

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66>

ОЦЕНКА ЗАПАСА СУХОСТОЯ В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ПОДТАЁЖНО-ЛЕСОСТЕПНОГО
РАЙОНА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Научная статья

Козлов Н.В.^{1,*}, Вайс А.А.², Вараксин Г.С.³, Ануев Е.А.⁴, Калачев В.А.⁵

² ORCID : 0000-0003-4965-3670;

⁴ ORCID : 0000-0002-1822-0795;

^{1,2,5} Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск,
Российская Федерация

³ Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Российская Федерация

⁴ Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Аннотация

Цель исследования – определение запасов и потенциального для эмиссии углерода сухостоя в высокополнотных сосняках подтаёжно-лесостепного района Средней Сибири. Проблема оценки запасов мертвой древесины имеет важное значение для определения эмиссии углерода и изучения процессов круговорота веществ в лесных экосистемах. Разряды высот деревьев сухостоя оказались на один разряд ниже, чем высоты растущей части насаждения и менялись от IV до VII разряда. В выделах со значительным запасом древесины (517-643 м³/га) объём детрита больше чем в менее продуктивных участках (33,6-73,5 м³/га). При этом в менее производительных сосняках (235-393 м³/га) также может наблюдаться значительная величина сухостоя (29,3-34,4 м³/га), что является следствием патогенного состояния отдельных участков (усыхание деревьев вследствие воздействия корневой губки). Доля сухостоя не превысила в сосняках 13% от общего запаса древостоя. Масса детрита сухостоя менялась от 6 до 23,2 т/га. Запас углерода сухостоя варьировал от 3 до 11,6 тС/га. При этом возраст и тип леса не оказывают значительного влияния на количество сухостоя.

Ключевые слова: древостой, детрит, высота, диаметр, запас, углерод.

AN EVALUATION OF DRY WOOD IN PINE STANDS IN THE TAIGA AND FOREST-STEPPE REGION OF
CENTRAL SIBERIA

Research article

Kozlov N.V.^{1,*}, Vais A.A.², Varaksin G.S.³, Anuev Y.A.⁴, Kalachev V.A.⁵

² ORCID : 0000-0003-4965-3670;

⁴ ORCID : 0000-0002-1822-0795;

^{1,2,5} M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

³ Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

⁴ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Abstract

The aim of the study is to determine the stocks and the potential for carbon emission of dry wood in highly dense pine forests of the subtaiga forest-steppe region of Central Siberia. The problem of evaluating deadwood stocks is important for determining carbon emission and studying the processes of forest ecosystems' cycling. The height grades of dry wood trees were one grade lower than the height of the growing part of the stand, and varied from grade IV to grade VII. In stands with large timber reserves (517-643 m³/ha) the volume of detritus is higher than in less productive stands (33.6-73.5 m³/ha). At the same time, in less productive pine forests (235-393 m³/ha) there can also be observed a significant amount of dead wood (29.3-34.4 m³/ha), which is a consequence of pathogenic state of some areas (desiccation of trees due to root sponge). The share of dead wood did not exceed 13% of the total stand stock in pine forests. The mass of dead wood detritus varied from 6 to 23.2 t/ha. The carbon stock of dead wood ranged from 3 to 11.6 tC/ha. The age and forest type have no significant effect on the amount of dry wood.

Keywords: stand, detritus, height, diameter, stock, carbon.

Введение

Сухостой — это засохшие на корню деревья. Могут быть представлены в виде одиночных деревьев или групп, бывают случаи усыхания целых лесных массивов [1].

Причины усыхания древостоя различны: возраст растений — естественная старость, засуха, понижение уровня грунтовых вод, морозы, переувлажнение, солнечные ожоги, пожары, уплотнение почвы из-за неправильного выпаса скота в лесу, распространение вредных насекомых и грибковых заболеваний.

Проблема оценки запасов мертвой древесины имеет важное значение для определения эмиссии углерода и изучения процессов круговорота веществ в лесных экосистемах.

В.Г. Стороженко, изучая понятие «древесный отпад», предлагает считать его компонентом биоценоза под названием «мортценоз». Автор обосновывает данный термин наличием морфологической структуры, экологического и функционального строения применительно к текущему древесному отпаду, валежу и корневому слою [2]. В другой публикации учёный указывает на то, что дебрис (крупные древесные остатки) по структурным характеристикам можно разделить на текущий древесный отпад и валеж, а средние их показатели являются типичными для коренных лесных сообществ [3].

