ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО





УДК 630*231

В.А. Усольцев,
А.Т. Мезенцев,
Е.В. Кох,
В.В. Крудышев,
И.С. Лазарев

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ

Ключевые слова: *надземная фитомасса, фракционный состав, ошибки определения, локальные и обобщенные модели.*

Введение

Определения фитомассы деревьев имеют ошибку. Обычно рассматривают четыре составных части ошибки при моделировании фитомассы дерева [1, 2]: ошибка выборки, ошибка измерения, ошибка структуры статистической модели фитомассы и ошибка применения модели, связанная с расхождением между истинными аллометрическими соотношениями в генеральной совокупности деревьев, для которой рассчитаны параметры модели, и теми соотношениями, имеющими место в генеральной совокупности, к которой модель применяется в данный момент. Наибольший вклад в совокупную ошибку вносят два ее последних источника – структура модели и применение модели. Поэтому выбору оптимальной структуры модели и возможностям применения «всеобщих» моделей фитомассы деревьев уделяется наибольшее внимание.

Признано, что наиболее информативной переменной при оценке фитомассы дерева P является диаметр ствола на высоте груди D, а лучшей формой их связи – аллометрическая функция, имеющая биологическое обоснование [3]. Путем логарифмирования она приводится к линейному виду:

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln D. \qquad (1)$$

Сегодня в литературе имеются многочисленные попытки обосновать правомерность зависимости (1) в качестве «всеобщей» модели [4]. Например, для нескольких десятков видов древесных, кустарниковых и травянистых растений модель (1) рекомендуется для применения на региональном уровне, поскольку модель объясняла 99,7% изменчивости надземной фитомассы [5]. Но та же зависимость (1) лишь для одного вида – сосны обыкновенной, произрастающей в Финляндии и Испании, дала 8-кратное расхождение [6].

Таким образом, выводы исследователей о возможности построения «всеобщих» моделей фитомассы, применимых на региональном уровне, противоречивы и неопределенны, и для суждения о возможности или невозможности использования модели фитомассы деревьев в качестве «всеобщей» необходимо специальное исследование, поскольку наличия высокого коэффициента детерминации для этого недостаточно.

Цель работы – на примере двух древесных пород – сосны и березы – проанализировать аллометрические модели фитомассы из разных регионов с целью установления возможности использования обобщенных моделей фитомассы.

Объекты и методы исследований

Исследования выполнены в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов Урала [7] в сосновых и березовых естественных насаждениях, произрастающих на одной из самых загрязненных на планете территорий – в радиусе 30 км от Карабашского медеплавильного комбината. В основу нашего исследования положен метод пробных площадей, заложенных согласно требованиям ОСТ 56-60-83. Таксационная характеристика пробных площадей была опубликована ранее [8].

Наряду с традиционной таксацией древостоев на каждой пробной площади выполнены определения их фитомассы. Для этого взято по 7 модельных деревьев каждой древесной породы в пределах варьирования их диаметров на каждой пробной площади по методике, изложенной ранее [9]. Общее количество модельных деревьев сосны – 42 в возрасте от 30 до 90 лет и березы – 56 в возрасте от 31 до 86 лет. Для перевода показателей массы кроны из свежего в абсолютно сухое состояние и объема древесины и коры ствола – в показатели массы в свежем и абсолютно сухом состоянии от каждого дерева взяты образцы: у сосны – по одной навеске хвои и ветвей от каждой трети кроны по вертикальному профилю, а у березы – по одной навеске из средней части кроны без разделения ее на секции. У стволов деревьев взяты выпилы на относительных высотах 20, 50 и 80% от общей высоты дерева и выполнены у каждого замеры массы и объема древесины и коры. Определена плотность каждой фракции в свежем состоянии, а также термовесовым способом – содержание сухого вещества. Количество определений названных показателей по сосне – 228 и по березе – 224.

Полученные нами массивы данных о фитомассе деревьев сосны и березы взяты в качестве исходных и характерных для загрязненных территорий. Для оценки величины смещений, обусловленных принадлежностью соответствующих пород к другим, экологически благополучным регионам, нами привлечены региональные данные о фитомассе деревьев, полученные и опубликованные разными авторами для естественных сосняков и березняков. Общее количество модельных деревьев, подвергнутых региональному анализу смещений в показателях фитомассы, составило по сосне 840 и по березе – 658.

