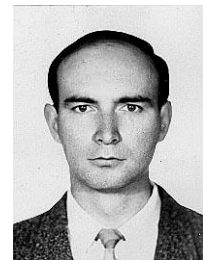


УДК 674: 630*161.2

Э.А. Курбанов

Курбанов Эльдар Аликрамович родился в 1965 г., окончил в 1989 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Марийского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ по вопросам оценки углеродного бюджета сосновых лесов Среднего Поволжья.



УГЛЕРОД В ПРОДУКТАХ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ*

Показано, что количество углерода в продуктах из древесины зависит от их терминального использования и скорости разложения на полигоне.

Ключевые слова: глобальное потепление, лесные экосистемы, баланс углерода, лесоматериалы.

Вопросы депонирования углерода (С) и его резервуаров приобретают все большее значение во всем мире с принятием большинством государств рамочной конвенции ООН по изменению климата и ее киотских соглашений. Россия, обладая огромными лесными ресурсами, могла бы получить значительные дивиденды от предусмотренных мероприятий. В частности, выполнение совместных проектов могло бы дать хороший стимул для развития лесной отрасли [4].

В последние годы проведено много исследований роли лесов в глобальном цикле углерода и потенциала лесных экосистем, депонирующих углерод в своей биомассе [3, 8–11, 13, 15–18, 21]. Большинство авторов этих работ рассматривают лесные насаждения, но некоторые включают также и продукцию деревообрабатывающей промышленности (далее продукты). Например, С. Row и R. Phelps [20] разработали модель, демонстрирующую содержание углерода в древесине с момента ее заготовки до конечного использования. R.C. Dewar и M.G. Cannell [12] исследовали углеродные потоки в древостое, почве и лесоматериалах различных лесных насаждений Великобритании в зависимости от условий их местопроизрастания. А.С. Исаев и др. [2] дали развернутый анализ структуры и состояния лесного фонда России, оценку бюджета углерода в лесных экосистемах, а также рассмотрели потенциальные возможности его депонирования лесной растительностью. W.A. Kurz и др. [19] определили запасы углерода и его потоки в лесных насаждениях и продуктах из древесины за один год в Канаде.

Первый период депонирования углерода включает фиксацию CO₂ в процессе фотосинтеза лесными насаждениями в ходе их роста. Этот период зависит от породного состава, оборота рубки и нарушений насаждения

* Поддерживается грантом INTAS Европейского союза № YSF00–7.

(пожары, вредители, болезни и т. п.). Второй период начинается с момента заготовки леса и его переработки в различные продукты и изделия. В этот период определенная часть углерода возвращается в атмосферу в процессе сжигания и разложения древесины, но значительная часть остается в изделиях из нее и на полигоне твердых бытовых отходов.

Цель наших исследований – оценить углеродный баланс и выявить процессы распределения углеродных потоков в продуктах из древесины, произведенных в Республике Марий Эл. Работа проведена с использованием статистических данных об ежегодной заготовке и переработке древесины [1, 6, 7]. В исследованиях выделены этапы: заготовка и переработка древесины в лесоматериалы, эксплуатация этих продуктов и разложение на полигоне твердых бытовых отходов. Период моделирования потоков и запасов углерода принят 100 лет.

Углерод в заготовленной древесине. Трансформация древесины в лесоматериалы, продукты и дрова основывается на средней заготовке леса по главному и промежуточному пользованию в Республике Марий Эл в течение пяти лет (1996–2001 гг.).

Объем ствола конвертировался в сухую массу и углерод по формулам

$$M = PV; C_m = C_c M,$$

где M – сухая масса ствола, кг;

V – объем ствола, м³;

P – плотность древесины, кг/м³;

C_m – масса углерода древесной породы;

C_c – содержание углерода в древесине.

Плотность древесины в абс. сухом состоянии принимали для каждой породы по существующим нормативам, а содержание углерода в древесине в среднем принято 0,52 от абс. сухой массы [17].

Углерод в лесопроизводстве оценивали на основе модели, которая трансформирует заготовленную древесину в различные изделия из нее. При этом прослеживается весь период жизни продукта до эмиссии углерода обратно в атмосферу (рис. 1). Результаты вычислений учитывают ежегодное количество углерода в изделиях из древесины, находящихся в пользовании и на полигоне твердых бытовых отходов.

