

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 630*53 (477.8)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

© 2014 г. Р. Д. Василюшин

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, 03041, Киев, ул. Героев обороны, 15*

E-mail: rvasylys@ukr.net

Поступила в редакцию 02.09.2014 г.

Современная практика лесохозяйственного производства в Украине, которая находится в процессе внедрения концептуальных изменений в систему управления лесным хозяйством на основе принципов устойчивого развития, требует значительного расширения действующего нормативно-информационного инструментария для оценки экологических функций лесов. С этой целью в течение 2012–2014 гг. в рамках международного проекта GESAPU (Geoinformation technologies, spatio-temporal approaches, and full carbon account for improving accuracy of GHG inventories) осуществлена разработка моделей и таблиц биопродуктивности для основных лесобразующих пород Украины. В статье приведены результаты моделирования динамики конверсионных коэффициентов основных компонентов фитомассы естественных модальных еловых древостоев Карпатского региона Украины на основании материалов 32 пробных площадей из базы данных «Фитомасса лесов Украины». По данным государственного учета лесов Украины по состоянию на 1.01.2011 г. еловые леса в Украинских Карпатах занимают площадь 426.2 тыс. га, из которых 45 % приходится на ельники естественного происхождения. Для оценки динамики продуктивности модальных еловых чистых и смешанных древостоев предложены модели запаса и общей производительности, которые получены с помощью ростовой функции Берталанфи. На основе этих моделей разработаны нормативно-справочные таблицы биологической продуктивности естественных модальных еловых насаждений Украинских Карпат. Для оценки энергетических возможностей лесного хозяйства Украины предложены таблицы энергетической продуктивности исследуемых насаждений. Построенные на основе таблиц биопродуктивности, они отражают динамические процессы аккумуляции энергии в компонентах фитомассы и могут использоваться в лесоустройстве для прогнозирования объемов энергетического древесного сырья.

Ключевые слова: биологическая продуктивность, энергетический потенциал, нормативно-справочные данные, еловые леса, Украинские Карпаты.

ВВЕДЕНИЕ

Современная практика лесохозяйственного производства в Украине, которая находится в процессе внедрения концептуальных изменений в систему управления лесным хозяйством на основе принципов устойчивого развития, требует значительного расширения действующего нормативно-информационного инструментария для оценки экологических функций лесов. Большинство утверж-

денных к использованию лесотаксационных нормативов направлено на оценку ресурсов стволовой древесины и недооценивает остальные компоненты фитомассы лесных насаждений, которые играют важную биосферную роль и ощутимо влияют на биохимические потоки в лесных экосистемах. Заполнить существующие пробелы в системе нормативно-информационного обеспечения лесной отрасли могут новые лесотаксационные нормативы, основным видом которых

являются модели и таблицы биопродуктивности насаждений, позволяющие сделать пофракционную оценку динамики накопления живого органического вещества, приростов фитомассы, депонированного углерода и чистой первичной продукции лесов.

В последние годы получены существенные результаты в области изучения биопродуктивности лесов Северной Евразии. Так, группа ученых под руководством профессора А. З. Швиденко разработала модели и таблицы биопродуктивности для основных лесобразующих пород Северной Евразии, рекомендованные для практического использования Федеральным агентством лесного хозяйства Российской Федерации (Швиденко и др., 2008), и профессор В. А. Усольцев опубликовал серию монографий (Усольцев, 2007).

В Украине комплексные системные исследования в этой области на протяжении последних десятилетий проводят ученые Национального университета биоресурсов и природопользования (НУБиП) Украины под руководством профессора П. И. Лакиды (Лакида, 2002; Лакида и др., 2013; Lakyda et al., 2013). Эти исследования связаны с изучением компонентов биологической продуктивности лесов – фито- и мортмассы, а также их влияния на ресурсно-энергетический баланс.

В течение 2012–2014 гг. в рамках международного проекта GESAPU учеными Международного института прикладного системного анализа (IIASA) и НУБиП Украины осуществлена разработка моделей и таблиц биопродуктивности для основных лесобразующих пород Украины.

Еще одним не менее важным как с экономической, так и с экологической точки зрения является направление исследований, которое связано с использованием лесных ресурсов в качестве возобновляемого энергетического сырья для замены ископаемых видов топлива. В этом контексте древесная биомасса еловых лесов Украинских Карпат может выступать наиболее дешевым и доступным источником возобновляемой энергии с минимальными затратами на ее создание и потребление.

