

УДК 630*181 (470.343)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДРЕВОСТОЕВ В СУРАМЕНЯХ МАРИЙСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

© 2015 г. Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев², А. А. Симанова¹

¹Поволжский государственный технологический университет
424000, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

²Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»
424038, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, ул. Воинов-интернационалистов, 26

E-mail: DemakovYP@volgatech.net, avsacha@yandex.ru, anutics_88@mail.ru

Поступила в редакцию 06.11.2014 г.

Приведены результаты исследований, отражающие в форме математических моделей динамику породного состава и производительности древостоев в сураменях Марийского Заволжья. Установлено, что здесь произрастает 15 пород деревьев, однако в состав конкретных древостоев одновременно входит не более семи. Почти во всех гигротопах сураменей, кроме заболоченных, безраздельно господствуют березняки, доля которых наиболее велика в сырых сураменях, что свидетельствует о значительной трансформации структуры лесов. С увеличением возраста древостоев их породный состав неуклонно изменяется в сторону восстановления коренных формаций: в свежих и влажных сураменях – ельников сложных с липой и дубом, в сырых – ельников с примесью березы, в заболоченных – черноольшаников. Лидирующее положение по максимально накопленной величине фитомассы древесины в свежих сураменях занимают сосняки, которым лишь незначительно уступают ельники и дубняки. Аутсайдерами здесь являются березняки и осинники. Во влажных и сырых сураменях наибольшую фитомассу накапливают ельники, а наименьшую – черноольшаники. По величине среднего годового прироста фитомассы лидируют во всех сураменях, кроме заболоченных, осинники. В сложных по составу насаждениях с увеличением возраста происходят четко выраженные волнообразные изменения общей величины фитомассы стволовой древесины, связанные с постепенным выпадением из их состава одних пород деревьев и увеличением доли других. Древостои в сураменях Марийского Заволжья имеют определенные резервы производительности. В свежих и влажных сураменях место березы и осины в биогеоценозах могут занять хвойные породы, а в ряде случаев даже дуб, однако хозяйственная целесообразность их выращивания должна определяться экономическими требованиями и экологическими ограничениями. При формировании древостоев важно больше внимания уделять им в молодом возрасте.

Ключевые слова: сурамени, леса, породная структура, класс бонитета, полнота, запас, фитомасса, динамика, математические модели, оптимизация состава, Марийское Заволжье.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема рационального использования эколого-ресурсного потенциала лесов, под-держивающих устойчивое функционирование биосферы, – одна из важнейших в научном и практическом аспектах. Ее актуальность особенно велика для России, на территории которой большое разнообразие климатических и почвенно-экологических условий, обуславливающих специфику ведения

лесного хозяйства в разных ее регионах. Для решения этой проблемы необходимо познать закономерности динамики породного состава и производительности древостоев в различных климатических зонах и типах лесорастительных условий, особенно в тех, где могут успешно развиваться несколько древесных пород. Такая ситуация складывается, в частности, в сураменях Республики Марий Эл, занимающих 40.9 % площади земель лесного фонда.

Познанию закономерностей динамики лесных биогеоценозов посвящено большое число публикаций (Сукачев, 1964; Киселева, 1971; Корзухин, 1980; Разумовский, 1981; Четвериков, 1985; Смолоногов, Шихов, 1987; Чернов, Чумаченко, 1993; Чумаченко, 1993; Костяев и др., 1993; Смолоногов, 1995; Маслов, 2000; Абатуров, Меланхолин, 2004; Исаев и др., 2005, 2008; Кузьмичев, Бондарев, 2009; Демаков, Исаев, 2009, 2013; Демаков, Медведкова, 2010), однако этот вопрос нельзя считать полностью закрытым, поскольку он имеет множество аспектов и решений в зависимости от поставленной цели. К тому же проанализированный исследователями эмпирический материал не отражает огромного разнообразия природных условий России, определяющих породный состав лесов и варианты их изменения, возникающие под действием множества естественных и антропогенных факторов. Цель нашей работы – выявление закономерностей развития древостоев в сураменях Марийского Заволжья, которые станут основой для совершенствования ведения лесного хозяйства и оптимизации породного состава насаждений.

РАЙОН, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования использовали электронную повидельную базу данных, содержащую детальную таксационную характеристику древостоев, произрастающих в сураменях Марийского Заволжья (более 84 тыс. выделов общей площадью 454 244 га), территория которого относится к Ветлужско-Унжинской провинции лесной зоны Русской равнины и разделена по характеру поверхности на две части: Марийскую низменность, занимающую значительную часть на западе и в центре, в пределах которой преобладают дерново-слабоподзолистые песчаные почвы, и возвышенную холмистую Оршано-Кокшагскую равнину, покрытую в основном дерново-подзолистыми среднесуглинистыми почвами, среди которых встречаются пятна перегнойно-карбонатной тяжелосуглинистой. Климат на этой территории умеренно континентальный. Средняя годовая температура воздуха изменяется от 2.1 до 3.3 °С. Аб-

солютный годовой минимум составляет –52 °С, абсолютный максимум +38 °С. Средняя продолжительность периода года с температурой воздуха выше 0 °С 200–208 дней, а сумма положительных температур выше 10 °С – 1900–2200°. За год в среднем выпадает 475...550 мм осадков, из которых 335...385 мм приходится на апрель–октябрь. Гидротермический коэффициент составляет в среднем 1.1–1.2, изменяясь по годам от 0.3 до 2.7.

При решении задачи использовали хорошо отработанную нами информационную технологию, основанную на анализе данных массовой таксации насаждений (Демаков, 2007, 2009; Демаков, Исаев, 2009; Демаков, Медведкова, 2010; Демаков и др., 2011; Демаков, Симанова, 2013). Цифровой материал, входящий в состав электронной базы данных, отфильтрован по типам лесорастительных условий (ТЛУ), преобладающим породам деревьев и возрасту, который являлся независимой переменной для всех таксационных показателей древостоя: полноты, класса бонитета, запаса и др. Для обработки материала использовали стандартные методы математической статистики и пакеты прикладных программ Excel и STATISTICA (версия 6).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ исходных данных показал, что в Марийском Заволжье наиболее распространены свежие сурамени (рис. 1). Породная структура лесов, составляющих единый массив в понимании Р. А. Зиганшина (2014), в каждом из гигротопов сураменей специфичная, хотя почти во всех, кроме заболоченных, безраздельно господствуют березняки (табл. 1), доля которых наиболее велика в ТЛУ С₄. В ТЛУ С₂ довольно часто встречаются также ельники и липняки, доля которых неуклонно снижается по мере увеличения влажности почв. Доля осинников и дубняков наиболее велика во влажных сураменах, а сосняков – в свежих. В сырых сураменах субэдикатором во многих случаях является ольха черная, которая как коренная порода доминирует в ТЛУ С₅. В сураменах,

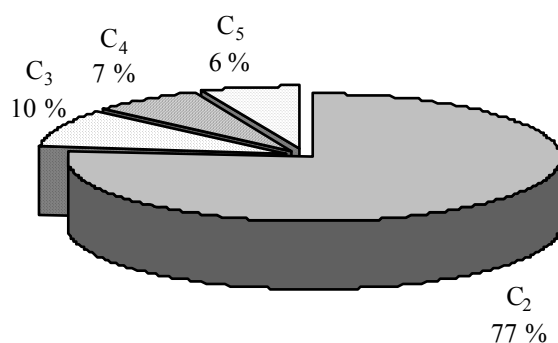


Рис. 1. Распределение сураменей Марийского Заволжья по степени их увлажнения.

