

Удельная чистая первичная продукция древостоев и её связь с определяющими факторами

Н.В. Хабибуллина, аспирантка, В.А. Усольцев, д.с.-х.н., профессор, Уральский ГЛТУ; А.И. Колтунова, д.с.-х.н., профессор, Оренбургский ГАУ

Биологическая продуктивность лесов является одной из важнейших характеристик, которая лежит в основе функционирования лесных экосистем и используется в целях оценки углерододепонирующей ёмкости лесов, экологического мониторинга, устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учётом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова.

В нашем исследовании биологическая продуктивность понимается как совокупность трёх количественных характеристик лесной экосистемы: фитомассы (т/га), чистой первичной продукции (ЧПП), определяемой как количество фитомассы, продуцируемой на единице площади за 1 год (т/га), и удельной чистой первичной продукции (УдЧПП) как отношения ЧПП к величине фитомассы, выражаемого в относительных единицах или в процентах [1, 2]. Данных о фитомассе лесов, особенно в ходе исследований по Международной биологической программе (МБП) 1960-х гг., накоплено достаточно много, существенно меньше данных опубликовано по ЧПП. Данные об УдЧПП очень редки. В настоящей работе обсуждается место и роль УдЧПП в исследованиях биологической продуктивности насаждений.

УдЧПП является важной биопродукционной характеристикой лесных насаждений. Если известно отношение ЧПП к величине фитомассы, то можно получить не только значение ЧПП древостоя по известной его фитомассе, но и одну

из важнейших характеристик функционирования лесных экосистем, поскольку УдЧПП характеризует скорость обновления органического вещества фитомассы. Если ЧПП характеризует интенсивность фотосинтеза и депонирования углерода, то УдЧПП показывает удельную скорость процесса: как быстро работает или превращается один грамм вещества. Обратная величина — отношение фитомассы к ЧПП — показывает, за какое время поток ЧПП создаёт запас фитомассы [3].

Показатель УдЧПП в традиционной лесной таксации используется в виде процента текущего прироста по запасу стволовой древесины, представляющего собой частное от деления текущего объёмного прироста древостоя на его запас, выраженное в процентах. Если известны запас древостоя и процент его текущего прироста, то можно приближённо, без рубки деревьев, определить текущий прирост запаса древостоя по формуле

$$Z_M = (M \cdot Z_{\text{проц}}) / 100, \quad (1)$$

где Z_M — текущий прирост запаса древостоя, м³/га;

M — запас древостоя, м³/га;

$Z_{\text{проц}}$ — процент текущего прироста запаса древостоя.

В таком случае $Z_{\text{проц}}$ приближённо рассчитывается по формуле Шнейдера [2]:

$$Z_{\text{проц}} = K / (d_{1,3} \cdot n), \quad (2)$$

где K — коэффициент, который изменяется от 400 до 800 в зависимости от энергии роста дерева и высоты прикрепления кроны;
 $d_{1,3}$ — диаметр на высоте груди без коры, см;

n – число годовичных слоёв в последнем сантиметре радиуса в сечении ствола на высоте груди.

Зависимость относительного объёмного прироста или его процента от возраста выражается обычно гиперболической зависимостью, либо функцией Гомпертца, либо иной, близкой по биологическому смыслу, убывающей функцией. По свидетельству Гюнтера Венка с соавторами [6], немецким исследователем Р. Наке было проанализировано 16 функций относительного прироста.

Гюнтер Венк ввёл понятие относительной скорости роста (*relative Wachstumsgeschwindigkeit*) древостоя по запасу $Z_{\text{омн}}$ как отношение текущего объёмного прироста к запасу древостоя и использовал его для прогнозирования роста на основе модифицированной им функции Гомпертца:

$$Z_{\text{проц}} = \exp[-c_1 A(1 - \exp[-c_2 A(1 - \exp[-c_3 A])])], \quad (3)$$

где A – возраст.

Константа c_1 в формуле (3) является наиболее важным параметром, зависящим от древесной породы и условий произрастания, и изменяется в диапазоне от 0,15 до 0,40; константа c_2 варьирует в пределах от 0,5 до 5,0 и константа c_3 , характеризующая скорость роста в первые годы жизни древостоя, изменяется в пределах от 0,15 до 1,0. Значения названных констант подбираются эмпирическим путём. Их влияние на характер возрастного изменения относительного прироста показано на рисунке 1.

