

УДК 630\*532

В.А. Усольцев, С.В. Максимов, О.А. Петелина,  
Н.С. Ненашев, О.А. Крапивина, Е.В. Белоусов,  
В.В. Терентьев, А.В. Щукин, С.В. Залесов  
(Уральский государственный лесотехнический университет)

## **СПОСОБ ПРИВЕДЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ФИТОМАССЕ К СОПОСТАВИМОМУ ПО ЭКОРЕГИОНАМ ВИДУ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕЕ ГЕОГРАФИИ НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТУР СОСНЫ**

Оценка фитомассы лесов в связи с их исключительной биосферной ролью становится все более актуальной. Оценкой занимались и продолжают заниматься специалисты разных научных областей – лесоведы и лесоводы, лесные таксаторы, экологи, ботаники, почвоведы, физиологи, лесные климатологи, пирологи и даже лесные энтомологи. Результаты оценочных работ рассредоточены в многочисленных разнопрофильных монографиях, журналах, малодоступных тематических сборниках и т.п. источниках, что затрудняет их использование в обобщающих экологических исследованиях. Поэтому необходимо создание международной базы экологических данных, в том числе о фитомассе лесов. Подобная база дает количественную основу для моделирования региональных и глобальных экологических ситуаций и для географического анализа фитомассы лесов и депонируемого ею углерода. Опубликованные сводки о фитомассе лесов далеко не полны и нуждаются в актуализации и пополнении экспериментальными данными текущих исследований.

В период развернутых исследований лесов по МБП часто имело место локальное сопоставление их биопродуктивности по двум, реже трем регионам на основе единичных пробных площадей (Поздняков, 1967; Протопопов, Грибов, 1971). Первые сопоставления биопродуктивности на глобальном уровне также осуществлялись по данным небольшого числа пробных площадей, которые усреднялись для того или иного типа леса по растительным формациям и экстраполировались на последние без учета возраста и морфоструктуры древостоев (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич, 1993). Поэтому закономерно свидетельство Н. И. Базилевич (1993) о трудностях, испытанных ею при генерализации географических закономерностей распределения фитомассы лесов на территории Северной Евразии.

Закладывая пробные площади, исследователи выбирают достаточно репрезентативные типы леса и местоположения, так называемые ключевые участки (Сныткин, 1971; Поздняков, 1975; Москалюк, 1980; Митрофанов, 1984). В Болгарии достаточно репрезентативные ключевые участки леса,

предназначенные для закладки пробных площадей с целью исследования их биопродуктивности, называют представительными насаждениями (Маринов и др., 1983; Нинов, 1986). Усредненные по регионам показатели биопродуктивности в таком случае являются характеристиками некоторых наиболее представленных групп типов леса. Подобные группировки пробных площадей близки по смыслу нашим модальным древостоям при инвентаризации лесопокрытых площадей.

В программных материалах МБП наряду с подбором ключевых участков рекомендовалась закладка их серий, представляющих естественные ряды возрастного развития (Программа..., 1974). Поскольку это вызывает резкое возрастание объема работ, рекомендовался подбор по меньшей мере сформировавшихся лесных фитоценозов, находящихся в возрасте их количественной спелости по фитомассе (Программа-минимум..., 1967). Если в накопленных к настоящему времени данных о фитомассе лесных насаждений репрезентативность их местообитаний на пробных площадях в большей или меньшей степени разными авторами соблюдалась, то по возрасту и комплексу морфометрических характеристик большинство древостоев пробных площадей не сопоставимы.

В нашей работе предлагаются методы приведения к сопоставимому виду фактических данных о фитомассе лесных насаждений на пробных площадях, заложенных исследователями разных научных дисциплин в пределах Северной Евразии, и последующего выявления географических закономерностей распределения фитомассы на примере культур сосны. На первом этапе исследования мы попытались сделать общедоступными фактические данные о фитомассе, имеющиеся в литературных источниках, и сформировать соответствующую базу данных для культур сосны в Северной Евразии.