Таблица 1. Породная структура лесов в сураменях Марийского Заволжья

Преобладающая порода деревьев	Доля площади древостоев в различных ТЛУ, %				
	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	в целом
Береза	44.7	51.5	66.9	17.2	45.30
Ель	21.6	12.0	13.1	0.1	18.63
Липа	16.0	8.4	0.4	0.0	13.09
Осина	11.0	14.9	2.6	0.1	10.12
Ольха	0.0	1.6	14.5	78.7	6.17
Сосна	6.1	0.1	0.1	0.0	4.68
Дуб	0.1	10.0	0.0	0.0	1.04
Прочие	0.5	1.5	2.4	3.9	0.97

Таблица 2. Распределение площади древостоев по количеству в них пород деревьев

ТЛУ	Доля площади древостоев со следующим количеством пород деревьев, %							Среднее число пород
	1	2	3	4	5	6	7	
C ₂	2.6	17.3	30.3	28.2	16.4	4.9	0.2	3.54
C ₃	0.4	10.3	20.7	30.5	31.0	6.4	0.7	4.03
C ₄	3.9	24.0	30.1	28.0	11.4	2.2	0.4	3.27
C ₅	11.7	53.1	24.7	10.5	0.0	0.0	0.0	2.34

особенно свежих и влажных, изредка встречаются древостои с преобладанием пихты сибирской, вяза гладкого, клена остролистного и древовидных ив, а также культуры лиственницы, кедра сибирского и тополя бальзамического, однако суммарная доля занимаемой ими площади не превышает 4 %. В сураменях Марийского Заволжья произрастает 15 пород деревьев, но в состав конкретных древостоев одновременно входит не более семи (табл. 2). В свежих и сырых сураменях (ТЛУ C₂ и C₄) чаще всего встречаются древостои, состоящие из трех пород, во влажных – из пяти, а в заболоченных – из двух.

Породная структура древостоев с увеличением их возраста не остается постоянной, а существенно изменяется под влиянием лесохозяйственной деятельности (создания лесных культур и проведения рубок ухода), а

также естественных факторов. Так, в ТЛУ C₂ доля ельников наиболее велика в возрастном интервале от 11 до 20 лет, что связано отчасти с искусственным восстановлением ели (рис. 2). Затем в результате слабого ухода за насаждениями происходит ее заглушение лиственными породами и доля ельников снижается. В последующем, начиная с 50–60 лет, в данном ТЛУ из состава древостоев постепенно выпадают береза и осина, что автоматически приводит к увеличению доли ельников. Через 110 лет под действием био- и абиотических факторов доля ели в древостоях начинает неуклонно снижаться, а липы – возрастать. Следует отметить, что процесс постепенного увеличения доли участия липы в свежих сураменях начинает отчетливо проявляться уже с 60-летнего возраста, однако на некоторых участках он полностью не за-

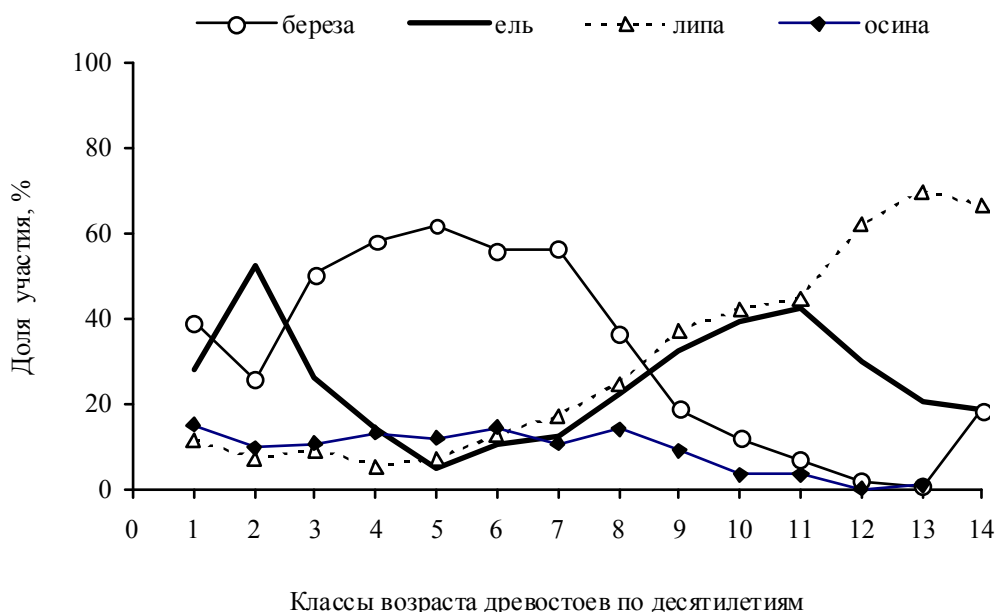


Рис. 2. Динамика породной структуры древостоев в свежих сураменях.

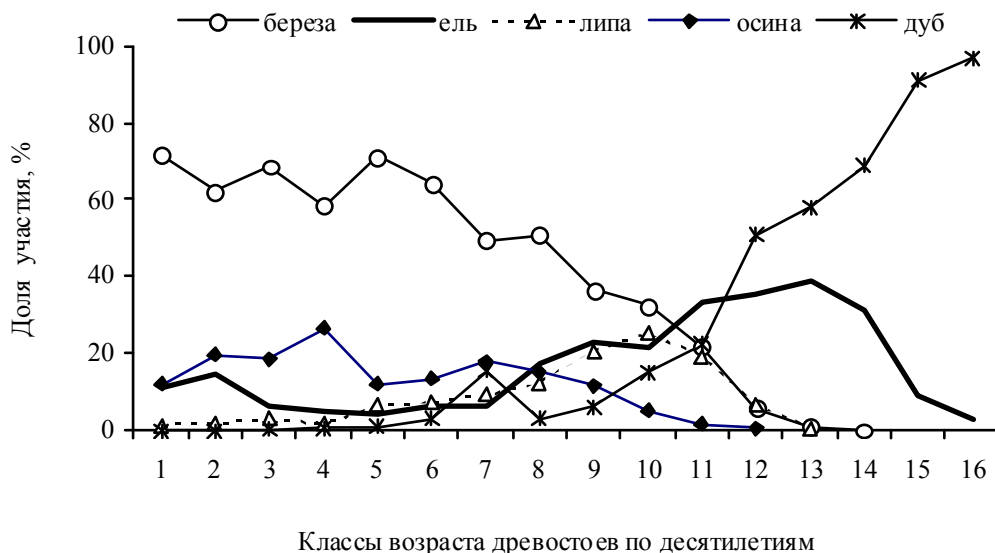


Рис. 3. Динамика породной структуры древостоев во влажных сураменях.

вершается даже в 160 лет и состав древостоя в них остается далеким от стабильного («коренного», или климаксного) состояния. Об этом, в частности, свидетельствуют широкое распространение многих пород деревьев в перестойных древостоях и наличие в Марийском Заволжье небольшого числа участков 160-летних дубняков и практически чистых 200-летних сосняков.

