

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ СЛОВАЦКИХ И УКРАИНСКИХ КАРПАТ

**В. П. ПАСТЕРНАК**, канд. с-х. наук,  
**И. Ф. БУКША**, канд. с-х. наук,  
**М. И. БУКША**, аспирант,  
 Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого (г. Харьков, Украина)  
**Р. ПЕТРАШ**, канд. наук,  
**Ю. МЕЦКО**, канд. наук,  
 Национальный лесной центр – Научно-исследовательский институт лесного хозяйства (г. Зволен, Словацкая Республика)  
**В. С. ФЕННИЧ**,  
 Закарпатское отделение УкрНИИгорлес (г. Мукачево, Украина)

*Рассматриваются особенности моделирования продуктивности древостоев, произрастающих в Карпатских горах. Приведено описание принципов моделирования динамики лесотаксационных показателей, применяемых в Словацкой Республике, представлено сравнение динамики средней высоты и сумм площадей сечений для древостоев ели, произрастающих в Словацкой Республике и в Украине.*

**Ключевые слова:** моделирование, таблицы хода роста, продуктивность древостоев, Карпатские горы.

**В** Украине интенсивные исследования хода роста и динамики продуктивности лесов в Карпатских горах проводятся с 60-х гг. прошлого столетия. На основе этих исследований были разработаны таблицы хода роста (ТХР) для насаждений разных пород и типов лесов, модели динамики таксационных показателей насаждений, целевые программы формирования древостоев [6, 7]. В Словацкой Республике в конце 80-х гг. прошлого столетия были закончены долгосрочные исследования роста и продуктивности лесных насаждений, в состав которых входили важные с экономической точки зрения породы деревьев. Сейчас продолжаются научные исследования и разработки моделей хода роста, изучение продуктивности лесных насаждений, интенсивности их рубки, определение возрастов рубки древостоев, изменения продуктивности лесов при повреждениях и т. п. [3, 9, 14, 17].

Продуктивность древостоя является интегральным показателем, который отображает естественные условия и последствия антропогенного влияния на лесные экосистемы. Изменения текущего

прироста, связанные с возрастом насаждения, в зависимости от древесных пород, полноты, естественных колебаний климата усложняют выявление антропогенной составляющей, особенно при незначительных уровнях влияния.

Динамика роста и развития деревьев и древостоев с возрастом хорошо прослеживается по внешним признакам: динамике прироста, строению кроны, интенсивности и структуре отпада. Динамику изменений роста и развития лучше всего отслеживать по результатам анализа радиального прироста деревьев, на основе которого можно построить временные ряды данных. Наиболее перспективным методом оценки антропогенных изменений прироста может быть количественный анализ временных рядов годового прироста и связей колебаний прироста с естественными и антропогенными факторами [1, 11, 12, 15, 16].

В лесотаксационных исследованиях хода роста, как правило, предполагается постоянство условий роста. Однако эти требования в современных условиях не всегда выполняются из-за глобальных и локальных факторов (например, изменение климата, загрязнение окружающей среды). Поэтому модели роста должны учитывать изменения в окружающей среде.

Основным типом нормативно-справочных данных при ведении лесного хозяйства, учете лесов и их ресурсов являются ТХР и составленные на их основе стандартные таблицы. Таблицы применяются во время проектирования лесохозяйственных мероприятий и определения эффективности их выполнения. Существует несколько видов ТХР, в частности для нормальных, оптимальных и модальных древостоев. ТХР модальных древостоев отображают существующее состояние лесов в данный период и имеют широкое применение при проектировании лесохозяйственных мероприятий. В отличие от нормальных древостоев, показатели модальных существенно зависят от способов и режимов хозяйствования [4].