Средний ежегодный поток углерода ($ПС_t$) в изделиях из древесины вычисляют по формуле

$$ПС_t = (CZ_{0t} - ЭД_t)/t,$$

где CZ_{0t} – углерод в заготовленной древесине в начале моделирования;

$ЭД_t$ – эмиссия углерода в отходах деревообработки;

t – время, лет.

В связи с тем, что изделия из древесины в течение всего времени изымаются из оборота, поток C в древесных изделиях ($ПИ_t$), находящихся в пользовании, вычисляется как

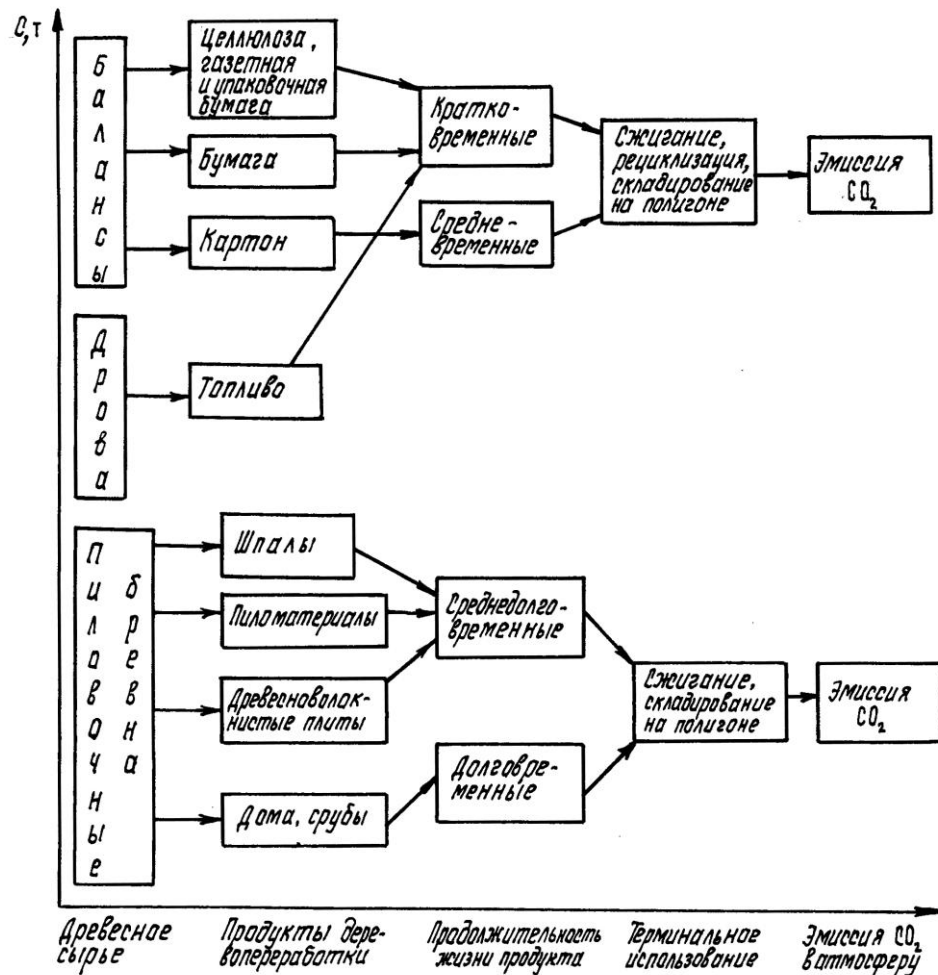


Рис. 1. Схема использования продуктов деревопереработки

$$ПИ_i = (ПС_i - СП_i)/t,$$

где $СП$ – углерод в изделиях из древесины на полигоне твердых бытовых отходов.

Поток углерода ($ПП$) для древесных продуктов на полигоне вычисляется как

$$ПП_i = (СП_i - ЭР_i)/t,$$

где $ЭР$ – выделившийся в атмосферу углерод в процессе разложения продуктов на полигоне.

Общий запас C в продуктах из древесины (M_c) вычисляется как сумма двух потоков ($ПИ_i$ и $ПП_i$).

Вся древесина была подразделена на три категории: пиловочные бревна, балансы и отходы. Древесина в Республике Марий Эл используется

Таблица 1

Группа продуктов по продолжительности использования	Параметры для вычислений				Пило-воч-ник	Строитель-ные бревна, ДВП, шпальник	Бумага и кар-тон	Целлю-лоза	Дрова
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>					
Кратковременные	120	5	0,5	120	–	–	34	14	100
Средневременные	120	5	0,065	120	50	50	66	86	–
Долговременные	120	5	0,03	120	50	50	–	–	–

* Полученная химическим способом.

