

УДК 630*52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ДЕРЕВЬЕВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ДИНАМИКИ

Ю. П. Демаков¹, А. С. Пуряев², В. Л. Черных¹, Л. В. Черных¹

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DemakovYP@volgatech.net, ChernyhVL@volgatech.net

²Восточно-европейская лесная опытная станция ВНИИЛМ,
Российская Федерация, 420097, Казань, ул. Товарищеская, 40
E-mail: purjaew@rambler.ru

Проведён краткий обзор литературы по использованию аллометрических функций для оценки фитомассы различных фракций деревьев, в которых предикторами являются их высота и диаметр. На основе существующих таблиц биопродуктивности вычислены параметры этих функций для деревьев основных лесобразующих пород. Приведены примеры использования полученных математических моделей для познания закономерностей накопления биомассы деревьями разных пород и оценки эффективности использования ими ресурсов среды в процессе роста в пределах одного типа лесорастительных условий.

Ключевые слова: деревья; объём ствола; фитомасса дерева; фракционный состав; аллометрия; математические модели; имитационное моделирование.

Введение. Леса – один из важнейших природных возобновляемых ресурсов России, гарант её экономической, экологической и энергетической безопасности [1], обеспечивающий устойчивое развитие многих отраслей промышленности и сельского хозяйства, а также сохранение благоприятной среды для проживания населения. Задача рационального использования их эколого-ресурсного потенциала была и остаётся актуальной в научном и практическом аспектах. Её решение во многом зависит от качества и полноты справочно-нормативных лесотаксационных материалов, содержащих всю необходимую информацию, доступную для широкого круга специалистов и представленную в удобной для работы форме. Особенно остро встал вопрос о создании справочно-нормативной базы данных в настоящее время в связи с необходимостью оценки фитомассы всех компонентов лес-

ных фитоценозов и различных фракций древостоя, а не только запаса стволовой древесины, как было принято прежде. В этой информации нуждаются не только производители, которая необходима им для повышения эффективности использования эколого-ресурсного потенциала лесов, но и учёные для более глубокого познания закономерностей развития биогеоценозов и роли их в поддержании устойчивости климата планеты [2–8].

Работу по созданию в России справочно-нормативной базы по биологической продуктивности лесов сейчас успешно ведут различные коллективы учёных, результаты исследований которых отражены в многочисленных публикациях [2–4, 6, 7, 9–17]. Её, однако, нельзя считать полностью завершённой, что связано с большим разнообразием породного состава лесов и характера их развития в разных регионах страны, обусловленного специ-

© Демаков Ю. П., Пуряев А. С., Черных В. Л., Черных Л. В., 2015.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Пуряев А. С., Черных В. Л., Черных Л. В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 19-36.

фикой климатических и почвенно-экологических условий в них. Для успешного решения задачи необходимо обобщить всю имеющуюся информацию и разработать эмпирические математические модели, наилучшим образом описывающие зависимость параметров биопродуктивности от наиболее типичных и простых таксационных показателей деревьев или древостоев. Математические модели выступают при этом не только как средство описания конкретных эмпирических данных, позволяя оценивать значения функции при заданных значениях аргументов, но и как метод познания анализируемых объектов или явлений [18]. При разработке математических моделей всегда нужно стремиться к максимально возможному их упрощению, даже жертвуя в некоторых случаях небольшой потерей точности оценки. Чем сложнее модель, тем меньше её возможности для объяснения сути анализируемого процесса или объекта, тем меньше вероятность её использования на практике.

Существующие подходы к решению задачи. Исследователи давно отметили, что у различных видов организмов существует тесная связь между размерами особей и их отдельных частей (закон структурной корреляции Ж. Кювье), хорошо описываемая аллометрической функцией $Y = a \cdot X^b$, в которой X может обозначать размер или массу какого-то одного из органов особи данного вида, а Y – размер или массу другого её органа или же всей особи. Параметр a отображает здесь начальную скорость (импульс движения) независимой переменной, а параметр b – её ускорение в ходе дальнейшего изменения. Аллометрическая функция может отображать зависимость размера не только одного органа от другого, но и также зависимость размера одного органа от двух или трёх других, что несколько усложняет её вид, но не меняет его принципиально.

Аллометрические зависимости между размерами органов растений давно ис-

пользуются исследователями для оценки фитомассы различных их фракций [19–30]. Для оценки объёма дерева и фитомассы его отдельных фракций используют, как показывает анализ литературных источников [3, 4, 9, 15, 23, 29–33], следующие аллометрические зависимости $Y = a \cdot h^b$, $Y = a \cdot d^b$, $Y = a \cdot d \cdot h^b$, $Y = a \cdot d^2 \cdot h^b$, $Y = a \cdot (d^2 \cdot h)^b$ и $Y = a \cdot h^b \cdot d^c$, в которых h – высота дерева, d – диаметр ствола на высоте 1,3 м. Нами было установлено [7], что в сомкнутых однопородных и одновозрастных насаждениях существует тесная зависимость запаса стволовой древесины и фитомассы различных фракций древостоя от его средней высоты, описываемая степенной функцией $M = \alpha \cdot H^\beta$.

Для повышения точности оценки исследователи иногда добавляют к данному набору параметров ещё протяжённость кроны, густоту и возраст древостоев. Усложнение математических моделей не даёт, однако, в большинстве случаев положительного эффекта [31]. Это обусловлено, на наш взгляд, наличием тесной связи между независимыми переменными, приводящей к возрастанию неопределённости оценок величины коэффициентов регрессии и неустойчивости решений уравнений.

Использование тесно сопряжённых между собой независимых переменных в регрессионном анализе недопустимо, так как точки их значений не рассеяны в выбранном пространстве анализируемых признаков, образуют своеобразный жгут. В результате могут возникнуть ошибки в вычислении коэффициентов регрессии и они заведомо будут неадекватно отражать реальную действительность. Так, к примеру, в работе [9] значения абсолютно сухой массы фракций деревьев авторы оценивают по функции $M = a \cdot d^b \cdot h^c$, коэффициент c которой в ряде случаев имеет отрицательное значение. Такого в принципе быть не должно, поскольку это указывает на обратную зависимость искомого параметра от высоты дерева, т. е. чем выше

дерево, тем меньше у него абсолютная величина фитомассы искомой фракции. Следует также отметить, что каждый исследователь проводил расчёт параметров регрессионных уравнений на своём эмпирическом материале, что обусловило, естественно, несовпадение результатов, дополнительное влияние на которые оказывали методы и средства вычислений.

Цель работы – разработка эмпирических математических моделей, наилучшим образом описывающих зависимость объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев от их высоты и диаметра.

Материал и методика. Исходным материалом для расчётов, проведённых на ПК с использованием прикладных программ и стандартных методов математической статистики, служили таблицы динамики биологической продуктивности древостоев основных лесобразующих пород России, представленные в капитальной монографии В.А. Усольцева [15], в которой обобщён труд многих исследователей.

Результаты и их обсуждение. Выбор высоты и диаметра деревьев в качестве основных предикторов, определяющих объём ствола и фитомассу их различных фракций, сделан нами не случайно. Он обусловлен тем, что эти параметры деревьев не только наиболее просты в оценке и являются основными при проведении таксации леса, но и отражают условия среды, изменяясь с возрастом сообразно складывающейся биоценотической обстановке таким образом, чтобы оптимизировать протекание физиологических процессов и поддерживать свою жизнеспособность [34]. Поскольку эти два параметра тесно связаны между собой, изменяясь в процессе роста дерева в основном сопряжённо, то использовать их совместно в регрессионных уравнениях допустимо лишь в том случае, если коэффициент регрессии одного из них жёстко зафиксировать, снизив тем самым число степеней свободы и неопределённость оценки.

Проведённые нами расчёты показали, что наилучшую аппроксимацию исходных данных по объёму и абсолютно сухой массе ствола, а также общей и надземной фитомассе дерева, его коры и ветвей обеспечивает двухпараметрическая аллометрическая функция $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, объясняющая более 99 % общей дисперсии значений зависимых переменных. Фитомассу же их ассимиляционного аппарата (листья или хвои) и корней определяет только диаметр ствола, что подтверждают также данные других исследователей [35, 36]. Аллометрическая функция в этом случае имеет такой вид $Y = a \cdot (d + 1)^b$. Прибавление единицы к значению диаметра дерева обусловлено необходимостью коррекции получаемых оценок в том случае, когда величина этого таксационного параметра приближается к нулю (измерение диаметра ствола деревьев проводят, как известно, на высоте 1,3 м от поверхности почвы). Следует отметить, что эти уравнения, в которых расчёт показателей производится напрямую без использования видового числа и конверсионно-объёмных коэффициентов, имеют значительные преимущества перед традиционно используемыми в лесной таксации моделями, позволяя повысить корректность и точность оценки объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев.

Расчёты показали, что значения параметров полученных регрессионных уравнений сугубо специфичны у каждой древесной породы (табл. 1), исходя из особенностей их биологии и требовательности к условиям среды. Так, в уравнениях объёма ствола, общей и надземной фитомассы деревьев, массы ствола, коры и ветвей наибольшую величину параметра a , отображающего начальную величину импульса движения в ходе увеличения высоты дерева, имеет дуб, а наименьшую – ольха чёрная. В уравнениях фитомассы ассимиляционного аппарата деревьев самое высокое значение этого параметра у лиственницы, а самое низкое – у берёзы.