Сформированная база данных включает 880 определений фракционного состава фитомассы, взятых из 100 литературных источников, в том числе: 800 – для *P. sylvestris* L. (провинции Средне-Европейская, Скандинавско-Русская, Восток Русской равнины, Уральская, Западно-Сибирская, Дальневосточная); 30 – для *P. nigra* Arn. (Средне-Европейская и Причерноморская провинции); 10 – для *P. pithyusa* Stev. (Причерноморская провинция); 4 – для *P. pinaster* (Sol.) Ait. (Причерноморская провинция); 5 – для *P. densiflora* S. et Z. (Япония); 10 – для *P. thunbergii* Parl. (Япония); 9 – *P. taeda* L. (Япония); 7 – для *P. elliotii* Engelm. (Япония) и единичные определения для *P. halepensis* Mill. (Кавказско-Малоазиатская провинция, Ирак) и *P. strobus* L. (Япония). Подавляющая часть экспериментальных данных (90 %) приходится на долю *P. sylvestris*. Экспериментальные данные после нанесения на схему зонально-провинциального деления (Базилевич, Родин, 1967; Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978) распределены по 25 регионам (рис. 1), из которых в подзоне широколиственных лесов Средне-

Европейской провинции выделены и закодированы отдельно два вида сосен: *Pinus nigra*, *P.* и *sylvestris*, в Причерноморской провинции – три вида: *P. pallasiana*, *P. pithyusa*, *P. pinaster*, в подзоне хвойно-широколиственных лесов Японии – три вида *P. thunbergii*, *P. strobes* и *P. densiflora* и в субтропиках там же два вида – *P. taeda* и *P. elliottii*.

Принципы выделения регионов приведены в предыдущей работе (Усольцев, 2001). В ней анализ географии фитомассы выполнен для сосняков в целом, без разделения их на естественные и искусственные. В настоящей работе анализируется фитомасса только лесных культур.

Большая часть представленного материала относится к территории бывшего СССР. Несмотря на некоторые методические сомнения и несоответствия, связанные с тем, что фитомасса определялась специалистами разных научных областей соответственно с разными, специфичными для каждой из них целями получен достаточно большой объем фактической информации о фитомассе лесов, позволяющий применить математические методы анализа и получить статистически достоверные результаты по географии фитомассы лесов Северной Евразии. В основу предлагаемой процедуры приведения фактических данных о фитомассе к сопоставимому виду положен метод блоковых фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973), включаемых в многофакторное оценочное уравнение фитомассы.

Для обеспечения сопоставимости местоположений по их биопродуктивности необходимо исключить влияние возраста и различий древостоев по их морфоструктуре. Поскольку совокупность показателей биопродуктивности в пределах региона сильно варьирует в связи с различиями возраста, морфологии древостоев и условий произрастания, для обеспечения корректности сопоставлений анализируются не обезличенные совокупности наблюдений, а многофакторные уравнения (1), объясняющие изменчивость фитомассы  $P_i$  или ее переводных коэффициентов  $P_i/M$  в пределах региона посредством включенных в них переменных, а именно:

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

где  $P_i$  – фитомасса  $i$ -й фракции ( $P_S$ ,  $P_{SB}$ ,  $P_F$ ,  $P_B$ ,  $P_R$  и  $P_C$  – соответственно стволов с корой, коры стволов, хвои, ветвей, корней и нижних ярусов растительности) в абсолютно сухом состоянии, т/га;  $D$  и  $H$  – соответственно средние диаметр, см, и высота древостоя, м;  $N$  – число стволов на 1 га, тыс. экз/га;  $M$  – запас, м<sup>3</sup>/га.

Для лучшего согласования между собой фракций фитомассы лесного ценоза применена рекурсивная «цепочка» некоторых уравнений вида (1), в которой зависимая переменная предыдущего выступает в качестве независимой переменной последующего уравнения (Усольцев, 1998). В нашем примере в качестве таких совместно зависимых переменных использованы  $P_F/M$  и  $P_S$ .

