

УДК 630*532

В. А. Усольцев, А. Н. Грибенников
(Уральский государственный лесотехнический университет)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ РОДА *POPULUS* В СВЯЗИ С КОНТИНЕНТАЛЬНОСТЬЮ КЛИМАТА И ПРИРОДНОЙ ЗОНАЛЬНОСТЬЮ ЕВРАЗИИ

По материалам 175 пробных площадей по оценке фитомассы (ствол, кора, ветви, листья, корни и нижние ярусы растительности) насаждений Populus tremula, P. bachelieri, P. alba, P. laurifolia, P. pruinosa и P. davidiana, полученным на территории от Болгарии до Японии по 50 литературным источникам, рассчитана возрастная динамика их массообразующих показателей и фитомассы. Показана связь общей и надземной фитомассы спелых насаждений с индексом континентальности климата (по Хромову) в пределах выделенных трех условных широтно-зональных поясов.

Исследования биологической продуктивности рода *Populus* L. были начаты в 1950-х гг. российскими и японскими исследователями (Ремезов, Быкова, 1953; Ремезов и др., 1959; Satoo et al., 1956), в 1960-х гг. к этим работам подключились исследователи США и Канады (Bray, Dudkiewicz, 1963; Young et al., 1964; Bella, Jarvis, 1967). После энергетического кризиса 1973 г. на Западе благодаря способности рода *Populus* к быстрому росту его наиболее перспективные гибриды стали объектом повышенного внимания при создании “энергетических” плантаций с первоочередной оценкой продукции фитомассы (Ek, Dawson, 1976; Zavitkovski, 1983).

В отечественном лесоводстве к осине (*P. tremula*) сложилось отношение как к породе-сорняку, подлежащей замене более ценными породами путем “реконструкции”, что вполне оправданно по отношению к ее серококорой форме, которая в сухих условиях погибает от стволовой гнили, едва достигнув 40 лет. Возможно поэтому данные о биопродуктивности осино-вых лесов России по сравнению, например, с сосной (около 2100 определений фитомассы) по сей день немногочисленны, хотя в оптимальных условиях этот вид является одним из наиболее продуктивных среди древесных.

В нашей работе предпринята первая попытка установления географических закономерностей распределения фитомассы рода *Populus* в пределах Северной Евразии. В силу локальности ареалов некоторых видов (*P. bachelieri*, *P. laurifolia*, *P. pruinosa*, *P. davidiana*) и ограниченности данных о их биопродуктивности (а по многим видам такие данные вообще отсутствуют) осуществить подобное исследование для каждого вида в отдельности (за исключением *P. tremula*) невозможно и наш анализ выполнен для рода в целом с учетом региональной приуроченности его видов.

Проведенный авторами поиск опубликованных данных о запасах фитомассы рода *Populus* с полной характеристикой морфоструктуры полога позволил создать наиболее представленный на сегодня банк данных из 175 (включая собственные) определений ее фракционного состава, позаимствованных из 50 источников. Для сравнения при последних расчетах углеродного пула в осинниках России и бывшего СССР привлечены данные лишь 54 (Замолодчиков и др., 1998) либо 112 (Lakida et al., 1997; Shepashenko et al., 1998) определений, а в первых оценках фитомассы основных растительных формаций по всем видам растительности земного шара было использовано всего 150 пробных площадей (Родин, Базилевич, 1965). Более 80 % объема экспериментальных данных приходится на *P. tremula* в пределах большей части ареала вида (рис. 1 и табл. 1).

Для территории России разработано множество схем геоботанического, лесохозяйственного, лесотаксационного, лесоэкономического, лесосеменного, лесопирологического районирования. С целью выявления в пределах каждой лесорастительной зоны (подзоны) провинциальных закономерностей биопродуктивности лесов на зональную схему Н. И. Базилевич (Базилевич, Родин, 1967) нами наложены схемы лесорастительного районирования (Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978; Коротков, 1978). При этом провинции, выделенные С. Ф. Курнаевым (1973) на территории Восточной Европы, укрупнены в широтном направлении: в Скандинавско-Русскую провинцию включен также юг Русской равнины; в Восточную часть Русской равнины включена Западно-Казахстанская провинция, а в Западно-Сибирскую вошла Восточно-Казахстанская провинция.