Во влажных сураменях влияние лесохозяйственной деятельности проявляется еще слабее, чем в свежих, и березняки очень долго (до 90–100 лет) остаются доминирующими формациями, хотя доля их в лесах снижа-

ется (рис. 3). Доля осинников наиболее велика (26.7 %) в возрастном интервале от 31 до 40 лет, а исчезают они к 120 годам. Доля липняков увеличивается здесь лишь до 100 лет, составляя в этом возрасте 25.2 %, а далее резко снижается, и исчезают они к 140 годам. Доля ельников во влажных сураменях в отличие от свежих долго остается очень низкой, существенно увеличиваясь лишь к 90–100 годам. Максимум их участия в древостоях отмечается в возрасте 120–130 лет. Главным отличием лесов влажных сураменей от свежих является большое количество дубняков, доля участия которых

увеличивается с возрастом, а со 120–130 лет они становятся доминирующими формациями, хотя в составе перестойных лесов широко распространены многие породы деревьев.

В сырых сураменях, где практически никогда не проводят рубок ухода и не создают лесных культур, доля березняков остается очень высокой и стабильной (66.6–73.3 %) вплоть до 100-летнего возраста, а доля осинников очень низкой (рис. 4). В число преобладающих древесных пород на ряде участков входит ольха черная. Наиболее велика доля

черноольшаников в возрастном интервале от 30 до 60 лет, а далее она резко снижается. Доля ельников в данном ТЛУ до 60 лет очень низкая, а далее под действием естественных биоценологических факторов увеличивается, и со 120 лет они становятся доминирующими формациями, хотя в составе перестойных лесов широко распространены многие породы деревьев, особенно береза и сосна. В заболоченных сураменях во всем возрастном диапазоне развития насаждений безраздельно господствуют черноольшани-

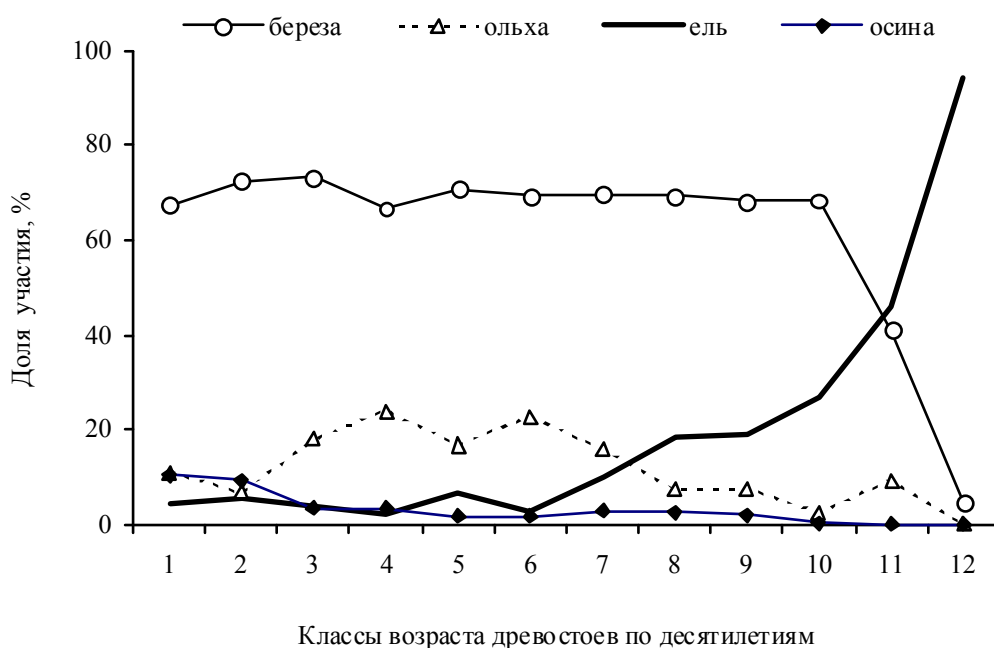


Рис. 4. Динамика породной структуры древостоев в сырых сураменях.



Рис. 5. Динамика породной структуры древостоев в заболоченных сураменях.

ки, доля которых варьирует под действием различных природных факторов от 61 до 94 % (рис. 5). Им часто сопутствуют березняки, а представленность других формаций очень мала, хотя в составе древостоев широко распространены многие породы деревьев.

Одним из важнейших показателей потенциального плодородия почв и производительности древостоев является класс их бонитета, на основе которого можно в первом приближении выбрать наиболее перспективные породы для лесовыращивания. В свежих сураменях ими являются сосна, береза и осина, а к числу неперспективных относятся липа и дуб (табл. 3). Во влажных и сырых сураменях наиболее высокий класс бонитета имеют осинники, которым значительно уступают все остальные произрастающие здесь древостои, а в заболоченных класс бонитета древостоев (черноольшаников и березняков) одинаков.

Потенциальная производительность древостоев, как свидетельствуют приведенные данные, с увеличением степени увлажнения биотопов снижается. Не остается она постоянной и в течение их жизни: во всех ТЛУ

наиболее высокий класс бонитета древостоев отмечается в интервале от 40 до 80 лет, а за его пределами он гораздо ниже, особенно после 100 лет. Это явление связано, на наш взгляд, с особенностями развития насаждений в данных условиях произрастания, а не с ошибками таксаторов, о чем свидетельствует однотипность динамики класса бонитета всех без исключения древостоев.

Древостои в сураменях Марийского Заволжья далеко не в полной мере реализуют свою потенциальную производительность, о чем свидетельствует их относительная полнота, которая во всех формациях снижается с возрастом и увеличением степени увлажнения биотопов (табл. 4), причем особенно резко после 80 лет, что связано с их распадом в результате поражения болезнями или вредными насекомыми, негативное воздействие которых усиливается в экстремальные по погодным условиям годы. Наиболее высокую полноту в ТЛУ С₂ имеют сосняки, а во влажных и сырых сураменях – осинники. Очень слабо реализуют потенциальную производительность липняки, дубняки и черноольшаники.

Таблица 3. Возрастные изменения среднего класса бонитета древостоев в сураменях

Главная порода	Средний класс бонитета древостоев в возрасте						в целом
	до 20 лет	21–40 лет	41–60 лет	61–80 лет	81–100 лет	> 100 лет	
<i>Свежие сурамени – ТЛУ С₂</i>							
Сосна	1.65	1.39	1.06	1.08	1.18	2.15	1.25
Ель	1.88	1.96	1.38	1.27	1.69	2.39	1.74
Береза	1.42	1.84	1.14	1.40	1.59	1.83	1.23
Осина	1.49	1.21	1.19	1.24	1.76	2.26	1.29
Липа	2.03	2.16	2.17	2.32	2.49	2.62	2.34
Дуб	1.83	1.93	2.37	2.11	2.42	2.85	3.27
<i>Влажные сурамени – ТЛУ С₃</i>							
Ель	2.21	2.38	2.03	1.75	1.93	2.63	2.23
Береза	1.70	1.73	1.44	1.72	2.06	2.23	1.78
Осина	1.39	1.30	1.35	1.52	1.95	2.00	1.52
Липа	2.07	2.15	1.90	2.19	2.34	2.87	2.20
Дуб	-	1.75	2.04	2.65	2.88	3.04	2.67
Ольха	2.36	2.06	2.22	2.70	2.85	3.00	2.46
<i>Сырые сурамени – ТЛУ С₄</i>							
Ель	2.50	2.11	1.85	1.96	2.37	3.00	2.47
Береза	2.53	2.38	2.17	2.19	2.35	2.98	2.30
Осина	1.63	1.87	1.98	1.88	1.97	-	1.91
Ольха	2.24	2.05	2.41	2.48	2.93	3.00	2.29
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ С₅</i>							
Береза	3.10	2.45	2.27	2.50	2.59	2.75	2.45
Ольха	2.08	2.31	2.22	2.36	2.40	2.47	2.24

