

Научная статья

УДК 630*114.351

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.19>

EDN: FXPLTA

Оценка качественного и количественного состава древесного опада и его роли в поступлении углерода на вырубке

Д. А. Севергина¹, П. А. Арзубов^{1,2,✉}, И. В. Паюсова¹, А. Ф. Осипов¹, А. А. Дымов¹

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

Российская Федерация, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,

Российская Федерация, 167001, Сыктывкар, Октябрьский пр., 55

arzubov-2000@mail.ru ✉

Аннотация. *Введение.* Поступление растительного опада является ключевым звеном круговорота веществ в наземных экосистемах. Качество и состав древесного опада, поступающего на поверхность почвы, определяется возрастом и составом древостоя. К настоящему времени слабоизученными являются происходящие изменения в функционировании таёжных экосистем при сплошных рубках с использованием специализированной техники и в процессе лесовозобновления. *Цель* настоящей работы – оценить количественный и качественный состав опада на вырубках хвойно-лиственного насаждения средней тайги Республики Коми на различных технологических участках и поступление в его составе углерода на поверхность почвы. *Объекты и методы исследования.* Исследование проведено на территории Сыктывдинского района Республики Коми. Древесный опад собирали в конце мая 2022–2024 гг. и в конце вегетационных периодов 2021–2023 гг. после осеннего листопада. При анализе полученных данных выделялись две группы фракций по скорости их разложения: активные (листья, хвоя, семена) и неактивные (ветви, кора, шишки). Для пересчёта массы растительного органического вещества подстилки в запасы углерода использовались коэффициенты, специфичные для отдельных фракций в исследуемом регионе. *Результаты.* Масса древесного опада на фоновом участке в разные годы составила: в 2021–2022 гг. – $347,34 \pm 15,64$ г/м², в 2022–2023 гг. – $304,25 \pm 16,33$ г/м², в 2023–2024 гг. – $260,74 \pm 13,30$ г/м². После проведения сплошной рубки среднетаёжного хвойно-лиственного насаждения годовое поступление древесного опада уменьшилось в 14–66 раз за весь период наблюдений. В фоновом хвойно-лиственном насаждении за три года наблюдений количество поступающего углерода изменялось от $164,71 \pm 7,35$ до $123,49 \pm 6,25$ гС/м². Удаление древесного яруса в результате вырубki леса привело к значительному снижению поставок углерода с опадом древесных растений на поверхность почвы в 14–70 раз.

Ключевые слова: древесный опад; поступление углерода; сплошная рубка; лесные экосистемы

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-74-10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

Для цитирования: Оценка качественного и количественного состава древесного опада и его роли в поступлении углерода на вырубке / Д. А. Севергина, П. А. Арзубов, И. В. Паюсова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2025. № 1 (65). С. 19–32. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.19>; EDN: FXPLTA

Введение

В бореальных лесах сконцентрированы значительные запасы углерода, около 30–60 % из которых содержится в почвах [1, 2]. Оценка продуктивности этих лесов,

играющих ключевую роль в обеспечении материальных и духовных потребностей человека, а также в поддержании устойчивости биосферы, давно является важной задачей как в научных, так и практических

аспектах. На уровне лесного насаждения общие потоки и запасы углерода определяются для всех её компонентов. Эта проблема особенно актуальна для нашей страны, на территории которой произрастает около четверти всех лесов планеты, включая более половины хвойных лесов [3, 4].

Поступление растительного опада является ключевым звеном в круговороте веществ, связывающим биомассу и почву [5]. В лесных экосистемах он играет важную роль в процессе почвообразования, биологическом круговороте углерода, азота и зольных элементов, поступающих в почву. Этот процесс также служит одним из входящих параметров при моделировании временной динамики органического вещества в экосистемах после нарушений и при различных сценариях ведения лесного хозяйства [6].

