

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

УДК 551.588.6: 630\*114.351

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В МЕРТВОЙ БИОМАССЕ ЛЕСОВ****В.М. КОНЬКОВА***(РУП «Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», Минск)*

*Статья посвящена изучению запасов углерода в валежной древесине и подстилке. Рассмотрены особенности оценки выбросов парниковых газов в мертвой биомассе, материалы научных исследований современных ученых о депонировании углерода лесной подстилкой и валежной древесиной. Целью работы является оценка изменения содержания углерода в валежной древесине и подстилке. Были использованы методики, принятые Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК). С 1990 года запасы углерода в мертвой биомассе лесов увеличились.*

**Ключевые слова:** *лесные экосистемы, депонирование углерода, валежная древесина, подстилка, баланс углерода.*

**Введение.** В настоящее время значительно возрос интерес к изучению роли лесных экосистем как важнейших резервуаров углерода, что подтверждено многочисленными научными исследованиями последних десятилетий. Известно, что леса благодаря длительному жизненному циклу основных лесообразующих пород и замедленному биологическому круговороту веществ в экосистемах умеренного пояса способны депонировать углерод не только в живой, но и в мертвой биомассе, гумусе и почве [1; 2]. Благодаря долговременному аккумулярованию запасенного углерода в лесных экосистемах достигается биосферный эффект, связанный с поглощением парниковых газов и противодействием изменениям климатической системы планеты [2]. Следовательно, оценка запасов углерода в лесных экосистемах вызывает особый интерес и требует тщательного изучения [1; 2].

Усиление углерододепонирующей способности лесов и адаптация их к климатическим изменениям – актуальные проблемы научных и прикладных исследований. Согласно требованиям международной отчетности в области землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства расчет депонирования углерода лесами осуществляется для пяти основных резервуаров: надземная и подземная биомасса лесной растительности; мертвое органическое вещество, которое включает валежную древесину и подстилку; а также органическое вещество почвы [2; 3]. Согласно международным договоренностям, в ежегодной национальной отчетности необходимо отражать информацию и оценивать изменения в накоплении углерода во всех пяти резервуарах. Это обстоятельство не требует обязательного увеличения накопления углерода во всех резервуарах, поскольку уменьшение запаса углерода в одном резервуаре должно компенсироваться увеличением его в другом. Например, резервуар надземной биомассы после низовых пожаров или повреждения насекомыми-вредителями уменьшается, вместе с тем пул сухостойной и валежной древесины увеличивается. Для предоставления международной отчетности согласно климатическим соглашениям интерес представляют не потоки и миграция углерода в самой экосистеме, а ее взаимодействие с атмосферой, поэтому учитывают не потоки, а величину баланса. Если итоговый баланс по совокупности резервуаров положительный – идет увеличение стоков и накопление углерода как результат эффективной практики землепользования, изменений в землепользовании и лесном хозяйстве [2].

**Объекты и методы исследования.** В данной работе проведена оценка запасов углерода и их изменение в мертвой биомассе лесов: валежная древесина и подстилка.

Резервуар валежной древесины включает всю неживую древесную биомассу, не содержащуюся в подстилке, как стоящую или лежащую на земле, так и находящуюся в почве. Мертвая древесина включает деревья, лежащие на поверхности, мертвые корни и пни диаметром, равным или превышающим 10 см [3].

Резервуар подстилки включает всю неживую биомассу с размером, превышающим предельное значение для органического вещества почвы (предпочтительно 2 мм) и менее минимального диаметра, выбранного для валежной древесины (например, 10 см), лежащую в мертвом состоянии, на различных стадиях разложения, выше или в пределах минеральных или органических почв. Сюда относится слой подстилки, как это определено в типологии почв. Живые тонкие корни, располагающиеся выше минеральной или органической почв (диаметром менее предложенного минимального диаметра для подземной биомассы) включаются в подстилку в тех случаях, когда их невозможно эмпирически отличить от нее [3].

Для оценки изменений запасов углерода в валежной древесине и подстилке имеются два общих метода. Схожие методы существуют для оценки изменений запасов углерода в биомассе, которые могут повлиять на выбор метода для оценки изменений мертвого органического вещества.

В данной работе использован метод разности запасов по уровню 2, который включает оценку площади управляемых лесных площадей, остающихся лесными площадями, определение запасов углерода валежной древесины и подстилки для двух моментов времени и расчет разницы между этими двумя оценками запасов углерода. Годовое изменение запаса углерода для расчетного года получается делением изменения запаса углерода на период времени (в годах) между двумя измерениями. Расчеты проводятся по данному методу, так как в стране имеются лесные кадастры, основанные на выборочных участках [3].

Годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине или подстилке (метод разности запасов) рассчитывается согласно методологии уровня 2 Руководящих принципов МГЭИК по формуле [3]:

$$\Delta C = \left[ \frac{(A_{t_2} - A_{t_1})}{T} \right] \times CF, \quad (1)$$

где  $\Delta C$  – годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине или подстилке, т С/г;  
 $A$  – площадь управляемых земель, га;  
 $T$  – ( $t_2 - t_1$ ) – период времени между второй оценкой запасов и первой оценкой запасов, г.;  
 $CF$  – запас углерода; т С/га.

Валежная древесина подразделяется на лежащую (валеж) и стоящую (сухостой). Сведения о запасах валежной древесины устанавливаются при лесоустройстве и вносятся в поведельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь» [4]. Оценка годового изменения запасов углерода в валеже для подкатегории покрытых лесом земель, остающихся покрытыми лесом землями, проводилась по рассчитанным среднегодовым изменениям запасов углерода в пределах групп возраста по преобладающим породам с использованием данных лесного кадастра по распределению покрытых лесом земель по группам возраста (таблицы 1, 2).

Таблица 1. – Средние запасы углерода в резервуаре валежной древесины на единицу площади покрытых лесом земель по лесообразующим породам и группам возраста [4]

Группа возраста	Запас углерода, тонн/га						
	Сосна	Ель	Дуб	Береза	Ольха черная	Осина	Прочие
Молодняки	4,23	2,44	2,80	0,70	0,45	1,17	0,27
Средневозрастные	7,73	6,10	4,48	2,24	4,01	7,50	1,59
Приспевающие	8,34	8,24	5,27	2,86	4,70	10,40	3,16
Спелые и перестойные	7,72	8,51	4,85	2,50	3,64	9,53	4,02

Таблица 2. – Площади основных лесообразующих пород в 2019 г., га

Группа возраста	Основные лесообразующие породы							
	Сосна	Ель	Дуб	Береза	Ольха черная	Осина	Прочие	Итого
Молодняки	736386	216393	63270	292413	71513	43173	39982	1463130
Средневозрастные	1512093	254122	139351	1005174	290991	27530	72799	3302060
Приспевающие	1235463	222164	33949	368717	172482	35240	68032	2136047
Спелые и перестойные	592975	82368	50866	259541	197911	90382	105056	1379099
Итого 2019	4076917	775047	287436	1925845	732897	196325	285869	8280336

Накопление органического углерода в **лесной подстилке** и его долевое содержание предусмотрено определять через ее массу в абсолютно сухом состоянии. Для установления в насаждении массы лесной подстилки, приходящейся на единицу площади, были использованы данные авторов [5]. Существующие данные по скорости накопления и разложения подстилки на лесных землях как в Беларуси, так и в соседних государствах сильно ограничены и представлены малочисленными результатами исследований по отдельным древесным породам, типам леса, в различных природно-климатических зонах. Масса лесной подстилки зависит от видового состава лесного насаждения, его компонентной структуры, возраста и полноты древостоя, почвенно-лесотипологических условий, влияющих на интенсивность разложения лесного опада [4]. Имеющиеся данные по запасам углерода в подстилке лесных земель и данные Лесного кадастра, а именно: распределение покрытых лесом земель по преобладающим породам, распределение непокрытых лесом земель по типам леса, позволили рассчитать запас углерода в подстилке для лесных земель лесного фонда Республики Беларусь.

Величины по запасу углерода в подстилке покрытых лесом земель по преобладающим породам взяты для Европейской части средней полосы России (таблица 3).

Таблица 3. – Средний запас углерода лесной подстилки для насаждений основных лесообразующих пород [4]

Порода	Запас углерода, т С/га	Порода	Запас углерода, т С/га
Сосна	17,2	Береза	13,6
Ель	10,6	Осина	10,3
Твердолиственные	5,4	Прочие мягколиственные	6,7

В соответствии с установленным порядком представления отчетности все связанные с изменением землепользования изменения запасов углерода и выбросы иных, чем CO<sub>2</sub>, парниковых газов должны указываться в новой категории землепользования. Например, в случае переустройства лесных площадей в возделываемые земли, как изменения запасов углерода, связанные с расчисткой леса, так и любые последующие изменения запасов углерода, происшедшие в результате данного переустройства, должны указываться в категории возделываемых земель. По умолчанию переходной период принимается равным 20 лет [3]. Соответственно, при расчетах  $t$  принималось равным 20 годам.