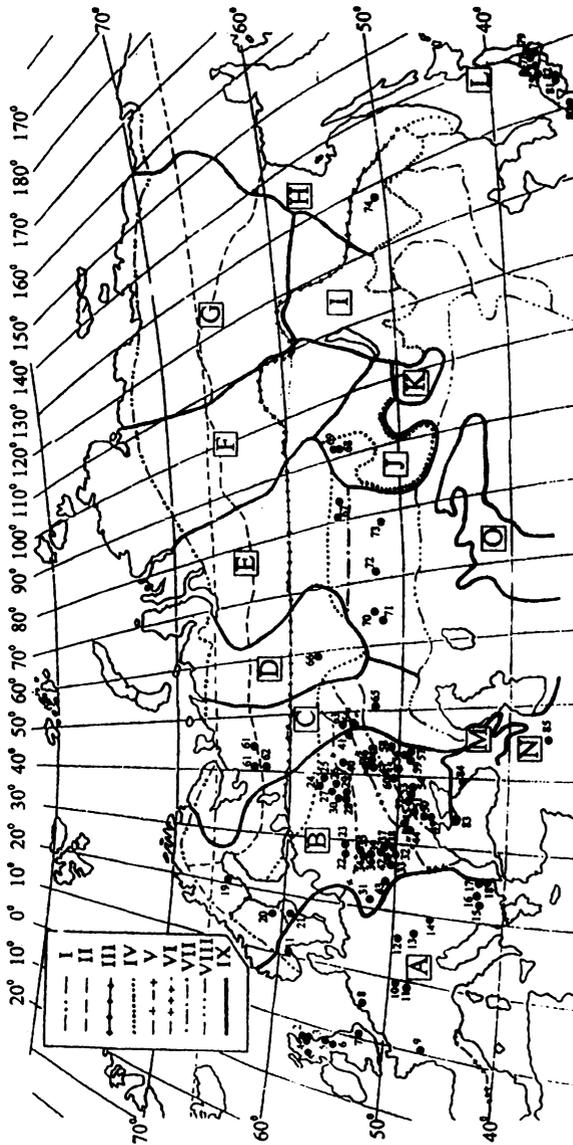


Рис. 1. География экспериментальных данных о фитомассе культур сосны: I – южная граница тундры; II – южная граница подзоны северной тайги; III – южная граница подзоны средней тайги; IV – южная граница подзоны южной тайги; V – южная граница хвойно-широколиственных лесов; VI – юго-восточная граница широколиственных лесов; VII – южная граница лесостепи; VIII – южная граница степи (Базилевич, Родин, 1967); IX – Границы лесохозяйственных провинций. Выделены провинции (Куртаев, 1973; Смагин и др., 1978; Коротков, 1978): А – Средневропейская; 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 горная; J – Алтай-Саянская горная; K – Центрально-Хангайская; L – Японские острова; M – Причерноморская; N – Кавказско-малоазиатская; O – Памиро-Тяньшанская. Каждая точка на схеме соответствует одной или нескольким территориально-сближенным пробным площадям, а ее номер – позиции в базе данных.

Все 25 регионов закодированы блоковыми фиктивными переменными  $X_0, \dots, X_{24}$  (Дрейпер, Смит, 1973), которые включены в уравнения (1) с целью установления степени отличия показателей фитомассы каждого региона от базового, соответствующего культурам сосны в подзоне хвойно-широколиственных лесов юга Швеции. Эти отличия количественно характеризуются константами при блоковых фиктивных переменных соответствующих регионов в многофакторных уравнениях

$$\ln(P_i/M) \text{ или } \ln P_i = f(X_0, \dots, X_{24}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M). \quad (2)$$

Схема кодировки регионов и некоторых видов сосен в пределах последних блоковыми фиктивными переменными ( $X_0, \dots, X_{24}$ ) дана в табл. 1, а характеристика уравнений (2) – в табл. 2. Характеристика уравнений (см. табл. 2) подтверждает их высокую адекватность фактическим данным ( $R^2 = 71-98\%$ ). Уравнения (2) работают по принципу «Что будет, если...?» и обеспечивают сопоставимость фракционного состава фитомассы разных экорегионов, если в эти уравнения подставить какие-то средние цифровые значения  $A$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $N$  и  $M$ . Но проблема состоит в том, что значения названных морфометрических показателей древостоев не являются общими для всех экорегионов, а изменяются при переходе от одного к другому. Поэтому вначале необходимо выявить различия регионов по каждому из этих показателей, объединенных в некоторую систему рекурсивных уравнений.

Известно, что продуктивность древостоя определяется по соотношению его возраста и высоты. Поэтому в качестве базовой в упомянутой системе нами принята зависимость  $H = f(A)$ , дифференцированная по регионам блоковыми фиктивными переменными. Следующий морфометрический показатель – средний диаметр древостоя  $D$  – зависит уже не только от возраста, но и от средней высоты. Поэтому рассчитывается двухфакторная зависимость  $D = f(A, H)$  так же, как и предыдущая, дифференцированная по регионам блоковыми фиктивными переменными. Региональные особенности последней зависимости характеризуются соответствующим набором констант при блоковых переменных, и эти зависимости накладываются в рекурсивной последовательности на различия регионов по зависимости  $H = f(A)$ . Следующий морфометрический показатель – число стволов на 1 га  $N$  – варьирует и соответственно описывается уравнением в зависимости уже от трех факторов:  $N = f(A, H, D)$ . И эта зависимость также дифференцируется блоковыми фиктивными переменными, и ее региональные различия кумулятивно накладываются на предыдущий результат, т.е. на рекурсивную систему  $H = f(A) \rightarrow D = f(A, H)$ . Завершается последовательность соотношением  $M = f(A, H, D, N)$ .