Экспериментальные данные фитомассы после нанесения на схему зонально-провинциального деления распределились по соответствующим регионам (см. рис. 1). Все регионы закодированы блоковыми фиктивными переменными (Дрейпер, Смит, 1973) (см. табл. 1). Каждый блок переменных (X_0, \dots, X_{20}), представляющий группу пробных площадей, входящую на данный регион, повторяется в исходной матрице экспериментальных данных столько раз, сколько имеется пробных площадей в регионе (Усольцев, 1998). Всего их выделено 21. Более подробное деление

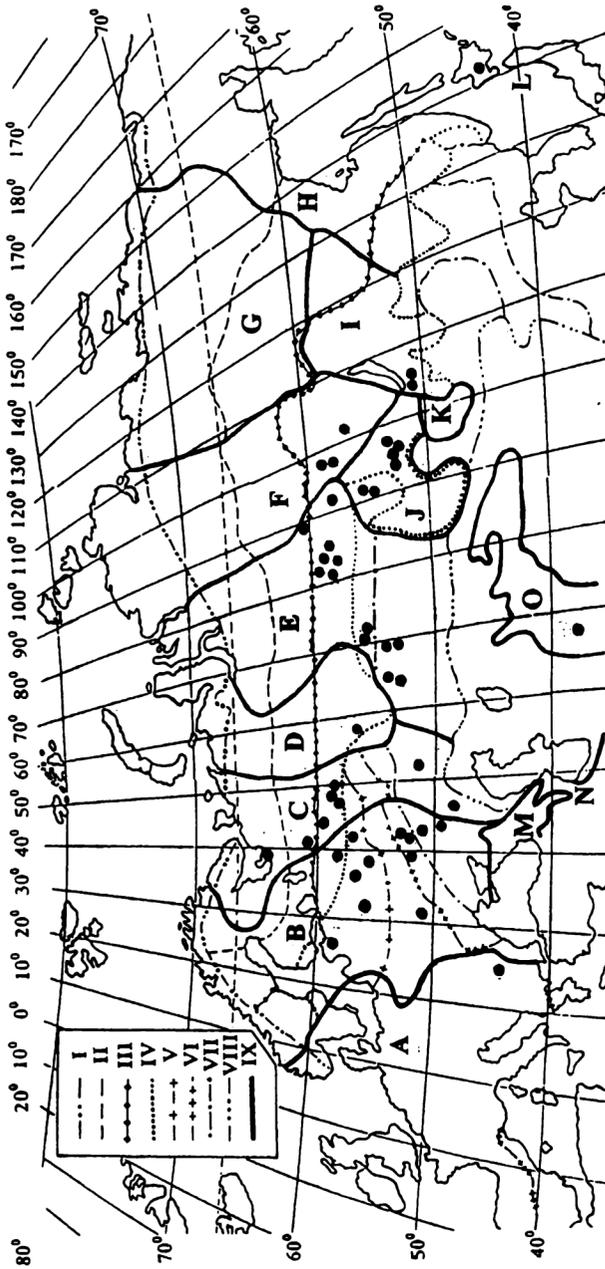


Рис. 1 География экспериментальных данных о фитомассе насаждений *Roridus*: I – южная граница тундры; II – южная граница подзоны северной тайги; III – южная граница подзоны средней тайги; IV – южная граница подзоны южной тайги; V – южная граница хвойно-широколиственных лесов; VI – южная граница широколиственных лесов; VII – южная граница лесостепи; VIII – южная граница степи (Бааилевич, Родин, 1967); IX – Границы лесохозяйственных провинций. Выделены провинции (Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978; Коротков, 1978): А – Средне-Европейская; В – Скандинавско-Русская (включая юг Русской равнины); С – Восток Русской равнины (включая Западно-Казахстанскую провинцию на юге); D – Уральская; E – Западно-Сибирская (включая Восточно-Казахстанскую провинцию на юге); F – Средне-Сибирская; G – Восточно-Сибирская; H – Дальний Восток; I – Забайкальская; J – Алтае-Саянская горная; K – Центрально-Хангайская; L – Японские острова (граница южной тайги и широколиственных лесов); M – Причерноморская; O – Памиро-Тяньшанская;

территории пока не имеет смысла из-за относительно слабой наполненности регионов данными о фитомассе. За исходный (нулевой) принят наивысший уровень продуктивности, соответствующий *P. bachelieri* подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции. Этот уровень закодирован нулями для всех регионов (см. табл. 1). Каждый из остальных 20 регионов имеет в блоке одну соответствующую ему единицу.

Поскольку показатели фитомассы в пределах региона сильно варьируют в связи с различиями насаждений по возрасту, добротности условий произрастания и морфологии полога, сопоставлены по регионам не обезличенные совокупности наблюдений, а многофакторные оценочные уравнения фитомассы, объясняющие ее изменчивость в пределах региона посредством следующих включенных в них переменных: возраст древостоя (A , лет), средняя высота (H , м) и диаметр (D , см) ствола, число стволов на 1 га (N , тыс. экз/га) и запас стволовой древесины (M , м³/га):

$$\ln(P_i/M) \text{ или } \ln P_i = f(X_0, \dots, X_{20}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M), \quad (1)$$

где P_i - фитомасса в абсолютно сухом состоянии стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижних ярусов (напочвенный покров, подлесок, подрост) растительности (соответственно P_S , P_{SF} , P_B , P_F , P_R и P_U), т/га. Характеристика (1) дана в табл. 2. Детальное фракционирование фитомассы дает более полную картину продукционного процесса в целом, чем обезличенные общие ее показатели, и позволяет произвести корректный расчет углеродного баланса, поскольку разные фракции фитомассы участвуют в круговороте веществ с разной интенсивностью.