В уравнениях же фитомассы корней деревьев первое место по величине параметра a занимает липа, а последнее – пихта. Наиболее высокие значения параметра b , характеризующего изменение скорости движения (ускорения) зависимой переменной по мере возрастания величины предиктора, почти во всех уравнениях, кроме уравнений, отображающих фитомассу коры и листвы, имеет ольха чёрная, а самые низкие – сосна. Наиболее схожи между собой по величине параметров всего набора аллометрических уравнений ель и пихта, а наименьшее сходство со всеми другими

породами имеет ольха чёрная (табл. 2). Сосна по этим признакам более всего схожа с елью, лиственница – с берёзой, а липа – с дубом. Наибольшие различия между породами по величине параметра a отмечаются в уравнениях фитомассы листвы и корней как основных органов обеспечения их жизнедеятельности, а по значениям параметра b в уравнениях фитомассы коры и ветвей. Породы деревьев меньше всего различаются между собой по значениям параметров в уравнениях, оценивающих наиболее инертные показатели – объём ствола и общую фитомассу.

Таблица 1

Параметры уравнений объёма ствола и фитомассы различных фракций деревьев

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для различных пород деревьев								
	сосны	ели	пихты	лиственницы	берёзы	осины	липы	дуба	ольхи
Объём ствола дерева, $V = a \cdot 10^{-5} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, м ³									
a	5,180	3,583	3,861	3,936	3,551	2,997	4,591	6,849	2,407
b	0,868	0,992	0,943	0,969	0,967	1,036	0,910	0,809	1,124
Общая абсолютно сухая масса дерева, $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, м ³									
a	4,906	3,410	3,331	4,591	3,381	3,262	4,775	6,011	2,043
b	0,743	0,841	0,805	0,873	0,858	0,855	0,770	0,776	1,038
Надземная фитомасса дерева с листвой (хвоей), $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг									
a	3,300	2,602	2,834	2,442	2,182	2,044	2,500	5,110	1,573
b	0,794	0,869	0,812	0,998	0,948	0,935	0,916	0,808	1,048
Фитомасса ствола дерева без коры, $M = a \cdot 10^{-2} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг									
a	2,013	1,368	1,359	1,519	1,342	1,137	1,700	2,744	1,000
b	0,891	0,992	0,941	1,077	1,018	1,033	0,929	0,886	1,112
Фитомасса коры, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг									
a	9,983	4,551	4,912	6,244	5,793	5,437	2,168	10,71	4,664
b	0,270	0,527	0,582	0,630	0,629	0,698	1,084	0,528	0,696
Фитомасса ветвей, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, кг									
a	9,608	8,090	7,720	4,702	3,035	5,445	6,427	14,36	1,365
b	0,415	0,509	0,565	0,811	0,886	0,620	0,707	0,715	1,106
Фитомасса ассимиляционного аппарата дерева (листвы / хвои), $M = a \cdot 10^{-3} \cdot (d + 1)^b$, кг									
a	22,31	18,54	16,59	72,53	5,820	9,567	36,52	17,73	7,396
b	1,777	2,109	2,134	1,395	2,160	1,853	1,462	1,873	2,004
Фитомасса корней дерева, $M = a \cdot 10^{-3} \cdot (d + 1)^b$, кг									
a	20,86	11,97	8,906	30,24	34,60	27,99	153,8	29,03	11,12
b	2,484	2,568	2,528	2,460	2,225	2,372	1,862	2,106	2,668

Примечание: h – высота дерева, м; d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см; степень достоверности всех уравнений очень высокая ($p < 0,01$).

Таблица 2

Матрица коэффициентов сходства пород деревьев по параметрам аллометрических уравнений

Порода	Значение коэффициента сходства Жаккара между различными породами деревьев							
	сосны	ели	пихты	лиственницы	берёзы	осины	липы	дуба
Сосна	1,000							
Ель	0,761	1,000						
Пихта	0,739	0,941	1,000					
Лиственница	0,593	0,686	0,705	1,000				
Берёза	0,541	0,629	0,644	0,746	1,000			
Осина	0,522	0,607	0,621	0,694	0,874	1,000		
Липа	0,419	0,472	0,481	0,522	0,567	0,611	1,000	
Дуб	0,376	0,398	0,401	0,423	0,453	0,481	0,567	1,000
Ольха чёрная	0,333	0,354	0,356	0,361	0,384	0,388	0,392	0,514

Результаты проделанной нами работы могут быть использованы не только для детальной оценки эколого-ресурсного потенциала лесов в конкретных лесничествах, административных или физико-географических районах по данным пробных площадей или таксационных описаний насаждений, но и, главным образом, в исследовательских целях для выявления закономерностей развития деревьев и древостоев в целом. Это положение мы хотим проиллюстрировать на примере древостоев Предкамья Республики Татарстан, произрастающих в ТЛУ D₂, для которых на основе выделенной базы данных были выявлены за-

кономерности динамики основных таксационных параметров (табл. 3). При анализе исходного материала было установлено, что характер роста у всех пород существенно специфичен (рис. 1–3), в результате чего ранговое положение деревьев по их размерам и массе не остаётся постоянным в разные периоды времени. Так, к примеру, в возрасте 80 лет лидером по объёму и массе ствола среднего дерева является интродуцированная в этот регион лиственница. Следом за ней в ранговом ряду располагаются аборигенные породы деревьев: осина, берёза и сосна. Медленнее всего увеличиваются с возрастом эти показатели у деревьев липы.

Таблица 3

Параметры уравнений динамики таксационных показателей древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для древостоев различных пород						
	сосны	ели	лиственницы	берёзы	осины	липы	дуба
Средняя высота деревьев, $H = K \cdot [1 - \exp(-a \cdot 10^{-3} \cdot A)]^b$, м							
K	34,1	29,5	36,0	29,8	28,5	25,7	26,7
a	25,59	23,19	21,78	35,40	34,78	25,80	26,37
b	1,321	1,552	1,169	1,258	1,220	1,096	1,679
R ²	0,997	0,996	0,994	0,988	0,997	0,997	0,992
Средний диаметр деревьев, $D = a \cdot A^b$, см							
a	1,434	0,534	0,957	1,212	0,803	0,819	0,443
b	0,707	0,909	0,821	0,759	0,857	0,802	0,958
R ²	0,963	0,976	0,969	0,975	0,993	0,996	0,980
Средний запас древостоев, $M = a \cdot A^{b-1} \cdot \exp(-c \cdot 10^{-5} \cdot A^b)$, м ³							
a	4,418	3,314	8,613	3,034	2,812	2,348	2,514
b	2,111	2,047	1,900	2,124	2,206	2,162	2,046
c	4,708	4,213	2,916	4,818	5,470	3,349	5,234
R ²	0,981	0,924	0,962	0,926	0,975	0,993	0,962

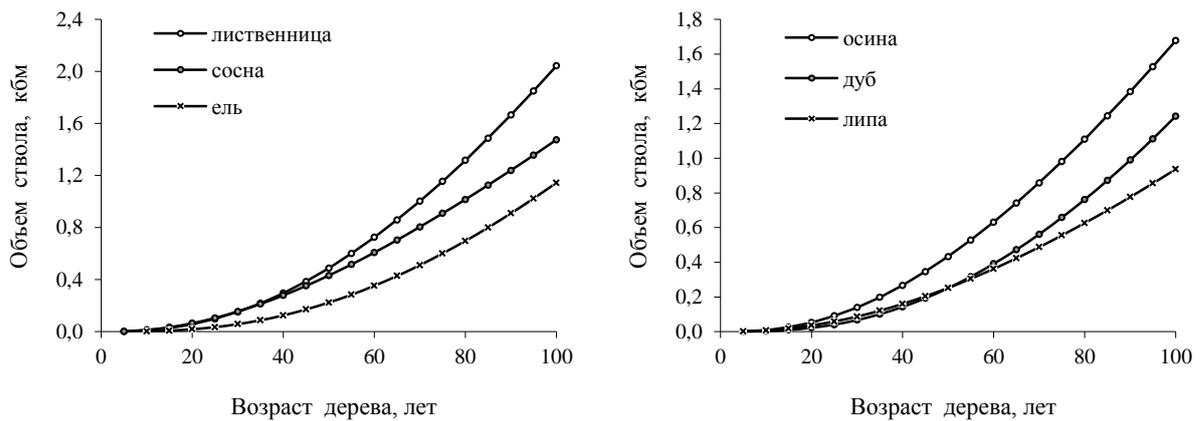


Рис. 1. Закономерности изменения объема ствола деревьев различных пород с их возрастом