Таблица 4. Возрастные изменения относительной полноты древостоев в сураменях

Главная порода	Средняя полнота древостоев в возрасте						в целом
	до 20 лет	21–40 лет	41–60 лет	61–80 лет	81–100 лет	> 100 лет	
<i>Свежие сурамени – ТЛУ C₂</i>							
Сосна	0.74	0.75	0.74	0.70	0.67	0.48	0.73
Ель	0.70	0.70	0.68	0.65	0.54	0.51	0.65
Береза	0.68	0.74	0.71	0.68	0.60	0.54	0.71
Осина	0.70	0.77	0.73	0.65	0.57	0.54	0.72
Липа	0.66	0.70	0.65	0.58	0.56	0.54	0.63
Дуб	0.72	0.72	0.66	0.57	0.57	0.52	0.61
<i>Влажные сурамени – ТЛУ C₃</i>							
Ель	0.67	0.68	0.65	0.57	0.55	0.55	0.62
Береза	0.66	0.73	0.67	0.65	0.62	0.51	0.64
Осина	0.68	0.77	0.70	0.61	0.55	0.55	0.66
Липа	0.68	0.67	0.60	0.57	0.59	0.55	0.61
Дуб	-	0.70	0.66	0.56	0.53	0.49	0.55
Ольха	0.65	0.64	0.61	0.60	0.49	0.60	0.62
<i>Сырые сурамени – ТЛУ C₄</i>							
Ель	0.53	0.63	0.67	0.55	0.58	0.52	0.57
Береза	0.64	0.71	0.71	0.69	0.62	0.62	0.66
Осина	0.71	0.73	0.64	0.59	0.59	-	0.67
Ольха	0.65	0.71	0.63	0.59	0.54	0.45	0.61
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ C₅</i>							
Береза	0.65	0.69	0.65	0.60	0.51	0.63	0.62
Ольха	0.68	0.68	0.62	0.57	0.50	0.52	0.61

Результаты исследований свидетельствуют, казалось бы, об имеющемся резерве повышения производительности лесов за счет увеличения их полноты с помощью различных хозяйственных мероприятий. Фактически же такой возможности не существует, поскольку производство дополнительной фитомассы древостоев неизбежно нарушит, на наш взгляд, водный баланс и приведет к падению уровня грунтовых вод, а это, в свою очередь, – к снижению производительности лесов. Средняя полнота древостоев в каждом ТЛУ является, следовательно, неким региональным эталоном, величина которого обусловлена физико-географическими условиями. Это положение, конечно, не подкреплено пока конкретным фактическим материалом, а является рабочей гипотезой, требующей экспериментальной проверки.

Одним из главнейших показателей эколого-ресурсного потенциала древостоев является запас стволовой древесины, который, как показали расчеты, увеличивается с возрастом лишь до определенного момента, а затем неуклонно снижается, что связано с их

изреживанием под воздействием естественных и антропогенных факторов. Возрастные изменения наличного запаса древесины (M , $m^3/га$) с высокой точностью описывает функция $M = 100X / (aX^2 - bX + c)$, в которой X – возраст древостоя, лет. Значения параметров этой функции специфичны для каждой древесной породы и разных ТЛУ (табл. 5). Кульминация запаса древесины в свежих сураменях раньше всех наступает в осинниках, позднее – в дубняках, наибольших значений запас достигает в сосняках, а наименьших – в березняках и дубняках. Кульминационная величина древесного запаса в ельниках, березняках и осинниках снижается по мере возрастания увлажнения биотопа. Разница величины запаса между гигротопами достигает 29–54 $m^3/га$. В черноольшаниках же, наоборот, наибольшая величина запаса древесины в момент ее кульминации отмечается в заболоченных сураменях.

Древесный запас далеко не в полной мере подходит для оценки производительности и эколого-ресурсного потенциала насаждений,

Таблица 5. Параметры моделей динамики запаса древостоев в сураменях

Главная порода	Значения параметров математической модели $M = 100 \cdot X / (aX^2 - bX + c)$					
	$a \cdot 10^{-4}$	$-b \cdot 10^{-2}$	c	$A_{кз}$	$M_{кз}$	R^2
<i>Свежие сурамени – ТЛУ C_2</i>						
Сосна	41.73	36.42	29.23	85	299	0.924
Ель	44.81	45.01	37.17	90	273	0.942
Береза	82.38	70.25	41.50	70	214	0.990
Осина	59.79	41.25	26.03	65	266	0.991
Липа	25.18	15.19	26.25	100	276	0.995
Дуб	27.23	16.87	35.24	115	222	0.934
<i>Влажные сурамени – ТЛУ C_3</i>						
Ель	33.17	33.67	39.77	110	257	0.950
Береза	71.89	57.23	40.64	75	197	0.993
Осина	61.84	40.03	26.24	65	247	0.991
Липа	44.48	37.40	31.95	90	262	0.973
Дуб	44.74	29.89	39.24	95	186	0.977
Ольха	62.41	52.95	44.34	85	191	0.990
<i>Сырые сурамени – ТЛУ C_4</i>						
Ель	56.46	75.41	60.02	105	244	0.982
Береза	72.59	62.44	47.76	80	181	0.984
Осина	42.22	20.42	26.07	80	218	0.991
Ольха	111.1	98.75	52.06	70	187	0.985
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ C_5</i>						
Береза	73.95	57.64	48.95	80	160	0.986
Ольха	41.27	36.88	40.41	100	223	0.986

Примечание. Здесь и далее в таблицах X – возраст древостоев, лет; a , b , c – безразмерные константы модели; $A_{кз}$ – возраст наступления кульминации наличного запаса древесины, лет; $M_{кз}$ – величина наличного запаса древесины в момент наступления ее кульминации, $m^3/га$; R^2 – коэффициент детерминации модели.