Опад древесных растений – листья, хвоя, семена, ветви, кора и другие части, отмирающие в течение определённого времени, являются одним из важнейших компонентов, влияющих на формирование биогеохимических циклов лесных экосистем [7]. Качество и состав древесного опада зависят от возраста и состава древостоя. Анализ состава опада в фитоценозе позволяет оценить некоторые аспекты биологического круговорота веществ [8]. Качественный состав опада является одним из важнейших факторов, определяющих формирование и аккумуляцию углерода в подстилках лесных сообществ [9].

На территории Республики Коми в подзоне средней тайги еловые леса составляют 6,74 млн. га [10]. Известно, что в лесных экосистемах изменения, вызываемые хозяйственной деятельностью, ведут к нарушению биологического круговорота веществ. Рубка леса является одним из мощных факторов динамики лесных сообществ, вызывающих трансформацию структурных компонентов лесных экосистем и нарушение обменных процессов. Оценку изменений функционирования

лесных биогеоценозов в процессе рубки невозможно проводить без всестороннего изучения связей между фитоценозами и почвой [11]. Лесозаготовительные мероприятия являются одним из главных антропогенных факторов, изменяющих лесные экосистемы [12].

На сегодняшний день остаются малоизученными изменения в функционировании таёжных экосистем, вызванные сплошными рубками с применением специализированной техники, а также процессы лесовозобновления. Это затрудняет оценку количественного и качественного состава древесного опада [13]. В условиях изменения климата и антропогенного воздействия на лесные массивы изучение состава древесного опада становится особенно актуальным.

Исследований, посвящённых количественному и качественному составу опада на вырубках, недостаточно [8, 13–15] для полного понимания их влияния на хвойные лесные сообщества. Работы, посвящённые поступлению углерода с древесным опадом на поверхность почвы, носят единичный характер [11, 16, 17]. При этом в данных исследованиях не учитывались различия между технологическими участками вырубок (пасека, волок, выравненный волок), что является новизной в настоящей работе.

Цель данного исследования – оценить количественный и качественный состав опада на вырубке хвойно-лиственного насаждения средней тайги Республики Коми на различных технологических участках, а также определить поступление углерода в составе опада на поверхность почвы в первые три года после рубки.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1) подобрать три различных технологических участка вырубки и фоновый лес для сравнения;

2) исследовать количественный и качественный состав древесного опада в течение первых трёх лет наблюдений;

3) определить поступление углерода на поверхность почвы с древесным опадом за первые три года наблюдений после рубки.

Объекты и методы

Исследование проводилось на территории Республики Коми (РК) в Сыктывдинском районе с октября 2021 года по май 2024 года. Климат района умеренно-континентальный, с умеренно холодными условиями. Среднемесячная температура воздуха составляет $+16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в июле и $-15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в январе, среднегодовая температура – $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, годовое количество осадков – 514 мм [18].

Древесный ярус фонового участка представлен сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), берёзой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и берёзой повислой (*Betula pendula* Roth.). В виде незначительной примеси встречаются пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) и осина (*Populus tremula* L.). Ярусность в древостое не выражена. В подросте доминировала ель с небольшой примесью берёзы

и осины [19]. Естественное лесовозобновление на вырубках происходит преимущественно лиственными породами, с преобладанием берёзы.

Определение качественного и количественного состава древесного опада проводили в среднетаёжном хвойно-лиственном насаждении в фоновом лесу рядом с вырубкой, в 400 м от неё [20]. Рубка леса проводилась в декабре 2020 года с использованием специализированной техники (форвардер и харвестер). Площадь вырубki составила 30 га, на которой были выбраны пасечные участки и волока, доля которых составляет 17–18 % территории вырубki [21]. Согласно почвенно-географическому районированию Республики Коми [22], исследуемая территория расположена в южной части Вымь-Вычегодского округа типичных подзолистых почв, иллювиально-железистых подзолов, торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почв. Описание свойств почв и растительных сообществ до и после рубки было исследовано нами ранее [23].