В результате воздействия как природных, так и антропогенных факторов увеличиваются запасы крупного детрита [4], [6], [8], [9].

Деревья сухостоя помимо поддержания биоразнообразия выполняют важную функцию визуализации восприятия среды обитания [10].

Цель исследования — определение запасов и потенциального для эмиссии углерода сухостоя в высокополнотных сосняках подтаёжно-лесостепного района Средней Сибири.

Методы и принципы исследования

В сосновых древостоях учебно-опытного лесхоза СибГУ спелые и перестойные насаждения составляют 69,3% от занимаемой территории, молодняки — 7,5%, средневозрастные — 12,6%, приспевающие — 10,6%.

Средний возраст лесообразующих пород сосны значительно превышает среднее значение оптимального возраста (половина возраста рубки) и составляет соответственно 138 и 172 года, что свидетельствует о преобладании по данным лесообразующим породам спелых и перестойных насаждений.

Сбор данных крупного детрита производился в 9 модельных лесных участках. В каждом выделе закладывалось по три круговые площадки с радиусом 13,75 м ($S = 594,0344 \text{ м}^2$). Пробные участки располагались равномерно по всей площади выдела. Данные включали в себя: номер дерева, категорию мёртвой древесины (сухостой, валеж, пни), диаметры и высоты.

Пример дерева-сухостоя (Караульное участковое лесничество учебно-опытного лесхоза СибГУ) представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Фотография дерева-сухостоя, вследствие воздействия корневой губки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.1>

Примечание: квартал 48, выдел 13

Запас сухостоя определялся по формуле объёма срединного сечения [11]. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 1

Таблица 1 - Пример исходной и расчётной ведомости оценки объёма сухостойных деревьев

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.2>

Номер дерева, порода	Категория мертвой древесины	Класс разложения	Диаметр, см	Длина валежа / высота сухостоя, м	Объем, м ³
К48 В13					
C10	C	2	23,2	17	0,415
C11	C	2	21,9	20	0,269
C22	C	4	12,3	15	0,077
...
C8	C	5	16,7	15	0,157
C11	C	3	28,6	27	0,594

Итого	-	-	-	-	5,217
На 1 га	-	-	-	-	29,279

После расчётов установлено, что его запас по отдельным участкам варьировал от 18,95 до 73,45 м³/га.

Оценка запаса сухостоя выполнялась на основании «Методики определения запасов и массы древесного детрита на основе данных лесоустройства» [11].

Для определения массы детрита применяли базисную плотность древесины – p , показатель степени разложения мёртвой древесины, который вычисляется по формуле:

$$p = Ma.c./V, \quad (1)$$

где

Ma.c. — масса древесины в абсолютно сухом состоянии, т/га;

V – объём древесины, м³/га.

Масса детрита определяли по формуле:

$$M = Md * p, \quad (2)$$

где

M – масса детрита, т/га;

Md – запас детрита, м³/га;

p – базисная плотность.

Значения базисной плотности по главной породе (сосна) взяты из справочного материала по детриту [11]. Так, базисная плотность (p) хвойной породы (сосна) для сухостоя и пней составляет 0,316. Для перевода массы детрита в запас углерода мёртвой древесины использовали конверсионный коэффициент (0,5).

Основные результаты и их обсуждение

Для определения зависимости высоты и диаметра, растущих и усыхающих деревьев на каждой круговой площадке проведены замеры этих показателей в количестве 10-11 штук. Данные отдельных площадок (3 площадки) объединены и построены кривые высот. На рисунках 2 и 3 представлены диаграммы связи высот и диаметров этих деревьев (на примере 2-х лесных участков).

Диаграммы по всем участкам показали, что высота и диаметр растущих и усыхающих деревьев практически не отличаются друг от друга, что позволяет объединить эти группы, тем самым формируя представление о связи высот и диаметров этих групп.

Разряды высот деревьев сухостоя оказались на один разряд ниже, чем высоты растущей части насаждения и менялись от IV до VII разряда (рисунки 2,3).

