

УДК 630*2:546.26

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА В РЕЗЕРВУАРЕ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В МАЛОНАРУШЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ БЕЛАРУСИ

С. А. ЖДАНОВИЧ¹⁾, А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ¹⁾

¹⁾ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича» НАН Беларуси,
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

Определены запасы углерода в резервуаре крупных древесных остатков (КДО) в малонарушенных сосновых суходольных лесах Беларуси. Средние значения запаса углерода в разрезе групп возраста составили: 6,5 т С га⁻¹ в молодняках (21–40 лет), 9,0 т С га⁻¹ в средневозрастных (41–60 лет), 10,1 т С га⁻¹ в приспевающих, 9,1 т С га⁻¹ в спелых и 12,3 т С га⁻¹ в перестойных насаждениях, или 15,6, 11,5, 11,5, 11,3 и 14,4 % от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущей части древостоя соответственно. Для КДО сосны, ели и березы, включающих сухостой и валеж 1–5 стадий разложения, рассчитаны коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода.

Ключевые слова: малонарушенные сосновые леса; крупные древесные остатки; стадии разложения; запас углерода.

DIFFERENTIAL ESTIMATION OF CARBON STORE CONTAINED IN THE COARSE WOODY DEBRIS POOL IN THE BELARUSSIAN NEAR NATURAL PINE FORESTS

S. A. ZHDANOVICH^a, A. V. PUGACHEVSKIY^a

^aThe state scientific establishment «Institute of experimental botany of V. F. Kuprevich
of the National Academy of Sciences of Belarus»,
Academicheskaya street, 27, 220072, Minsk, Belarus
Corresponding author: avp@biobel.bas-net.by

Stores of carbon contained in the coarse woody debris (CWD) pool in the Belorussian near natural upland pine forests were determined. Average values of carbon store for different forests age groups were calculated: 6,5 ton C ha⁻¹ in young-growth (aged 21–40), 9,0 ton C ha⁻¹ in middle-aged (aged 41–60 лет), 10,1 ton C ha⁻¹ in ripening, 9,1 ton C ha⁻¹ in mature and 12,3 ton C ha⁻¹ in old-growth forests. It's equivalent to 15,6, 11,5, 11,5, 11,3 and 14,4 % of carbon store contained in the trunks of the living stands for above forest groups, respectively. The coefficients for conversion of CWD store into carbon mass for pine, spruce and birch coarse woody debris, including snags and logs of 1–5 decay stages were calculated.

Key words: near natural pine forests; coarse woody debris; decay stages; carbon store.

Образец цитирования:

Жданович С. А., Пугачевский А. В. Дифференцированная оценка запаса углерода в резервуаре крупных древесных остатков в малонарушенных сосновых лесах Беларуси // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2017. № 1. С. 101–108

For citation:

Zhdanovich S. A., Pugachevskiy A. V. Differential estimation of carbon store contained in the coarse woody debris pool in the Belarussian near natural pine forests. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2017. No. 1. P. 101–108. (in Russ.).

Авторы:

Сергей Анатольевич Жданович – научный сотрудник сектора мониторинга растительного мира.
Пугачевский Александр Викторович – кандидат биологических наук; директор ИЭБ им. В. Ф. Купревича.

Authors:

Sergey A. Zhdanovich, researcher of sector of vegetation monitoring.
zhsa82@mail.ru
Aleksandr V. Pugachevskiy, PhD (biological); director of Kuprevich institute of experimental botanics.
avp@biobel.bas-net.by

Введение

Способность депонировать и удерживать в органическом веществе атмосферный углерод обуславливает важную роль лесных экосистем в углеродном балансе биосферы [1–3]. Бореальные леса, занимающие около 33 % поверхности суши, содержат 25 % растительного и 60 % почвенного углерода, что составляет около 50 % глобальных запасов углерода, заключенного в биомассе и почве [4–6].