В данной работе рассматриваются основные показатели биологической продуктивнос-

ти естественных еловых древостоев Карпатского региона Украины, включая динамику фитомассы по фракциям и возможности ее использования для энергетических целей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

По данным государственного учета лесов Украины по состоянию на 1.01.2011 г. еловые леса, находящиеся в ведомственном подчинении Государственного агентства лесных ресурсов Украины (Довідник, 2012), в четырех областях Карпатского региона (Львовской, Ивано-Франковской, Закарпатской и Черновицкой) занимают 426.2 тыс. га. Распределение площади этих лесов по административным областям довольно неравномерное: они сосредоточены в основном в Ивано-Франковской (49.4 %) и Закарпатской (26.9 %) областях, а в Львовской (11.9 %) и Черновицкой (11.8 %) их значительно меньше. Преобладают средневозрастные древостои (46.9 %). Это, как правило, леса искусственного происхождения, которые созданы в послевоенные годы после значительного увеличения объемов лесозаготовок в лесах Карпат. Доля естественных еловых насаждений не превышает 45 % (Довідник, 2012).

Методической базой научных исследований послужили как общенаучные методы познания (системный анализ, синтез, обобщение и классификация), так и специальные лесотаксационные методики (Лакида, 2002). Основой для создания нормативно-справочных таблиц динамики биопродуктивности по компонентам фитомассы послужили данные 32 пробных площадей (ПП) из базы данных «Фитомасса лесов Украины» кафедры лесного менеджмента НУБиП Украины, а также модели динамики запаса и общей продуктивности исследуемых древостоев.

Сбор и обработка опытных данных на временных ПП осуществлялась по методике П. И. Лакиды (2002), которая основывается на сочетании таксационных и биометрических методов. Таксационная характеристика ПП приведена в табл. 1. Запасы фракций фитомассы определялись на основе измерений 3–9 модельных деревьев на каждой пробе. Всего срублено и измерено 210 моделей.

Таблица 1. Таксационная характеристика временных ПП и запасы надземной фитомассы древостоев по фракциям

Код ПП	Таксационный показатель					Запас фракций фитомассы древостоя*, т·га ⁻¹			
	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Запас, м ³ ·га ⁻¹	крон		стволов	
		Диаметр, см	Высота, м			Хвоя	Ветви	Древесина	Кора
07038701	90	38.5	36.5	I ^c	781	13.4	18.6	245.9	20.1
07038702	64	35.0	31.4	I ^c	734	11.8	20.4	236.4	15.1
07038703	104	46.4	38.6	I ^c	361	12.5	17.2	112.5	10.6
07038704	38	24.8	22.9	I ^c	566	21.1	29.6	183.2	11.0
07038705	82	48.0	35.9	I ^c	610	9.2	10.8	197.4	11.8
07038706	70	34.6	32.6	I ^c	542	6.0	8.3	175.5	10.5
07038707	45	23.5	23.9	I ^c	533	12.1	13.8	170.4	12.2
07038708	82	32.7	31.0	I ^b	621	16.0	23.1	199.8	13.0
07038709	68	32.0	28.3	I ^b	557	7.1	9.8	175.6	14.8
07038711	32	15.5	17.8	I ^c	229	14.1	14.9	72.6	5.6
07038712	16	7.6	6.3	I	30	10.6	11.2	9.0	1.3
07038715	28	10.8	11.9	I	206	10.8	12.7	64.5	5.9
07038716	33	10.1	9.6	II	219	12.4	14.6	69.0	5.8
07038717	30	8.3	7.9	III	93	7.2	11.0	29.4	2.4
07038801	20	6.7	7.8	I	44	7.6	7.7	13.3	1.6
07038814	35	13.3	13.9	I	210	7.1	10.0	65.3	6.5
07038817	17	4.3	3.8	III	15	3.7	3.1	4.2	0.8
07038901	26	10.6	10.6	I	105	8.1	8.4	32.0	3.6
07038902	33	13.8	16.2	I ^a	349	12.1	14.8	110.0	9.4
07038903	35	14.7	17.2	I ^a	381	14.0	15.4	119.3	10.9
07038905	31	11.9	12.3	I	131	8.4	9.1	40.7	4.1
07039102	19	6.9	6.2	II	44	11.4	6.6	12.9	2.1
07039103	11	3.6	3.1	II	9	6.6	3.4	2.5	0.5
07039104	17	5.6	4.7	II	19	7.7	6.2	5.6	1.0
07039105	22	7.8	8.6	I	92	16.3	10.1	27.4	3.5
07039106	42	23.0	21.3	I ^b	473	19.3	25.7	149.8	12.1
07039107	135	39.5	31.2	I	608	14.4	29.9	194.1	14.0
07039108	41	20.4	21.8	I ^b	403	13.7	16.5	126.6	11.0
09039109	23	7.8	6.6	II	50	10.7	12.3	14.5	2.3
09039110	32	15.5	15.9	I ^a	342	20.8	34.4	107.3	9.5
09039111	59	24.5	23.4	I ^a	301	7.5	12.0	97.3	5.9
09039112	48	17.5	19.3	I	312	11.2	14.9	99.3	7.4