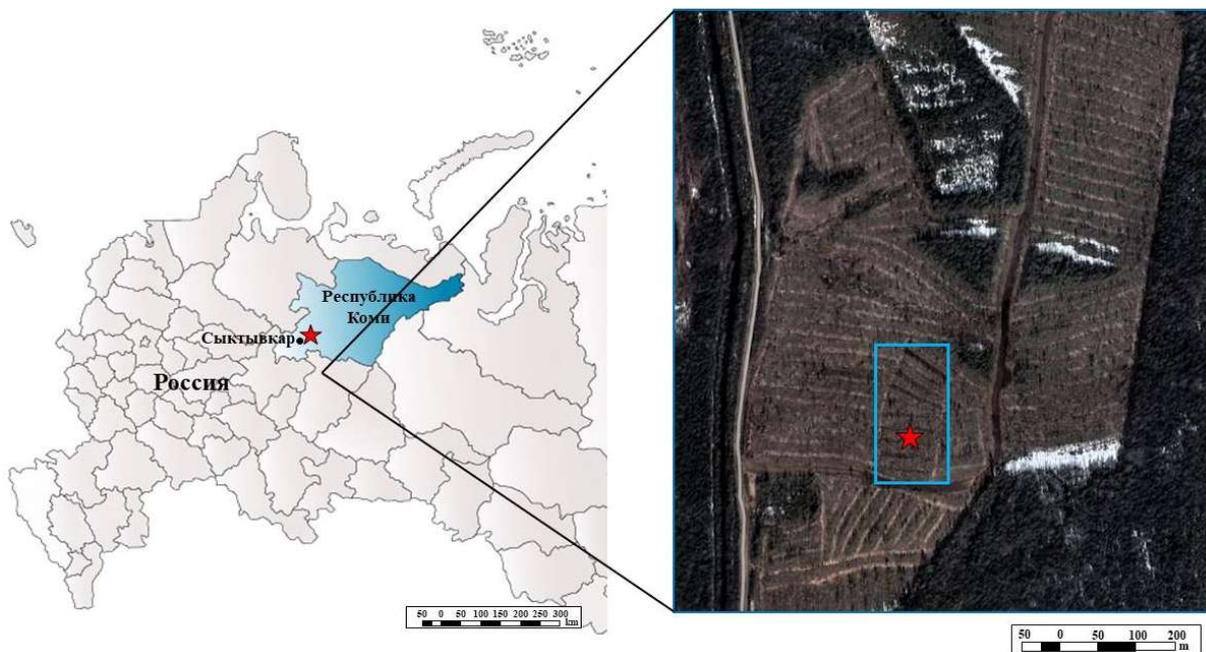


Рис. 1. Расположение объекта исследования
Fig. 1. Location of the study object

Поскольку проведение ежегодного цикла наблюдений перед рубкой леса было невозможно, масса опада определялась в условно-фоновом насаждении, растущем рядом с вырубкой [24]. Использование такого подхода позволило исключить влияние погодных условий конкретного года на массу поступающего опада из-за одинакового периода наблюдений [25].

Отбор опада производился с помощью 30 случайно расположенных опадоуловителей (ОУ) размером 0,25 м². Десять ОУ были установлены в фоновом хвойно-лиственном насаждении, расположенном рядом с вырубкой. Двадцать ОУ на вырубке, причём пять из них установлены на пасечных участках, а 15 на волоках, из которых пять установлены на волоке, на котором было проведено выравнивание колеи, удаление подстилки, пней и порубочных остатков (10Р) (рис. 2). Опад собирали в конце мая 2022–2024 гг. и в конце вегетационных периодов 2021–2023 гг. после осеннего листопада.