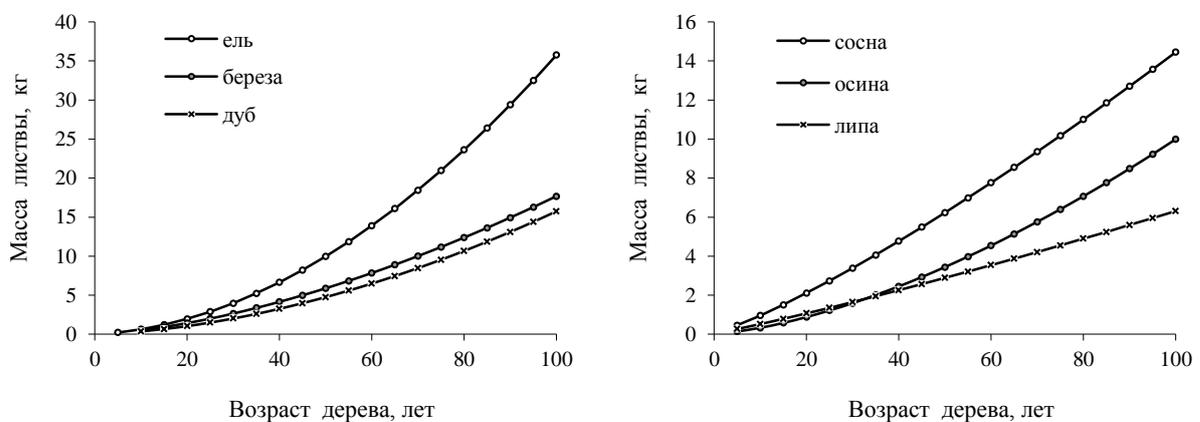


Рис. 2. Закономерности динамики фитомассы ассимиляционного аппарата у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

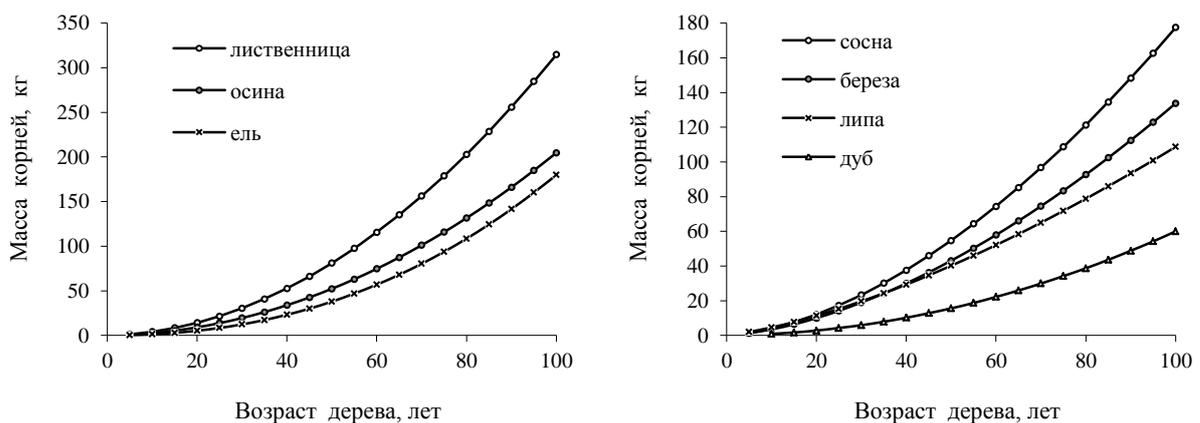


Рис. 3. Закономерности динамики фитомассы корней у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

Полученные нами аллометрические уравнения позволяют не только оценить динамику накопления фитомассы, но и выявить при имитационном моделирова-

нии ряд важных закономерностей развития деревьев, выражающихся в изменении годичного прироста различных их фракций и пропорций между ними. Результаты

расчётов оказались во многом неожиданными. Так, к примеру, было установлено, что доля массы ветвей в общей фитомассе дерева слабо изменяется с возрастом (рис. 4). У дуба она значительно больше, чем у других пород, а у осины, сосны и лиственницы эта доля самая низкая. У берёзы, в отличие от остальных пород деревьев, она с возрастом слабо увеличивается. Доля массы корней в общей фитомассе у всех пород деревьев резко снижается до возраста 30–35 лет, а в дальнейшем стабилизируется на определённом уровне, составляя наибольшую величину у липы, а наименьшую у дуба (рис. 5). Доля массы

ствола, как наиболее инертной фракции дерева, изменяется противоположным образом, увеличиваясь с возрастом асимптотически (рис. 6). Наибольшая её величина в возрасте 80 лет отмечается у берёзы (67,5 %), а наименьшая – у липы (58,3 %). Доля коры в общей фитомассе ствола у всех пород деревьев, кроме липы, с возрастом гиперболически снижается, стабилизируясь на определённом уровне после 50–60 лет (рис. 7). У липы же она, наоборот, медленно возрастает. Наибольшая её величина в возрасте 80 лет отмечается у липы (17,1 %), а наименьшая – у сосны (5,8 %).

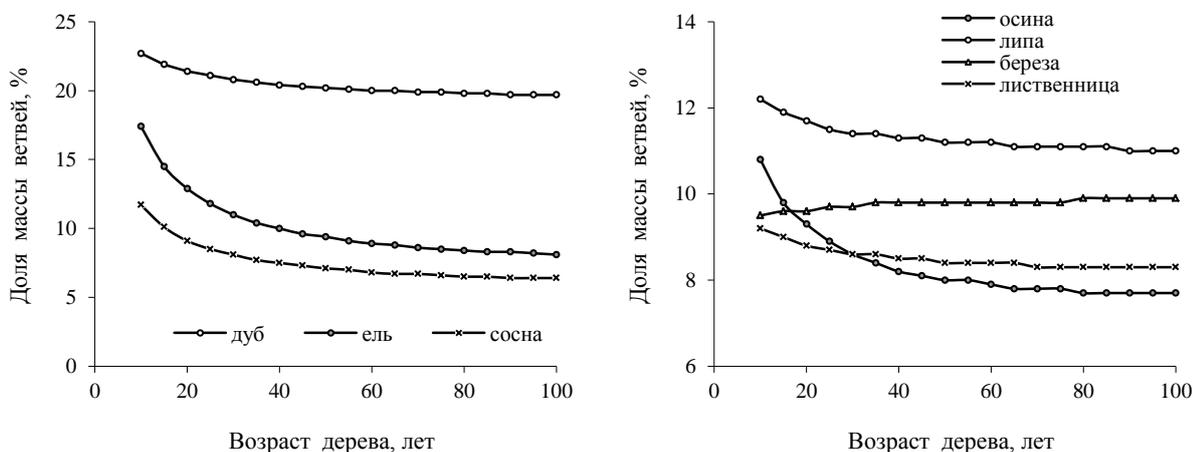


Рис. 4. Закономерности изменения доли ветвей в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

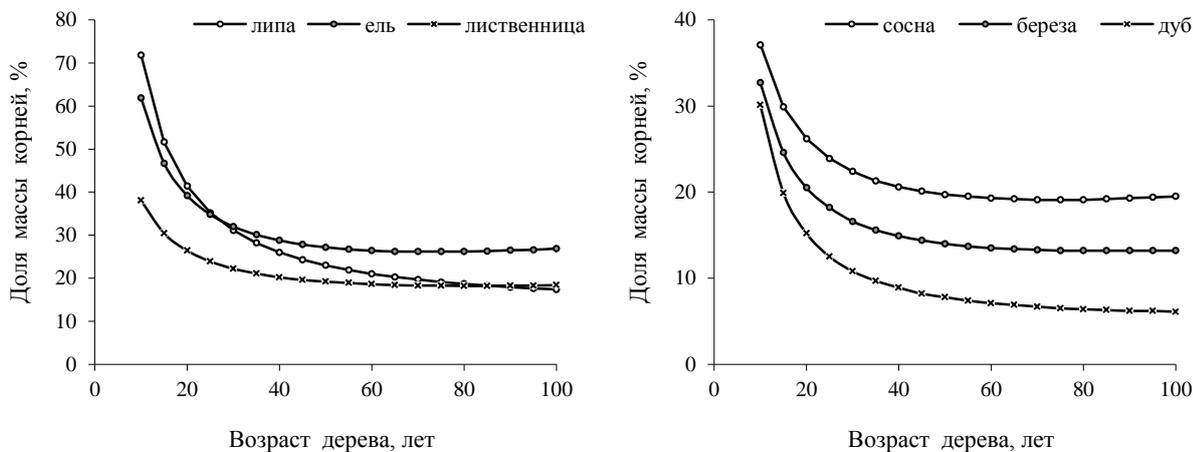


Рис. 5. Закономерности изменения доли корней в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

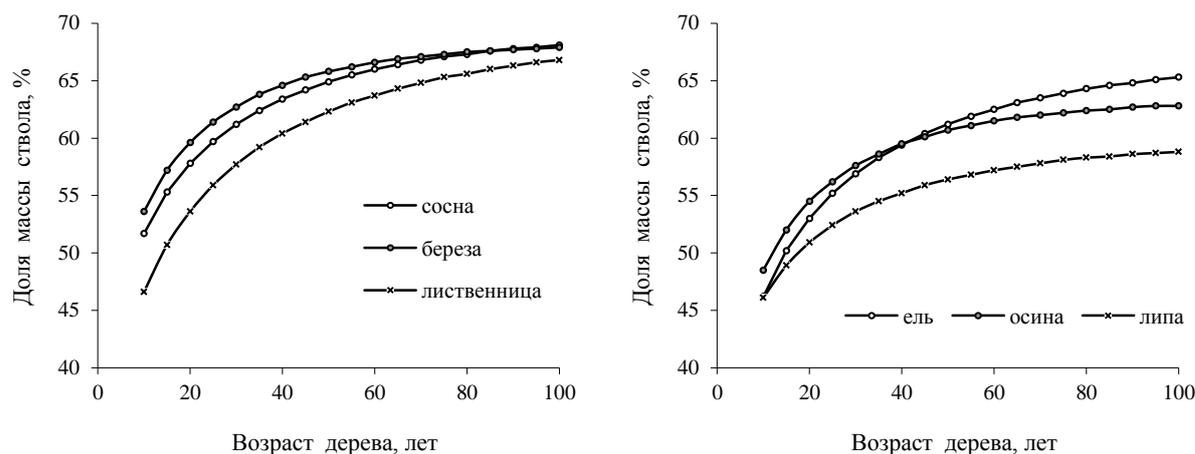


Рис. 6. Закономерности изменения доли массы ствола в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