А.И. Бузыкин с соавторами [4] отношение объёмного прироста к запасу древостоя ($\text{м}^3/\text{м}^3$) назвали удельной продуктивностью и на примере сосняков и лиственничников разнотравно-

зеленомошных в Приангарье показали монотонно убывающий характер зависимости названного показателя от возраста древостоя (рис. 2). Авторы делают вывод, что в пределах фиксированного возраста деревьев и древостоев независимо от их параметров удельную продуктивность можно считать относительно стабильным показателем продукционного процесса [4].

Я.И. Гульбе с соавторами [1] по данным пробных площадей по надземной фитомассе и ЧПП в количестве 208 древостоев для сосны обыкновенной, 74 – ели, 24 – дуба, 47 – берёзы, 18 – осины и 20 – ольхи серой предложили уравнение

$$\ln(Z_{\text{abo}} / P_{\text{abo}}) = a_0 - a_1 \ln A, \quad (4)$$

где Z_{abo} и P_{abo} – здесь и далее соответственно ЧПП и фитомасса (т/га), а их отношение ($Z_{\text{abo}}/P_{\text{abo}}$) представляет собой УдЧПП насаждений.

Путём табулирования уравнений (4) по задаваемым значениям возраста древостоя установлено, что у всех пород УдЧПП резко снижается с возрастом, а после 100 лет снижение незначительно.

Из вышеизложенного следует, что значения УдЧПП древостоев Приангарья, лесообразующих пород РФ и Центральной Европы имеют различия. Региональную специфику УдЧПП подтверждают и другие авторы. Для лесов Башкирии названный относительный показатель составил 0,04, а для Урала – 0,07. Для подзоны южной тайги в Бурятии этот показатель установлен на уровне 0,011, а для основных лесных формаций Китая – 0,12 [5].

Значение ЧПП древостоя можно получить не только по известной УдЧПП, но и непосредственно по значению фитомассы исходя

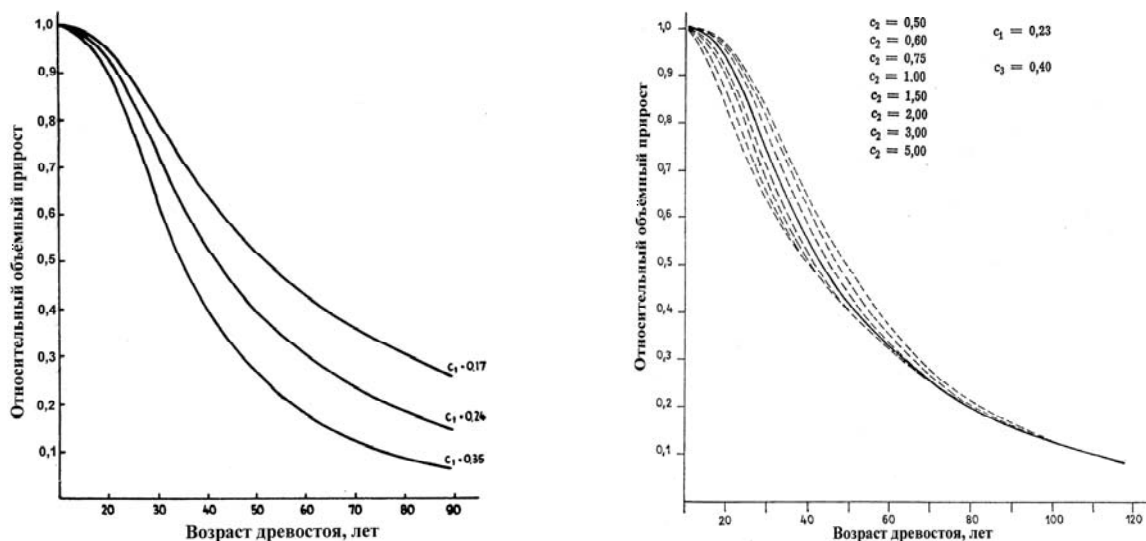


Рис. 1 – Графическая интерпретация уравнения (3): изменение относительного объёмного прироста при различных значениях константы c_1 и неизменных значениях c_2 и c_3 (слева) и при различных значениях константы c_2 и при постоянной величине $c_1 = 0,23$ и $c_3 = 0,40$ (справа). Сплошная линия соответствует значению $c_2 = 1,0$ [6]