В Украине для лесов Карпат применяют такие нормативы продуктивности: ТХР полных древостоев ели, пихты, дугласии, дуба скального, бука [5], оптимальных еловых, буковых и буково-дубовых (с дубом скальным) древостоев [7]; модальных древостоев ели [2, 3]. Преобладающая часть нормативов продуктивности лесов Украинских Карпат составлена по данным временных пробных площадей с анализом хода роста модельных деревьев, а также с использованием данных наблюдений на постоянных пробных площадях. Так, для составления моделей роста оптимальных искусственных древостоев ели использовано данные 96 времен-

Фрагмент ТХР еловых древостоев в Словакии

Возраст, лет	Насаждение в целом					Общий прирост, м <sup>3</sup> /га-на-год	
	hв, м	Средние		N, шт.	M, м <sup>3</sup> /га	текущий	средний
		h1, м	d1, см				
20	11,6	8,7	8,0	5965	152	20,7	8,1
30	19,3	15,7	14,0	2682	341	24,5	13,2
40	25,2	21,6	19,7	1589	515	23,9	16,0
50	29,6	26,3	24,9	1091	666	22,1	17,4
60	33,2	30,1	29,8	817	795	20,2	18,1
70	36,2	33,2	34,2	649	904	18,2	18,2
80	38,6	35,9	38,4	536	998	16,6	18,1

ных пробных площадей и 5 постоянных пробных площадей, проанализирован ход роста 101 модельного дерева; для буковых древостоев – 225 временных пробных площадей и 138 модельных деревьев с анализом хода роста; буково-дубовых древостоев – 94 временных пробных площадей, 95 модельных деревьев с анализом хода роста [7].

С целью взаимного обмена результатами исследований по разработке и применению моделей продуктивности древостоев и рационального ведения лесного хозяйства в Карпатских горах с 2010 года проводится совместный словацко-украинский проект «Изучение продуктивности древостоев на основе данных постоянных участков в лесных экосистемах Карпатских гор», в котором участвуют словацкие исследователи из Национального лесного центра – Научно-исследовательского института лесного хозяйства (г. Зволен) и украинские исследователи из Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого (г. Харьков) и Закарпатского отделения УкрНИИГорлес (г. Мукачево).

Продуктивность лесов Карпат исследуется на постоянных пробных площадях в Словацких Карпатах и постоянных пробных площадях в Украинских Карпатах. Используются также данные временных пробных площадей и данные пробных площадей с подеревным картографированием, которые заложены с применением полевой ГИС-технологии *Field-Map* [8].

К настоящему времени в Словакии имеются ТХР для 15 древесных пород:

– ель, пихта, сосна, дуб, бук, клоны тополя Робуста, И-214, которые имеют оригинальную конструкцию (местные эмпирические данные, математическую модель ТХР образуют оригинальные регрессионные модели – высота, диаметр и запас насаждения);

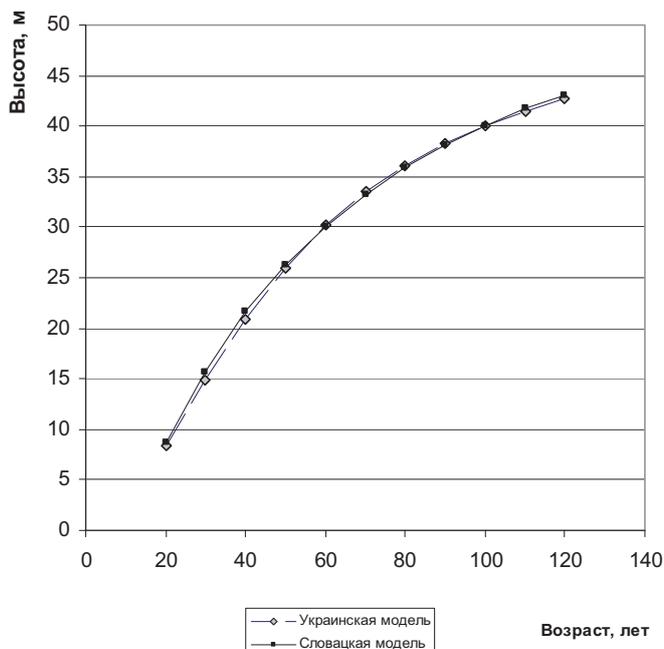
– лиственница – имеют комбинированную конструкцию; мера полноты определена по данным природных насаждений Словакии, остальные данные взяты из немецких ТХР [18];

– дугласия, граб, береза, порослевой дуб, ольха, акация, другие клоны тополя – приняты от разных авторов.