Необходимо отметить, что различие в форме связей (нелинейная и линейная) в некоторых древостоях обусловлено, возможно, воздействием лесохозяйственных мероприятий (рубок ухода), когда удалялись деревья нижних ярусов и, соответственно, тонкомерная часть древостоя. При этом вариация высот сохранилась, что и вызвало разницу в коэффициентах детерминации.

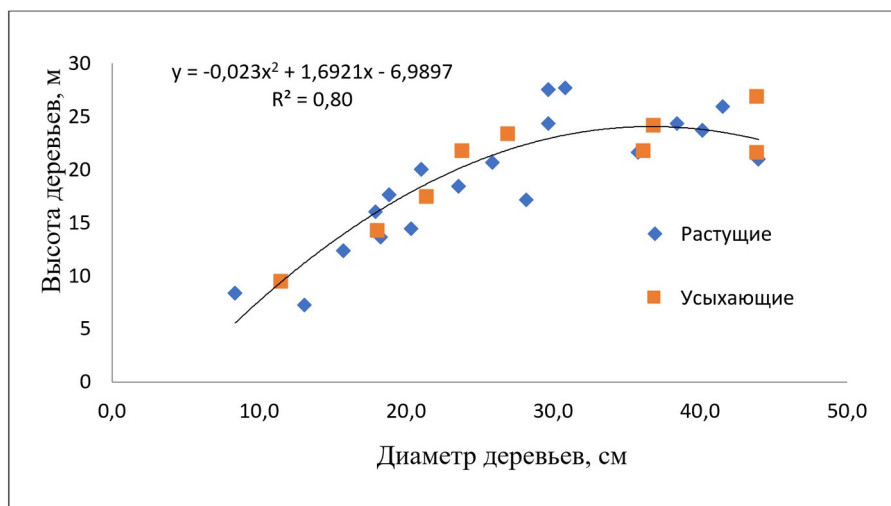


Рисунок 2 - Диаграмма связи высот и диаметров деревьев В48К13

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.3>

Примечание: В - номер выдела; К - номер квартала

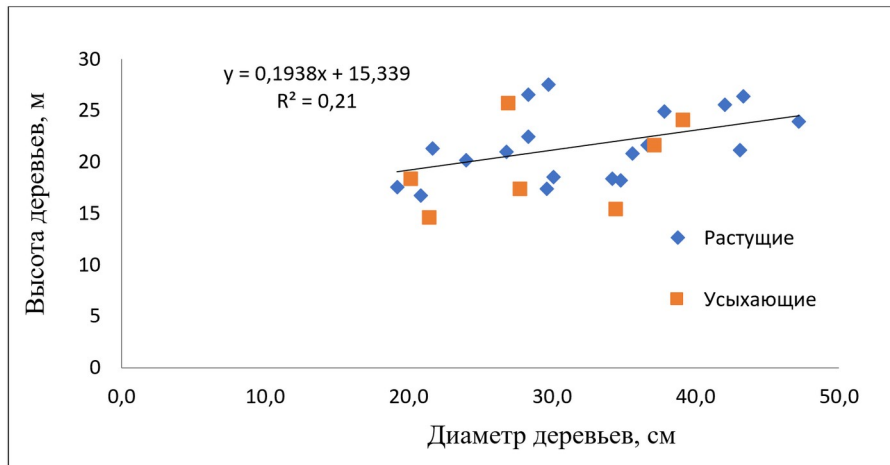


Рисунок 3 - Диаграмма связи высот и диаметров деревьев В49К2
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.4>

Примечание: В - номер выдела; К - номер квартала

Оценка таксационных показателей сосняков показала следующее. По составу древостои чистые. Возраст сосняков варьировал от 105 до 170 лет. Средняя высота от 23,6 до 26,3 м. Средний диаметр от 27,2 до 37,3 см. Сумма площадей поперечного сечения от 21,9 до 52,95 м²/га. Значения сумм площадей поперечного сечения и относительных полнот указывают на высокую плотность исходных древостоев. Класс бонитета (I-II), что показывает высокую продуктивность сосновых насаждений. Запас менялся от 235 до 643 м³/га. Типологическая структура достаточно разнообразна и все сосняки относятся к разнотравной группе: сосняк осочково-разнотравный, сосняк спирейно-осочковый, сосняк прострелово-осочковый (остепненный).