в виде строительных бревен, пиловочника, фанеры, целлюлозы, бумаги, дров.

Все продукты по продолжительности их использования подразделяли на три группы: кратко-, средне- и долговременные. Кратковременная группа включает древесное топливо; газетную, упаковочную, переплетную и писчую бумагу. К средневременным продуктам отнесены часть пиловочника и фанеры, все остальные – долговременные продукты.

Продолжительность использования продуктов деревообработки [20] вычисляли по формуле

$$p_i = d - \frac{a}{1 + b \exp(-ct)},$$

где

p_i – группа используемого продукта;
 a, b, d (без единиц), c (год⁻¹) – параметры.

Полученные данные занесены в табл. 1.

Когда кончается срок эксплуатации продукта деревопереработки, он может быть подвергнут рециклизации, использован в качестве топлива и/или помещен на полигон твердых бытовых отходов. При сжигании такого продукта углерод сразу выделяется в атмосферу, в то время как на полигоне он медленно разлагается в зависимости от анаэробных условий.

Основы вычислений. Расчеты производят с учетом всей продолжительности использования продукта, определяя возможность группы продуктов сохранять углерод. Вычисления учитывают содержание С в группе продуктов, полученных в первый год, который берется за начало исследований, а также его «утечку» на различных фазах использования продукта (рис. 2). При этом принимают во внимание следующие положения:

основная масса углерода находится в продуктах деревопереработки, а остальная выделяется в атмосферу при гниении и сжигании побочных продуктов (опилки, кора и т. п.) и дров;

продукты находятся в эксплуатации или на полигоне бытовых отходов;

исчерпавшие свой срок древесные продукты могут быть подвергнуты рециклизации, сожжены для производства энергии или складированы на полигоне твердых бытовых отходов;

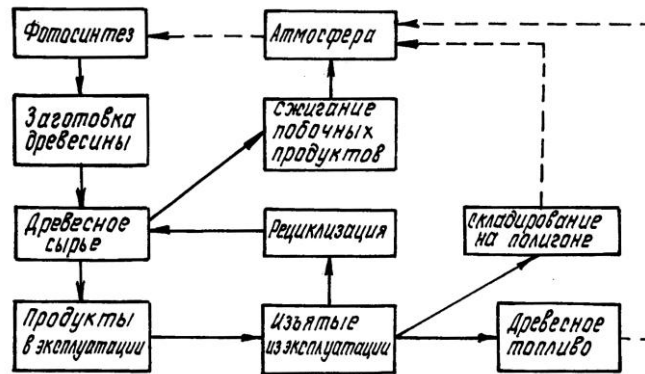


Рис. 2. Освобождение углерода из продуктов деревопереработки

при изъятии из эксплуатации: 40% продукта сжигалось и 60 % оставалось на полигоне;

скорость разложения продуктов на полигоне составляла 5 % в год. Этот показатель в большей степени зависит от аэробных условий и наличия влаги, поэтому в каждом конкретном случае он может изменяться;

продолжительность освобождения углерода из продуктов деревопереработки рассматривалась в течение 100 лет.

В работе был проанализирован вариант баланса углерода в продуктах деревообработки, основанный на данных средних ежегодных заготовок ликвидной древесины от рубок промежуточного и главного пользования в Республике Марий Эл за период 1995–2000 гг. на площади 30 тыс. га лесного фонда. В течение этого времени заготовка древесины от рубок главного пользования сократилась от 0,9 до 0,5 млн м³. Запас углерода в заготовленной ликвидной древесине, в том числе от промежуточного пользования, в среднем за исследуемый период ежегодно составлял 296 тыс. т (1008 тыс. м³), из которого 28 % (66 тыс. т) представлено хвойными породами (сосна, ель) и 72 % (230 тыс. т) – лиственными (в основном березой и осиной).

Углерод в лесоматериалах. Количество углерода в ежегодно заготавливаемой деловой древесине составило 178, дровяной – 118 тыс. т. Углерод в деловой древесине распределился по сортаментам: пиловочник – 116, балансы – 32, строительные бревна – 23, шпальник – 5, технологическое сырье – 2 тыс. т.