Таблица 2

Динамика средних высот и сумм площадей сечений

Возраст, лет	Высота, м			Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га		
	H (Украина)	H (Словакия)	Δ, %	G (Украина)	G (Словакия)	Δ, %
20	8,4	8,7	-3,6	26,2	29,4	-12,2
30	14,9	15,7	-5,4	45,7	40,5	11,4
40	20,9	21,6	-3,3	55,7	47,5	14,7
50	26	26,3	-1,2	60,3	52,6	12,8
60	30,2	30,1	0,3	62,6	56,5	9,7
70	33,5	33,2	0,9	63,7	59,7	6,3
80	36,1	35,9	0,6	64,4	62,2	3,4
90	38,3	38,1	0,5	64,8	64,4	0,6
100	40	40	0,0	65,0	66,2	-1,8
110	41,5	41,7	-0,5	65,2	67,7	-3,8
120	42,7	43,1	-0,9	65,3	69,1	-5,8



**Рис. 1. Сравнительная оценка динамики средних высот древостоев ели**

Словацкие исследователи при группировке исследовательских данных и построения таблиц вместо относительных классов бонитета (по М. М. Орлову) используют абсолютные высоты в 100-летнем (для ели, пихты, сосны, дуба, бука, дугласии), 50-летнем (для граба, порослевого дуба, березы, ольхи, акации) и 30-летнем возрасте (для тополя). В Словакии было опубликовано несколько изданий ТХР, последнее из которых вышло в 1998 г. [9].

В таблицах приводятся:

- первичные характеристики насаждения в целом: средняя высота ( $h1$ ), средний диаметр ( $d1$ ), объем среднего дерева ( $v1$ );

- первичные характеристики подчиненной части насаждения: объем ( $v3$ ), средний диаметр ( $d3$ ), средняя высота ( $h3$ );

- производные характеристики господствующей части насаждения и общей продуктивности.

Установлено три уровня запаса (1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий) в зависимости от лесорастительных областей, средний для Словакии уровень запаса для ели, пихты, бука и дуба принят 2,2, для сосны – 2,9.

Для клонов тополя моделирование динамики таксационных показателей проводилось с применением дифференциального уравнения для текущего прироста по средней высоте и диаметру [19]:

$$h'(t, h) = \frac{b1 \cdot h}{t^{b2}} \cdot \ln \left( \frac{b3}{h} \right) \quad (1);$$

$$d'(t, d) = \frac{b1 \cdot h}{t^{b2}} \cdot \ln \left( \frac{b3}{d} \right) \quad (2).$$

Всего на территории Словацкой Республики было заложено 1917 пробных площадей, в том числе в древостоях ели – 530, пихты – 234, сосны – 73, дуба – 374, бука – 706 пробных площадей. Во время подготовки данных для второго издания ТХР (1980), проведено 3518 повторных наблюдений на постоянных пробных площадях [20].

Сотрудники Научно-исследовательского института лесного хозяйства в г. Зволен zaloжили в Словакии 157 постоянных пробных площадей (ППП) в 1965–1973 гг., в том числе для: ели – 23, пихты – 55, дуба – 31, бука – 47 ППП. Сейчас сохранилось 125 ППП [13].

$$h1(A, k, n, t) = A \cdot \exp \left( \frac{k}{1-n} \cdot t^{1-n} \right) \quad (3),$$

Для моделирования хода роста по высоте древостоев в Словакии применяют функцию Корфа:

где  $A, k, n$  – параметры функции, которые характеризуют скорость роста и максимальное значение высоты;  $t$  – возраст, лет.

Моделирование проводилось как для средних ( $h1$ ), так и для верхних высот ( $hв$ ), которые имеют меньшую вариацию и практически не зависят от режима формирования древостоев [4, 6].

На основе функций Корфа проведено также моделирование динамики среднего диаметра ( $d1$ ):

$$d1(A, k, n, t) = -1,0 + A \cdot \exp \left( \frac{k}{1-n} \cdot t^{1-n} \right) \quad (4).$$

Для моделирования запаса применялась функция такого вида:

$$M = A_1 \cdot \exp((A_2 \cdot h1)^{A_3}) \quad (5),$$

где  $A$  – параметры функции,  $h1$  – средняя высота, м.