* В абсолютно сухом состоянии.

Процесс разработки нормативно-справочных таблиц биологической и энергетической продуктивности естественных модальных еловых насаждений состоял из следующих этапов: изучение опыта исследования фитомассы; сбор, обработка и анализ опытных данных; моделирование запаса и общей продуктивности; установление качественных показателей компонентов фитомассы; моделирование конверсионных коэффициентов компонентов фитомассы и проверка точности и адекватности моделей; разработка соответствующих нормативов и их верификация.

Моделирование динамики запаса и общей продуктивности исследуемых насаждений осуществлялось с помощью ростовой функции Берталанфи, известной как функция Ричардса-Чепмена, уравнение которой имеет следующий вид (Швиденко и др., 2008; Щепаченко и др., 2008):

$$X_i = a_1 \left(1 - \exp(-a_2 \cdot A)\right)^{a_3}, \quad (1)$$

где X_i – таксационные показатели, которые моделируются; A – возраст древостоя, лет; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты регрессии.

С целью выравнивания исходных данных по отдельным классам бонитета коэффициенты уравнения (1) были аппроксимированы с помощью следующего выражения (Швиденко и др., 2008):

$$a_i = a_{i3} \cdot B^2 + a_{i2} \cdot B + a_{i1}, \quad (2)$$

где B – код класса бонитета (–2 для I^c класса бонитета, –1 для I^b класса, 0 – для I^a, 1 – I, 2 – II класса и т. д.).

Для моделирования конверсионных коэффициентов компонентов фитомассы (R_v), которые характеризуют отношение массы той или иной фракции древостоя к его запасу в коре, использована многомерная функция, рекомендованная А. З. Швиденко и др. (2008). Она нелинейная и не монотонна по переменным, что подтверждено нашими экспериментальными данными, и достаточно гибка в отражении изменения конверсионных коэффициентов. После отбора значимых переменных функция приобрела следующий вид (Швиденко и др., 2008):

$$R_v = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot P^{a_3} \cdot \exp(a_4 \cdot A + a_5 \cdot P), \quad (3)$$

где A – средний возраст насаждения, лет; B – код класса бонитета (3 для I^c класса бонитета, 4 для I^b класса, 5 для I^a; 6 – I; 7 – II и т. д.); P – относительная полнота; $a_0, a_1, a_2 \dots a_5$ – коэффициенты регрессии.

Разработка таблиц энергопродуктивности осуществлялась с использованием переводных коэффициентов содержания энергии в 1 т депонированного углерода, которые приведены в работах (Shvidenko et al., 2004; Васьилишин, 2013).

Базовыми показателями, используемыми при разработке нормативного обеспечения для оценки компонентов фитомассы деревьев, являются плотность, влажность и содержание абсолютно сухого вещества в свежесрубленных деревьях. Знание этих показателей позволяет рассчитать содержание сухого вещества во фракциях фитомассы (Лакида, 2002; Лакида и др., 2013).

В ходе работы использованы усредненные параметры качественных показателей компонентов фитомассы еловых древостоев (Лакида, 2002), приведенные в табл. 2.

Таблица 2. Средняя плотность компонентов фитомассы ели европейской в Карпатах

Вид	Плотность ($\rho \pm m_p$), кг·(м ³) ⁻¹		
	древесины	коры	древесины в коре
	Стволовой части		
Естественная	849±20	779±16	833±16
Базисная	346±8	299±11	344±10
	Ветвей		
Естественная	990±20	984±18	986±10
Базисная	557±9	428±12	523±11

Для фотосинтезирующей фракции деревьев ели характерны следующие качественные параметры: доля хвои во фракции древесной зелени – 66.3 %, содержание абсолютно сухого вещества в свежей хвое – 0.56.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка системы моделей и комплекса нормативно-справочных таблиц для оценки биопродуктивности лесных фитоценозов является необходимой предпосылкой перехода лесоустройства к количественной таксации базовых экологических функций лесов.