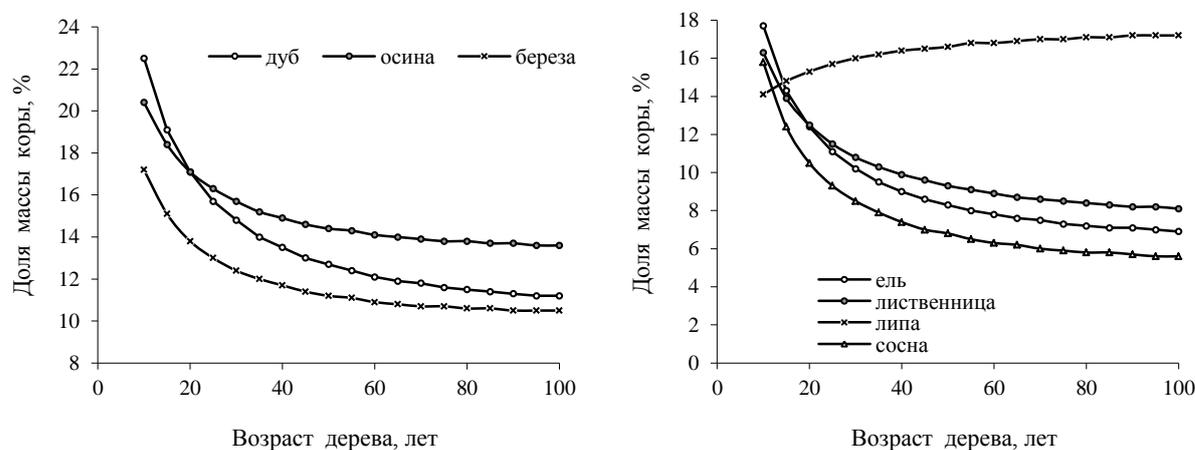


Рис. 7. Закономерности изменения доли коры в общей фитомассе ствола деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

На основе полученных уравнений можно оценить изменение потока ассимилянтов между различными органами деревьев в ходе их онтогенеза, что сделать путём прямых натуральных экспериментов очень сложно. Для этого необходимо оценить величину годичного прироста массы всех фракций деревьев, кроме листвы (хвои), которая представляет собой разность между значениями вычисляемого показателя в текущем и предыдущем годах. Величина же годичного прироста фитомассы ассимиляционного аппарата у листопадных деревьев равна его текущей массе, поскольку она ежегодно обновляется. У сосны же ежегодно обновляется

около 1/3 массы хвои, а у ели – 1/5. Расчёты, основанные на этих исходных положениях, показали, что больше всего ассимилянтов, вырабатываемых деревом в течение года, идёт на образование фитомассы ствола у сосны, а меньше всего – у липы (рис. 8). У деревьев всех пород изменение этого показателя в ходе их развития отображается куполообразной кривой с максимумом в возрасте от 25 лет (у берёзы) до 55 лет (у лиственницы). Снижение величины доли массы прироста ствола в величине прироста всей фитомассы дерева после этого возраста наиболее быстро происходит у берёзы, а медленнее всего – у лиственницы.

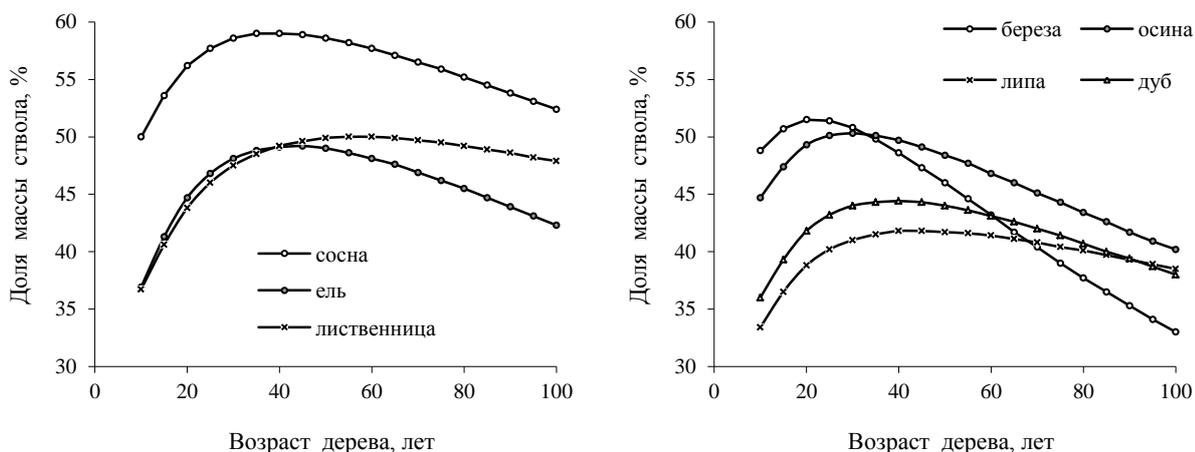


Рис. 8. Закономерности динамики доли годичного прироста массы ствола в общей величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

На образование прироста ветвей наибольший расход ассимилянтов в пределах всего возрастного диапазона отмечается у деревьев дуба (рис. 9). В возрасте до 25–30 лет меньше всего расходует ассимилянтов лиственница, а после этого – сосна. У всех пород деревьев с увеличением их возраста расход ассимилянтов на образование прироста ветвей неуклонно снижается. Наиболее значительно он снижается у ели и сосны, а слабее всего – у липы. Поток ассимилянтов на образование прироста корней у всех пород деревьев резко снижается до возраста 30–35 лет, а в дальнейшем стабилизируется на определенном уровне,

составляя больше всего у ели, а меньше всего – у дуба (рис. 10). Характер динамики расхода ассимилянтов на образование листвы (хвои) деревьев иной (рис. 11). У деревьев лиственницы до 40–45 лет он резко снижается, а затем очень медленно увеличивается. У липы и дуба увеличение его величины с возрастом происходит более значительно, а у остальных пород – ещё сильнее. В результате всех этих изменений снижается производительность ассимиляционного аппарата деревьев (рис. 12) и возрастает нагрузка на корни по водоснабжению кроны, которая больше всех у дуба, а меньше всех – у осины (рис. 13).

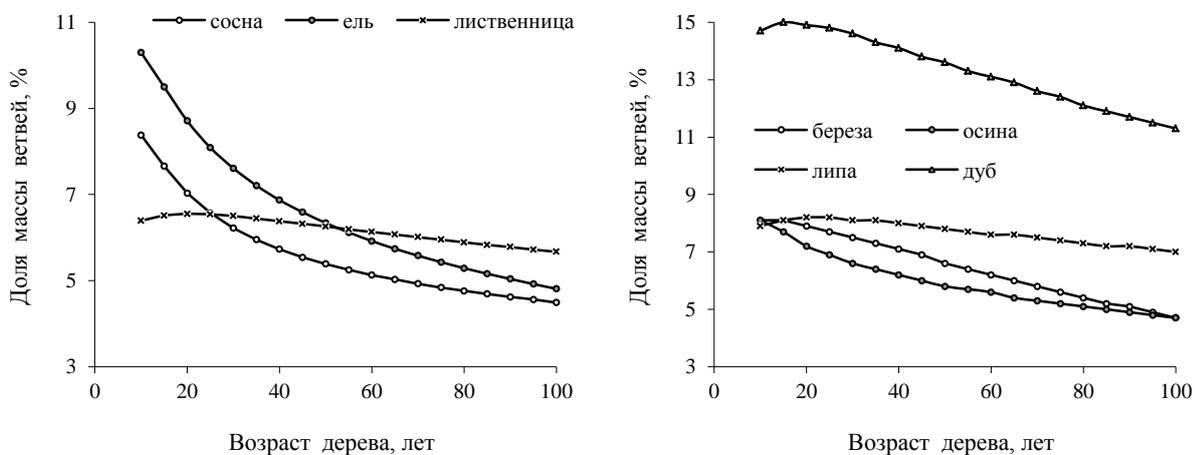


Рис. 9. Закономерности динамики доли годичного прироста массы ветвей в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