Сумма площадей сечений рассчитывалась как производная величина с учетом динамики запасов и видовых чисел.

Сравнение динамики высот и сумм площадей сечений для древостоев ели (базовая высота в 100 лет – 40 м) по данным украинских и словацких исследователей приведено в табл. 2.

Графическое отображение динамики средних высот приведено на рис. 1. По графику можно сделать вывод, что закономерности динамики высот для древостоев ели являются подобными. Несколько более высокими являются высоты древостоев в возрастном диапазоне до 40 лет по данным моделирования словацких исследователей. Максимальные отклонения по высоте (5,4%) наблюдаются в возрасте 30 лет. Разница значений сумм площадей сечений более существенна и достигает в 40-летнем возрасте 14,7%. Отмеченные различия могут быть связаны как с особенностями

моделей, так и отображать закономерности роста лесных насаждений в разных частях Карпатских гор.

## ВЫВОДЫ

Моделирование хода роста древостоев в Украине и Словацкой Республике проводится с применением подобных методических подходов. Сравнение значений высоты и сумм площадей сечений для еловых древостоев показывают достаточно близкие результаты. Необходимо исследовать другие лесотаксационные показатели и расширить список изучаемых лесообразующих древесных пород на основе проведения сопряженного анализа данных постоянных пробных площадей и ТХР в Украине и в Словацкой Республике.

Разработки словацких исследователей, которые касаются интенсивности рубок ухода для критической полноты, оптимизации возраста рубки древостоев на основании экономической оценки лесной продукции, а также методические разработки по оценке поврежденных лесов, необходимо проверить на адекватность в подобных природных условиях Карпатского региона Украины и при получении положительных результатов дать предложения по их использованию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коваль І. М.** Застосування дендрохронологічних методів для вивчення особливостей радіального приросту *Quercus robur* L. під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова / І. М. Коваль // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2007. – Вип. 106. – С. 180–191.
2. **Колосок О. М.** Продуктивність і структура фітомаси штучних лісостанів ялини звичайної в Українських Карпатах: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація» / О. М. Колосок. – К., 2002. – 20 с.
3. **Лакида П. І.** Штучні ялинові деревостани Українських Карпат – прогноз росту та продуктивності: Монографія / П. І. Лакида, В. М. Володимиренко. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 158 с.
4. **Лакида П. І.** Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля / П. І. Лакида, А. Г. Лашенко, М. М. Лашенко. – К.: ННЦ ІАЕ, 2006. – 196 с.
5. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / Швиденко А. З., Савич Ю. Н., Строчинский А. А. и др. – К.: Урожай, 1987. – 559 с.
6. **Пастернак В. П.** Регулирование продуктивности искусственных ельников Карпат: Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.03.02 «Лесоустройство и лесная таксація» / В. П. Пастернак – К., 1990. – 20 с.
7. **Строчинский А. А.** Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев / А. А. Строчинский, А. З. Швиденко, П. И. Лакида. – К.: УСХА, 1992. – 144 с.

чинский, А. З. Швиденко, П. И. Лакида. – К.: УСХА, 1992. – 144 с.

8. **Феннич В. С.** Использование ГИС Field-Map для мониторинговых работ по реформированию лесных насаждений в Закарпатской области / В. С. Феннич, А. В. Кичура, А. А. Люлько // Оборудование и инструмент для профессионалов. Сер. Деревообработка. – 2010. – №1. – С. 56–57.

9. **Halaj J.** Rastové tabuľky hlavných drevín / J. Halaj, R. Petráš. – Bratislava : Slovak Academic Press, 1998. – 326 p.

10. **Halaj J.** Percentá prebierok pre hlavné dreviny / J. Halaj, R. Petráš, J. Sequens // Lesnícke štúdie. – 1986. – V. 40. – 98 p.

11. **Petráš R.** Value production of damage spruce stands / R. Petráš // Ekológia (Bratislava). – 2002. – N 3 (21). – P. 239–250.