Таблицы биопродуктивности рассчитаны на основе моделей динамики стволового запаса и общей продуктивности древостоев (см. уравнения (1) и (2)), количественные параметры коэффициентов регрессии которых для чистых и смешанных еловых древостоев приведены в табл. 3.

С целью проверки разработанных моделей проведено сравнение исходных и смоделированных данных. Средняя квадратичная разница между ними не превышала ± 3 %. Адекватность моделирования проверяли по анализу остатков, а значимость коэффициентов на 5%-м уровне определяли с помощью t -критерия Стьюдента.

Моделирование динамики конверсионных коэффициентов осуществлено для таких компонентов, как ствол в коре, ветки и хвоя. Множественные регрессионные уравнения для оценки конверсионных коэффициентов для фитомассы корневых систем, подлеска, подроста и живого напочвенного покрова заимствованы из литературных источников (Швиденко и др., 2008, 2014).

Параметры уравнений коэффициентов R_v фракций фитомассы еловых насаждений представлены в табл. 4.

Таблица 3. Коэффициенты уравнений динамики таксационных показателей модальных еловых древостоев

Коэффициенты уравнения (1)	Показатели по группам древостоев			
	чистым		смешанным	
	Запас	Общая продуктивность	Запас	Общая продуктивность
a ₁₁	7.533E+02	1.475E+03	7.302E+02	1.206E+03
a ₁₂	-1.191E+02	-2.402E+02	-1.206E+02	-2.128E+02
a ₁₃	2.235E+00	5.780E+00	3.368E+00	8.124E+00
a ₂₁	3.125E-02	1.723E-02	3.508E-02	2.232E-02
a ₂₂	9.549E-05	1.762E-04	6.506E-04	6.796E-04
a ₂₃	-2.163E-04	-1.481E-04	-4.364E-04	-3.323E-04
a ₃₁	2.833E+00	2.112E+00	3.417E+00	2.578E+00
a ₃₂	1.114E-01	7.675E-02	1.951E-01	1.410E-01
a ₃₃	-2.120E-02	-1.321E-02	-5.316E-02	-3.465E-02

Таблица 4. Коэффициенты уравнений динамики конверсионных коэффициентов (R_v)

Фракция фитомассы	Коэффициенты уравнений						R ²
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	
Ствол	1.0734	-0.3081	-0.0227	0.3650	0.0071	-0.2734	0.92
Ветви	0.08896	-0.4277	0.3910	-0.5934	0.0005	0.3636	0.84
Хвоя	0.0996	-0.3586	0.4828	-0.2916	-0.0015	-0.6799	0.83

В результате проведенного моделирования получены математические модели, связывающие фитомассу отдельных компонентов еловых насаждений с их стволовым запасом. На их основе полученные зависимости (см. табл. 3 и 4) развернуты в нормативно-справочные таблицы динамики биопроductивности модальных (чистых и смешанных) естественных еловых древостоев Украинских Карпат. Фрагменты нормативов для чистых древостоев I^a класса бонитета представлены в табл. 5.

Приведенные в нормативах фитомасса имеющегося древостоя и общая продуктивность фитомассы являются ключевыми для понимания биопроductивности лесных экосистем. Первый показатель отражает количество живого органического вещества, зафиксированного в насаждении определенного возраста, тогда как общая продуктивность фитомассы насаждения в определенном возрасте показывает объем всей накопленной фитомассы за весь период существования насаждения. Иными словами, общая продуктивность фитомассы есть накопленная чистая первичная продукция лесных экосистем. Это важно для практического использования предложенных таблиц (Швиденко и др., 2008).

Еще одно направление современных лесных исследований, которое тесно связано с

изучением биопроductивности лесных фитоценозов, – лесная биоэнергетика, в частности энергетический потенциал древесной биомассы и оптимизация его использования для замены ископаемых видов топлива при условии соблюдения требований устойчивого управления лесами. В последние десятилетия экологическая стабилизация окружающей среды и энергетическое обеспечение жизнедеятельности человека рассматривались как два не связанных процесса. Использование возобновляемой древесной биомассы для производства энергии при наличии должного научного сопровождения может существенно улучшить разумное сочетание экологических и энергетических интересов общества.