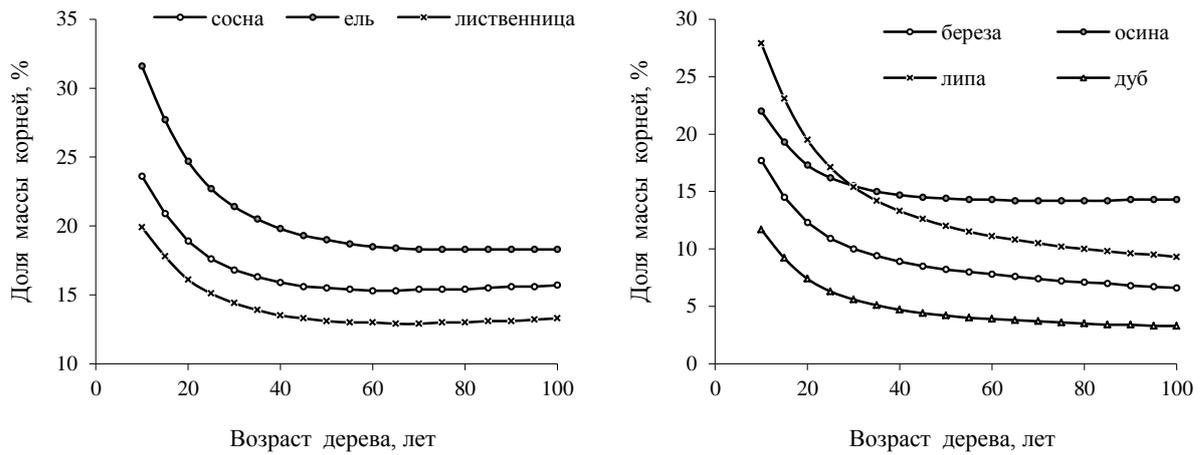


Рис. 10. Закономерности динамики доли годичного прироста массы корней в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

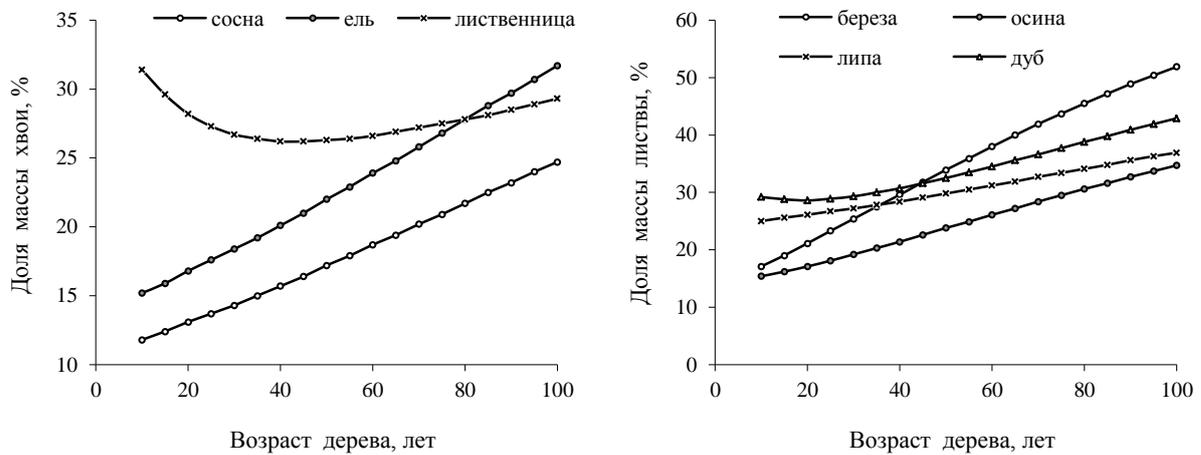


Рис. 11. Закономерности динамики доли годичного прироста массы листьев в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

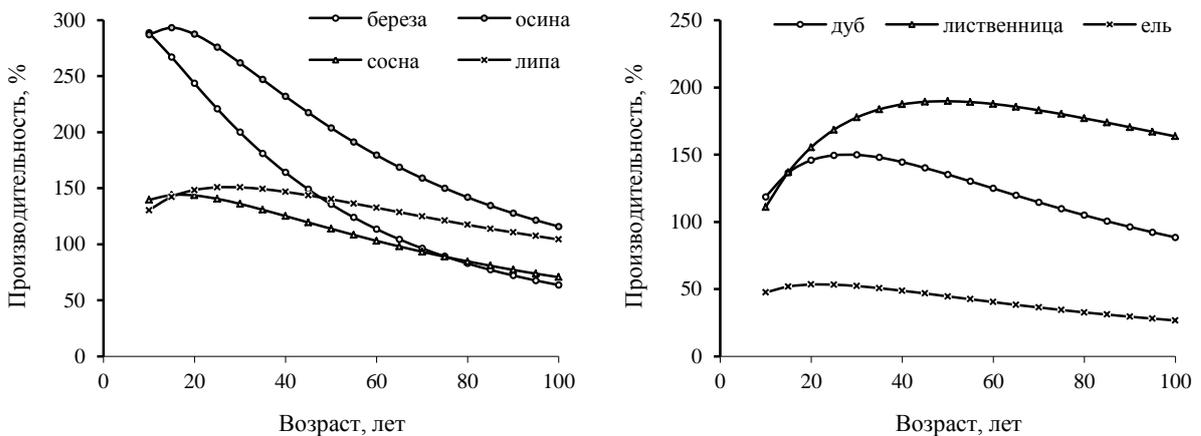


Рис. 12. Динамика производительности ассимиляционного аппарата у деревьев различных пород в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан

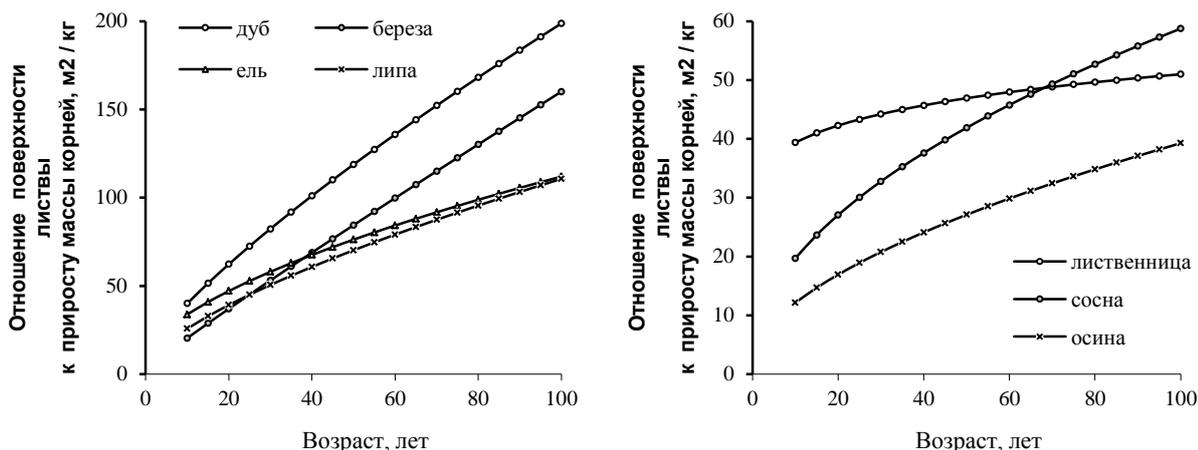


Рис. 13. Динамика отношения листового индекса деревьев, вычисленного по [10], к приросту массы корней различных пород в ТЛЮ D₂ Предкамья Республики Татарстан

В древостоях динамика соотношения масс фракций такая же, как и у отдельного дерева, но процесс накопления фитомассы происходит иначе, что связано с особенностями отпада определённой части особей, протекающего в различных ценозах неодинаково. Так, в возрасте 20 лет наибольшую густоту имеют ельники, а наименьшую – березняки (рис. 14). В возрасте же 80 лет картина существенно образом меняется: наиболее густыми являются уже липняки, а самыми редкими – осинники, что связано с их естественным распадом. Густота древостоев, как показали расчёты, закономерно убывает с возрастом, что описывает степенная функция

$N_t = K \cdot [a \cdot (t - 10) + 1]^{-b}$, в которой K – густота древостоев в возрасте 10 лет, экз./га; a – скорость изреживания древостоев с их возрастом; b – темп изменения скорости изреживания; t – возраст древостоя, лет. Наиболее высокую исходную густоту и интенсивность изреживания имеют ельники, а наименьшую – светолюбивые березняки (табл. 4). Скорость изреживания наиболее высока у культур лиственницы, а минимальна – у осинников. Темп скорости изреживания у всех древостоев с возрастом увеличивается, однако наиболее значительно это происходит у ельников, дубняков и осинников. Менее всего он изменяется у березняков, сосняков и липняков.