Одной из причин формирования крупного детрита (сухостоя) являются ветровые воздействия. По мнению одних исследователей ветер оказывает влияние на накопление биомассы и углерода [12]. Другие учёные считают, что интенсивная циркуляция воздуха не меняет скорость накопления надземной биомассы [13].

Таким образом, причиной формирования детрита сухостоя является совокупность факторов как экзогенных, так и эндогенных.

В высокополнотных сосняках это может быть как следствием значительных запасов растущего леса, а значит повышенной конкуренцией и, следовательно, отпадом; так и патогенным состоянием отдельных участков (очаговые заболевания корневой губкой, лесные участки 49/31, 48/13, 49/24).

В тропических лесах отсутствие количественных оценок углерода крупного детрита приводит к недооценке углеродного баланса лесных экосистем и их потенциала для смягчения последствий изменения климата [14].

Для обобщения полученных результатов данные сухостоя представлены в таблице 2 и рисунке 4.

Анализ показал, что в выделах со значительным запасом древесины (517-643 м³/га) объём детрита больше чем в менее продуктивных участках (33,6-73,5 м³/га). При этом в менее производительных выделах (235-393 м³/га) также может наблюдаться значительная величина сухостоя (29,3-34,4 м³/га), что является следствием патогенного состояния участков. Сравнение с данными нормативных таблиц [15], отражающих текущий отпад в сосняках сходных условий местопроизрастания (I-II классы бонитета) и возраста (105-170 лет) показал следующее. В год по данным нормативов сосняки продуцируют 1,5-3,7 м³*га⁻¹*год⁻¹. Учитывая наблюдения Е. Г. Комина [16], который констатирует, что деревья сосны могут не вываливаться после отмирания 20-30 лет, получаем вполне сопоставимые данные.

Доля сухостоя не превысила в сосняках 13% от общего запаса древостоя (таблица 2, рисунок 4).

Результаты расчетов массы и запаса углерода мертвой древесины представлены в таблице 3. Можно констатировать, что масса детрита сухостоя менялась от 6 до 23,2 т/га. Запас углерода сухостоя варьировал от 3 до 11,6 тС/га. При этом возраст и тип леса не оказывают значительного влияния на количество сухостоя (таблица 3).

Доля крупного детрита в запасе надземной биомассы широколиственных лесов менялась от 4,0 до 7,9% [17], что сопоставимо с нашими данными для сосняков бореальной зоны.

Таблица 2 - Соотношение запасов растущей древесины и сухостоя

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.5>

Квартал / выдел	Запас растущего леса, м ³ /га	Запас сухостоя, м ³ /га	Запас сухостоя, %
48/13	235	29,3	12,5
49/2	393	34,4	8,7
49/4	425	22,6	5,3

49/7	419	23,4	5,6
49/9	282	19,0	6,7
49/12	517	33,6	6,5
49/24	570	49,5	8,7
49/28	525	44,2	8,4
49/31	643	73,5	11,4