В настоящее время поиск альтернативных источников возобновляемой энергии в условиях полной зависимости Украины от стран-экспортеров энергоресурсов наряду с очень высокими национальными показателями затрат энергии на единицу продукции является стратегической задачей для большинства отраслей экономики страны, в том числе и для лесного хозяйства.

Для успешного решения задач оценки энергетических возможностей лесного хозяйства требуется корректная и объективная оценка общей энергопродуктивности лесов, особенно в многолесных регионах страны, к которым и относится Карпатский регион.

Таблица 5. Динамика биопроductивности чистых естественных модалных насаждений ели европейской (бонитет – I^в)

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, тга ⁻¹										Общая продуктивность фитомассы, тга ⁻¹	Текущий прирост фитомассы, тга ⁻¹ год ⁻¹		Углерод фитомассы, тга ⁻¹			
	Ствол	В том числе кора	Древесина кроны	Древостой					Всего	Подрост и подрост		Напочвенный покров	Всего	насаждения	по общей продуктивности	насаждения	по общей продуктивности
				Ствол	Кора	Хвоя	Вся наземная	Корни									
10	7.1	1.2	1.9	1.2	10.2	4.1	14.3	0.0	0.1	0.1	14.5	26.9	2.80	4.04	7.2	13.3	
20	29.4	3.4	6.5	4.3	40.2	13.2	53.4	0.1	0.2	0.2	53.7	88.4	4.60	6.96	26.6	43.6	
30	60.2	5.7	11.6	7.7	79.4	22.9	102.4	0.2	0.3	0.3	102.8	172.4	5.00	8.94	51.0	84.8	
40	93.4	7.9	16.0	10.4	119.8	31.1	150.8	0.2	0.3	0.3	151.4	270.7	4.68	10.14	75.1	132.7	
50	125.7	9.9	19.3	12.3	157.4	37.0	194.4	0.3	0.3	0.3	195.0	377.1	4.10	10.80	96.9	184.4	
60	154.6	11.7	21.9	14.0	190.6	44.0	234.5	0.4	0.4	0.4	235.3	492.1	3.77	11.67	116.9	240.1	
70	180.5	13.3	23.8	15.2	219.5	49.9	269.3	0.5	0.4	0.4	270.2	611.1	3.27	11.98	134.3	297.7	
80	203.7	14.8	25.0	15.9	244.6	55.0	299.6	0.5	0.5	0.5	300.6	732.1	2.86	12.14	149.4	356.2	
90	224.8	16.3	25.7	16.3	266.8	59.5	326.3	0.6	0.5	0.5	327.4	854.1	2.55	12.22	162.8	415.0	
100	244.3	17.9	26.1	16.5	286.9	63.5	350.4	0.7	0.5	0.5	351.6	976.0	2.33	12.17	174.9	473.6	
110	263.5	19.5	26.1	16.3	305.9	66.2	372.1	0.7	0.6	0.6	373.4	1095.3	2.12	11.86	185.8	530.9	
120	282.1	21.1	26.0	16.0	324.1	68.7	392.8	0.8	0.6	0.6	394.2	1212.9	2.05	11.72	196.2	587.4	
130	300.6	23.0	25.8	15.7	342.0	71.0	413.1	0.9	0.6	0.6	414.6	1328.7	2.03	11.52	206.4	642.9	
140	319.3	25.0	25.5	15.3	360.1	73.3	433.4	0.9	0.7	0.7	435.0	1442.5	2.06	11.32	216.7	697.5	

Таблица 6. Энергопродуктивность чистых естественных модальных слесовых насаждений (бонитет – I^в) (фрагмент)