так как плотность древесины у разных пород далеко не одинакова. Лучше всего для этой цели использовать показатель фитомассы, являющейся мерой поглощения растениями солнечной энергии и элементов питания, депонирования углерода, выделения кислорода и транспирации воды. Для перевода объема стволовой древесины в фитомассу рядом исследователей (Замолотчиков и др., 1998, 2005) разработаны математические модели конверсионно-объемных коэффициентов, которые, однако, не учитывают особенности изменения их значений в древостоях разных классов бонитета, хотя, как подсказывает логика, они должны проявляться (чем ниже класс бонитета, тем плотнее должна быть древесина). Мы, используя цифровой материал, приведенный в работе В. А. Усольцева (2002), решили усовершенствовать модели и установили, что динамику значений коэффициентов перевода запаса стволовой древеси-

ны (m^3) в фитомассу (т) в древостоях всех пород, кроме ельников и липняков, аппроксимирует функция

$$K_{сд} = (c - m) \times \{1 - \exp[-(X - X_0)/a]\}^b + m.$$

Для ельников и липняков моделью динамики конверсионных коэффициентов является степенная функция $K_{сд} = a \times 10^{-3} (X - X_0)^b + m$. Значения параметров этих функций изменяются с возрастом древостоев (X , лет) по классам бонитета ($B \Gamma^a = 0$) у каждой породы по-своему:

сосняки: $c = 0.45$; $m = 0.34$; $a = 252.2 - 29.9B$; $b = 0.32 + 0.039B$; $X_0 = 10$;

ельники: $a = 2.42B^{1.04}$; $b = 0.647 - 0.008B$; $m = 0.34$; $X_0 = 10$;

березняки: $c = 0.452$; $m = 0.29$; $a = 28.64 + 12.3B$; $b = 0.12 + 0.011B$; $X_0 = 5$;

осинники: $c = 0.410$; $m = 0.25$; $a = 120.7 - 18.0B$; $b = 0.400$; $X_0 = 0$;

липняки: $a = 2.57 + 2.80B$; $b = 0.603 - 0.049B$; $m = 0.30$; $X_0 = 10$;

дубняки: $c = 0.531 - 0.0075B$; $m = 0.49 - 0.011B$; $a = 24.0$; $b = 1$; $X_0 = 20$.

У черноольшаников значение конверсионного коэффициента для перевода объема стволовой древесины в фитомассу, вычисленное по таблицам В. А. Усольцева (2002), не изменяется с возрастом, составляя для всех классов бонитета 0.401.

Возрастные изменения величины наличной фитомассы стволовой древесины описывает, как показали расчеты, та же функция оптимума $M = 100X/(aX^2 - bX + c)$, значения параметров которой специфичны для каждой древесной породы и разных ТЛУ (табл. 6). Лидирующее положение по максимально накопленной величине фитомассы древесины в ТЛУ C_2 занимают сосняки, которым лишь незначительно уступают ельники и дубняки. Аутсайдерами здесь являются березняки и осинники, накапливающие 96–

99 т/га фитомассы древесины к возрасту 70 лет, когда наступает кульминация ее величины. Во влажных и сырых сураменях наибольшую фитомассу накапливают ельники, а наименьшую – черноольшаники. Если же оценивать производительность древостоев по среднему годовичному приросту фитомассы, что более корректно с экологических и энергетических позиций, то лидером во всех ТЛУ, кроме C_5 , являются осинники.

Кульминация величины фитомассы древесины наступает почти в том же возрасте, что и кульминация ее объема (запаса), или с разницей в 5–10 лет. Кульминация ее среднего годовичного прироста наступает в древостоях значительно раньше. В черноольшаниках, наоборот, наибольшая величина запаса древесины в момент ее кульминации отмечается в заболоченных сураменях. Размах величины значений наличной фитомассы ство-

Таблица 6. Параметры математических моделей динамики наличной фитомассы стволовой древесины без коры в различных насаждениях сураменей Марийского Заволжья

Главная порода	Значения параметров математической модели $M = 100X/(aX^2 - bX + c)$						
	$a \cdot 10^{-4}$	$-b \cdot 10^{-2}$	c	$A_{\text{КФМ}}$	$M_{\text{КФМ}}$	$A_{\text{КСП}}$	$M_{\text{КСП}}$
<i>Свежие сурамени – ТЛУ C_2</i>							
Сосна	105.9	100.8	78.18	85	123	50	1.84
Ель	73.03	76.98	90.32	110	117	55	1.43
Береза	190.5	168.7	97.85	70	96	45	1.65
Осина	156.3	118.3	76.91	70	99	40	1.83
Липа	89.84	76.70	83.17	95	104	45	1.50
Дуб	64.98	53.34	77.77	110	113	40	1.50
<i>Влажные сурамени – ТЛУ C_3</i>							
Ель	55.35	62.09	95.05	130	121	55	1.29
Береза	167.0	139.5	96.13	75	88	40	1.49
Осина	164.0	118.6	78.57	70	92	35	1.75
Липа	136.8	130.6	97.92	85	99	50	1.50
Дуб	96.80	74.04	83.90	95	94	40	1.43
Ольха	156.0	132.4	110.9	85	77	40	1.21
<i>Сырые сурамени – ТЛУ C_4</i>							
Ель	134.3	197.0	157.9	110	106	75	1.17
Береза	171.0	155.6	114.3	80	81	45	1.27
Осина	126.4	83.64	82.45	80	83	35	1.46
Ольха	277.8	246.9	130.2	70	75	45	1.33
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ C_5</i>							
Береза	173.7	144.9	117.4	80	71	40	1.15
Ольха	103.2	92.20	101.0	100	89	45	1.24

Примечание. $A_{\text{КФМ}}$ – возраст наступления кульминации величины наличной фитомассы стволовой древесины без коры, лет; $M_{\text{КФМ}}$ – величина наличной фитомассы стволовой древесины в момент наступления ее кульминации, т/га; $A_{\text{КСП}}$ – возраст наступления кульминации величины среднего годовичного прироста наличной фитомассы стволовой древесины, лет; $M_{\text{КСП}}$ – величина среднего годовичного прироста наличной фитомассы стволовой древесины в момент наступления ее кульминации, т/га.