Исследование роли древесных остатков в углеродном цикле является относительно новым направлением [7–9]. В последнее время они рассматриваются не только как источник образования атмосферного CO_2 [7; 10–11], но и благодаря продолжительному периоду деструкции в естественных условиях [12–14], как пул долговременного хранения углерода [9], особенно в бореальных лесах [15–16]. Накопление и деструкция КДО в результате их ксилолиза вносит существенный вклад в формирование углеродного баланса лесной экосистемы. Поступив в отпад, валеж и сухостой, постепенно разлагаясь, выделяют в атмосферу углекислый газ и принимают активное участие в формировании баланса углерода в лесной экосистеме. В ряде случаев древесные остатки способны обеспечивать частичную компенсацию углеродных потерь почвы при лесоразведении на бывших сельскохозяйственных землях [17].

В соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата, ее стороны (в их числе Республика Беларусь) должны содействовать рациональному использованию накопителей всех парниковых газов, включая биомассу и леса [18]. Кроме того, Парижское соглашение, принятое на двадцать первой сессии конференции сторон Рамочной конвенцией ООН об изменении климата, состоявшейся 30 ноября – 11 декабря 2015 г. в Париже и подписанное Белорусской стороной, призывает к увеличению накоплений углерода в лесах в развивающихся странах [19]. Выполнение международных обязательств в области изменения климата подразумевает составление баланса углерода для страны в целом, что невозможно без адекватных оценок запасов углерода в отдельных пулах, в том числе такого насыщенного углеродом резервуара, как КДО в лесных экосистемах.

В Беларуси сведения о фактических актуальных запасах древесных остатков (сухостоя и захламленности) в лесном фонде фиксируются при проведении базового лесоустройства лесхозов и других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, каждые 10 лет. Сухостой, валеж и бурелом учитываются при их суммарном объеме не менее $10 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, оценка осуществляется глазомерно, с точностью $10 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. При этом не учитывается распределение древесных остатков по породам и степени деструкции. Если в эксплуатационных лесах запасы древесных остатков, как правило, невысоки и представлены главным образом единичным древесным отпадом, пнями и мелкими фракциями древесного детрита (порубочные остатки, веточный опад и др.), то в условиях естественной динамики лесных экосистем доля КДО может составлять от четверти до половины запаса растущего древостоя [20–21], при этом древесный отпад представлен различными стадиями разложения, отличающимися по плотности древесины и, следовательно, содержанию (на единицу объема) углерода. В таких экосистемах для адекватной оценки бюджета и потоков углерода, заключенного в КДО, необходимо определение его содержания в древесных остатках с учетом их породного состава, типа и степени разложения.

Цель данной работы – выполнить количественную оценку запаса углерода в резервуаре КДО в малонарушенных (естественно развивающихся), характеризующихся отсутствием или незначительной степенью антропогенного нарушения, биологически устойчивых сосновых насаждениях Беларуси, а также рассчитать коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на 37 пробных площадях (ПП), расположенных в сосновых насаждениях Березинского биосферного заповедника, национальных парков «Беловежская пуща» и «Нарочанский», Борисовского и Осиповичского опытных лесхозов, Полоцкого учебно-опытного лесхоза, Полоцкого лесхоза и Боровлянского спецлесхоза. В возрастном спектре обследованных насаждений были представлены молодняки, средневозрастные, припевающие, спелые и перестойные древостои 2–10 классов возраста мшистого, черничного, орлякового и кисличного типов леса. Насаждения на всех ПП были малонарушенными: относились к биологически устойчивым, в них отсутствовали очаги вредителей и болезней, древесный отпад формировался, преимущественно, за счет единичных угнетенных или старых деревьев, относительная полнота была нормальной для данного возраста, отсутствовали следы любых рубок и других воздействий, способствующих образованию древесного отпада.