При расчете уравнений (1), включающих в себя наряду с массообразующими показателями блоковые переменные, устанавливается степень «дистанцирования», или отличия расчетных показателей фитомассы каждого региона от базового уровня. Выводится и количественный критерий названного отличия, характеризуемый константой при блоковой переменной для того или иного региона. Для согласования между собой различных фракций фитомассы применена рекурсивная цепочка взаимозависимых уравнений, в которой зависимая переменная предыдущего выступает в качестве независимой переменной последующего уравнения.

В табл. 2 и 3 из констант при показателях A , D , H , N , M , P_S и P_F/M приведены лишь значимые на уровне не ниже $t_{0.5}$. И напротив, при блоковых переменных показаны все константы независимо от уровня их значимости, поскольку цель расчета последних состоит не столько в выявлении достоверности отличия данного региона от исходного, сколько – в упорядочении и ранжировании всех регионов по исследуемому показателю.

Таблица 1

Схема кодирования региональных массивов данных о фитомассе рода *Rorulus* блоковыми переменными

Регион	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀
СЕ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРюж	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРхш	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРлс	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРст	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРсев	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРср	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРюж	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРст	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
УРюж	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСср	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСюж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСлс	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСст	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ССюж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ЗБюж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
АСюж(t)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
АСюж(l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
АСлс	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
ЯП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ПТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Обозначения регионов: СЕ – Средне-Европейская провинция, широколиственные леса (*Forculus bachelieri*); СРюж – Скандинавско-Русская провинция, южная тайга, СРхш – то же, хвойно-широколиственные леса, СРлс – то же, лесостепь; СРст – то же, степь; ВРсев – Восток Русской равнины, северная тайга, ВРсп – то же, средняя тайга; ВРюж – то же, южная тайга; ВРст – то же, степь (Р. alba); УРюж – Уральская провинция, южная тайга; ЗСсп – Западно-Сибирская провинция, средняя тайга; ЗСюж – то же, южная тайга; ЗСлс – то же, лесостепь; ЗСст – то же, степь; ССюж – Средне-Сибирская провинция, южная тайга; ЗБюж – Забайкальская горная провинция, южная тайга; АСюж (t) – Алтае-Саянская горная провинция, южная тайга, (Р. tremula); АСюж (l) – то же, (Р. laurifolia); АСлс – то же, лесостепь; ЯП- Японские острова, граница южной тайги и широколиственных лесов (Р. davidiana); ПП – Памяро-Тяньшаньская провинция (Р. grpinosa). Провинции, в которых не указана видовая принадлежность, относятся к Р. tremula.

Таблица 2

Характеристика уравнений (1)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (1)									
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	
$\ln P_s$, т/га	-1,2827	-0,0544	-0,1472	-0,0409	0,0276	-0,0337	-0,1688	0,0819	0,0773	
$\ln P_{sp}$, т/га	-1,5391	0,0506	0,0053	0,1014	0,0938	-0,1351	0,0938	0,0938	0,6953	
$\ln(P_f/M)$, т/м ³	-0,2750	-0,8713	-0,8833	-0,8278	-0,6736	-1,2880	-0,3166	-0,8985	-1,4527	
$\ln(P_v/M)$, т/м ³	-0,1605	-0,0239	-0,2033	-0,0386	0,1833	-0,0467	-0,6089	-0,1040	0,4802	
$\ln(P_r/M)$, т/м ³	-0,4673	0,0471	0,7101	0,3054	0,4322	0,4742	0,5314	0,6611	0,4322	
$\ln(P_j/M)$, т/м ³	1,8816	-2,3969	-4,0702	-4,9280	-4,7958	-5,0143	-5,0143	-5,0143	-4,7958	