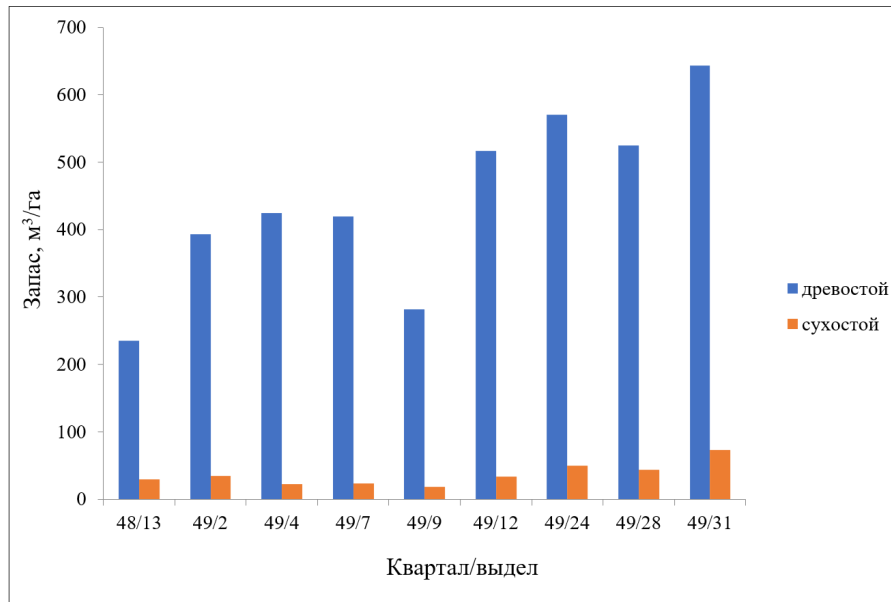


Рисунок 4 - Соотношение запасов растущей (древостой) и сухой части сосняков (сухостой)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.6>

Таблица 3 - Оценка массы и запаса углерода сухостоя

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.66.7>

Квартал / выдел	Тип леса	Возраст, лет	Масса детрита сухостоя, т/га	Запас углерода сухостоя, тС/га
48/13	С спос	105	9,3	4,6
49/2	С спос	130	10,9	5,4
49/4	С спос	150	7,1	3,6
49/7	С осрт	130	7,4	3,7
49/9	С осрт	170	6,0	3,0
49/12	С осрт	140	10,6	5,3
49/24	С осрт	105	15,6	7,8
49/28	С прос	130	14,0	7,0
49/31	С осрт	130	23,2	11,6

Заключение

В результате проведенных исследований получен ряд выводов применительно к высокополнотным сосновым насаждениям подтаёжно-лесостепной зоне Средней Сибири.

- Разряды высот сухостоя, оказались на один разряд ниже, чем высота для растущей части древостоя (IV-VII), что объясняется его формированием преимущественно из угнетённой части древостоя.
- Запас сухостоя варьировал от 18,95 до 73,45 м³/га. Доля сухостоя не превысила 13%.
- Масса детрита сухостоя менялась от 6 до 23,2 т/га.
- Запас углерода детрита варьировал от 3 до 11,6 тС/га.