Дифференциация валежа по степени деструкции проводилась с помощью шкалы разложения валежной древесины, модифицированной нами [22] на основе шкалы стадий разложения валежа ели, предложенной В. Г. Стороженко [12]. Абсолютно сухую массу ствольной древесины растущих деревьев, свежих валежа и бурелома рассчитывали по формуле:

$$Ph_{\text{ств}} = M \times [(1 - K) \times \rho_6 + K \times \rho_k] : 1000, \quad (1)$$

где $Ph_{\text{ств}}$ – абсолютно сухая масса, т/га;

M – запас стволовой древесины в коре, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$;

K – доля коры в объеме ствола, взятая из литературных источников [23];

ρ_6 – базисная плотность древесины, взятая из литературных источников [24], кг м^{-3} ;

ρ_k – плотность коры, взятая из литературных источников [23], кг м^{-3} .

Для перевода запаса валежа 1–5 стадий разложения в абсолютно сухую массу ($Ph_{\text{кдо}}$) использовали показатель базисной плотности, который рассчитывали как отношение массы абсолютно сухого образца к его фактическому объему при полевой влажности. Образцы отбирались из валежа и сухостоя сосны, ели и березы. Из стволов выпиливались поперечные спилы толщиной примерно 5 см, которые тут же взвешивались с точностью 0,5 г. У каждого спила измерялись два диаметра в перпендикулярных друг другу направлениях и четыре значения толщины, объем вычислялся по формуле цилиндра. При невозможности вычислить объем частично разложившихся образцов геометрически, их объем определяли ксилотрихическим методом, а в случае сильно разложившейся древесины отбор образцов производился стальным цилиндром с известным объемом [25]. В лабораторных условиях образцы высушивались при температуре 105 °С до постоянной массы. Всего для определения базисной плотности было обработано 136 образцов. Средние значения базисной плотности были рассчитаны для сухостоя и валежа сосны, ели и березы в разрезе стадий разложения. Для КДО осины и дуба, единично встречавшихся в обследованных насаждениях, базисная плотность КДО была рассчитана путем пропорционального изменения величины базисной плотности свежесрубленной стволовой древесины этих пород, рассчитанной с учетом базисной плотности древесины, плотности и доли коры, взятых из литературных источников [23–24]. Для расчета пропорции использовались соотношения базисной плотности свежесрубленной стволовой древесины березы и березового сухостоя или валежа различных стадий разложения.

Содержание углерода в КДО определяли для образцов с известным значением базисной плотности, отобранных из валежа сосны, ели и березы на анализаторе VARIO EL III фирмы ELEMENTAR методом сжигания с последующей газовой хроматографией. Долю углерода в сухом веществе (CF) растущих стволов, сухостоя, свежего валежа и бурелома по умолчанию принимали 0,5 [26]. Для валежа 1–5 стадий разложения этот показатель устанавливали на основании вычисленных в разрезе стадий разложения средних значений базисной плотности, с использованием полученных нами [27] регрессионных моделей, представленных уравнениями (2–4) для валежа сосны, ели и березы соответственно.

$$C_c = -4,16 \times \ln \rho_6 + 73,52, \quad R^2 = 0,83, \quad (2)$$

$$C_e = -5,14 \times \ln \rho_6 + 79,70, \quad R^2 = 0,65, \quad (3)$$

$$C_b = -4,28 \times \ln \rho_6 + 76,47, \quad R^2 = 0,78, \quad (4)$$

где C_c , C_e , C_b – содержание углерода в абсолютно сухой массе валежа сосны, ели и березы, %;

ρ_6 – базисная плотность валежа, кг м^{-3} ;

R^2 – коэффициент детерминации.

Конверсионные коэффициенты (C/M) для перевода запаса КДО в запас углерода рассчитывались по формуле (5), запас углерода в резервуаре валежа по формуле (6) и запас углерода в резервуаре стволовой древесины растущих деревьев, свежего валежа и бурелома по формуле (7):

$$C/M = 0,001 \times \rho_6 \times CF, \quad (5)$$

$$C_{\text{кдо}} = Ph_{\text{кдо}} \times CF, \quad (6)$$

$$C_{\text{ств}} = Ph_{\text{ств}} \times 0,5, \quad (7)$$

где C/M – конверсионный коэффициент перевода запаса КДО в запас углерода, т С м^{-3} ;

$C_{\text{кдо}}$ – запас углерода в резервуаре валежа, т С га^{-1} ;

$C_{\text{ств}}$ – запас углерода в резервуаре стволовой древесины растущих деревьев, свежего валежа и бурелома, т С га^{-1} ;

CF – доля углерода в абсолютно сухой массе КДО.