Продолжение табл. 2

Константы и независимые переменные уравнений (I)												
$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$			
-0,1780	-0,2590	0,1052	-0,0509	0,0005	-0,1091	0,0129	-0,1306	-0,2270	-0,1217			
0,0938	0,0938	0,0938	0,0722	-0,0236	0,0938	-0,5418	-0,1696	0,3903	0,0938			
-0,1695	-0,2830	-0,7605	-0,6919	-0,7687	-0,6166	-0,8807	-0,4869	-0,7265	-0,9549			
-0,2729	0,2999	0,0033	0,2357	0,3837	-0,6307	-0,3334	-0,3316	-0,5387	0,3513			
0,6611	0,5314	0,6995	0,1628	0,4322	0,6995	0,6675	0,1296	0,3926	0,0202			
-6,5134	-3,2678	-3,4811	-4,9280	-4,7958	-7,5353	-5,3815	-3,5043	-3,5043	-4,9280			

Окончание табл. 2

Константы и независимые переменные уравнений (I)										R ²	SE*
$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21}(\ln A)$	$a_{22}(\ln D)$	$a_{23}(\ln H)$	$a_{24}(\ln N)$	$a_{25}(\ln M)$	$a_{26}(\ln P_s)$	$a_{27}(\ln P_f/M)$			
-0,1029	-0,0537	0,2345	-	-	0,0754	0,9270	-	-	0,985	0,145	
0,0938	0,0938	-	-	-	0,0590	-	0,9115	-	0,983	0,128	
-1,1695	-0,7874	-	-0,3215	-0,8576	-	-	-	-	0,933	0,223	
0,9060	-0,2685	0,3231	-	-	-0,1841	-	-	0,8733	0,834	0,255	
0,1296	0,1296	-0,4425	0,6585	-0,8194	-	-	-	-	0,924	0,101	
-3,5043	-3,5043	1,7367	-	-3,3528	-	-	-	-	0,763	0,879	

*SE - стандартная ошибка уравнения

В этом случае статистическая значимость названных переменных, как и свободного члена уравнения, не играет роли, а отсев малозначимых блоковых переменных означал бы игнорирование принципа непрерывности при моделировании экологических явлений (Нильсон, 1978).

Приведенные в табл. 2 переменные объясняют 76-98 % изменчивости переводных коэффициентов фитомассы. Полученная система регрессионных уравнений работает по принципу «Что будет, если...?» и для получения расчетных значений фитомассы для того или иного региона необходимо задать набор характерных для него массоопределяющих показателей.

Средний возраст насаждений пробных площадей в разных регионах варьирует от 20 до 95 лет. Чтобы при сопоставлении их биопродуктивности исключить влияние возраста, необходимо выявить возрастные тренды массообразующих показателей. Известно, что продуктивность древесного ценоза определяется по соотношению его возраста и высоты. Поэтому в качестве базовой нами принята зависимость $\text{высота} \sim \text{возраст}$. Используемый рекурсивный принцип регрессионного моделирования с включением блоковых переменных обеспечивает согласованный ход возрастных кривых и последовательное накопление региональных различий в возрастной динамике массообразующих показателей и запасов ствольной древесины по цепочке взаимозависимых уравнений:

$$\begin{aligned} \ln H = f(X_{0^*}, \dots, X_{20^*}, \ln A) \longrightarrow \ln D = f(X_{0^*}, \dots, X_{20^*}, \ln A, \ln H) \longrightarrow \\ \longrightarrow \ln N = f(X_{0^*}, \dots, X_{20^*}, \ln A, \ln H, \ln D) \longrightarrow \ln M = f(X_{0^*}, \dots, X_{20^*}, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (2) \end{aligned}$$

Независимые переменные уравнений (2) объясняют 91-96 % изменчивости массообразующих показателей и запаса стволов (табл. 3). Если с помощью системы уравнений (1) оценивается достоверность региональных различий в структуре фитомассы при условии равенства массообразующих показателей, то система (2) обуславливает достоверность региональных различий самих массообразующих показателей, накапливая вклад каждого из них в конечный результат – запас стволов. Таким образом, региональные различия запасов фитомассы раскладываются на две составляющие, которым соответствуют две рекурсивные системы уравнений. Последние взаимосвязаны между собой также рекурсивно в последовательности (2) \longrightarrow (1), образуя второй уровень рекурсии.

Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (2) и (1) по задаваемым значениям возраста получены возрастные тренды всех массообразующих показателей и запасов фитомассы по фракциям (стволы, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы) для каждого региона.