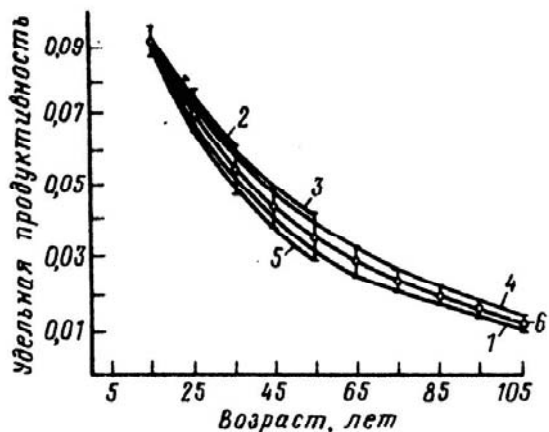


Рис. 2 – Изменение удельной продуктивности древостоев с возрастом:
1–3 – лиственные; 4–5 – сосновые и 6 – усреднённые данные [4]

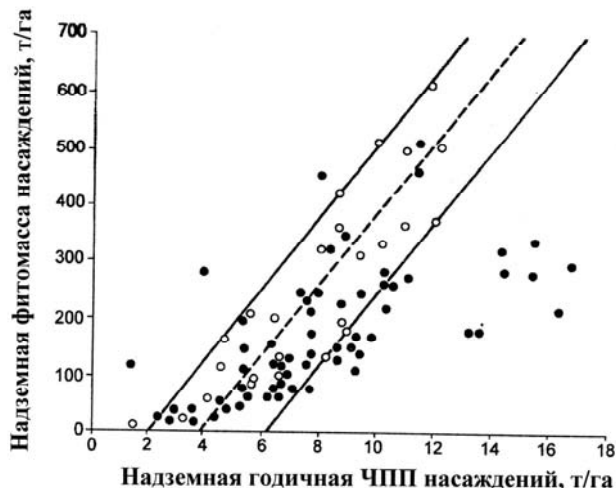


Рис. 3 – Взаимосвязь надземной фитомассы и соответствующей ЧПП, рассчитанная по материалам МБП [8]

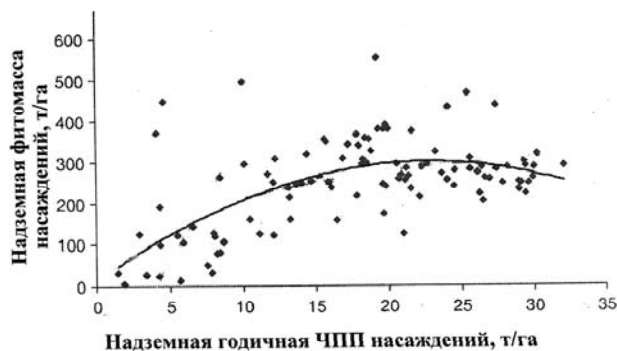


Рис. 4 – Зависимость надземной фитомассы от соответствующей ЧПП, рассчитанная по материалам, охватывающим все природные зоны [7]

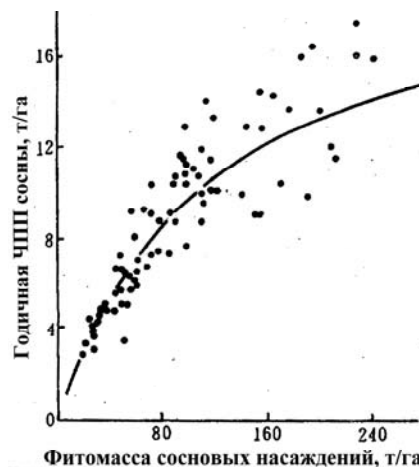


Рис. 5 – Соотношение ЧПП и фитомассы в насаждениях *Pinus tabulaeformis* в Китае [9]

из зависимости $Z \sim P$, обусловленной чисто теоретическими предпосылками [7]. Однако данные о взаимосвязи ЧПП и запаса фитомассы на 1 га крайне противоречивы. По материалам МБП была построена линейная зависимость надземной фитомассы (P_A) от надземной ЧПП (Z_A) (рис. 3), описанная уравнением [8]:

$$P_A = 0,625Z_A - 250. \quad (5)$$

Все фактические данные, выходящие за пределы доверительной зоны линейной регрессии (рис. 3), Р. О'Нейл и Д. ДеАнгелис [8] выбраковали, и, как оказалось впоследствии, это было сделано напрасно.