Статистические показатели оценки средних значений базисной плотности и запаса углерода рассчитывались в соответствии с [28].

Результаты исследования и обсуждение

Наибольшим содержанием углерода в единице объема для всех древесных пород характеризовался сухостой, что связано с более высокими, по сравнению с другими фракциями КДО, средними значениями базисной плотности, вследствие меньшей деструкции и влажности сухостоя, которая в среднем была меньше предела гигроскопичности древесины. Содержание углерода в единице объема (коэффициенты конверсии) крайних стадий разложения валежа в зависимости от древесной породы отличалось в 3,4–4,4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Базисная плотность, содержание углерода и коэффициенты конверсии *С/М* для КДО сосны, ели и березы

Table 1

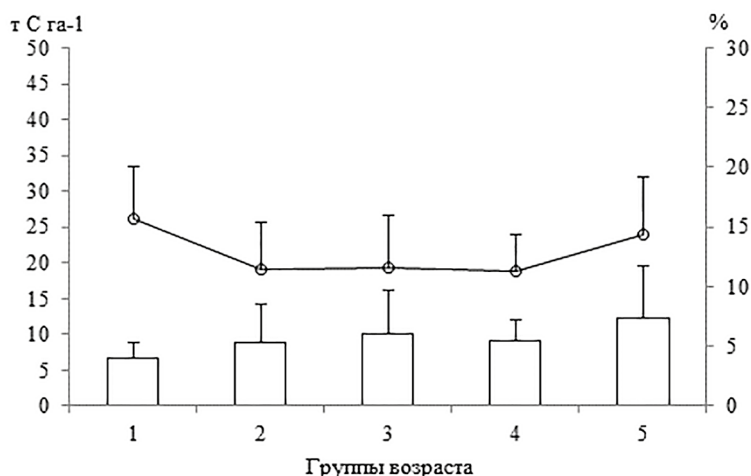
Reference density, carbon concentration and conversion rates for CWD of pine, spruce and birch

Древесная порода	Тип КДО и стадии разложения	$\rho_0 \pm SD$, кг м ⁻³	Cv, %	Cs, %	C, %	Коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода, т С м ⁻³
Сосна	Сухостой	442 ± 27,8	6,3	1,9	50,0	0,221
	Валеж					
	1	393 ± 36,2	9,2	1,7	48,7	0,191
	2	318 ± 15,5	4,9	1,2	49,5	0,158
	3	242 ± 20,3	8,4	1,8	50,7	0,123
	4	128 ± 6,6	5,2	2,6	53,3	0,068
	5	106 ± 9,5	8,9	3,4	54,1	0,057
Ель	Сухостой	426 ± 35,4	8,3	5,9	50,0	0,213
	Валеж					
	1	354 ± 21,5	6,1	2,0	49,5	0,175
	2	302 ± 8,5	2,8	1,2	50,3	0,152
	3	215 ± 21,0	9,8	4,9	52,1	0,112
	4	81 ± 7,3	9,0	4,5	57,1	0,046
	5	69 ± 3,2	4,6	2,7	57,9	0,040
Береза	Сухостой	530 ± 6,4	1,2	0,8	50,0	0,265
	Валеж					
	1	486 ± 72,4	14,9	7,4	50,0	0,243
	2	315 ± 12,7	4,0	2,9	51,8	0,163
	3	245 ± 27,8	11,3	6,5	52,9	0,130
	4	187 ± 17,0	9,1	5,3	54,1	0,101
	5	114 ± 8,1	7,1	4,1	56,2	0,064

Примечание. ρ_0 – базисная плотность (средние значения), SD – стандартное отклонение, Cv – коэффициент вариации, Cs – точность оценки базисной плотности, C – содержание углерода в абсолютно сухой массе КДО.