Поскольку Беларусь не обладает данными по распределению площадей основных лесообразующих пород за период 1970 – 1989 гг., расчеты определения запасов углерода в валежной древесине и подстилке проводились при помощи метода замещения, по уравнению (2) [6]. В качестве замещающего статистического параметра принималась общая площадь покрытых лесом земель.

$$y_0 = y_t \frac{s_0}{s_t}, \quad (2)$$

где  $y$  – оценка выбросов / поглощений в годы 0 и  $t$ ;  
 $s$  – замещающий статистический параметр в годы 0 и  $t$  [7].

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 4 и на рисунке 1 представлены запасы и изменения запасов углерода в валежной древесине и подстилке на период 1990 – 2019 гг. [8].

Таблица 4. – Запасы и изменение запасов углерода в мертвой биомассе, млн. т С

Год	Запасы в валежной древесине	Изменения запасов в валежной древесине	Запасы в подстилке	Изменение запасов в подстилке	Итого в мертвой биомассе	Итого по данным ФАО [8]
1990	33,87	-0,024	98,84	-0,071	132,71	224,5
1995	36,62	0,104	103,06	0,112	139,68	–
2000	39,39	0,223	107,30	0,268	146,69	239,4
2005	40,82	0,306	109,11	0,393	149,93	244,2
2010	42,47	0,430	111,99	0,657	154,46	250,1
2015	44,14	0,376	114,89	0,591	159,03	264,4
2016	44,53	0,379	115,33	0,608	159,86	–
2017	44,64	0,345	115,21	0,522	159,85	–
2018	44,658	0,319	114,928	0,466	159,586	–
2019	44,660	0,291	114,930	0,424	159,590	–
Изменение 1990-2019, %	31,88	–	16,28	–	20,26	–

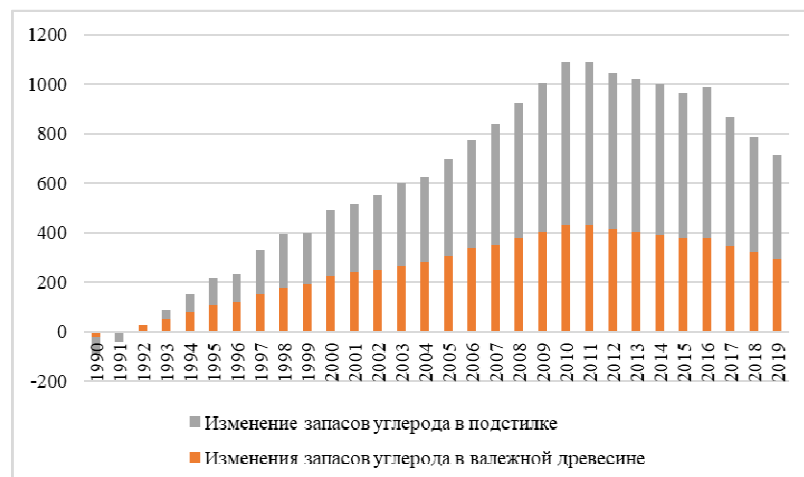


Рисунок 1. – Изменение запасов углерода в мертвой биомассе, тыс. т С

Запас углерода в валежной древесине и подстилке на первое января 2020 г. составляет 44,66 и 114,93 млн т углерода, соответственно [9]. Отрицательные значения за 1990 и 1991 гг. объясняются неопределенностями метода замещения, используемого для этих лет. В информационных таблицах годовичные величины потока углерода (увеличение или уменьшение накоплений углерода в резервуарах) преобразуются в эквивалент CO<sub>2</sub>. Стехиометрическое соотношение CO<sub>2</sub> и углерода (C) составляет 44/12 [10].

Соответственно запас углерода в мертвой биомассе 159,59 млн т C соответствует 585,16 млн т CO<sub>2</sub> экв. Поглощение CO<sub>2</sub> мертвой биомассой в 2019 году составило 2878,33 тыс. т CO<sub>2</sub> экв. (Гг CO<sub>2</sub> экв.). Общее поглощение сектором «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» согласно [9] в 2018 г. составило 22631,25 тыс. т CO<sub>2</sub> экв., соответственно, мертвая биомасса составляет 12,72% от поглощения в данном секторе, или 10,37% от поглощения «Лесными землями».

