Kostroma region. Moscow. Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy K.A. Timiryazev, 2016. 292 p.

11. Khlyustov V.K., Lebedev A.V. Commodity-monetary potential of forest stands and optimization of forest management. Irkutsk. Megalprint, 2017. 328 p. (In Russ.)

12. Demakov Yu.P. Diagnosis of

sustainability of forest ecosystems (methodological and methodological aspects). Yoshkar-Ola, 2000. 415 p. (In Russ.)

13. Lebedev A.V. Using the Chapman-Richards function to equalize the dependence of tree heights on diameters at breast height. *Proc. of Int. Sci. Conf. young scientists and specialists dedicated to the 160 th anniversary of V.A. Mikhelson*. Moscow, June 09–11, 2020. Vol. 1. Moscow, 2020. Pp. 251-253 (In Russ.)

14. Lebedev A.V. Age-related changes in the structure and productivity of the fir forest of the Kologrivsky Forest Nature Reserve. *Scientific*

works of the state natural reserve "Kologrivsky Forest". Issue 1. Kologriv, 2017. Pp. 33-45 (In Russ.)

15. Demakov Yu.P. Structure and patterns of development of forests in the Republic of Mari El. Yoshkar-Ola, 2018. 432 p. (In Russ.)

16. Shvidenko A.Z., Schepashchenko D.G., Nilson S., Bului Yu.I. Tables and models of the course of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia: regulatory and reference materials. 2nd edition. Moscow. Federal Forestry Agency, 2008. 886 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Николай Николаевич Дубенок – академик РАН, профессор, д.с.-х.н., заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, ndubenok@mail.ru;

Александр Вячеславович Лебедев – к.с.-х.н., доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; научный сотрудник, alebedev@rgau-msha.ru;

Чистяков Сергей Анатольевич – аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства; заместитель директора по научной работе, bober.vet@mail.ru.

Information about the authors

Nikolay N. Dubenok – Doctor of Science (Agriculture), Professor, Academician of RAS, Head of the Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management, ndubenok@mail.ru;

Aleksandr V. Lebedev – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management; Researcher, alebedev@rgau-msha.ru;

Sergey A. Chistyakov – postgraduate student, Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management; Deputy Director for Science, bober.vet@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.11.2022; одобрена после рецензирования 25.11.2022; принята к публикации 20.02.2023.

The article was submitted 11.11.2022; approved after reviewing 25.11.2022; accepted for publication 20.02.2023.