Таблица 3

Характеристика уравнений (2)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2)																			
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	
$\ln(H)$, м	0,0016	-0,8274	-0,9393	-0,9607	-0,7076	-1,1084	-1,1436	-1,0471	-1,0273											
$\ln(D)$, см	0,0154	-0,6960	-0,6960	-0,8288	-0,3782	-0,9156	-0,7225	-0,6263	-0,3415											
$\ln(N)$, тыс.шт/га	3,4322	0,7540	0,6444	0,7826	0,8317	0,4808	1,1568	0,7089	0,4116											
$\ln(M)$, м ³ /га	-1,3124	0,0845	-0,0475	0,1052	0,0944	0,2600	0,2946	0,1952	0,5027											

Продолжение табл. 3

Константы и независимые переменные уравнений (2)																			
$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} \ln A$	$a_{22} \ln D$	$a_{23} \ln H$	$a_{24} \ln N$	$a_{25} \ln M$	R ²	SE	
-1,3840	-0,9901	-0,8754	-0,8737	-1,1126	-1,3749	-1,3210	-1,1301	-1,1833	-1,1583								0,912	0,186	
-0,3725	-0,8364	-0,6092	-0,5543	-0,4093	-0,7974	-0,9700	-0,5204	-0,5482	-0,6565								0,960	0,173	
1,2974	0,9946	0,7200	0,7265	0,6206	0,6377	0,7833	1,2094	0,5270	0,6882								0,956	0,286	
0,1463	-0,6017	0,0907	-0,0111	0,0984	0,3473	-0,0025	0,2167	0,0877	0,1380								0,961	0,232	

Окончание табл. 3

Константы и независимые переменные уравнений (2)																			
$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} \ln A$	$a_{22} \ln D$	$a_{23} \ln H$	$a_{24} \ln N$	$a_{25} \ln M$	R ²	SE	
-0,8141	-1,6877	1,3832	-0,0927	-	-	0,8114	-	-	0,186								0,912	0,186	
-0,4602	0,5420	-	0,0738	-	0,8114	-	-	-	0,173								0,960	0,173	
0,5968	0,9210	-	-	-1,7278	0,3574	-	-	-	0,286								0,956	0,286	
0,2843	0,4724	-	-	1,0396	1,2458	0,5767	-	-	0,232								0,961	0,232	

Таблица 4
Возрастная динамика массобразующих показателей и фитомассы *P. tremula* южно-таежной подзоны для трех провинций Евразии

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Густота, тыс. экз/га	Запас стволов, м ³ /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Всего
					Ствол в коре	Кора ствола	Листва	Ветви	Корни	Нижние ярусы	
СКАНДИНАВСКО-РУССКАЯ ПРОВИНЦИЯ											
5	3,2	1,6	44,249	18	7,5	1,8	1,82	1,69	3,06	3,58	17,7
15	9,4	5,4	7,951	91	38,0	7,0	2,46	5,29	8,74	3,28	57,8
25	14,4	9,5	3,489	173	73,1	12,1	2,71	8,58	13,57	3,63	101,6
35	18,5	13,7	2,027	253	107,9	16,8	2,84	11,55	17,72	4,11	144,1
45	22,1	18,2	1,322	332	142,4	21,1	2,92	14,37	21,65	4,59	185,9
55	25,2	22,7	0,946	406	175,2	25,0	2,97	16,98	25,14	5,11	225,4
65	28,0	27,4	0,710	477	207,1	28,6	3,0	19,45	28,49	5,64	263,7
75	30,5	32,1	0,557	544	237,4	31,9	3,02	21,79	31,55	6,19	300,0
85	32,7	36,8	0,451	605	265,8	34,9	3,03	23,98	34,33	6,78	333,9
95	34,8	41,7	0,371	665	293,5	37,8	3,04	26,15	37,08	7,34	367,1
УРАЛЬСКАЯ ПРОВИНЦИЯ											
5	1,8	1,4	78,126	11	4,5	1,2	3,96	2,21	5,23	0,25	16,2
15	5,4	4,7	14,274	59	23,4	4,9	5,41	6,98	15,01	0,22	51,0
25	8,2	8,3	6,204	111	44,5	8,3	5,92	11,25	23,26	0,25	85,2
35	10,6	12,1	3,545	163	66,2	11,6	6,21	15,22	30,72	0,28	118,6