Таким образом, рекурсивный принцип построения регрессионной системы обеспечивает последовательное накопление региональных различий в возрастной динамике массообразующих показателей и запасов ствольной древесины по цепочке взаимозависимых уравнений

$$\text{Ln}H=f(X_0,\dots, X_{24}, \text{Ln}A)\rightarrow \text{Ln}D=f(X_0,\dots, X_{24}, \text{Ln}A, \text{Ln}H)\rightarrow \text{Ln}N= f(X_0,\dots, X_{24}, \text{Ln}A, \text{Ln}H, \text{Ln}D)\rightarrow \text{Ln}M=f(X_0,\dots, X_{24}, \text{Ln}A, \text{Ln}H, \text{Ln}D, \text{Ln}N). \quad (3)$$

Результаты расчета констант уравнений (3) сведены в табл. 3, и их независимые переменные объясняют 90-95 % изменчивости массообразующих показателей и запаса стволов.

Если с помощью системы уравнений (2) оценивается степень региональных различий в структуре фитомассы при условии равенства массообразующих показателей, то система (3) определяет степень 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.

Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (3) и (2) (см. табл. 2 и 3) по задаваемым значениям возраста получены возрастные тренды всех массообразующих показателей и запасов фитомассы по каждому региону.

На начальном этапе исследований биопродуктивности лесов фитомассу насаждений сравнивали локально по двум-трем регионам без учета «экологических фонов» сопоставляемых насаждений и без оценки достоверности различий. Даже в самых последних аналитических обзорах (напр., Jarvis et al., 2001) можно встретить утверждения, что количество фитомассы в лиственныхниках и сосняках Сибири может быть близким к таковому в Европейской России, а в пределах Европейской России наибольшей фитомассой якобы характеризуется Уральский регион. Последнее противоречит фактическим показателям базы данных о фитомассе лесов Северной Евразии (Усольцев, 2001) и географии распределения ее нормативных показателей (Усольцев, 2002).

На рис. 2 выведены взятые из упомянутых возрастных трендов региональные соотношения фракционной структуры фитомассы культур сосны для возраста 60 лет и проанализированы в связи с природной зональностью и континентальностью климата соответственно по зональному и провинциальному градиентам. Запасы фитомассы 60-летних культур сосны в пределах одного климатического региона различаются у разных видов: в Западной Европе общая фитомасса (т/га) у *P. nigra* (281) превышает аналогичный показатель у *P. sylvestris* (225), в Причерноморской провинции у *P. pallasiana* и *P. pinaster* (341 и 370) значительно выше, чем у *P. pithyusa* (267), в хвойно-широколиственной подзоне Японии у *P. thunbergii* (334) существенно выше, чем у *P. strobus* и *P. densiflora* (171 и 211), несколько различаются общие запасы фитомассы у *P. taeda* и *P. elliotii* также в субтропиках Японии (405 и 422 т/га).



Таблица 2

Характеристика уравнений (2) для культур сосны

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2)				
	$a_0$	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
1	2	3	4	5	6
$\ln(P_S)$ , т/га	-0,9425	0,2381	0,0124	0,1382	0,1483
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-1,5012	0,2834	-0,1994	0,0356	-0,2962
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	1,3386	-0,0317	-0,2700	-0,1699	-0,1832
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,3282	0,0103	0,1440	-0,1042	-0,0492
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-1,5239	0,2556	0,7699	0,0341	0,0341
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,4691	-2,5637	-6,7598	-2,9178	-2,7860
Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$
$\ln(P_S)$ , т/га	-0,0534	-0,0571	0,0395	0,2045	0,2146
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-0,4336	-0,2389	-0,2389	-0,2298	-0,1953
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,2021	-0,2238	-0,2141	-0,0603	-0,2214
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,1905	-0,3213	-0,1748	-0,0526	0,0709
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,2084	-0,1195	-0,1625	-0,1625	-0,1625
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-2,7860	-2,7860	-1,0844	-2,7860	-2,7860
Зависимые переменные	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$
$\ln(P_S)$ , т/га	-0,1469	0,0185	0,0294	0,0133	-0,0943
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-0,2574	-0,3317	-0,3276	-0,3936	0,0812
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,5194	-0,2692	-0,3967	-0,0334	-0,0740
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,0164	-0,2524	-0,1255	-0,2700	-0,5667
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,1625	-0,3205	-0,3205	-0,3205	0,9085
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,6092	-2,7860	-2,7860	-2,7860	-2,7860
Зависимые переменные	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$
$\ln(P_S)$ , т/га	-0,0334	0,2813	-0,1413	0,1572	0,1842
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,2406	-0,1504	-1,0100	-0,1835	-0,3126
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,1287	-0,1904	0,3278	-0,0991	-0,3643
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,1113	0,4312	0,4312	0,4312	0,4312
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-2,7860	-2,7860	-2,7860	-2,7860	-2,7860
Зависимые переменные	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$
$\ln(P_S)$ , т/га	0,1051	0,1955	0,3602	0,4893	0,0394
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,4071	0,4214	-0,3975	-0,4188	0,4190
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-1,0615	0,0500	-0,4943	-0,2603	-0,3388
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	0,4312	1,0315	0,0695	0,0695	0,0695
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-2,7860	-2,7860	-2,7860	-2,7860	-2,7860