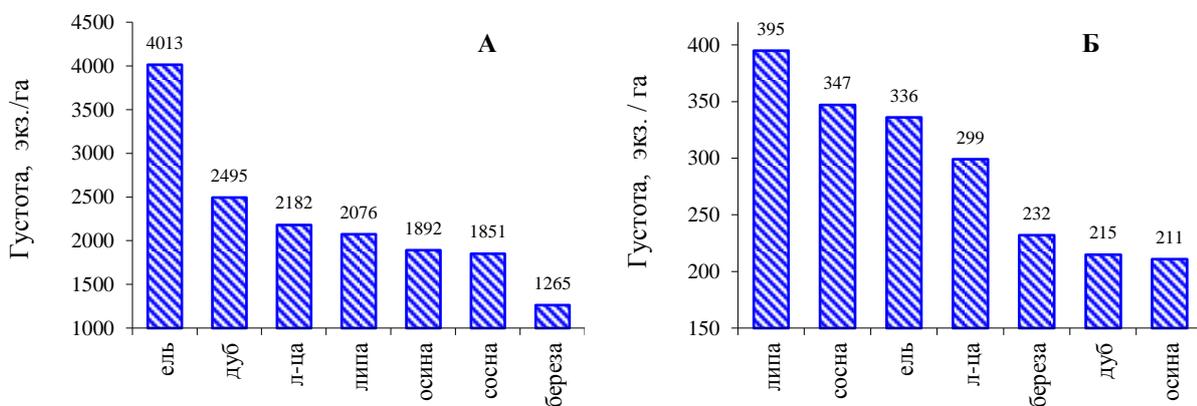


Рис. 14. Ранговое распределение древостоев разных пород в ТЛЮ D₂ Предкамья Республики Татарстан по их густоте: А – в возрасте 20 лет; Б – в возрасте 80 лет

Таблица 4

**Значения параметров уравнений динамики густоты древостоев
в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан**

Параметр уравнения	Значения параметров уравнения $N_t = K \cdot [a \cdot (t - 10) + 1]^{-b}$ у разных пород деревьев						
	сосны	ели	лиственницы	березы	осины	липы	дуба
K	4087	14212	6344	2918	4760	4401	8220
a	8,990	10,36	11,31	9,899	7,645	8,098	9,599
b	1,221	1,776	1,409	1,202	1,605	1,251	1,769

В результате взаимодействия двух противоположно направленных процессов, т. е. увеличения массы деревьев и одновременного уменьшения их числа, общая фитомасса древостоя и его отдельных фракций изменяется с возрастом параболически, достигая в определённый момент времени максимального значения, а затем неуклонно снижается. Кульминация общей фитомассы древостоя раньше всех наступает в осинниках, а наиболее поздно – в

культурах лиственницы (рис. 15). Абсолютная величина общей фитомассы в этот момент наибольших значений достигает в лиственничниках (439,3 т/га), а наименьших – в ельниках и дубняках (всего 142,9 и 130,8 т/га). Ранговое положение древостоев по величине массы стволов и корней в данном возрасте пород меняется не очень сильно: лиственничники устойчиво занимают самую высокую позицию, а дубняки – самую низкую (рис. 16).

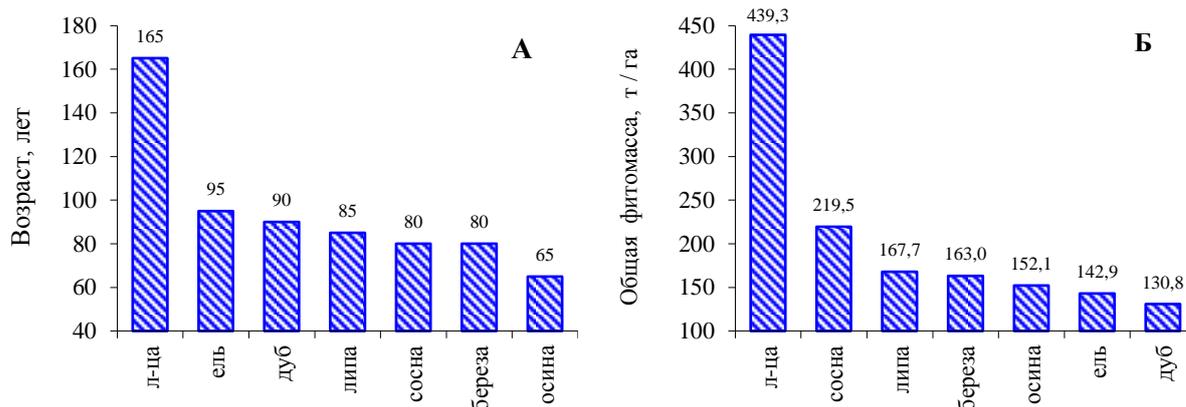


Рис. 15. Ранговое распределение древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан по времени наступления кульминации наличной общей фитомассы (А) и её величине (Б)

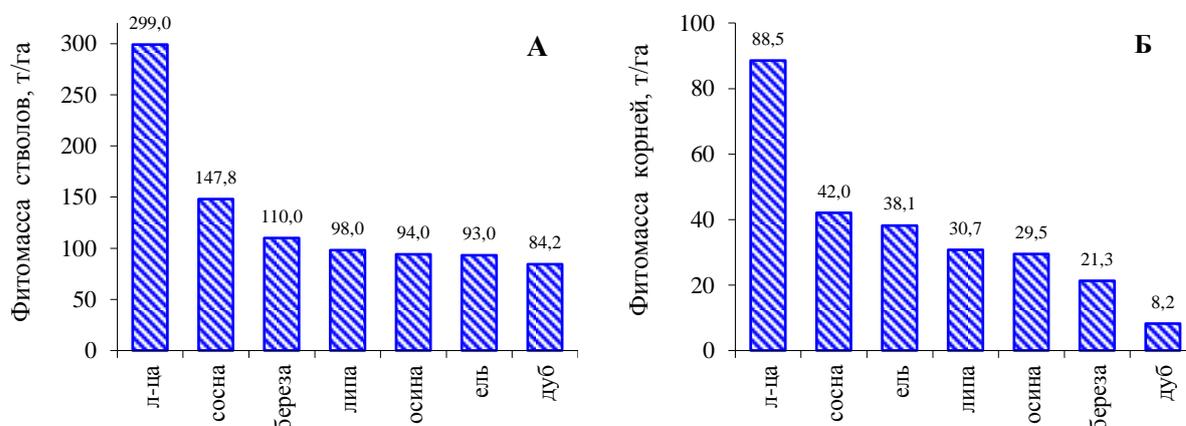


Рис. 16. Ранговое распределение древостоев в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан по величине массы стволов (А) и корней в момент кульминации общей фитомассы (Б)

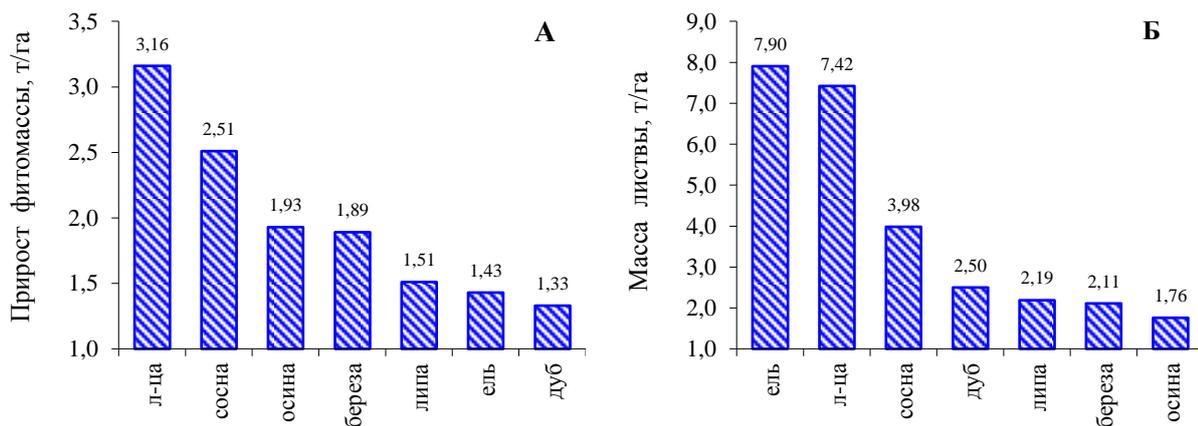


Рис. 17. Распределение древостоев по величине среднего годовичного прироста фитомассы стволов в момент его кульминации (А) и массы ассимиляционного аппарата в этом же возрасте (Б)

При имеющихся различиях характера роста деревьев эффективность использования ими ресурсов среды, в том числе и солнечной энергии, более корректно оценивать не по наличной их фитомассе, а по годовичному приросту стволовой древесины. Расчёты показали, что кульминации величины этого показателя древостои достигают очень рано: культуры лиственницы – в возрасте 15 лет, культуры ели – в 20 лет, липняки – в 35 лет, остальные древостои – в 30 лет. Лидером по величине среднего годовичного прироста фитомассы стволов в этом возрасте, определяющем рубеж энергетической и углерододепонирующей спелости древостоев, устойчиво являются лиственничники, за которыми следуют сосняки и осинники (рис. 17). Замыкают ранговый ряд липняки, ельники и дубняки. По массе ассимиляционного аппарата, приближающейся в этом возрасте к своему абсолютному пределу, лидируют ельники, которым лишь незначительно уступают культуры лиственницы. Наименьшую фитомассу листьев имеют осинники.

Таким образом, результаты проведённых нами расчётов убедительно свидетельствуют о больших возможностях использования аллометрических зависимостей фитомассы различных фракций деревьев от их высоты и диаметра ствола для выявления закономерностей развития

древостоев и выбора наиболее перспективных для лесовыращивания древесных пород, одной из которых в ТЛУ D₂ Предкамья Республики Татарстан, безусловно, является лиственница сибирская.

Подобранные нами аллометрические модели могут быть с успехом использованы для детальной оценки эколого-ресурсного потенциала древостоев как по данным учёта на пробных площадях, так и по материалам таксационных описаний насаждений. Они, как и всё в науке, не являются абсолютной истиной. По мере накопления материала эти модели, естественно, должны уточняться и дополняться. Мы искренне надеемся на то, что наша работа будет интересна многим исследователям, которые успешно разовьют предложенную нами идею или предложат свои.