Окончание табл. 4

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Густота, тыс. экз/га	Запас стволов, м ³ /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						
					Ствол в коре	Кора ствола	Листва	Ветви	Корни	Нижние ярусы	Всего
45	12,7	16,0	2,334	215	87,8	14,6	6,40	18,95	37,48	0,31	150,9
55	14,5	20,0	1,664	263	108,2	17,4	6,50	22,38	43,62	0,34	181,0
65	16,1	24,1	1,252	309	127,7	19,9	6,57	25,64	49,33	0,38	209,6
75	17,5	28,2	0,983	351	146,0	22,1	6,61	28,69	54,5	0,42	236,2
85	18,8	32,5	0,789	392	163,8	24,2	6,63	31,63	59,59	0,46	262,1
95	20,0	36,7	0,654	431	181,0	26,3	6,65	34,44	64,26	0,50	286,9
СРЕДНЕ-СИБИРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ											
5	1,8	0,9	86,662	9	4	1,1	2,38	0,95	3,32	0,07	10,7
15	5,4	3,1	15,147	48	21	4,4	3,25	3,02	9,74	0,07	37,1
25	8,3	5,5	6,559	93	40,6	7,7	3,57	4,89	15,25	0,07	64,4
35	10,7	8,0	3,759	136	60,1	10,7	3,74	6,61	20,06	0,08	90,6
45	12,8	10,5	2,505	178	79,5	13,4	3,86	8,22	24,33	0,09	116,0
55	14,6	13,2	1,768	218	97,9	15,9	3,92	9,72	28,42	0,10	140,1
65	16,2	15,9	1,331	256	115,4	18,2	3,96	11,12	32,12	0,11	162,7
75	17,6	18,6	1,045	290	131,8	20,2	3,98	12,43	35,45	0,12	183,8
85	19,0	21,4	0,843	327	148,9	22,3	4,00	13,73	38,86	0,13	205,6
95	20,2	24,2	0,697	359	164,5	24,2	4,01	14,95	41,92	0,14	225,5

В табл. 4 они приведены выборочно для Скандинавско-Русской, Уральской и Средне-Сибирской провинций подзоны южной тайги. Темпы накопления запасов фитомассы в насаждениях *P. tremula* сохраняются на всем исследованном возрастном интервале, несколько снижаясь с возрастом. Среднепериодический годичный прирост общей фитомассы в I, V и IX классах возраста в южнотаежной подзоне составляет соответственно по провинциям: Скандинавско-Русской – 4,0; 3,9 и 3,3 т/га/год, Уральской – 3,5; 3,0 и 2,5 т/га/год и Средне-Сибирской – 2,6; 2,4 и 2,0 т/га/год (табл. 4).

Из упомянутых возрастных трендов всех регионов взяты показатели общей (надземной и подземной) и надземной фитомассы для VI класса возраста и проанализированы в связи с природной зональностью и континентальностью климата (широтный и меридиональный градиенты). Выполнен анализ зависимости надземной (P_{abo} , т/га) и общей (P_{tot} , т/га) фитомассы насаждений *Populus* от индекса континентальности (IC), значения которого сняты со схемы изолиний континентальности (Мордкович и др., 1997), составленной по формуле С. П. Хромова (1957) (рис. 2). Анализ показывает снижение показателей фитомассы по мере возрастания континентальности климата, однако разброс их при одном и том же индексе континентальности довольно значительный (рис. 3). Поскольку для выявления широтных закономерностей биопродуктивности по принятому зональному делению имеющихся экспериментальных данных недостаточно, мы разбили массив данных на три условных широтно-зональных пояса. В северный ($Z_1=0$; $Z_2=0$) вошли пробные площади *P. tremula* северо- и среднетаежных подзон, а южный ($Z_1=0$; $Z_2=1$) составили главным образом немногочисленные виды *P. bachelieri*, *P. alba*, и *P. davidiana*, окаймляющие ареал *P. tremula* с юга. Исключение составили *P. laurifolia* и *P. gruinosa*, произрастающие в сухих условиях Тувы и предгорий Памира (275 мм осадков, 95 % которых выпадают зимой) и отнесенные в средний пояс ($Z_1=1$; $Z_2=0$) вместе с основным массивом данных *P. tremula*.

В результате двухфакторного регрессионного анализа получены уравнения

$$\ln P_{abo} = 7,8261 - 0,7822 (\ln IC) + 0,3861 Z_1 + 0,7126 Z_2; \quad R^2 = 0,730; \quad (3)$$

$$\ln P_t = 7,9228 - 0,7650 (\ln IC) + 0,4041 Z_1 + 0,7180 Z_2; \quad R^2 = 0,733; \quad (4)$$

графическая интерпретация которых показана на рис. 3. Константы (3) и (4) значимы на уровне выше $t_{0,05}$. Уравнения действительны при IC от 35 до 100.

Результаты табулирования уравнений (3) и (4) показывают (рис. 3), что запасы общей и надземной фитомассы независимо от индекса континентальности в южном поясе вдвое выше, чем в северном. Отношение подземной фитомассы к надземной по поясам не изменяется, а с увеличением индекса континентальности с 30 до 90 незначительно возрастает (с 17 до 20 %).