В настоящее время оценка крупного детрита и управление им с точки зрения объема, типа, видового состава, распределения по диаметру, пространственного распределения и стадии распада является одной из важных составляющих для устойчивого лесопользования.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. ГОСТ 18486-87 Лесоводство. Термины и определения — Введ. 1989-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1988. — 18 с. — URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4294834/4294834689.pdf>. (дата обращения: 02.03.23)
2. Стороженко В.Г. Древесный отпад в структурах лесного биогеоценоза / В.Г. Стороженко // Хвойные бореальной зоны. — 2010. — Т. XXVII. — 3-4. — С. 279-283.
3. Стороженко В.Г. Характеристика древесного отпада в коренных ельниках Восточноевропейской тайги / В.Г. Стороженко // Лесоведение. — 2012. — 3. — С. 43-50.
4. Бергман И.Е. Влияние выбросов медеплавильного завода на формирование запаса и разложение крупных древесных остатков в елово-пихтовых лесах / И.Е. Бергман, Е.Л. Воробейчик // Лесоведение. — 2017. — 1. — С. 24-38.
5. Бобкова К.С. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках ельников Средней тайги / К.С. Бобкова, Н.В. Лиханова // Лесоведение. — 2017. — 1. — С. 24-38.
6. Алейников А.А. Характеристика древостоя и валежа в послепожарных осново-березовых лесах Среднего Предуралья / А.А. Алейников, А.В. Тюрин, П.Я. Грабарник [и др.] // Лесоведение. — 2018. — 4. — С. 258-272.
7. Мухортова Л.В. Вклад крупных древесных остатков в динамику запасов органического вещества послерубочных лесных экосистем / Л.В. Мухортова, Э.Ф. Ведрова // Лесоведение. — 2012. — 6. — С. 55-62.
8. Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок / Д.Г. Замолодчиков // Лесоведение. — 2009. — 4. — С. 3-15.
9. Малышева Н.В. Количественная оценка запасов древесного детрита в лесах Российской Федерации по данным ГИЛ / Н.В. Малышева, А.Н. Филиппчук // Лесохоз. информ. — 2019. — 1. — С. 101-128.
10. Сергиенко В.Г. Древесный отпад и биоразнообразие на участках выборочных рубок в Ленинградской области / В.Г. Сергиенко, А.М. Иванов, Р.В. Власов [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2015. — 3. — С. 4-19.
11. Трейфельд Р.Ф. Методика определения запасов и массы древесного детрита на основе данных лесоустройства / Р.Ф. Трейфельд, О.Н. Кранкина, Е.Д. Поваров. — М.: ВНИЛМ, 2002. — 44 с.
12. Peterson C.J. First-Decade Biomass and Carbon Accumulation, and Woody Community Change after Severe Wind Damage in a Hemlock-White Pine Forest Remnant / C.J. Peterson // Forests. — 2021. — 231. — DOI: 10.3390/f12020231
13. Oldfield C.A. Aboveground Biomass and Carbon Accumulation 19 Years Post-Windthrow and Salvage Logging / C.A. Oldfield, C.J. Peterson // Forests. — 2021. — 173. — DOI: 10.3390/f12020173.
14. Villanova P.H. Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil / P.H. Villanova, C.M.M.E. Torres, L.A.G. Jacovine et al. // Forests. — 2019. — 833. — DOI: 10.3390/f10100833.
15. Швиденко А. Таблицы и модели роста и биологической продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативносправочные материалы) / А. Швиденко, Д. Щепаченко, С. Нильссон [и др.] — М.: Федеральная служба лесного хозяйства и Международный институт прикладного системного анализа, 2007. — 803 с.
16. Комин Г.Е. Определение отпада в древостоях дендрохронологическим методом / Г.Е. Комин // Экология. — 1970. — 2. — С. 104-106.
17. Tavankar F. Evaluation of Deadwood Characteristics and Carbon Storage under Different Silvicultural Treatments in a Mixed Broadleaves Mountain Forest / F. Tavankar, A.R. Kivi, K. Taheri-Abkenari et al. // Forests. — 2022. — 259. — DOI: 10.3390/f13020259.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 18486-87 Lesovodstvo. Termini i opredeleniya [GOST 18486-87 Forestry. Terms and Definitions] — Introduced 1989-01-01. — М.: Standards Publishing House, 1988. — 18 p. — URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4294834/4294834689.pdf>. (accessed: 02.03.23) [in Russian]
2. Storozhenko V.G. Drevesnyj otpad v strukturah lesnogo biogeocenoza [Woody Decay in the Structures of Forest Biogeocenosis] / V.G. Storozhenko // Hvojnye boreal'noj zony [Coniferous Boreal Zones]. — 2010. — Vol. XXVII. — 3-4. — P. 279-283. [in Russian]
3. Storozhenko V.G. Harakteristika drevesnogo otpada v korennyh el'nikah Vostochnoevropejskoj tajgi [Characteristics of Tree Decay in the Indigenous Spruce Forests of the Eastern European Taiga] / V.G. Storozhenko // Lesovedenie [Forest Science]. — 2012. — 3. — P. 43-50. [in Russian]