Углерод в продуктах деревопереработки. В конечном итоге, с учетом потерь с отходами деревообрабатывающего производства, углерод в лесопродуктах и дровах по продолжительности срока существования распределился таким образом, как показано в табл. 2.

Древесина, использованная для производства первоначальной группы продуктов, содержала 178 тыс. т углерода (табл. 3). При распиловке пиловочного сырья, составляющего до 65 % от общей заготовленной деловой древесины, образуются кусковые отходы, опилки и кора. Общий выход

Таблица 2

Группа продуктов	Содержание С, тыс. т.			
	первоначальное	через		
		10 лет	20 лет	30 лет
Кратковременные	40	14	0	0
Средневременные	67	55	35	12
Долговременные	18	17	15	12
Дрова	118	15	0	0

Таблица 3

Компонент	Потоки углерода, тыс. т, в течение, лет								
	1	5	10	20	30	40	50	75	100
Процесс производства продукта:									
Заготовка древесины	178	178	178	178	178	178	178	178	178
Отходы деревоперерабатывающей промышленности	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Конечный продукт	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Эксплуатация продукта:									
Произведенные продукты	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Изъятые из пользования	–	12	38	74	101	107	111	117	119
Продукты в эксплуатации	125	113	87	51	24	18	14	8	6
Терминальное (конечное) использование продуктов:									
Сжигание продуктов	–	5	15	30	40	43	44	47	48
Отходы на полигоне	–	7	23	44	61	64	67	70	71
Разложение на полигоне	–	–	18	31	46	55	61	66	70
Продукты на полигоне твердых бытовых отходов	–	7	5	13	15	9	6	4	1
Баланс:									
Конечный продукт	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Сжигание продуктов	–	5	15	30	40	43	44	47	48
Разложение на полигоне	–	–	18	31	46	55	61	66	70
Депонирование	125	120	92	64	39	27	20	12	7

отходов после первичной и вторичной деревопереработки достигает 30 % [1]. В настоящее время в Республике Марий Эл данный вид отходов не используется и в лучшем случае сжигается или остается на полигоне. В этом случае углерод отходов непосредственно выделяется в атмосферу в процессе горения и разложения.

В течение моделируемого периода (100 лет) из пользования изъято 119 тыс. т углерода, заключенного в продуктах деревопереработки. Из них 48 тыс. т сожжены, а 71 тыс. т помещена на полигоне твердых бытовых отходов. В процессе разложения продуктов деревопереработки в атмосферу выделилось 70 тыс. т. Общее количество углерода, депонированного в про-

дуктах, находящихся в пользовании и на полигоне на конец моделирования, за вычетом сожженных и разложившихся продуктов составило 7 тыс. т.

В 90-е гг. в Республике Марий Эл из ежегодно заготавливаемой древесины (296 тыс. т углерода) около 42 % (125 тыс. т) перерабатывалось в различные продукты. Остальной депонированный углерод (58 %) возвращался в атмосферу при сжигании древесного топлива и разложении отходов переработки. Через 20 лет с момента заготовки древесины количество углерода в продуктах деревопереработки в эксплуатации и на полигоне достигло 29 и 7 % соответственно от первоначально заготовленной древесины, а через 75 лет – 4 и 2 %.

Анализ баланса углерода показал, что его количество в продуктах деревопереработки в большей степени зависит от терминального (конечного) использования и скорости разложения на полигоне. Продление срока возможно при увеличении производства долговременных продуктов деревопереработки и складировании продуктов на полигоне твердых бытовых отходов после их изъятия из оборота эксплуатации.

Исследования содержания углерода в продуктах деревопереработки проводились для гипотетического периода 100 лет, практически совпадающего с оборотом рубки основных хвойных пород региона, из древесины которых изготавливают продукты средне- и долговременного пользования. Этим достигается непрерывность депонирования и сохранения углерода лесным насаждением – существование углерода в долговременном древесном продукте совпадает с периодом роста самого леса.