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
<b>Зависимые переменные</b>	$a_{25}(\ln A)$	$a_{26}(\ln A)^2$	$a_{27}(\ln M)$	$a_{28}(\ln D)$	$a_{29}(\ln N)$
$\ln(P_S)$ , т/га	0,1246	-	0,9002	-0,0986	-
$\ln(P_{SB})$ , т/га	0,1145	-	-	-	-
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,3669	-	-	-	-0,2368
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-	-	-	0,4509	-0,0607
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	0,6669	-0,0823	-	-0,6927	-0,3167
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,8322	-	-	-	-
<b>Зависимые переменные</b>	$a_{30}(\ln H)$	$a_{31}(\ln P_S)$	$a_{32}(\ln P_F/M)$	$R^2$	$SE$
$\ln(P_S)$ , т/га	0,1474	-	-	0,979	0,151
$\ln(P_{SB})$ , т/га	-0,4847	1,0536	-	0,950	0,199
$\ln(P_F/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-1,1869	-	-	0,875	0,339
$\ln(P_B/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-0,4995	-	0,6431	0,873	0,236
$\ln(P_R/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-	-	-	0,706	0,242
$\ln(P_U/M)$ , т/м <sup>3</sup>	-	-	-	0,811	0,866

Таблица 3

Характеристика уравнений (3) для культур сосны

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (3)									
	$a_0$	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$
$\ln(H)$ , м	-2,9908	0,2386	0,301	0,2916	0,2367	0,4123	0,2902	0,2169	-0,3968	-
$\ln(D)$ , см	0,6226	0,1327	-0,0824	0,4418	-0,1291	-0,1231	-0,0654	0,0051	-0,4801	-
$\ln(N)$ , тыс.шт/га	2,5906	0,1019	0,0169	-0,2582	-0,0615	-0,1584	-0,3337	-0,245	-0,2568	-
$\ln(M)$ , м <sup>3</sup> /га	-1,2574	0,4137	0,0906	0,1328	0,3349	0,2619	0,2032	0,208	0,180	-
<b>Зависимые переменные</b>	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$
$\ln(H)$ , м	-0,0592	0,3501	0,488	0,3231	0,3072	0,196	0,4429	0,3022	0,5755	-
$\ln(D)$ , см	-0,2128	-0,1568	-0,1411	-0,1932	-0,0683	-0,0971	0,0139	-0,0781	0,1725	-
$\ln(N)$ , тыс.шт/га	-0,3688	-0,1439	-0,1254	-0,0468	-0,0634	0,1455	-0,0869	0,1905	-0,2514	-
$\ln(M)$ , м <sup>3</sup> /га	0,1567	0,372	0,2491	0,3113	0,2115	0,2712	0,1981	0,3255	0,2378	-
<b>Зависимые переменные</b>	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$	$a_{25}(\ln A)$	$a_{26}(\ln A)^2$	$a_{27}(\ln D)$
$\ln(H)$ , м	-0,2657	1,2155	1,2118	0,089	0,6974	0,8741	0,0392	2,1458	-	-
$\ln(D)$ , см	-0,1902	0,2316	0,3666	0,1751	0,2786	-0,014	0,6196	-	-	-
$\ln(N)$ , тыс.шт/га	0,4600	0,1172	0,3119	0,3214	-0,1103	-0,2855	-0,2075	-	-	-
$\ln(M)$ , м <sup>3</sup> /га	0,4216	0,3583	0,5362	0,4524	0,204	0,1958	-0,0967	0,0888	-	-
<b>Зависимые переменные</b>	$a_{26}(\ln A)^2$	$a_{27}(\ln D)$	$a_{28}(\ln D)^2$	$a_{29}(\ln H)$	$a_{30}(\ln H)^2$	$a_{31}(\ln N)$	$R^2$	$SE$	-	-
$\ln(H)$ , м	-0,1848	-	-	-	-	-	0,905	0,219	-	-
$\ln(D)$ , см	0,0134	-	-	0,5301	0,0803	-	0,951	0,151	-	-
$\ln(N)$ , тыс.шт/га	-	-0,6969	-0,2738	0,7642	-	-	0,900	0,300	-	-
$\ln(M)$ , м <sup>3</sup> /га	-	0,980	-	1,1501	-	-	0,6594	0,938	0,266	-