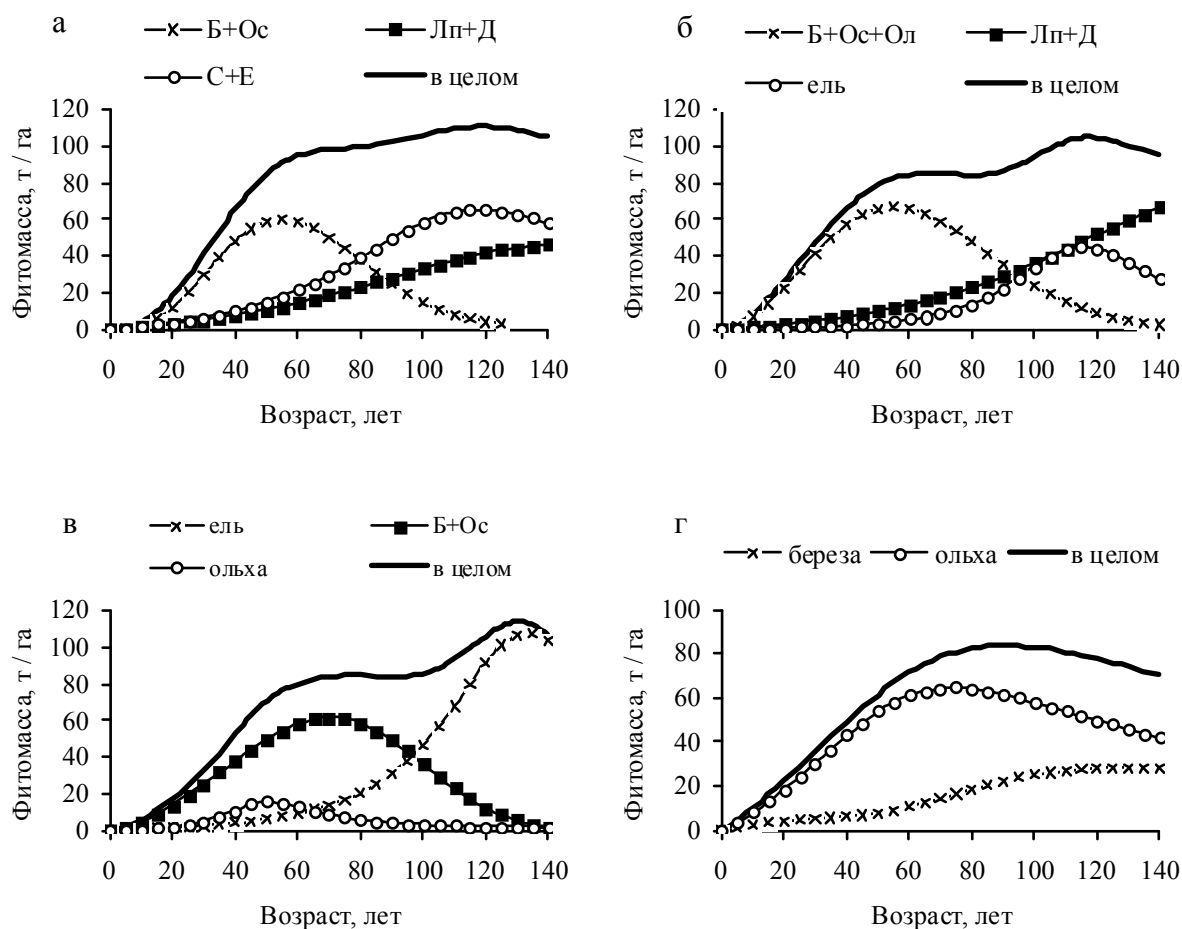


Рис. 6. Динамика фитомассы стволовой древесины модальных по составу и производительности древостоев в сураменях Марийского Заволжья: а – свежих, б – влажных; в – сырых, г – заболоченных.

лов у древостоев разных пород в пределах одного гигротопа составляет 18–44 т/га (22.5–46.2 %), среднего годовичного прироста – 0.09–0.54 т/га (7.5–37.4 %). Реальные возможности изменения производительности древостоев в сураменях с учетом существующей породной структуры значительно меньше (до 10–15 %), особенно в ТЛУ С₅.

В сложных по составу насаждениях, широко распространенных в сураменях, с увеличением возраста происходят четко выраженные волнообразные изменения общей величины фитомассы стволовой древесины, связанные с постепенным выпадением из их состава одних пород деревьев и увеличением доли других (рис. 6). Эта закономерность, выявленная С. И. Чумаченко (1993) при имитационном моделировании многовидового разновозрастного древостоя, отмечена нами ранее (Демаков, Исаев, 2009; Демаков, Медведкова, 2010). Колебания величины фито-

массы значительно возрастают после погодных аномалий.

Расчеты показали, что математические модели конверсионно-объемных коэффициентов, предложенные Д. Г. Замолотчиковым с соавторами (1998), не вполне адекватно отображают реальную действительность, существенно занижая значения параметров древостоев в молодом возрасте и завышая их величину в осинниках (табл. 7). Различия между значениями фитомассы древесины по нашим и их моделям получаются довольно значительными (табл. 8).

В процессе развития древостоев происходят также закономерные изменения высоты и диаметра деревьев, что с высокой точностью описывают соответствующие математические функции (табл. 9, 10). Наиболее быстрорастущей породой в сураменях Марийского Заволжья является осина, до 30–40 лет значительно превосходящая по высоте

Таблица 7. Изменения значений конверсионно-объемных коэффициентов для разных пород стволовой древесины в зависимости от ее возраста, вычисленных по моделям Д. Г. Замолодчикова, А. И. Уткина и Г. Н. Коровина (1998)

Возраст, лет	Значения конверсионных коэффициентов для пород					
	Сосна	Ель	Береза	Осина	Липа	Дуб
20	0.300	0.250	0.319	0.374	0.325	0.402
30	0.339	0.290	0.367	0.407	0.362	0.442
40	0.361	0.313	0.399	0.432	0.382	0.465
50	0.376	0.330	0.425	0.454	0.396	0.482
60	0.388	0.343	0.446	0.474	0.406	0.495
70	0.398	0.354	0.467	0.493	0.415	0.507
80	0.407	0.364	0.485	0.511	0.422	0.517
90	0.415	0.373	0.503	0.529	0.429	0.526
100	0.422	0.382	0.521	0.547	0.435	0.535

Таблица 8. Отклонение (%) от наших данных величины наличной фитомассы стволовой древесины, вычисленной по моделям Д. Г. Замолодчикова, А. И. Уткина и Г. Н. Коровина (1998) применительно к различным древостоям свежих сураменей Марийского Заволжья

Возраст, лет	Сосняки	Ельники	Березняки	Осинники	Липняки	Дубняки
20	-20.8	-24.7	-25.7	10.4	-4.3	-14.9
30	-11.7	-12.1	-15.1	18.8	3.0	-8.4
40	-7.3	-4.5	-8.6	23.6	5.6	-5.3
50	-4.9	0.1	-3.8	26.8	6.8	-3.4
60	-3.3	2.5	0.4	29.3	7.8	-1.9
70	-2.1	3.0	4.3	31.7	9.1	-0.4
80	-0.9	2.2	8.3	34.5	10.9	1.2
90	0.4	0.6	12.2	37.6	13.1	3.0
100	1.7	-1.4	16.2	41.0	15.6	4.9

Таблица 9. Параметры моделей динамики средней высоты древостоев в сураменях

Главная порода	Значения параметров математической модели $H = K\{1 - \exp[-(X/a)^b]\}$					
	K	a	b	$A_{кп}$	$A_{ксп}$	R^2
<i>Свежие сурамени – ТЛУ С₂</i>						
Сосна	28.1	43.87	1.484	17	35	0.989
Ель	26.4	46.28	1.685	24	45	0.994
Береза	27.7	34.71	1.260	8	20	0.993
Осина	27.6	33.64	1.200	6	15	0.998
Липа	24.9	37.68	1.195	7	15	0.996
Дуб	25.1	45.17	1.160	7	15	0.889
<i>Влажные сурамени – ТЛУ С₃</i>						
Ель	25.2	48.57	1.685	25	50	0.990
Береза	26.0	33.59	1.260	8	20	0.993
Осина	27.3	34.33	1.200	6	15	0.998
Липа	24.8	36.55	1.195	7	15	0.991
Дуб	24.7	47.01	1.160	7	15	0.966
Ольха	24.2	36.11	1.165	6	15	0.996
<i>Сырые сурамени – ТЛУ С₄</i>						
Ель	23.3	44.24	1.685	23	45	0.988
Береза	24.3	36.17	1.260	8	20	0.994
Осина	27.1	38.84	1.200	7	15	0.998
Ольха	23.5	34.61	1.165	5	10	0.996
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ С₅</i>						
Береза	24.5	38.59	1.260	9	20	0.997
Ольха	25.3	39.27	1.165	6	15	0.998

Примечание. Здесь и далее K , a , b – безразмерные константы; $A_{кп}$ – возраст наступления кульминации текущего годовичного прироста, лет.