С использованием коэффициентов конверсии, приведенных в табл. 1, и измеренных запасов КДО в разрезе древесных пород и стадий разложения были рассчитаны абсолютные (в тоннах углерода на 1 га) и относительные (в процентах от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущей части древостоя) величины запаса углерода, которые проанализированы в разрезе групп возраста обследованных насаждений. Средние абсолютные величины запаса углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста составили: в молодняках второго класса возраста 6,55, средневозрастных – 8,96, приспевающих – 10,06, спелых – 9,06 и перестойных насаждениях – 12,31 т С га⁻¹. Иная динамика запаса углерода была отмечена при рассмотрении его относительных значений. В молодняках средний относительный запас углерода был максимальным – 15,6 %, в средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях он практически не отличался и составил 11,5, 11,5 и 11,3 % соответственно, а в перестойных насаждениях был равен 14,4 % (рис. 1).

Такое соотношение относительного запаса углерода в разрезе возрастных групп вполне объяснимо динамикой процессов прироста и отпада в ходе роста сосновых древостоев. Интенсивное естественное изреживание в сосновых молодняках приводит к накоплению древесных остатков, представленных слабо разложившимися высокоуглеродистыми фракциями (главным образом сухостоем).



Группы возраста насаждений: 1 – молодняки (21–40 лет), 2 – средневозрастные (41–60 лет), 3 – приспевающие (61–80 лет), 4 – спелые (81–120 лет), 5 – перестойные (свыше 120 лет)

Рис. 1. Средние величины абсолютного (столбцы) и относительного (линия) запасов углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста и стандартные отклонения (вертикальные планки)

Fig. 1. Average values of absolute (columns) and relative (lines) carbon store contained in the coarse woody debris pool for different forests age groups, and standard deviations (vertical bars)

По мере дальнейшего роста насаждений конкурентные отношения между деревьями становятся менее острыми, происходит увеличение запаса древостоя, одновременно снижается величина текущего отпада, в результате естественной деструкции в запасе КДО увеличивается доля средне- и сильно разложившихся фракций. В перестойных насаждениях, вследствие естественного старения, процессы отпада начинают преобладать над приростом, что приводит к накоплению запасов углерода в резервуаре КДО с одновременным уменьшением запаса углерода в растущей части древостоя.

Статистический анализ результатов показал, что даже в пределах одной группы возраста, рассчитанные запасы углерода сильно варьировали ($C_v = 34\text{--}61,3\%$). Столь существенное варьирование и низкая точность оценки ($11,5\text{--}29,4\%$) абсолютных запасов углерода вызваны различной продуктивностью обследованных древостоев, которая положительно связана с запасом стволовой древесины, величинами прироста и текущего отпада.

В отличие от абсолютного запаса, диапазон варьирования значений относительного запаса в пределах групп возраста был уже ($C_v = 26,9\text{--}38,7\%$), а точность оценки существенно выше ($9,1\text{--}16,6\%$) (табл. 2).

Таблица 2

Средние (для групп возраста) значения запаса углерода в резервуаре КДО и статистические оценки

Table 2

Average (for age groups) values of carbon store in the coarse woody debris pool and statistical assessments

Группа возраста	Абсолютный запас углерода в резервуаре КДО			Относительный запас углерода в резервуаре КДО		
	Среднее $\pm$ SD, т С га ⁻¹	C_v , %	C_s , %	Среднее $\pm$ SD, %	C_v , %	C_s , %
Молодняки	6,55 $\pm$ 0,75	36,3	11,5	15,6 $\pm$ 1,41	28,6	9,1
Средневозрастные	8,96 $\pm$ 1,30	57,9	14,5	11,5 $\pm$ 0,97	33,8	8,4
Приспевающие	10,06 $\pm$ 2,18	61,3	21,7	11,5 $\pm$ 1,58	38,7	13,7
Спелые	9,06 $\pm$ 1,16	34,0	12,8	11,3 $\pm$ 1,15	26,9	10,2
Перестойные	12,31 $\pm$ 3,62	58,7	29,4	14,4 $\pm$ 2,40	33,2	16,6

Примечание. SD – стандартное отклонение, C_v – коэффициент вариации, C_s – точность оценки.