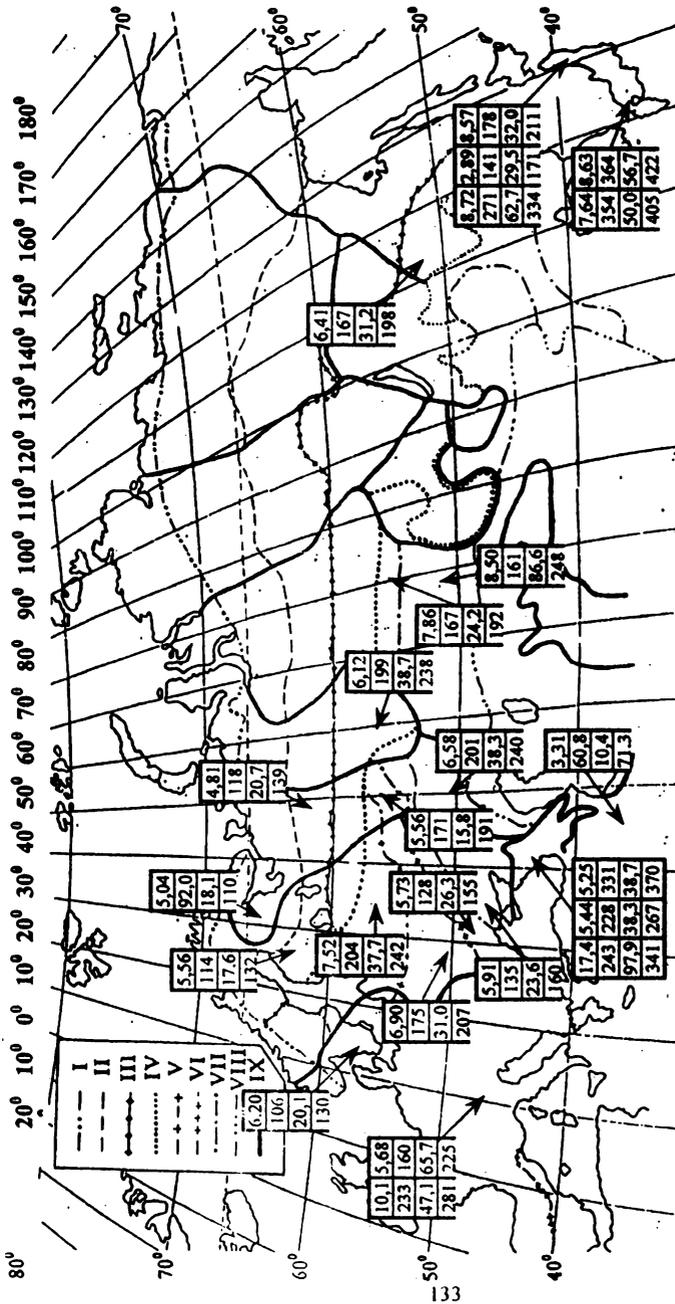


Рис. 2. Фракционный состав фитомассы 60-летних культур сосны, приведенный в сопоставимое состояние по регионам Северной Евразии. Цифры в колонках означают запасы фитомассы в абсолютно сухом состоянии ( $\tau/\text{га}$ ) сверху вниз соответственно: хвоя, надземной массы, подземной и общей. В совмещенных колонках по регионам слева направо: СЕ – *P. nigra*, *P. sylvestris*; ПЧ – *P. pallasiata*, *P. pithyusa*, *P. pithyusa*, ПТхп – *P. rimaster*, ЯПхп – *P. thumbergii*, *P. strobus*, *P. densiflora*, ЯПсуб – *P. taeda*, *P. elliottii*. Выделенные регионы и обозначения границ см. рис. 1.