Рис. 2. Внешний вид опадоуловителя на волоке 10Р

Fig. 2. Appearance of a litterfall collector on Skidding Trail 10R

В лабораторных условиях собранные образцы сортировали на фракции. При анализе полученных данных выделяли две группы фракций по скорости их разложения: активные (листья, хвоя, семена) и неактивные (ветви, кора, шишки) [26]. Трудно дифференцируемые, сильно измельчённые образцы были отнесены к фракции «растительный остаток» [25]. Для пересчёта массы растительного органического вещества в подстилке в запасы углерода использовались коэффициенты, специфичные для отдельных фракций в исследуемом регионе [8, 13, 27, 28].

Статистический анализ выполнен в Microsoft Excel и R 4.2.2 (R Core Team, 2022). Рассчитывались средние значения и их ошибки. Нормальность распределения исходных данных и остатков линейных моделей регрессии проверяли методом Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения парные межгодовые сравнения проводили при помощи t-теста (t_t). Для сравнения поступления древесного опада на поверхность почвы технологических элементов вырубki использовали критерий Краскелла–Уоллиса вследствие ненормальности распределения исходных данных и отсутствия однородности групповых дисперсий.

Результаты и их обсуждение

Одним из важнейших параметров поступления химических элементов на поверхность почвы является растительный опад [29]. Масса древесного опада (табл. 1), поступившего на поверхность почвы ненарушенного участка хвойно-лиственного насаждения, за разные годы составила: в 2021–2022 гг. – 347,34±15,64 г/м², в 2022–2023 гг. – 304,25±16,33 г/м², в 2023–2024 гг. – 260,74±13,30 г/м². Получившиеся результаты соответствуют литературным данным [8, 10]. Так по полученным данным [8] в ельнике черничном масса опада составила 198–303 г/м² в разные годы наблюдений, а в [10] ельнике чернично-сфагновом данные колеблются от 244,56–274,13 г/м².

Таблица 1. Масса древесного опада в фоновом хвойно-лиственном насаждении древесного яруса
Table 1. The mass of litter from the tree layer in the background coniferous-deciduous stand

Фракция	Масса, г/м ² в год, воздушно-сухого вещества по годам		
	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.
<i>Активные фракции, в т. ч.</i>	265,43±14,19	236,34±10,86	182,25±12,48
хвоя ели	99,02±7,46	113,27±12,68	58,20±5,02
хвоя сосны	0,82±0,49	0,71±0,49	0,51±0,49
хвоя пихты	0,05±0,04	0,01±0,01	0,06±0,03
листья берёзы	125,40±11,42	112,13±9,26	110,91±11,84
листья осины	4,29±1,91	4,56±3,79	9,15±3,77
листья рябины	–	–	0,04±0,04
РОДР ¹	35,87±10,86	5,66±0,70	3,39±0,41
<i>Неактивные фракции, в т. ч.</i>	66,74±11,77	45,58±12,06	61,35±11,04
кора	2,52±0,73	11,32±9,97	3,00±1,94
ветви	64,07±11,75	33,94±4,52	52,49±8,96
шишки	0,16±0,16	0,32±0,18	5,86±3,38
РО ²	15,17±2,12	22,32±1,82	13,75±1,18
<i>Всего</i>	347,34±15,64	304,25±16,33	260,74±13,30

Примечание: ¹РОДР – репродуктивные органы древесных растений (почки, семена); ²РО – растительный остаток; ± – ошибка среднего; прочерк – данные отсутствуют.

В составе древесного опада преобладает активная фракция (75 % от общего опада), в составе которой преобладают хвоя (55 %) и листья (39 %), незначительная часть приходится на семена, около 6 %. Неактивная фракция занимает 19 % от общего опада, составленная из коры (11 %), ветвей (85 %), а также шишек (4 %). Растительный остаток составляет 6 % от всего опада. Наблюдаемое распределение фракций типично для изучаемых лесов. В работе [10] доля активных фракций составила 65 %, а неактивных – 35 %. Наблюдается резкое уменьшение РОДР в 10 раз после первого года изучения, что обуславливается уменьшением количества семян берёзы. В ельнике чернично-сфагновом средней тайги [17] годовое поступление древесного опада составляло 260 г/м², доля активной фракции составляла 64 % (преобладает хвоя – 55 % от общей массы), неактивной – 24 %.