В связи с этим использование данного относительного показателя для приблизительной оценки запаса углерода в резервуаре КДО малонарушенных сосняков предпочтительнее.

Корреляционный анализ показал, что наиболее сильная положительная связь наблюдается между абсолютным запасом углерода в резервуаре КДО и запасом углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя (коэффициент корреляции 0,79) (табл. 3).

Таблица 3

Корреляция запаса углерода в резервуаре КДО с таксационными показателями древостоев

Table 3

Correlation of carbon store in the coarse woody debris pool with taxation timber stand indices

Показатель	Коэффициент корреляции
Группа возраста	0,36
Класс возраста	0,39
Возраст	0,42
Запас стволовой древесины растущего древостоя, м ³ га ⁻¹	0,76
Запас углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя, т С га ⁻¹	0,79

Высокое значение коэффициента корреляции свидетельствовало о наличии между данными показателями связи близкой к линейной. С помощью регрессионного анализа установлено, что наиболее статистически достоверно зависимость между абсолютным запасом углерода в резервуаре КДО и запасом углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя описывает уравнение прямой с коэффициентом детерминации 0,63 (рис. 2).

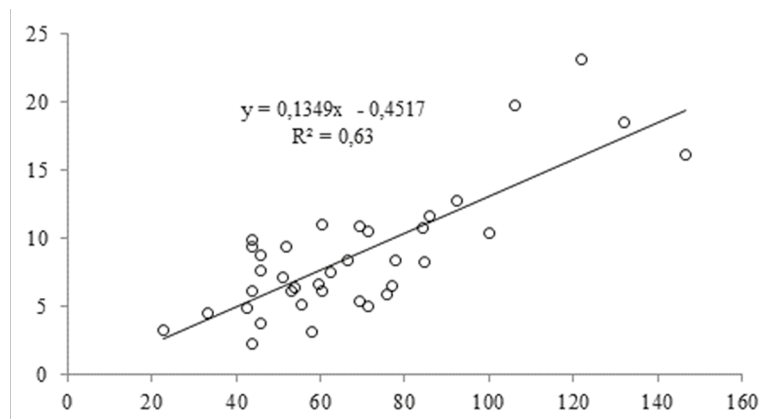


Рис. 2. Линейная модель зависимости абсолютного запаса углерода в резервуаре КДО от запаса углерода в резервуаре стволовой древесины растущего древостоя

Fig. 2. linear dependence of absolute carbon store in the coarse woody debris pool from carbon store in stem wood pool of growing timber stand

Заключение

Полученные данные по запасу углерода в резервуаре КДО в разрезе групп возраста малонарушенных сосновых лесов, равно как и регрессионная модель связи данного показателя со стволовым запасом углерода в растущей части древостоя, целесообразно использовать для расчета бюджета углерода в биологически устойчивых малонарушенных (леса заповедников, заповедные зоны национальных парков и др.) насаждениях суходольных типов леса сосновой формации Беларуси. Данный расчет может быть произведен с привлечением данных лесоустройства и лесного кадастра. Коэффициенты конверсии запаса КДО в массу углерода позволят повысить точность оценки углеродного пула КДО при внедрении в лесостроительную практику протоколов полевых измерений, учитывающих помимо запаса КДО, их породный состав и распределение по стадиям разложения.