По градиенту природной зональности запасы фитомассы в общих чертах соответствуют общей схеме профиля продуктивности (Лавренко и др., 1955). По зональному градиенту Скандинавско-Русской провинции фитомасса закономерно увеличивается от средней тайги (132) до хвойно-широколиственной подзоны (242), затем в подзоне широколиственных лесов, в лесостепи и степи происходит ее последовательное снижение (соответственно 207, 155 и 160 т/га), по-видимому, в связи с постепенной аридизацией климата, а в горных достаточно влагообеспеченных условиях Кавказа вновь возрастает до 267-370 т/га.

В провинции Восток Русской равнины (примерно 50-й меридиан) профиль продуктивности фитомассы по подзонам северной и средней тайги, лесостепи и степи характеризуется постепенным увеличением запасов фитомассы (соответственно 110, 139, 191 и 240 т/га), а затем в засушливых условиях Малой Азии происходит резкое ее снижение до 71 т/га.

На Дальнем Востоке в результате совместного и однонаправленного действия нескольких факторов одновременно – увеличения суммы эффективных температур, улучшения условий увлажнения и снижения континентальности климата фитомасса существенно увеличивается от 198 т/га у сосны обыкновенной в южной тайге (Хабаровский край) до 334 т/га у сосны Тунберга в подзоне хвойно-широколиственных лесов Японии и далее до 422 т/га у сосны Эллиота в японских субтропиках.

Таким образом, по широтному градиенту в направлении с севера на юг по мере возрастания радиационного баланса и суммы активных температур происходит увеличение запасов фитомассы культур, но лишь при условии достаточного влагообеспечения. Как только уровень осадков падает (степи Скандинавско-Русской провинции и полупустыни Малой Азии), названный тренд нарушается и фитомасса резко снижается.

По меридиональному градиенту (в широтном диапазоне 50-60°) фитомасса культур сосны обыкновенной снижается с 242 т/га в хвойно-широколиственной подзоне Скандинавско-Русской провинции до 198 т/га в южной тайге Хабаровского края, а затем в хвойно-широколиственных лесах Японии фитомасса культур сосны Тунберга достигает уровня 334 т/га. Последнее согласуется с известной закономерностью изменения структуры растительного покрова в меридиональном направлении (от морских побережий внутрь континента), обусловленной изменением континентальности климата и условий увлажнения (Волобуев, 1947; Курнаев, 1973; Назимова, 1995). Регрессионный анализ связи фитомассы культур сосны с индексом континентальности Ценкера подтвердил закономерность ее снижения по мере роста континентальности климата (рис. 3, I), однако эта связь довольно слабая и характеризуется коэффициентом корреляции 0,32.

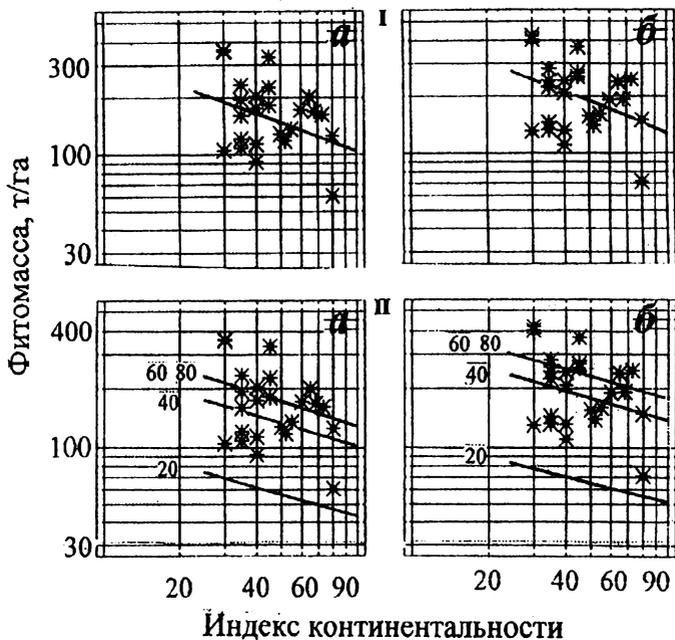


Рис. 3. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы культур сосны: I - с индексом континентальности климата Ценкера (Борисов, 1967) и II - с упомянутым индексом и суммой эффективных температур, °С (Tuukkanen, 1984), обозначенной цифрами