Таблица 10. Параметры моделей динамики среднего диаметра древостоев в сураменях

Главная порода	Значения параметров модели $D = K\{1 - \exp[-(X - X_0)/a]\}$					
	K	a	X_0	$A_{\text{КСП}}$	D_{80}	R^2
<i>Свежие сурамени – ТЛУ С₂</i>						
Сосна	59.4	109.3	5	35	29.5	0.992
Ель	48.0	89.1	7	40	26.8	0.993
Береза	47.4	84.8	3	25	28.3	0.991
Осина	60.2	101.3	3	25	32.0	0.994
Липа	46.7	92.3	3	25	26.4	0.988
Дуб	76.1	174.5	4	40	26.9	0.948
<i>Влажные сурамени – ТЛУ С₃</i>						
Ель	50.2	102.9	7	45	25.5	0.994
Береза	39.9	68.2	3	20	27.0	0.991
Осина	50.1	79.4	3	25	31.1	0.991
Липа	55.3	109.9	3	30	27.9	0.993
Дуб	54.6	99.1	4	30	29.2	0.985
Ольха	35.5	61.6	3	20	25.5	0.993
<i>Сырые сурамени – ТЛУ С₄</i>						
Ель	31.2	47.4	7	30	24.5	0.950
Береза	33.1	59.5	3	20	24.0	0.988
Осина	56.8	99.5	3	25	30.6	0.994
Ольха	35.5	61.6	3	20	25.3	0.993
<i>Заболоченные сурамени – ТЛУ С₅</i>						
Береза	42.3	85.6	3	25	25.1	0.995
Ольха	39.7	72.9	3	25	25.9	0.994

Примечание. X_0 – возраст достижения деревом высоты 1,3 м, лет; D_{80} – средний диаметр древостоя в возрасте 80 лет, см.

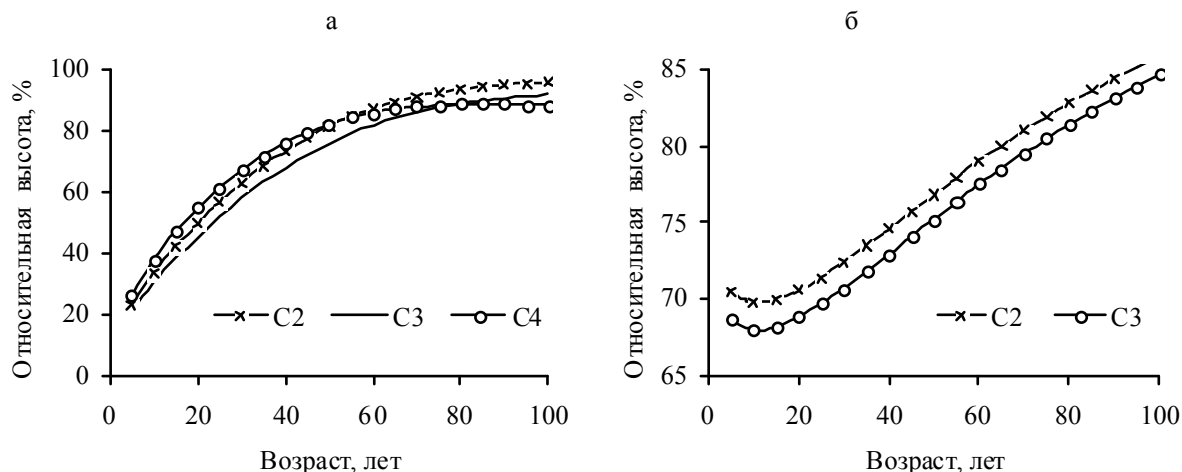


Рис. 7. Динамика высоты деревьев ели (а) и дуба (б) по отношению к высоте деревьев осины в сураменях Марийского Заволжья.

дуб, а особенно ель и оказывающая на них угнетающее воздействие, для снижения которого нужно своевременно проводить рубки ухода (рис. 7). Эта же порода превосходит остальные во всех ТЛУ по средней массе ствола (рис. 8). Исключением являются деревья дуба в ТЛУ С₃. Кульминация текущего годового прироста деревьев по высоте, как

показывают расчеты, наступает у всех пород в возрасте от 5 до 25 лет, а среднего годового прироста – от 15 до 45 лет. Кульминация среднего годового прироста по диаметру наступает несколько позднее (в 20–45 лет), а годичный прирост массы ствола увеличивается у всех пород деревьев до 100–160 лет.

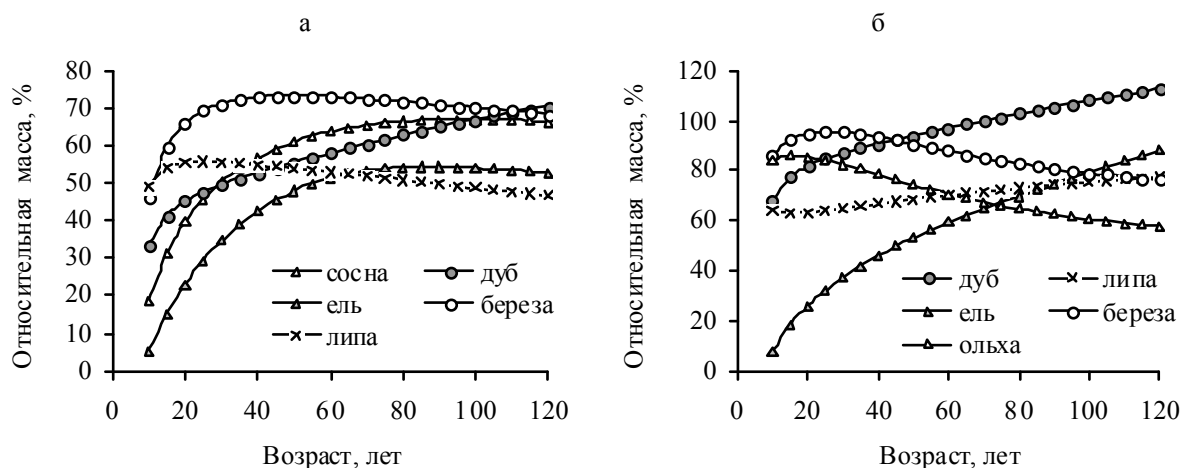


Рис. 8. Динамика массы ствола деревьев разных пород по отношению к массе ствола деревьев осины в свежих (а) и влажных (б) сураменях Марийского Заволжья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в сураменях Марийского Заволжья произрастает 15 пород деревьев, однако в состав конкретных древостоев одновременно входит не более семи. В свежих и сырых сураменях чаще всего встречаются трехпородные древостои, во влажных – пяти-, а в заболоченных – двухпородные. Почти во всех гигротопах сураменей, кроме заболоченных, безраздельно господствуют березняки, доля которых наиболее велика в сырых сураменях, что свидетельствует о значительной трансформации структуры лесов. С увеличением возраста древостоев их породный состав неуклонно изменяется в сторону восстановления коренных формаций: в свежих и влажных сураменях – ельников сложных с липой и дубом, в сырых – ельников с примесью березы, в заболоченных – черноольшаников.