Возраст, лет	Энергоемкость насаждения, ГДжга ⁻¹										Текущий прирост энергии, ГДжга ⁻¹ год ⁻¹		
	Древостой										Общая энергопродуктивность, ГДжга ⁻¹	наличности	по общей продуктивности
	Ствол	В том числе кора	Древесина кроны	Хвоя	Вся наземная фитомасса	Корни	Всего	Подроски и подрост	Напочвенный покров	Всего			
10	126.9	21.5	34.0	19.3	180.2	73.3	253.5	0.8	1.6	255.1	475.6	25.51	47.56
20	525.7	60.8	116.2	69.2	711.1	236.0	947.1	1.8	3.2	952.1	1559.1	69.70	108.35
30	1076.4	101.9	207.4	123.9	1407.7	409.5	1817.1	3.6	4.8	1825.5	3032.4	87.34	147.33
40	1670.0	141.3	286.1	167.4	2123.4	556.1	2679.5	3.6	4.8	2687.9	4745.4	86.24	171.29
50	2247.5	177.0	345.1	197.9	2790.5	661.6	3452.1	5.4	4.8	3462.3	6594.1	77.44	184.88
60	2764.2	209.2	391.6	225.3	3381.1	786.7	4167.8	7.2	6.4	4181.4	8586.0	71.91	199.18
70	3227.3	237.8	425.5	244.6	3897.5	892.2	4789.7	8.9	6.4	4805.1	10645.8	62.37	205.98
80	3642.2	264.6	447.0	255.9	4345.0	983.4	5328.4	8.9	8.0	5345.4	12737.7	54.03	209.20
90	4019.4	291.4	459.5	262.3	4741.2	1063.9	5805.1	10.7	8.0	5823.9	14840.4	47.85	210.27
100	4368.1	320.1	466.7	265.5	5100.3	1135.4	6235.7	12.5	8.0	6256.2	16935.9	43.23	209.55
110	4711.4	348.7	466.7	262.3	5440.3	1183.7	6624.0	12.5	9.7	6646.2	18985.0	39.00	204.90
120	5043.9	377.3	464.9	257.5	5766.3	1228.4	6994.7	14.3	9.7	7018.6	21005.4	37.24	202.04
130	5374.7	411.2	461.3	252.6	6088.7	1269.5	7358.2	16.1	9.7	7383.9	22990.1	36.53	198.47
140	5709.1	447.0	455.9	246.2	6411.2	1310.6	7721.8	16.1	11.3	7749.2	24942.6	36.53	195.25

Таблица 7. Общее содержание энергии в фитомассе еловых насаждений Карпат

Показатель	Административная область Карпатского региона			
	Закарпатская	Ивано-Франковская	Львовская	Черновицкая
Запас стволовой древесины, млн м ³	59.6	89.4	26.9	23.4
Фитомасса, млн т	41.1	56.3	17.3	14.2
В том числе надземная	32.2	43.9	13.4	11.1
Депонированный углерод, млн т	20.4	28.0	8.6	7.1
В том числе в надземной	15.8	21.7	6.6	5.5
Плотность углерода, кг·(м ²) ⁻¹	12.2	9.4	10.5	9.9
Энергии в фитомассе, пдж	729.5	1001.3	307.5	253.9
В том числе в надземной	565.0	776.0	236.0	196.7

С этой целью разработаны нормативы, отражающие динамику энергопродуктивности естественных еловых лесов региона. Для их разработки использованы количественные параметры энергоемкости 1 т углерода, депонированного в фитомассе (Швиденко и др., 2000; Shvidenko et al., 2004; Василишин, 2013), и приведенные ранее таблицы динамики биопродуктивности. В результате проведенных расчетов получены нормативно-справочные таблицы энергопродуктивности естественных (чистых и смешанных) еловых насаждений Карпат (табл. 6).

Построенные на основе таблиц биопродуктивности, они отражают динамические процессы аккумуляции энергии в компонентах фитомассы исследуемых насаждений и могут использоваться в лесоустройстве для прогнозирования объемов энергетического древесного сырья.

В настоящее время общее содержание энергии в компонентах надземной фитомассы лесов Украинских Карпат достигает 8221.6 ПДж. По своему эквиваленту это ориентировочно соответствует 279.0 млн т условного топлива (т у. т.), в том числе для еловых древостоев 2292.2 ПДж или 77.8 млн т у. т., пихтовых – 354.0 или 12.0 млн, буковых – 3955.1 или 134.1 млн. Энергетическая доля других древесных видов составляет 19.7 % или 1620.3 ПДж (табл. 7).