Результаты и их обсуждение

При оценке величины смещений использован регрессионный метод, позволяющий дать количественную оценку регионально обусловленных смещений в фитомассе равновеликих деревьев. Уравнение (1) дает адекватную оценку фитомассы деревьев в пределах одного древостоя, когда два основных массообразующих показателя – диаметр и высота – тесно коррелированы. Но при региональных сопоставлениях массивов данных, когда в анализ включаются древостои разных разрядов высот, одного диаметра ствола в качестве независимой переменной недостаточно.

Поэтому в уравнение (1) мы дополнительно ввели две переменные: высота дерева и произведение высоты и диаметра ствола (синергизм, опосредующий совместное влияние названных двух переменных). Высота дерева включена в (1) для учета изменчивости фитомассы деревьев в древостоях разных разрядов высот, а синергизм учитывает смещение положения диаметра на высоте груди при изменении высоты дерева. Базовая структура модели имеет вид:

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D \times \ln H). \quad (2)$$

Для оценки региональных смещений в величине фитомассы равновеликих деревьев уравнение (2) модифицировано путем включения в него так называемых фиктивных блоковых переменных [10]. «Равновеликость» обеспечивается включением в модель двух основных массообразующих факторов – диаметра и высоты дерева. Кодировка принадлежности локальных массивов данных о фитомассе деревьев посредством названных переменных выполнена по специальной схеме (табл. 1).

Таким образом, для расчета принята следующая регрессионная модель:

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3(\ln D \times \ln H) + a_4 X1 + a_5 X2 + a_6 X3 + a_7 X4 + a_8 X5, \quad (3)$$

где Pi – масса фракции дерева (Pf, Pbr, Pst и $Pabo$ – хвои (листвы), ветвей, ствола и вся надземная соответственно), кг;

D – диаметр ствола на высоте груди, см;

H – высота дерева, м.

Характеристика уравнений (3) дана в таблице 2.

Исследование региональных смещений фитомассы деревьев выполнено путем табулирования уравнений (3) в таблице 2, осуществленного в несколько этапов. Вначале задавали значения диаметра и высоты дерева, подставляли их в уравнение (3) и при значении константы a_0 составляли 2-входовую таблицу фракционного состава фитомассы – хвои (листвы), ветвей, стволов и надземной – для исходного (I) региона, в качестве которого был принят Карабаш.

Таблица 1

Схема кодирования массивов данных блоковыми фиктивными переменными

Регион*	X1	X2	X3	X4	X5
I	0	0	0	0	0
II	1	0	0	0	0
III	0	1	0	0	0
IV	0	0	1	0	0
V	0	0	0	1	0
VI	0	0	0	0	1

*Обозначения регионов. Цифрами в круглых скобках обозначено количество модельных деревьев. **Для сосны**: I – Карабаш – исходный массив (42); II – Аман-Карагайский бор (120); III – Ара-Карагайский бор (141); IV – Казахский мелкосопочник (97); V – Красноярско-Канская лесостепь (256); VI – Средний Урал (184) [11, 12, 13]. **Для березы**: I – Карабаш - исходный массив (56); II – Ара-Карагайский бор (144); III – Североказахстанская колочная лесостепь (97); IV – Североказахстанская южная лесостепь (230); V – Южный Урал (47); VI – Средний Урал (84) [12].

Таблица 2

Характеристика уравнений (3)

ln*Pi*	Константы и независимые переменные									R^2	SE
	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 \ln H$	$a_3(\ln D \times \ln H)$	a_4X1	a_5X2	a_6X3	a_7X4	a_8X5		
Сосна											
ln(*Pf*)	-2,537	2,696	-1,600	0,102	-0,305	-0,372	-0,371	-0,201	-0,191	0,932	0,483
ln(*Pbr*)	-2,562	2,549	-1,713	0,287	-0,520	-0,343	-0,169	-0,242	-0,173	0,962	0,442
ln(*Pst*)	-2,901	1,429	0,748	0,139	-0,083	-0,145	-0,052	-0,190	-0,085	0,995	0,152
ln(*Pabo)*	-2,260	1,612	0,355	0,153	-0,116	-0,179	-0,085	-0,197	-0,098	0,994	0,162
Береза											
ln(*Pf*)	-3,337	0,893	-0,392	0,341	0,435	0,278	0,262	0,342	-0,644	0,911	0,458
ln(*Pbr*)	-3,376	1,106	-0,406	0,465	0,322	0,359	0,346	-0,021	-0,324	0,941	0,490
ln(*Pst*)	-2,964	1,072	0,957	0,202	0,065	0,037	0,066	0,084	-0,028	0,994	0,145
ln(*Pabo)*	-2,304	1,073	0,616	0,262	0,077	0,069	0,102	0,046	-0,110	0,990	0,190