Библиографические ссылки

1. Kolchugina T. A., Vinson T. S. Role of Russian forests in the global carbon balance // *Ambio*. 1995. Vol. 24, № 5. P. 258–264.
2. Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. и др. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // *Лесоведение*. 2001. № 5. С. 8–23.
3. Myneni R. B., Dong J., Tucker C. J., et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2001. Vol. 98, No. 26. P. 14784–14789.
4. Apps M. J., Kurz W. A., Luxmoore W. A., et al. Boreal forests and Tundra // *Water, Air and Soil Pollution*. 1993. Vol. 70. P. 39–53.
5. Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems // *Science*. 1994. Vol. 263. P. 185–190.
6. Schlesinger W. H. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*. San Diego: Academic Press, 1997.
7. Krankina O. N., Harmon M. E. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. P. 227–238.
8. Yatskov M. A., Harmon M. E., Krankina O. N. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia // *Canad. J. of Forest Research*. 2003. Vol. 33. P. 1211–1226.
9. Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P., et al. Woody debris along an upland chronosequence in Boreal Manitoba and its impact on long-term carbon storage // *Canad. J. of Forest Research*. 2005. Vol. 35. P. 472–482.
10. Knohl A., Kolle O., Minayeva T. Y., et al. Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw // *Global Change Biology*. 2002. Vol. 8. P. 231–246.
11. Wang C. K., Bond-Lamberty B., Gower S. T. Environmental controls on carbon dioxide flux from black spruce coarse woody debris. 2002. Vol. 132. P. 374–381.
12. Стороженко В. Г. Датировка разложения валежа ели // *Экология*. 1990. № 6. С. 66–69.
13. Стороженко В. Г. Датировка разложения крупных древесных остатков в лесах различных природных зон // *Лесоведение*. 2001. № 1. С. 49–53.
14. Стороженко В. Г., Шорохова Е. В. Биогеоценотические и ксилотитические параметры устойчивых таежных ельников // *Грибные сообщества лесных экосистем*. Т. 3. М. : Петрозаводск, 2012.
15. Post W. M., Emanuel W. R., Zinke P. J., et al. Soil carbon pools and world life zones // *Nature (London)*. 1982. Vol. 298. P. 156–159.
16. Kasischke E. S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle // *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest*. New York : Springer-Verlag, 2000. P. 19–30.
17. Guo L. B., Bek E., Gifford R. M. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 228. P. 145–151.
18. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] / Организация Объединенных Наций. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 26.04.2016).
19. Парижское соглашение [Электронный ресурс] / UN Climate Change. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (дата обращения: 26.04.2016).
20. Стороженко В. Г. Показатели древесного отпада в коренных ельниках таежной зоны Русской равнины // *Грибные сообщества лесных экосистем*. Т. 2. / под ред. В. Г. Стороженко, В. И. Крутова. М. : Петрозаводск, 2004.
21. Стороженко В. Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М., 2011.
22. Пугачевский А. В., Жданович С. А. Запасы, размерная структура и степень разложения древесных остатков в некоторых типах сосновых, еловых и березовых лесов // *Труды БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во*. Минск, 2007. Вып. 15. С. 366–370.
23. Апостолов С. А., Бабаиш С. Е., Белкина Е. И. и др. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ: ч. 2. СПб., 2005; 2007.
24. Федоров Н. И., Пауль Э. Э. *Древесиноведение и лесоматериалы : практикум*. Минск, 2006.
25. Тарасов М. Е. Методические подходы к определению скорости разложения древесного детрита // *Лесоведение*. 2002. № 5. С. 32–37.
26. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama : Institute for Global Environmental Strategies, 2003.
27. Жданович С. А., Пугачевский А. В. Топливо-энергетическая характеристика крупного древесного детрита различной степени разложения в лесах Беларуси // *Лесное и охотничье хозяйство*. 2010. № 4. С. 21–25.
28. Лакин Г. Ф. *Биометрия*. М., 1990.