12. **Petráš R.** Dynamics of radial increments of oak due to climatic factors effect / R. Petráš, L. Brezina, J. Mecko // Ekológia (Bratislava). – 2007. – №3 (26). – P. 295–304.

13. **Petráš R.** Development of the primary values of yield tables of spruce in comparison with their development on permanent research plots / R. Petráš, L. Brezina, J. Mecko // Journal of Forest Science. – 2006. – N 4 (52). – P. 172–180.

14. **Petráš R.** Model of volume production of damaged spruce stands / R. Petráš, J. Mecko // Journal of Forest Science. – 2001. – № 4 (47). – P. 158–163.

15. **Petráš R.** Veränderungen des Volumenzuwachses der Waldkiefer (*Pinus silvestris*) in Zusammenhang mit Nadelverlusten / R. Petráš, J. Mecko // Forstw. Cbl. 122, 2003. – P. 115–126.

16. **Petráš R.** Changes in increment of spruce damaged by air pollution / R. Petráš, V. Nociar, J. Pajtík // Lesnictví. – 1993. – N 3–4 (39). – P. 116–122.

17. **Rubná zrelosť drevín** / J. Halaj, J. Bortel, J. Grék et al. // Lesnícke štúdie. – 1990. – V. 48. – 117 p.

18. **Schober R.** Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung / R. Schober // Frankfurt a. M. : J. D. Saurländers Verlag, 1987. – 166 p.

19. **Sloboda B.** Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung / B. Sloboda. – Mitt. d. Baden-Würt : FVFA, 32, 1971. – 109 p.

20. Yield tables for spruce, fir, oak and beech / J. Halaj, R. Petráš, F. Pánek, J. Grék. – Acta Instituti Forestalis Zvolenensis, 1988. – P. 197–211.

## MODELLING OF FOREST STANDS PRODUCTIVITY OF SLOVAK AND UKRAINIAN CARPATHIANS

**V. P. PASTERNAK, PhD,**  
**I. F. BUKSHA, PhD,**  
**M. I. BUKSHA, post-graduate student**  
**Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after**  
**G. M. Vysotsky (Kharkiv, Ukraine)**  
**R. PETRAS, PhD,**

**J. MECKO, PhD**  
National forest centre – Forest research institute  
(Zvolen, Slovak Republic)

**V. FENNYCH**  
Transcarpathian branch of UkrNDIgirlis  
(Mukacheve, Ukraine)

Peculiarities of forest stands productivity modeling in the Carpathian Mountains are discussed. The description of Principles dynamics modeling for taxation indicators which used in the Slovak Republic and comparison of the dynamics of average height and total basal area for spruce stands growing in the Slovak Republic and Ukraine.

**Key words:** *modeling, growth table, stands productivity, Carpathian Mountain.*

#### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЕРЕВОСТАНІВ СЛОВАЦЬКИХ ТА УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**В. П. ПАСТЕРНАК**, канд. с-г. наук,  
**І.Ф. БУКША**, канд. с-г. наук,  
**М. І. БУКША**, аспірант,  
Український науково-дослідний інститут  
лісового господарства та агролісомеліорації  
ім. Г. М. Висоцького (м. Харків, Україна)

**Р. ПЕТРАШ**, канд. наук,  
**Ю. МЕЦКО**, канд. наук,  
Національний лісовий центр – Науково-  
дослідний інститут лісового господарства  
(м. Зволєн, Словацька Республіка)  
**В. ФЕННИЧ**,  
Закарпатське відділення UkrNDIgirlis  
(м. Мукачеве, Україна)

Розглядаються особливості моделювання продуктивності деревостанів, що зростають у Карпатських горах. Наведено опис принципів моделювання динаміки лісотаксаційних показників, які застосовуються в Словацькій Республіці, подано порівняння динаміки середньої висоти та сум площ перерізів для деревостанів ялини, що зростають у Словацькій Республіці та в Україні.

**Ключові слова:** *моделювання, таблиці ходу росту, продуктивність деревостанів, Карпатські гори. Ne terte rei publicam ad sultoris.*