Основная доля аккумуляции энергии в фитомассе еловых лесов сосредоточена в Ивано-Франковской области (44 %), значительно ниже этот показатель для Закарпатской области (32 %) и очень низкий – для Львовской и Черновицкой областей – 13 и 11 % соответственно. При этом энергоемкая

плотность фитомассы самая высокая в Закарпатье – 4.6 ТДж·га⁻¹. На Прикарпатье и Львовщине упомянутые показатели составляют 3.7 и 3.5 ТДж·га⁻¹ соответственно. Низкое значение характерно для лесов Черновицкой области – 3.4 ТДж·га⁻¹. Почти 80 % от общего объема энергии сосредоточено в надземной фитомассе (фитомасса стволов и крон деревьев, подроста и подлеска, а также живого напочвенного покрова).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние нормативно-информационного обеспечения лесной отрасли требует значительного расширения знания отдельных экологических функций лесов. В этом контексте биоэнергетический потенциал лесов является важной и недостаточно разработанной проблемой. Предложенные в статье нормативно-справочные таблицы биологической и энергетической производительности модальных еловых насаждений представляют собой инструмент для экологического прогнозирования и мониторинга лесных экосистем Украинских Карпат, а также для оценки энергетического потенциала древесной биомассы при проектировании оптимального использования лесозергетических ресурсов региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Василишин Р. Д. Біофізичні основи лісової біоенергетики // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету: збірник наукових праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2013. Вип. 23.4. С. 29–34.

- Довідник лісового фонду України: укладений спеціалістами виробничо-технологічного відділу ВО «Укрдержліспроєкт» за матеріалами державного обліку лісів станом на 01.01.2011 р. Ірпінь: ВО «Укрдержліспроєкт», 2012. 130 с.
- Лакида П. І. Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч, 2002. 56 с.
- Лакида П. І., Василюшин Р. Д., Домашовець Г. С. Нормативно-информационное обеспечение для оценки надземной фитомассы деревьев хвойных лесобразующих пород Украины // Лесн. таксация и лесоустройство. 2013. № 1(49). С. 34–38.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
- Швиденко А. З., Лакида П. І., Щепаченко Д. Г. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В. М., 2014. 283 с.
- Швиденко А. З., Нильсон С., Столбовой В. С. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета надземных экосистем России. 1. Запасы фитомассы и мертвой растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403–410.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильсон С., Булуй Ю. И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные мат-лы). М.: ОАО «Московск. типогр. № 6», 2008. 887 с.
- Щепаченко Д. Г., Швиденко А. З., Шалаев В. С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода листовенничных лесов северо-востока России. М.: МГУЛ, 2008. 296 с.
- Lakyda P., Vasylyshyn R., Zibtsev S., Bilous A., Lakyda I. Bioproductivity of Ukrainian forests in conditions of global climate change // Earth Bioresources and Life Quality. Int. Sci. Electron. J. 2013. V. 4. <http://gcheraejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/154/118>
- Shvidenko A., Nilsson S., Obersteiner M. Wood for bioenergy in Russia: Potential and reality // Wood Energy. May 2004. P. 323–340.

Biological and Energy Productivity of Natural Spruce Forests in the Ukrainian Carpathians

R. D. Vasilishyn

National University of Life Sciences and Environment of Ukraine

Geroev Oborony str., 15, Kiev, 03041 Ukraine

E-mail: rvasylys@ukr.net

The modern practice of forestry production in Ukraine, which is in the process of implementing the conceptual changes in forest management and harmonization of its basic approaches to the basics of sustainable development, requires a significant expansion of the current regulatory and informational tools used to assess the ecological functions of forests. For this purpose, during the 2012–2014, as part of an international project GESAPU, models and tables of bioproductivity for forest tree species in Ukraine were completed. The article presents the results of modeling the dynamics of the conversion coefficients for the main components of phytomass of modal natural spruce forests of the Carpathian region of Ukraine based on information from 32 plots in the database of «Forest Phytomass of Ukraine». According to the state forest accounting of Ukraine as of January 1, 2011, the spruce forests in the Ukrainian Carpathians cover an area of 426.2 thousand ha, 45 % of which are spruce of natural origin. To evaluate the productivity of modal dynamics of pure and mixed spruce stands, the study developed models of the stock and overall productivity, derived by Bertalanffy growth function. On the basis of these models, normative reference tables of biological productivity of natural modal spruce forests of the Ukrainian Carpathians were developed. To successfully meet the challenges of evaluating the energy possibilities of forestry of Ukraine, the study used tables of energetic productivity of investigated stands. Built on the basis of the tables of bioproductivity, they reflect the dynamic processes of energy storage in the phytomass components and can be used in forest management to predict volumes of energetic woods.

Keywords: *biological productivity, energy potential, normative and reference tables, spruce forests, Ukrainian Carpathians.*