Заключение. Объём ствола и фитомассу различных фракций деревьев можно достаточно легко и надёжно оценить расчётным путём по их высоте и диаметру, используя соответствующие аллометрические зависимости. Наилучшую аппроксимацию исходных данных по объёму и абсолютно сухой массе ствола, а также общей и надземной фитомассе дерева, его коры и ветвей обеспечивает двухпараметрическая аллометрическая функция $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$, объясняющая более 99 % общей дисперсии значений

зависимых переменных. Для оценки же фитомассы ассимиляционного аппарата (листвы или хвои) и корней деревьев лучше всего подходит функция $Y = a \cdot (d + 1)^b$. Значения параметров полученных уравнений сугубо специфичны у каждой древесной породы, исходя из особенностей их биологии и требовательности к условиям среды. Эти уравнения, в которых расчёт показателей производится напрямую без использования видового числа и конверсионно-объёмных коэффициентов, имеют значительные преимуще-

ства перед традиционно используемыми в лесной таксации моделями.

Полученные аллометрические уравнения можно с успехом использовать не только для оценки фитомассы деревьев и древостоев в целом, но и для выявления закономерностей динамики потока ассимилянтов между различными фракциями, что сделать путём прямых натурных экспериментов очень сложно, а также для выбора наиболее перспективных в хозяйственном или экологическом отношении пород.

Список литературы

1. Усольцев, В. А. Русский лес как гарант энергетической и экологической безопасности России / В.А. Усольцев // Эко-потенциал. – 2014. – № 4. – С. 7-15.
2. Исаев, А. С. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.И. Коровин, А.И. Уткин и др. // Лесоведение. – 1993. – № 5. – С. 3-10.
3. Уткин, А. И. Биологическая продуктивность лесов. Методы изучения и результаты / А.И. Уткин // Итоги науки и техники. Сер.: Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1975. – Т. 1. – С. 9-189.
4. Уткин, А. И. Методика исследований первичной биологической продуктивности лесов / А.И. Уткин // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. – М.: Наука, 1982. – С. 59-71.
5. Демаков, Ю. П. Эколого-ресурсный потенциал древостоев искусственного происхождения сосны и ели в свежих сурамях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева, А.А. Белоусов // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 1. – С. 14-25.
6. Демаков, Ю. П. Потенциальная производительность древостоев основных лесобразующих пород России / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Эко-потенциал. – 2014. – № 4. – С. 41-50.
7. Демаков, Ю. П. Эколого-ресурсный потенциал древостоев лесобразующих пород Среднего Поволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.Л. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 5-20.
8. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев в сурамях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, А.А. Симанова // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 43-57.
9. Уткин, А. И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России / А.И. Уткин, Д.Г. Замолдчиков, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36-46.
10. Уткин, А. И. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесобразующих пород России / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, Д.Г. Замолдчиков // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 74-78.
11. Уткин, А. И. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: метод поучастковой аллометрии / А.И. Уткин, Д.Г. Замолдчиков, Т.А. Гульбе и др. // Лесоведение. – 1998. – № 2. – С. 38-53.
12. Замолдчиков, Д. Г. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объёмным коэффициентам / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 84-93.
13. Замолдчиков, Д. Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин // Лесоведение. – 2000. – № 6. – С. 54-63.
14. Замолдчиков, Д. Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев / Д.Г. Замолдчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – № 6. – С. 73-81.
15. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 708 с.
16. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 762 с.
17. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база

данных и ее приложения / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 636 с.

18. Глинский, Б. А. Моделирование как метод научного исследования: гносеологический анализ / Б.А. Глинский, Б.С. Грязнов, Б.С. Дынин, Е.П. Никитин. – М.: МГУ, 1965. – 248 с.

19. Усольцев, В. А. Моделирование распределения ассимилянтов в фитомассе деревьев: законы или закономерности? / В.А. Усольцев, К.С. Субботин, Д.С. Гаврилин, Ю.В. Норицина // Экопотенциал. – 2015. – № 1. – С. 15-32.

20. Gould, S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny / S. Gould // Biological Reviews. – 1966. – Vol. 41. – Pp. 587-640.

21. Шмидт, В. М. Аллометрический рост органов растений / В.М. Шмидт // Применение математических методов в биологии. – Л.: ЛГУ, 1969. – Вып. 4. – С. 109-116.

22. Дюльдин, А. А. Коэффициент вариации и аллометрия / А.А. Дюльдин // Экология. – 1973. – № 6. С. 97-99.

23. Кофман, Г. Б. Уравнения роста и онтогенетическая аллометрия / Г.Б. Кофман // Математическая биология развития. – М.: Наука, 1982. – С. 49-55.

24. Кофман, Г. Б. Рост и форма деревьев / Г.Б. Кофман. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.

25. Усольцев, В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 191 с.

26. Усольцев, В. А. Рост и структура фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с.

27. Niklas, K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? / K.J. Niklas // Biological Reviews. – 2004. – Vol. 1. 79. – Pp. 871-889.

28. Poorter, H. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control / H. Poorter, K.J. Niklas, P.V. Reich et al. // New Phytologist. – 2012. – Vol. 193. – Pp. 30-50.

29. Карманова, И. В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений / И. В. Карманова. – М.: Наука, 1976. – 223 с.

30. Кузьмичев, В. В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.

31. Богачев, А. В. Методы таксации лесного и лесосечного фонда / А. В. Богачев, Н. С. Свалов // Итоги науки и техники. Сер.: Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1978. – Т. 2. – С. 7-209.

32. Пузанова, Т. А. Вычисление запасов стволовой древесины в молодняках сосны / Т.А. Пузанова, В.В. Кузьмичев // Известия СО АН СССР. Серия биологическая. – 1979. – № 10, Вып. 2. – С. 27-31.

33. Пшеничникова, Л. С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты / Л. С. Пшеничникова // Факторы продуктивности леса. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 36-52.

34. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.

35. Бобкова, К. С. Пул углерода фитомассы древостоев сосняков чернично-сфагновых средней тайги европейского северо-востока / К.С. Бобкова, А.Ф. Осипов, Э.П. Галенко // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – Т. XXX, № 1. – С. 42-45.

36. Шанин, В. Н. Моделирование горизонтального распространения корней деревьев в различных условиях местообитания / В.Н. Шанин // Лесоведение. – 2015. – № 2. – С. 130-139.

Статья поступила в редакцию 16.04.15.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, математическое моделирование лесных экосистем. Автор 280 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

ПУРЯЕВ Айнур Султангалиевич – кандидат биологических наук, доцент, директор, филиал ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская лесная опытная станция». Область научных интересов – лесоведение, почвоведение. Автор 50 научных и научно-методических работ.

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, таксации и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы таксации леса, математического моделирования и ГИС-технологий. Автор 250 публикаций, в том числе пяти монографий.

ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич – аспирант кафедры лесоводства, таксации и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – таксация леса и лесовосстановление, ГИС-технологии. Автор восьми публикаций.

UDC 630*52

ALLOMETRIC DEPENDANCES APPLICATION TO 1 ASSESS PHYTOMASS OF VARIOUS FRACTIONS OF TREES AND SIMULATION OF THEIR DYNAMICS

Yu. P. Demakov¹, A. S. Puryaev², V. L. Chernykh¹, L. V. Chernykh¹¹Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: DemakovYP@volgatech.net, ChernyhVL@volgatech.net

²East European FES of All Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry,

40, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

E-mail: purjaew@rambler.ru

Key words: trees; stem volume; phytomass of a tree; fraction composition; allometry; mathematical models; simulation modelling.

ABSTRACT

A brief review of some books on application of allometric functions to calculate the phytomass of various fractions of trees, where the predictors are height and diameter of a tree, was carried out. Calculation of parameters of the functions for the trees of major forest forming species was made based on the existing tables for stands bioproductivity. It was shown that two-parameter allometric function $Y = a \cdot h^b \cdot (d + 1)^2$ showed the best approximation basic data by volume and oven-dry weight of a stem as well as the total and above ground phytomass of tree, its bark and branches. The function explains more than 99 % of total variance of values for the dependent variables. $Y = a \cdot (d + 1)^b$ function is best suited to assess the phytomass of assimilation instrument (foliage and needles) and the roots of trees. Values of the parameters of the obtained regression equations are strictly specific for each tree species (the specificity is explained by the peculiarities of the biology of trees and their requirements for environment condition). The obtained allometric equations may be successfully used both to calculate the phytomass of trees and to reveal the peculiarities of their development, expressed in the change of the assimilates group between different fractions. It is important to note that it is almost impossible to accomplish the above mentioned process by experiments. Thus, for example using the data of stands development in the D₂ forest site type (close to the Kama area in the Republic of Tatarstan), it was determined that regression of trees increment with age was caused by steady growth of force on the annual recovery of their assimilation instrument and reduction of the assimilates group to form new absorbing roots. Besides, the load on the roots in water supply to the crowns was growing. Allometric dependences of phytomass of different fractions of trees on their height and diameter of stem may be also used to choose more perspective species.