Общая способность продуктов сохранять углерод, выражаемая отношением объема углерода в произведенных продуктах к ежегодно заготавливаемому объему древесного углерода, для Республики Марий Эл составляет 42 %. Для сравнения скажем, что в США этот показатель равен 61 % [13], в Финляндии – до 68 % [15]. Низкий показатель эффективности деревообрабатывающей промышленности в депонировании углерода в Республике Марий Эл объясняется тем, что большое количество древесины сжигается в виде топлива и нерационально используются отходы первичной и вторичной переработки древесины. Нерешенным остается вопрос рециклизации продуктов деревопереработки. Потребление вторичных ресурсов играет заметную роль в экономике многих ведущих стран. Утилизация всех ценных отходов превращается в одну из главных социально-экономических и технических проблем устойчивого развития общества. Потребление рециклированной бумаги выросло от 20 % в 1965 г. до 40 ... 52 % (Франция, Германия, Япония) и даже 68 % (Англия, Нидерланды, Израиль) в 1996 г. [4]. В Республике Марий Эл, как и в целом в России, до сих пор не уделяют должного внимания данному направлению в использовании отходов. В республике из отходов деревообрабатывающей и бумажной промышленности перерабатывается только макулатура. Все остальные отходы в лучшем случае поступают на полигоны твердых бытовых и промышленных отходов.

Предложенная модель расчета потоков углерода в продуктах деревопереработки может быть дополнена другими вариантами, исходящими из

полной вырубке расчетной лесосеки, оптимального терминального использования и рециклизации продуктов после эксплуатации. Исследования могут способствовать уточнению оценки регионального бюджета углерода лесных насаждений и лесного сектора в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл в 1998 году. – Йошкар-Ола: Мин-во экологии и природопользования Республики Марий Эл, 1999. – 190 с.
2. Исаев А.С. и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих и др. – М.: Центр экологической политики России, 1995. – 155 с.
3. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 248 с.
4. Курбанов Э.А. Новые возможности использования лесов Поволжья в свете международных обязательств России по изменению климата // Глобальное потепление и леса Поволжья: Материалы международ. науч.-практ. семинара. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – С. 5–18.
5. Курбанов Э.А., Яковлев И.А. Международные аспекты устойчивого управления лесами: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 180 с.
6. Промышленность России: Стат. сб. / Под ред. А.Е. Суринова. – М.: Госкомстат России, 2000. – 300 с.
7. Регионы России: Стат. сб. в 2-х т. / Под ред. В.И. Галицкого. – М.: Госкомстат России, 1999.
8. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. – Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. – 170 с.
9. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 540 с.
10. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3–20.
11. Cannell M.G.R. Forest and the global carbon cycle in the past, present and future // Research report 2, EFI: Joensuu, 1995. – 66 p.
12. Dewar R.C., Cannell M.G. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples // Tree Physiology. – 1992. – N 11. – P. 49–71.
13. Harmon M.E., Harmon J.M., Ferrell W.K. Modeling carbon stores in Oregon and Washington forest products: 1900-1992 // Climatic change. – 1996. – N 33. – P. 521–550.
14. Karjalainen T. Dynamics of the carbon flow through forest ecosystems and the potential of carbon sequestration in forests and wood in Finland: Academic Dissertation. – Faculty of forestry, University of Joensuu, 1996. – 80 p.
15. Karjalainen T., Kellomaki S., Pussinen A. Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon // Silva Fennica. – 1994. – Vol. 28, N 2. – P. 67–80.
16. Kolchugina T.P., Vinson T.S. Role of Russian forests in the global carbon cycle // Ambio. – 1995. – Vol. 24, N 5. – P. 258–264.
17. Kurbanov E.A. Carbon in pine forest ecosystems of Middle Zavolgie // Internal report of the European Forest Institute. – Joensuu: EFI, 2000. – 80 p.

-
18. *Kurbanov E., Krankina O.* Woody detritus in temperate pine forests of Western Russia // *World Resources Review*. – 2000. – Vol.12, N 4. – P. 741–754.
19. *Kurz W. A.* a.o. The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase I. for Canada / *W.A.Kurz, M. J. Apps, T.M. Webb, P.J. McNamee*. – Edmonton, 1994. – 93 p.
20. *Row C., Phelps R.* Tracing the flow of carbon through U.S. forest product sector // Presentation at the 19th World Congress, IUFRO, 1990.
21. *Sokolov P.A., Kurbanov E.A.* Estimation of organic carbon stocks in crown phytomass of pine stands in the Central Povolgie region of Russia // *Environmental Management and Health*. – 1997. – Vol. 8, N 2. – P. 88–93.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 26.02.02

E.A. Kurbanov

Carbon in Wood-based Products of Mari El Republic

Amount of carbon in wood-based products is shown to depend on its terminal use and decay speed in landfills.