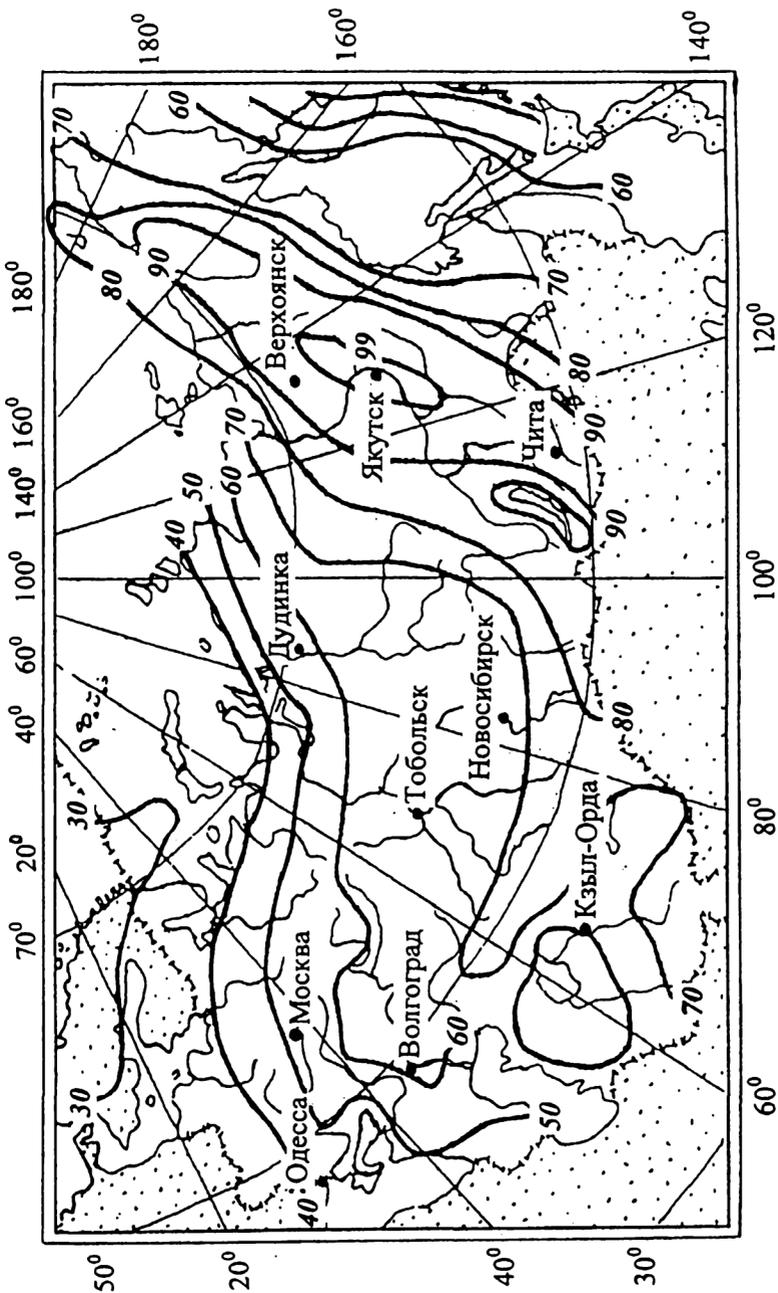


Рис. 2 Схема изолиний континентальности климата в Евразии (Мордкович и др., 1997)

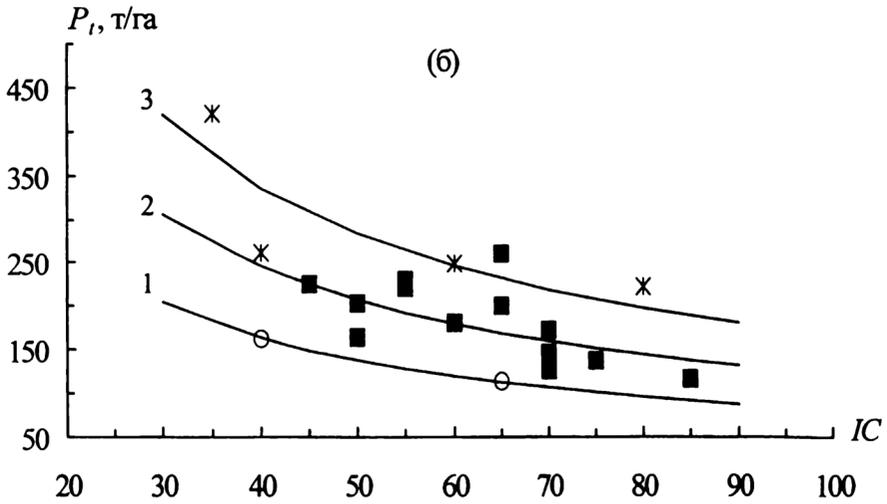
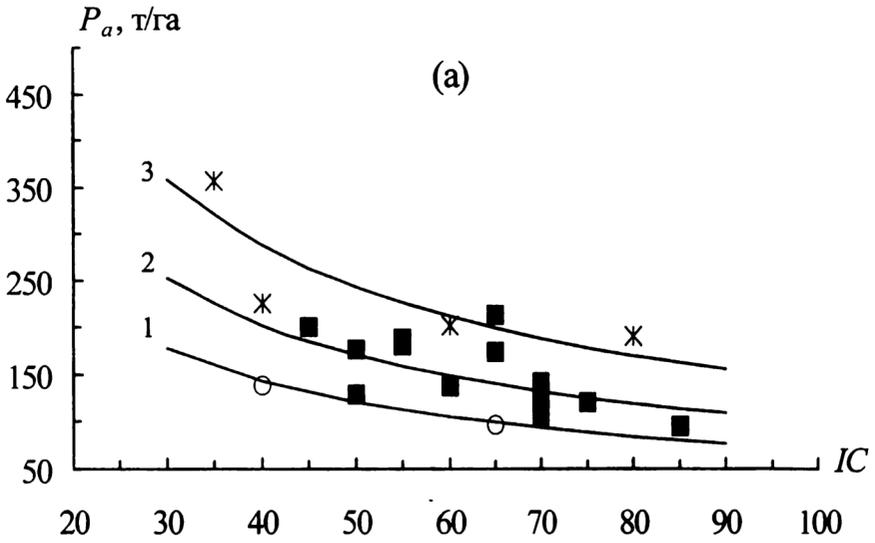