**Закключение.** Леса Беларуси являются динамично развивающейся экосистемой, отличающейся устойчивой тенденцией увеличения древесных запасов и повышения продуктивности лесов, что подтверждается данными лесной статистики [11]. Лесохозяйственная деятельность страны обеспечивает устойчивую динамику повышения углерододепонирующей продуктивности валежной древесины и лесной подстилки [11].

Изучено изменение запасов углерода в мертвой биомассе лесов, а именно: в валежной древесине и подстилке за период 1990 – 2019 гг. Увеличение запасов углерода в 2019 г. по сравнению с 1990 г. на 31,87% и 16,28% в валежной древесине и подстилке, соответственно, связано с увеличением площади покрытых лесом земель лесного фонда. Следует отметить, что углеродный баланс мертвой биомассы лесов не является стабильным во временном аспекте, что связано с динамикой древесных запасов. В наибольшей степени увеличение депонирования углерода зависит от состояния лесов, их возрастной структуры, продуктивности и биоразнообразия в целом.

Осознание важности лесов Беларуси как части общей флоры, занимающих значительную территорию республики, предполагает дальнейшее совершенствование методов и методик ведения исследований состояния лесов, более тесное сотрудничество с отраслевой, академической наукой и другими родственными сферами [5].

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования кадастров выбросов парниковых газов, двухгодичных докладов и национальных сообщений в рамках выполнения страной обязательств по РКИК ООН и Парижского соглашения, а также для формирования национальной политики, планов и стратегий по управлению лесным хозяйством страны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шихова, Л.Н. Динамика запасов органического вещества лесной подстилки южно-таежного биогеоценоза / Л.Н. Шихова, Е.М. Лисицын // Вестник удмуртского университета. Биология. Науки о земле. – 2015. – Т. 25, Вып. 2. – С. 24–30.
2. Малышева, Н.В. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годовичного депонирования углерода / Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, А.Н. Филиппчук, Т.А. Золина // Лесной вестник. – МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2017. – № 1. – С. 4–13.
3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов : в 5 т. / редкол.: Х.С. Игглестон [и др.]. – Хаяма : МГЭИК, 2006. – Т. 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. – Ч. 1. – 397 с.
4. Рожков, Л.Н. Методические подходы расчета углеродных пулов в лесах Беларуси / Л.Н. Рожков // Труды БГТУ: Экология, Лесоводство и охотничье хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 62–70.
5. Климчик, Г.Я. Методология исследования различных компонентов лесного фитоценоза для расчета углеродных потоков / Г.Я. Климчик, О.Г. Бельчина // Труды БГТУ. Сер. 1. – 2019. – № 2. – С. 43–48.
6. Подготовить пятое национальное сообщение Республики Беларусь для представления в секретариат Рамочной конвенции ООН об изменении климата и киотского протокола. Разработать комплекс мер по реформированию национальной системы инвентаризации парниковых газов : отчет о НИР (заключ.) / РУП «Бел НИЦ «Экология» ; рук. И.П. Наркевич [и др.]. – Минск, 2010. – С. 42–59. – № ГР 20092904.
7. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов : в 5 т. / Редкол.: Х.С. Игглестон [и др.]. – Хаяма : МГЭИК, 2006. – Т. 1: Общие руководящие указания и отчетность. – 337 с.
8. База данных ФАО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. – Дата доступа: 08.06.2020.
9. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2018 гг. / И.П. Наркевич [и др.]. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2020. – 284 с.

10. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь : утв. М-вом лесного хозяйства Респ. Беларусь 3.03.2011. Реестр ТНПА № 000198 от 10.03.2011. – Минск, 2011. – 19 с.
11. Рожков, Л.Н. Оценка углеродного пула и динамика углеродных потоков в лесах Беларуси / Л.Н. Рожков // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2012. – Вып. 72. – С. 130–141.

Поступила 20.10.2020

#### ASSESSMENT OF THE CARBON STOCK CHANGES IN DEAD BIOMASS OF THE FORESTS

V. KANKOVA

*The article devotes to the investigation of the carbon stocks in dead wood and litter. The features of assessment of greenhouse gas emissions in dead organic matter are considered. The materials of scientific progressive research of advanced scientists on carbon deposition by forest litter and dead wood are considered in the article. The purpose of the work is to assess the change in the carbon content in dead wood and litter. The methodologies adopted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) were used in this work. Since 1990 the carbon stock in dead biomass of the forests has increased.*

**Keywords:** forest ecosystems, carbon sequestration, dead wood, litter, carbon balance.