4. Bergman I.E. Vliyanie vybrosov medeplavil'nogo zavoda na formirovanie zapasa i razlozhenie krupnyh drevesnyh ostatkov v elovo-pihtovyh lesah [Influence of Copper Smelter Emissions on the Formation of the Stock and Decomposition of Large Wood Residues in Spruce-fir Forests] / I.E. Bergman, E.L. Vorobeichik // *Lesovedenie [Forestry]*. — 2017. — 1. — P. 24-38. [in Russian]
5. Bobkova K.S. Vynos ugleroda i elementov mineral'nogo pitaniya pri sploshnolesosechnykh rubkakh el'nikov Srednej tajgi [Removal of Carbon and Elements of Mineral Nutrition during Continuous Cutting of Spruce Forests of the Middle Taiga] / K.S. Bobkova, N.V. Likhanova // *Lesovedenie [Forestry]*. — 2017. — 1. — P. 24-38. [in Russian]
6. Aleynikov A.A. Harakteristika drevostoya i valezha v poslepozharnykh osnovo-berezovykh lesah Srednego Predural'ya [Characteristics of Stand and Deadwood in Post-fire Pine-birch Forests of the Middle Urals] / A.A. Aleynikov, A.V. Tyurin, P.Ya. Grabarnik [et al.] // *Lesovedenie [Forest Science]*. — 2018. — 4. — P. 258-272. [in Russian]
7. Mukhortova L.V. Vklad krupnyh drevesnyh ostatkov v dinamiku zapasov organicheskogo veshchestva poslerubochnykh lesnykh ekosistem [Contribution of Large Wood Residues to the Dynamics of Organic Matter Reserves of Post-harvest Forest Ecosystems] / L.V. Mukhortova, E.F. Vedrova // *Lesovedenie [Forest Science]*. — 2012. — 6. — P. 55-62. [in Russian]
8. Zamolodchikov D.G. Ocenka pula ugleroda krupnyh drevesnyh ostatkov v lesah Rossii s uchetom vliyanija pozharov i rubok [Assessment of the carbon pool of large wood residues in the forests of Russia, taking into account the impact of fires and logging] / D.G. Zamolodchikov // *Lesovedenie [Forest Science]*. — 2009. — 4. — P. 3-15. [in Russian]
9. Malysheva N.V. Kolichestvennaya ocenka zapasov drevesnogo detrita v lesah Rossijskoj Federacii po dannym GIL [Quantitative Assessment of Wood Detritus Reserves in the Forests of the Russian Federation According to GIL Data] / N.V. Malysheva, A.N. Filipchuk // *Lesokhoz. inform [Lesokhoz. inform]*. — 2019. — 1. — P. 101-128. [in Russian]
10. Sergienko V.G. Drevesnyj otpad i bioraznoobrazie na uchastkakh vyborochnykh rubok v Leningradskoj oblasti [Tree Decay and Biodiversity at Selective Logging Sites in the Leningrad Region] / V.G. Sergienko, A.M. Ivanov, R.V. Vlasov [et al.] // *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva [Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry]*. — 2015. — 3. — P. 4-19. [in Russian]
11. Freifeld R.F. Metodika opredeleniya zapasov i massy drevesnogo detrita na osnove dannyh lesoustrojstva [Methodology for Determining Stocks and Mass of Woody Detritus Based on Forest Management Data] / R.F. Freifeld, O.N. Krankina, E.D. Povarov. — Moscow: VNIILM, 2002. — 44 p. [in Russian]
12. Peterson C.J. First-Decade Biomass and Carbon Accumulation, and Woody Community Change after Severe Wind Damage in a Hemlock-White Pine Forest Remnant / C.J. Peterson // *Forests*. — 2021. — 231. — DOI: 10.3390/f12020231
13. Oldfield C.A. Aboveground Biomass and Carbon Accumulation 19 Years Post-Windthrow and Salvage Logging / C.A. Oldfield, C.J. Peterson // *Forests*. — 2021. — 173. — DOI: 10.3390/f12020173.
14. Villanova P.H. Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil / P.H. Villanova, C.M.M.E. Torres, L.A.G. Jacovine et al. // *Forests*. — 2019. — 833. — DOI: 10.3390/f10100833.
15. Shvidenko A. Tablicy i modeli rosta i biologicheskoy produktivnosti nasazhdenij osnovnykh lesoobrazuyushchih porod Severnoj Evrazii (normativnospravochnye materialy) [Tables and Models of Growth and Biological Productivity of Plantings of the Main Forest-forming Species of Northern Eurasia (normative reference materials)] / A. Shvidenko, D. Schepashenko, S. Nilsson [et al.] — Moscow: Federal Forestry Service and International Institute of Applied System Analysis, 2007. — 803 p. [in Russian]
16. Komin G.E. Opredelenie otpada v drevostoyah dendrochronologicheskim metodom [Determination of Decay in Stands by Dendrochronological Method] / G.E. Komin // *Ekologiya [Ecology]*. — 1970. — 2. — P. 104-106. [in Russian]
17. Tavankar F. Evaluation of Deadwood Characteristics and Carbon Storage under Different Silvicultural Treatments in a Mixed Broadleaves Mountain Forest / F. Tavankar, A.R. Kivi, K. Taheri-Abkenari et al. // *Forests*. — 2022. — 259. — DOI: 10.3390/f13020259.