Рис. 3. Зависимость надземной P_a (а) и общей P_t (б) фитомассы от индекса континентальности климата IC для северного (1), среднего (2) и южного (3) широтно-зональных поясов

ЛИТЕРАТУРА

Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. ВГО. 1967. Т. 99. № 3. С. 190-194.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

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.

Коротков И. А. Закономерности распределения лесов в Монгольской народной республике (география и типология). М.: Наука, 1978. Т. 11. С. 36-46.

Курнаев С. Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.

Мордкович В. Г., и др. Судьба степей. Новосибирск: «Мангазее», 1997. 208 с.

Нильсон А. М. Дискретные и непрерывные модели экологических явлений // Проблемы современной экологии. Тарту, 1978. С. 54-55.

Ремезов Н. П., Быкова Л. Н. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в осинниках // Почвоведение. 1953. № 8. С. 28-41.

Ремезов Н. П., Быкова Л. Н., Смирнова К. М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. 284 с.

Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.

Смагин В. Н., и др. Лесохозяйственное районирование Сибири // Лесные растительные ресурсы Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 5-23.

Усольцев В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. 541 с.

Хромов С. П. К вопросу о континентальности климата // Изв. ВГО. 1957. Т. 89. № 3. С. 221-225.

Bella I. E., Jarvis J. M. High total productivity of a young aspen stand in Manitoba // Woodlands. 1967. Vol. 68. P. 2-3.

Bray J. R., Dudkiewicz L. A. The composition, biomass and productivity of two Populus forests // Bull. Torrey Bot. Club. 1963. Vol. 90. P. 298-308.

Ek A. R., Dawson D. H. Actual and projected growth and yield of Populus "Tristis#1" under intensive culture // Can. J. For. Res. 1976. Vol. 6. P. 132-144.

Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. Forest phytomass and carbon in European Russia // Biomass and Bioenergy. 1997. V. 12. N 2. P. 91-99.

Satoo T., Kunugi R., Kumekawa A. Materials for the studies of growth in forest stands. III. Amount of leaves and production of wood in an aspen (*Populus davidiana*) second growth in Hokkaido // Bull. Tokyo Univ. For. 1956. Vol. 52. P. 33-51.

Shepashenko D., Shvidenko A., Nilsson S. Phytomass (live biomass) and carbon of Siberian forests // Biomass and Bioenergy. 1998. Vol. 14. No. 1. P. 21-31.

Young H. E., Strand L., Altenberger R. A. Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine // Maine Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. No. 12. 1964.

Zavitkovski J. Projected and actual biomass production of 2- to 10-year-old intensively cultured *Populus* "Tristis#1" // Intensive plantation culture: 12 years research. USDA, Forest Service. General Tech. Report NC-91.1983. P. 72-76.

УДК 630.62 + 630.23

Л.А. Лысов

(Уральский государственный лесотехнический университет)

ОБ УПРАВЛЕНИИ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ МЕТОДАМИ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

Приведены методы управления продукционным процессом. Детально рассмотрены лесоустроительные методы. Для расчетов предлагается использовать лесной массив и группы типов леса. Рекомендуются вести сбалансированное рациональное лесопользование на основе лесоустройства.

Лесное хозяйство является управляемым механизмом фиксации и накопления космической энергии в нужной для человека форме биопroduкции - древесине. Управлять продукционным процессом возможно методами физиологии, лесоводства, экономики, лесоустройства и др. Физио-