Таблица 3

Относительные показатели фитомассы деревьев разных регионов, % к значениям для Карабаша

Регион	Фитомасса фракций, %			
	хвоя (листва)	ветви	стволы	вся надземная
Сосна				
I	100	100	100	100
II	74	59	92	89
III	69	71	87	84
IV	69	84	95	92
V	82	78	83	82
VI	82	84	92	91
Береза				
I	100	100	100	100
II	155	138	107	108
III	132	143	104	107
IV	130	141	107	111
V	141	98	109	105
VI	53	72	97	90

Затем осуществлялась модификация уравнения (3) для следующего (II) региона путем нахождения алгебраической суммы констант a_0 и a_4, и процедура табулирования повторялась при тех же задаваемых значениях диаметра и высоты дерева. Далее для III региона (табл. 1) находили алгебраическую сумму констант a_0 и a_5 (табл. 2) и т.д. После завершения процедур табулирования для всех шести регионов проведена оценка региональных смещений фитомассы деревьев обеих пород относительно исходного региона – Карабаша. В таблице 3 приведена сводка названных смещений в относительных единицах (% к исходному I региону).

Данные таблицы 3 показывают, что смещения фитомассы деревьев сосны и березы разных регионов относительно загрязненного региона имеют в большинстве случаев разные знаки: по сосне имеют место более низкие значения в сравнении с соответствующими величинами для Карабаша, а по березе – напротив, более высокие (исключение в последнем случае составляет VI регион).

Выводы

1. Независимо от знака смещения и, соответственно, от древесной породы их относительные значения для стволов равновеликих деревьев меньше, чем для кроны. Это объясняется тем, что полнодревесность стволов, определяющая различия в их массе при одних и тех же диаметре и высоте, является довольно стабильным показателем, который по сравнению с кроной в меньшей степени реагирует на полноту и другие таксационные показатели древостоев, специфичные для каждого региона.

2. Фитомасса кроны, ствола и вся надземная равновеликих деревьев сосны в «чистых» регионах по отношению к Карабашу ниже, соответственно, на 16-40, 5-17 и 8-16%. Фитомасса листвы березы смещена в «чистых» регионах по отношению к Карабашу в интервале от -47 до +55%, ветвей – от -28 до +43% и вся надземная – от -10 до +11%. Иными словами, не установлено статистически достоверного отрицательного влияния загрязнений на средние показатели фитомассы равновеликих деревьев в прилегающих к Карабашу лесах. По-видимому, загрязнения в первую очередь влияют на морфоструктуру древостоев, а не на фитомассу отдельных деревьев.

3. В целом можно сделать вывод, что установленные региональные смещения в величине фитомассы равновеликих деревьев не позволяют использовать обобщенные (унифицированные) аллометрические уравнения для определения фитомассы деревьев двух исследованных пород.

Библиографический список

1. Cunia T. Construction of tree biomass tables by linear regression techniques // Estimating tree biomass regressions and their error: Proc. of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates. USFA Forest Service. – Northeastern Forest Experiment Station. – 1987. NE-GTR-117. – P. 27- 36.

2. Yang X., Cunia T. Construction and application of biomass regressions to size-classes of trees // State-of-the-art methodology of forest inventory: A symposium proceedings. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Oregon. – General Technical Report PNW-GTR-263. – 1990. – P. 254-259.

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

4. Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // Tree Physiology. 2004. – Vol. 24. – P. 121-139.

5. Freedman B. The relationship between the aboveground dry weight and diameter for a wide size range of erect land plants // Can. J. Botany. 1984. – Vol. 62. – P. 2370-2374.

6. Lehtonen A., Vayred J. Biomass expansion factors for Scots pine (Pinus sylvestris), comparison between Catalonia and Finland // COST E21, WG-1 workshop on biomass, 4-5 July 2002, Besalъ, Spain. – 5 p.

7. Колесников Б.П. Лесорастительные условия и лесорастительное районирование Челябинской области // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области: труды Ин-та биологии УФАН СССР. – Свердловск, 1961. – Вып. 26. – С. 3-44.

8. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е., Борников А.В., Жанабаева А.С. Влияние промышленных выбросов на биологическую продуктивность лесных экосистем Урала // Лесная таксация и лесоустройство. – 2011. – № 1-2 (45-46). – С. 58-69.

9. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 636 с.

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

11. Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.

12. Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 216 с.

13. Усольцев В.А., Канунникова О.В., Платонов И.В. Исследование ошибок при оценке углеродного пула лесов посредством аллометрических моделей // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов: матер. Междунар. конф. – СПб.: С.-ПбГЛТА, 2006. – С. 363-370.