Иной результат получен при совместном учете двух факторов – суммы эффективных температур ( $>5^{\circ}\text{C}$ ) и индекса континентальности Ценкера. В этом случае коэффициент множественной корреляции достигает 0,55. Графическая интерпретация полученного двухфакторного уравнения (см. рис. 3, II) подтверждает вышеупомянутую обратную связь фитомассы с индексом континентальности, но в данном случае она дифференцирована по уровням термического фактора – суммы эффективных температур. В результате остаточное варьирование фитомассы существенно ниже, чем в первом случае. В то же время степень объяснения найденным уравнением общей изменчивости фитомассы на уровне 30% недостаточна: сказываются неучтенные влияния высотной поясности в горах, условий увлажнения в равнинной местности и т.д.

Таким образом, приведение фактических данных о фитомассе культур сосны к сопоставимому по экорегионам виду позволило выявить географические закономерности ее распределения. Подтверждено наличие профиля продуктивности по широтному градиенту и установлена общая тенденция увеличения фитомассы сосны в направлении от северных широт к южным как в Восточной Европе, так и на Дальнем Востоке. В Восточной Европе это увеличение наблюдается лишь до некоторого предела, приходится лишь на Причерноморскую провинцию. Далее к югу в Кавказско-Малоазиатской провинции фитомасса культур сосны резко снижается в основном по причине недостаточной влагообеспеченности. Впервые для культур сосны в Северной Евразии на фактическом материале выявлено изменение запасов фитомассы не только по зональному, но и по провинциальному градиенту в связи с индексом континентальности климата, а именно снижение ее запасов в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Восточной Сибири.

#### Библиографический список

Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М., 1993. 293 с.

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

Борисов А.А. Климаты СССР. М., 1967. 296 с.

Волобуев В.Р. О фитоклиматических закономерностях в распределении растительности на территории СССР // Ботан. жур. СССР. 1947. № 5. С. 200-205.

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

Коротков И.А. Закономерности распределения лесов в Монгольской народной республике (География и типология) // Леса Монгольской народной республики. Т. 11. М., 1978. С. 36-46.

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

Лавренко Е.М., Андреев В.Н., Леонтьев В.Л. Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням // Ботан. жур. 1955. Т. 40. № 3. С. 415-419.

Маринов М.Д. и др. Структура и динамика на биомассата в представителни букови насаждения от Средна Стара планина // Горскостопанска наука. 1983. Т. 20. № 5. С. 3-17.

Митрофанов Д.П. Оценка продуктивности северо-таежных лесов Сибири // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск, 1984. С. 95-102.

Москалюк Т.А. Запасы и структура растительной массы древостоев в основных типах лиственничников Северного Охотоморья // Лесоведение. 1980. № 2. С. 32-39.

Назимова Д.И. Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации // Лесоведение. 1995. № 4. С. 63-73.

Нинов Н. Постижения и задачи на изследованята в областта на биологичния кръговрат на елементите и веществата в екосистемите в България // Горскостопанска наука. 1986. Т. 23. № 2. С. 3-11.

Поздняков Л.К. Элементы биологической продуктивности светлостойных лесов Якутии // Лесоведение. 1967. № 6. С. 36-42.

Поздняков Л.К. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной Биологической Программе. Вып. 1. Л., 1975. С. 43-55.

Программа и методика биогеоценологических исследований / Под ред. Н.В. Дылиса. М., 1974. 403 с.

Программа-минимум по определению первичной биологической продуктивности наземных растительных сообществ (проект) // Растит. ресурсы. 1967. Т. 3. Вып. 4. С. 612-620.

Протопопов В.В., Грибов А.И. Элементы первичной продуктивности и биометрические показатели березовых древостоев Западного Саяна // Лесоведение. 1971. № 1. С. 32-36.

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

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

Сныткин Г.В. Запас горючих материалов в опаде, напочвенном покрове и древостое лиственничных молодняков Охотского побережья и верхнего течения реки Колымы // Исследования растительности и почв в лесах Северо-Востока СССР. Якутск, 1971. С. 83-93.

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург, 1998. 541 с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург, 2001. 708 с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург, 2002. 762 с.

Jarvis P.G., Saugier B., Schulze E.-D. Productivity of boreal forests // Terrestrial global productivity. Roy J., Saugier B., Mooney H.A. (eds.). Academic Press, 2001. P. 211-244.

Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // Acta Bot. Fennica. 1984. Vol. 127. P. 1-50.