REFERENCES

1. Usoltsev V. A. Russkiy les kak garant energeticheskoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii [Russian Forest as a Guarantee for Energetic and Ecological Security of Russia]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2014. № 4. Pp. 7-15.
2. Isaev A. S., Korovin G.I., Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., et al. Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii [Assessment of Stock and Annual Carbon Sequestration in Phytomass of Russian Forest Ecosystems]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1993. № 5. Pp. 3-10.
3. Utkin A. I. Biologicheskaya produktivnost lesov. Metody izucheniya i rezultaty [Biological Productivity of Forests. Study Methods and Results]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Lesovedenie i lesovodstvo* [Results of Science and Technique. Series: Forestry and Silviculture]. Moscow: VINITI, 1975. Vol. 1. Pp. 9-189.
4. Utkin A. I. Metodika issledovaniy pervichnoy biologicheskoy produktivnosti lesov [A Methods for Research of Primary Biological Productivity of Forests]. *Biologicheskaya produktivnost lesov Povolzhya* [Biological Productivity of the Volga Region Forests]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 59-71.
5. Demakov Yu. P., Nureeva T.V., Belousov A.A. Ekologo-resursnyy potentsial drevostoev iskusstvennogo proishozhdeniya sosny i eli v svezhikh suramenyakh Mariyskogo Zavolzhya [Ecological and Resource Potential of Planted Fir and Pine Stands in Fresh Suramens in Mari Forests]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle* [Vestnik of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences.]. 2014. Issue 1. Pp. 14-25.

6. Demakov Yu. P., Isaev A.V. Potentsialnaya proizvoditel'nost' drevostoev osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Potential Productivity of Stands of the Main Forest Forming Species in Russia]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2014. № 4. Pp. 41-50.
7. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Chernykh V.L. Ekologo-resursnyy potentsial drevostoev lesoobrazuyushchikh porod Srednego Povolzhya [Ecological and Resource Potential of Stands of Forest Forming Species in the Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2014. № 4 (24). Pp. 5-20.
8. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Simanova A.A. Zakonomernosti razvitiya drevostoev v suramenyakh Mariyskogo Zavolzhya [Peculiarities of Stands Development in the Suramens of Mari Forests]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2015. № 1. Pp. 43-57.
9. Utkin A. I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Allometricheskie uravneniya dlya fitomassy po dannym derevev sosny, eli, berezy i osiny v evropeyskoy chasti Rossii [Allometric Equations for Phytomass by the Data of Pine, Fir, Birch and Aspen Trees in the European Part of Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1996. № 6. Pp. 36-46.
10. Utkin A. I., Ermolova L.S., Zamolodchikov D.G. Konversionnyye koeffitsienty dlya opredeleniya ploshchadi listvoy poverkhnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii [Conversion Rate to Determine the Square of Leaf Surface of Plantations of the Main Forest Forming Species in Russia]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1997. № 3. Pp. 74-78.
11. Utkin A. I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Opredelenie zapasov ugleroda po taksatsionnyim pokazatelyam drevostoev: metod pouchastkovoy allometrii [Definition of Carbon Deposits by Taxation Characteristics of Stands: Method of Section Allometry]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 2. Pp. 38-53.
12. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I., Korovin G.N. Opredelenie zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-obemnym koeffitsientam [Definition of Carbon Deposits by Dependent on the Age of Stands Conversion and Volume Factors]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1998. № 3. Pp. 84-93.
13. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I. Sistema konversionnykh otnosheniy dlya rascheta chistoy pervichnoy produktsii lesnykh ekosistem po zapasam nasazhdeniy [A System of Conversion Relations to Calculate Net Primary Production of Forest Ecosystem by Stock Volume]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2000. № 6. Pp. 54-63.
14. Zamolodchikov D.G., Utkin A. I., Korovin G.N. Konversionnyye koeffitsienty fitomassa/zapas v svyazi s dendrometricheskimi pokazatelyami i sostavom drevostoev [Conversion Coefficients Phytomass/Stock Depending on Dendrometer Figures and Stands Composition]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2005. № 6. Pp. 73-81.
15. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: baza dannykh i geografiya* [Phytomass of Forests in Northern Eurasia: Database and Geography]. Ekaterinburg: RAS, 2001. 708 p.
16. Usoltsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii* [Phytomass of Forests in Northern Eurasia: Standards and Elements of Geography]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2002. 762 p.
17. Usoltsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [Biological Productivity of Northern Eurasia Forests: Methods, Database and Its Application]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. 636 p.
18. Glinskiy B. A., Gryaznov B.S., Dynin B.S., Nikitin E.P. *Modelirovanie kak metod nauchnogo issledovaniya: gnoseologicheskii analiz* [Simulation as a Method of Scientific Research: Gnoseological Analysis]. Moscow: MSU, 1965. 248 p.
19. Usoltsev V. A., Subbotin K.S., Gavrilin D.S., Noritsina Yu.V. Modelirovanie raspredeleniya assilyantov v fitomasse derevev: zakony ili zakonomernosti? [Simulation as Assimilates Distribution in the Phytomass of Trees: Rules and Regularities?]. *Eko-potentsial* [Ecological Potential]. 2015. № 1. Pp. 15-32.
20. Gould S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol. Rev.* 1966. Vol. 41. Pp. 587-640.
21. Shmidt V. M. Allometricheskii rost organov rasteniy [Allometric Growth of the Body of Plants]. *Primenenie matematicheskikh metodov v biologii* [Application of Mathematical Methods in Biology]. Leningrad: LSU, 1969. Issue 4. Pp. 109-116.
22. Dul'din A. A. Koeffitsient variatsii i allometriya [Coefficient of Variation and Allometry]. *Ekologiya* [Ecology]. 1973. № 6. Pp. 97-99.
23. Kofman G. B. Uravneniya rosta i ontogeneticheskaya allometriya [Growth Equation and Ontogenetic Allometry]. *Matematicheskaya biologiya razvitiya* [Mathematic Biology of Development]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 49-55.
24. Kofman G. B. *Rost i forma derevev* [Growth and Form of Trees]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 211 p.
25. Usoltsev V. A. *Modelirovanie struktury i dinamiki fitomassy drevostoev* [Simulation of Structure and Dynamics of Stands Phytomass]. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 1985. 191 p.
26. Usoltsev V. A. *Rost i struktura fitomassy drevostoev* [Growth and Structure of Phytomass of Stands]. Novosibirsk: Nauka, 1988. 253 p.
27. Niklas K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biological Reviews*. 2004. Vol. 1. 79. Pp. 871-889.

28. Poorter H., Niklas K.J., Reich P.B. et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 2012. Vol. 193. Pp. 30-50.
29. Karmanova I. V. *Matematicheskie metody izucheniya rosta i produktivnosti rasteniy* [Mathematical Study Methods of Growth and Productivity of Plants]. Moscow: Nauka, 1976. 223 p.
30. Kuzmichev V. V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Peculiarities of Stands Growth]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 160 p.
31. Bogachev A. V., Svalov N. S. *Metody taksatsii lesnogo i lesosechnogo fonda* [Methods of Taxation of Timber and Timber Cutting Fund]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Lesovedenie i lesovodstvo*. [Results of Science and Technics. Series: Forestry and Silviculture]. Moscow: VINITI, 1978. Vol. 2. Pp. 7-209.
32. Puzanova T. A., Kuzmichev V.V. *Vychislenie zapasov stvolovoy drevesiny v molodnyakakh sosny* [Calculation of Stemwood Stock in Young Pine Forest]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya biologicheskaya* [News of SO AN USSR. Biological series]. 1979. № 10. Issue 2. Pp. 27-31.
33. Pshenichnikova L. S. *Produktivnost sosnovykh molodnyakov raznoy gustoty* [Productivity of Young Pine Stands of Diverse Density]. *Faktory produktivnosti lesa* [Factors of Forest Productivity]. Novosibirsk: Nauka, 1989. Pp. 36-52.
34. Demakov Yu. P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty* [Diagnostics of Forest Ecosystems Sustainability: Methodological and Methodical Aspects]. Yoshkar-Ola: Periodika Mariy El, 2000. 415 p.
35. Bobkova K. S., Osipov A.F., Galenko E.P. *Pul ugleroda fitomassy drevostoev sosnyakov chernichno-sfagnovykh sredney taygi evropeyskogo severo-vostoka* [Carbon Pool of the Phytomass of Stands of Bilberry and Bog Moss Pine Forest in the Mid-Taiga of European North-East]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Species in the Boreal Forests]. 2013. Vol. XXX, № 1. Pp. 42-45.
36. Shanin V. N. *Modelirovanie gorizontalnogo rasprostraneniya korney derevev v razlichnykh usloviyakh mestoobitaniya* [Simulation of Horizontal Transfer of the Roots of Trees in Various Habitat Conditions]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2015. № 2. Pp. 130-139.

The article was received 16.04.15.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Puryaev A. S., Chernykh V. L., Chernykh L. V. Allometric dependences application to assess phytomass of various fractions of trees and simulation of their dynamics. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 2 (26). Pp. 19-36.

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology, Chief Researcher at the State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 280 publications, including 10 monographs and study guides.

PURYAEV Ainur Sultangalievich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Director, Branch of VNIILM «Eastern-European Forest Experimental Station». Research interests – forest cultivation, pedology. The author of 50 scientific and scientific and methodological works.

CHERNYKH Valeriy Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head at the Chair of Forestry, Forest Taxation and Forest Surveying, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest taxation, mathematic simulation, IT and GIS technologies in forestry. The author of 250 publications, including 5 monographs.

CHERNYKH Leonid Valeriyevich – Postgraduate student at the Chair of Forestry, Forest Taxation and Forest Surveying, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest taxation and forest restoration, GIS technologies in forestry. The author of 8 publications.