Дополнив данные МБП более поздними материалами, в частности по умеренной зоне и тропическим лесам, Х. Килинг и О. Филипс [7] показали, что названная связь имеет колоколообразный характер: надземная фитомасса на 1 га нарастает и достигает пика при величине надземной ЧПП, равной 15–20 т/га в год, затем выходит на плато при ЧПП, равной 20–25 т/га в год, после чего постепенно снижается (рис. 4). Эта зависимость описана уравнением параболы второго порядка

$$P_A = 11,0 + 25,33Z_A - 0,555(Z_A)^2, R^2 = 0,36. \quad (6)$$

Если сопоставить поля распределения фактических данных на рисунках 3 и 4, то становится очевидным, что параболой второго порядка можно было описать фактический тренд данных в обоих случаях.

Но совершенно иной характер названной зависимости на примере 96 насаждений сосны (*Pinus tabulaeformis*) установлен китайскими исследователями [9]: фитомасса на 1 га нарастает по мере увеличения ЧПП практически экспоненциально (рис. 5). Названную зависимость авторы описали уравнением

$$1/Z_T = 0,0166 + 5,71/P_T; R^2 = 0,86, \quad (7)$$

где Z_T и P_T – здесь и далее соответственно общая (надземная и подземная) ЧПП и фитомасса (т/га).

Зависимость, отличную от названных трёх аппроксимаций соотношения $Z \sim P$, представили А.И. Уткин с соавторами [2] для 8 лесобразующих древесных пород Северной Евра-

зии, рассчитанную по данным 420 пробных площадей:

$$Z_{abo} = a_0 + a_1(P_{abo} / A), \quad (8)$$

где A – возраст древостоя, лет.

Тем самым соотношение $Z \sim P$ корректируется значением возраста древостоя. R^2 уравнений (10) составил для разных пород от 0,322 до 0,741.

Таким образом, показатели УдЧПП имеют существенные региональные различия, и необходимо исследование географических закономерностей их изменения. Количественное описание соотношения УдЧПП и фитомассы насаждений крайне противоречиво, а из всех действующих на него факторов изучен лишь возраст древостоя, остальные нуждаются в дальнейшем исследовании.

Литература

1. Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Гульбе А.Я. и др. Удельная продуктивность фитомассы древостоев основных лесообразующих пород // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: матер. междунар. конф. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. С. 197–200.
2. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А. и др. Связь надземной чистой первичной продукции с фитомассой и с запасами насаждений (поиск моделей по материалам базы данных) // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: матер. Всерос. конф. Красноярск: Ин-т леса СО РАН им. В.Н. Сукачева, 2004. С. 477–479.
3. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.
4. Бузыкин А.И., Исмагилов А.М., Суворова Г.Г. и др. Оценка продуктивности деревьев и древостоев // Лесоведение. 1991. № 6. С. 16–25.
5. Норицина Ю.В. Биологическая продуктивность берёзы в связи с происхождением и географией насаждений: автореф. дисс. ... канд.с.-х.наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. 23 с.
6. Wenk G., Antanaitis V., Smelko S. Waldertragslehre. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1990. 448 S.
7. Keeling H.C., Phillips O.L. The global relationship between forest productivity and biomass // Global Ecology and Biogeography. 2007. Vol. 16. P. 618–631.
8. O'Neill R.V., DeAngelis D.L. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystems // Dynamic properties of forest ecosystems: IBP-23 (D.E. Reichle, ed.). Cambridge Univ. Press, 1981. P. 411–448.
9. Fang J., Liu G., Xu S. Biomass and net productivity of forest vegetation in China // Acta Ecologica Sinica. 1996. Vol. 16. No. 5. P. 497–508.