Наиболее быстрорастущей породой в сураменях Марийского Заволжья является осина, до 30–40 лет значительно превосходящая по высоте дуб и особенно ель и оказывающая на них угнетающее воздействие. Эта же порода превосходит остальные во всех ТЛУ по массе ствола. Лидирующее положение по максимально накопленной величине фитомассы древесины в ТЛУ С₂ занимают сосняки, которым незначительно уступают ельники и дубняки. Аутсайдерами здесь являются березняки и осинники. Во влажных и сырых сураменях наибольшую фитомассу накапливают ельники, а наименьшую – черноольшани-

ки. По величине среднего годовичного прироста фитомассы лидером во всех ТЛУ, кроме заболоченных сураменей, являются осинники.

В сложных по составу насаждениях, широко распространенных в сураменях, с увеличением возраста происходят четко выраженные волнообразные изменения общей величины фитомассы стволовой древесины, связанные с постепенным выпадением из их состава одних пород деревьев и увеличением доли других.

Древостои в сураменях Марийского Заволжья далеко не в полной мере реализуют свою потенциальную производительность, для повышения которой имеются определенные резервы, лимитируемые особенностями окружающей среды и социально-экономическими факторами. В свежих и влажных сураменях место березы и осины в биогеоценозах могут занять хвойные породы, а в ряде случаев даже дуб, однако хозяйственная целесообразность их выращивания должна определяться экономическими и экологическими соображениями. Особенно большое внимание следует уделять формированию древостоев в молодом возрасте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров А. В., Меланхолин Л. Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie. Тула: Гриф и К, 2004. 336 с.
 Демаков Ю. П. Структура лесов и земель заповедника // Науч. тр. Гос. природ. запо-

- ведника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. Вып. 2. С. 9–49.
- Демаков Ю. П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев // Наука в условиях современности. Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. С. 6–8.
- Демаков Ю. П., Исаев А. В. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» // Науч. тр. Гос. природ. заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. Вып. 4. С. 24–67.
- Демаков Ю. П., Исаев А. В. Динамика древостоев в пойменных лесах заповедника «Большая Кокшага» // Вестн. Поволжск. гос. технол. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2013. Вып. 4. С. 64–75.
- Демаков Ю. П., Медведкова Е. А. Структура и динамика естественных лесных биогеоценозов Ботанического сада МарГУ // Вестн. Марийского гос. техн. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2010. Вып. 1. С. 16–28.
- Демаков Ю. П., Симанова А. А. Распространение и производительность ельников в различных экотопах Республики Марий Эл // Научный диалог. 2013. № 3(15). Естественное знание. Экология. Науки о Земле. С. 26–42.
- Демаков Ю. П., Смыков А. Е., Гаврицкова Н. Н. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл // Вестн. Марийского гос. техн. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 2. С. 24–38.
- Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
- Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев // Лесоведение. 2005. № 6. С. 73–81.
- Зиганшин Р. А. Лесной массив: географические и лесотаксационные признаки и критерии // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 50–68.
- Исаев А. С., Суховольский В. Г., Хлебопрос Р. Г. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход // Лесоведение. 2005. № 1. С. 1–9.
- Исаев А. С., Суховольский В. Г., Бузыкин А. И., Овчинникова Т. М. Сукцессионные процессы в лесных сообществах: модели фазовых переходов // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 9–15.
- Киселева К. В. Динамика восточно-европейских хвойно-широколиственных лесов // Флора и растительность европейской части СССР / Тр. Бот. сада МГУ. М.: МГУ, 1971. Вып. VIII. С. 114–132.
- Корзухин М. Д. Возрастная динамика популяций деревьев, являющихся сильными эдификаторами // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. Т. III. С. 162–178.
- Костяев С. А., Французов А. В., Чумаченко С. И. Перспективные модели развития лесных ценозов // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. М.: МГУЛ, 1993. С. 180–187.
- Кузьмичев В. В., Бондарев А. И. Динамика лесных экосистем заповедника «Столбы» за 60 лет // Хвойные бореальной зоны. Т. XXVI. № 2. С. 173–177.
- Маслов А. А. Динамика сосняков и ельников на территории лесных заповедных участков // Динамика хвойных лесов Подмосковья. М.: Наука, 2000. С. 67–85.
- Разумовский С. М. Закономерности динамики биогеоценозов. М.: Наука, 1981. 231 с.
- Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург, 1995. Вып. 18. С. 43–58.
- Смолоногов Е. П., Шихов Ф. М. Восстановительно-возрастная динамика лесов Билимбаевского опытно-показательного лесхоза // Научные тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР. Восстановительная и возрастная динамика таежных лесов Среднего Урала. Свердловск, 1987. Вып. 167. С. 4–46.
- Сукачев В. Н. Динамика лесных биогеоценозов // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 458–486.

- Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с.
- Чернов Н. И., Чумаченко С. И. Краткий обзор моделей развития лесных ценозов // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. М.: МГУЛ, 1993. С. 135–147.
- Четвериков А. Н. Моделирование лесных биогеоценозов // Математическое моделирование биогеоценологических процессов. М.: Наука, 1985. С. 37–51.
- Чумаченко С. И. Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. М.: МГУЛ, 1993. С. 147–180.

Regularities of Tree Stand Development in Suramens of the Mari El Republic Trans-Volga Region

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev², A. A. Simanova¹

¹ *Volga State University of Technology*

Ploschad' Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000 Russian Federation

² *State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga»*

Voinov-Internatsionalistov Str., 26, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424038 Russian Federation

Email: DemakovYP@volgatech.net, avsacha@yandex.ru, anutics_88@mail.ru

The paper provides the research results representing the dynamics of species composition and production of wood stands in suramens of Mari El Republic Trans-Volga region as mathematical models. It was determined that there are 15 tree species growing on this territory, however the composition of a particular forest stand includes no more than seven tree species. Almost all suramen hydrotopes, with the exception of the swampy ones, are dominated by birch trees, the share of which is especially high in wet suramens, which proves the significant transformation of the forest structure. With the growth of tree stands the species composition inevitably changes towards original formations: in new and wet suramens the tree stand transforms into spruce forest mixed with linden and oak, while in wet suramens the forest stand transforms into spruce forest mixed with birch trees, and in swampy areas – into sticky alder forest. The greatest maximum plant biomass in new suramens is by pine trees, which are followed by spruce and oak trees. Aspen and birch trees are outsiders in this respect. In wet suramens the greatest plant biomass is produced by spruce trees while the least, by sticky alder trees. In terms of annual plant biomass increment the highest is by aspen trees in all types of suramens excluding the swampy ones. In complex plantations in terms of species composition with the growth of forest stand, there are distinct variations of the total tree bole biomass. This occurs due to gradual elimination of some species and their replacement with others. Forest stands in surames of Mari El Republic Trans-Volga region do not use their production capacity to the fullest. There are still reserves to be used. In new and wet suramens the birch and aspen may be replaced by conifers and in some cases even by oak. However, the final decision as on replacement should be taken based on economic calculations and ecological limitations. The paper also stresses that special attention of foresters should be paid on establishing the wood stands when the trees are still young.

Keywords: *suramen, wood stand, species composition, quality class, canopy density, reserve, plant biomass, dynamics, mathematical models, composition optimization, Mari El Republic Trans-Volga region.*

How to cite: *Demakov Yu. P., Isaev A. V., Simanova A. A. Regularities of Tree Stand Development in Suramens of the Mari El Republic Trans-Volga Region // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 1: 43–57 (in Russian with English abstract).*