References

1. Kolchugina T. P., Vinson T. S. Role of Russian Forests in the Global Carbon Balance. *Ambio*. 1995. Vol. 24, No. 5. P. 258–264.
2. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnykh O. V., et al. Russian forests as reservoir of organic carbon of biosphere. *Silvics*. 2001. No. 5. P. 8–23 (in Russ.).
3. Myneni R. B., Dong J., Tucker C. J., et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2001. Vol. 98, No. 26. P. 14784–14789.
4. Apps M. J., Kurz W. A., Luxmoore W. A., et al. Boreal forests and Tundra. *Water, Air and Soil Pollut.* 1993. Vol. 70. P. 39–53.
5. Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Sci.* 1994. Vol. 263. P. 185–190.
6. Schlesinger W. H. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change*. San Diego, Academic Press, 1997.
7. Krankina O. N., Harmon M. E. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests. *Water, Air and Soil Pollut.* 1995. Vol. 82. P. 227–238.
8. Yatskov M. A., Harmon M. E., Krankina O. N. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Canad. J. of Forest Research*. 2003. Vol. 33. P. 1211–1226.

9. Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P., et al. Woody debris along an upland chronosequence in Boreal Manitoba and its impact on long-term carbon storage. *Canad. J. of Forest Research*. 2005. Vol. 35. P. 472–482.
10. Knohl A., Kolle O., Minayeva T. Y., et al. Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw. *Glob. Change Biol.* 2002. Vol. 8. P. 231–246.
11. Wang C. K., Bond-Lamberty B., Gower S. T. Environmental controls on carbon dioxide flux from black spruce coarse woody debris. *Ecol.* 2002. Vol. 132. P. 374–381.
12. Storozhenko V. G. Dating of decay of spruce logs. *Ecol.* 1990. No. 6. P. 66–69 (in Russ.).
13. Storozhenko V. G. Dating of decay of coarse woody debris in forests of different nature zones. *Silvics*. 2001. No. 1. P. 49–53 (in Russ.).
14. Storozhenko V. G., Shorokhova E. V. Biogeocenological and xylolitical parameters of suitable taiga spruce forests. *Fungi communit. of forest ecosys.*, Vol. 3. Moscow; Petrozavodsk, 2012 (in Russ.).
15. Post W. M., Emanuel W. R., Zinke P. J., et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature (London)*. 1982. Vol. 298. P. 156–159.
16. Kasischke E. S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle. *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest*. New York, Springer-Verlag, 2000. P. 19–30.
17. Guo L. B., Bek E., Gifford R. M. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover. *Forest Ecol. and Manag.* 2006. Vol. 228. P. 145–151.
18. Framework Convention on Climate Change, UN FCCC. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (date of access: 26.04.2016).
19. Paris agreement. Available at: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (date of access: 26.04.2016).
20. Storozhenko V. G. Indices of woody debris in taiga zone native spruce forests of the Russian flat land. *Fungi commun. of forest ecosys.* 2004. Vol. 2. P. 221–239 (in Russ.).
21. Storozhenko V. G. Woody debris in native forests of the Russian flat land. Moscow, 2011.
22. Pugachevskiy A. V., Zhdanovich S. A. Stores, size structure and decay level of coarse woody debris in some types of pine, spruce and birch forests. *Proceedings of BSTU*, 2007, Ser. I. Forestry, issue 15. P. 366–370 (in Russ.).
23. Apostolov S. A., Balash S. E., Belkina E. I., et al. New guide of chemist and technologist. Raw material and products of industry of organic and inorganic matter. Part 2. Sankt.-Petersburg, 2005, 2007 (in Russ.).
24. Fedorov N. I., Paul' E. E. Wood science and timbering. Practical book. Minsk, 2006 (in Russ.).
25. Tarasov M. E. Methodological approaches in estimation of decay rate of woody detritus. *Silvics*. 2002. No. 5. P. 32–37 (in Russ.).
26. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Hayama : Institute for Global Environmental Strategies, 2003. 590 p.
27. Zhdanovich S. A., Pugachevskiy A. V. Fuel and energy features of coarse woody detritus on different decay stages in Byelorussian forests. *Forestry and hunting service*. 2010. No. 4. P. 21–25 (in Russ.).
28. Lakin G. F. Biometry. Moscow, 1990 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 01.06.2017
Received by editorial board 01.06.2017