После проведения сплошной рубки среднетаёжного хвойно-лиственного насаждения годовое поступление древесного опада уменьшилось в 14–66 раз за весь период наблюдений (табл. 2). На поверхность технологических участков вырубке в течение 2021–2022 гг. поступает

4,79–10,27 г/м², причём меньший показатель на выравненном волоке (10Р), а больший – на волоке. На всех элементах вырубке преобладает активная фракция (71–81 %), преимущественно составленная листьями древесных растений (44–66 %), что является следствием активного заселения пространства вырубке мелколиственными породами. Доля опада хвои (сосны, ели и пихты) составляет всего 17 % на 10Р, 25 % на волоке и 30 % на пасеке. Согласно А. А. Дымову с соавт. [8], опад листьев древесных растений на вырубке составлял 62,5 %.

В течение 2022–2023 гг. масса поступившего древесного опада на волоке и 10Р практически не изменилась (12,1±1,4 и 6,1±1,6 г/м² соответственно), за исключением пасечного участка, где наблюдалось увеличение в 2,1 раза и составила 18,67±6,6 г/м². Наблюдается схожая тенденция преобладания активной фракции (70–79 %) с предыдущим годом, которая также в большей степени состоит из листьев (48–57 %). Доля хвои (сосны, ели) варьирует от 8 до 20 %. Исключением является 10Р, где доля хвои больше доли листьев древесных растений (34 и 28 % соответственно).

Таблица 2. **Масса древесного опада древесного яруса на вырубке**
 Table 2. The mass of litter from the tree layer in a clearcut area

Фракции	Масса древесного опада, г/м ² в год, воздушно-сухого вещества								
	Пасека			Волок			10Р ¹		
	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.
<i>Активные фракции, в т. ч.</i>	7,08±0,81	13,61±4,07	15,10±4,31	7,36±1,31	9,56±1,50	11,89±2,86	4,20±0,00	3,91±0,42	3,77±0,75
хвоя ели	1,61±0,59	0,70±0,36	0,17±0,10	0,90±0,23	1,18±0,50	0,21±0,06	0,48±0,10	1,73±0,31	0,38±0,14
хвоя сосны	0,93±0,35	0,93±0,43	0,43±0,11	1,13±0,25	1,33±0,29	1,26±0,32	0,37±0,14	0,32±0,13	0,07±0,03
листья берёзы	2,19±0,27	5,03±1,60	5,74±2,60	3,12±0,78	5,08±1,23	5,53±1,06	1,40±0,51	1,39±0,48	3,07±0,66
листья осины	1,75±0,83	2,28±0,67	7,97±3,23	0,84±0,30	0,25±0,18	1,87±0,65	1,95±1,95	0,37±0,37	0,09±0,07
листья рябины	0,35±0,22	1,59±1,59	–	0,02±0,02	0,11±0,11	–	–	–	–
листья ивы	0,24±0,24	0,05±0,05	0,15±0,15	0,57±0,57	0,17±0,11	0,42±0,30	–	–	0,10±0,10
листья шиповника	–	2,99±1,74	0,27±0,18	–	1,28±0,70	2,39±1,52	–	–	0,02±0,02
РОДР ²	–	0,04±0,03	0,38±0,18	0,16±0,11	0,16±0,09	0,20±0,06	–	0,11±0,11	0,05±0,03
<i>Неактивные фракции, в т. ч.</i>	0,74±0,26	3,98±3,83	0,70±0,28	2,41±0,56	1,62±0,69	1,08±0,58	0,26±0,07	1,40±0,82	0,06±0,04
кора	0,30±0,14	0,07±0,04	0,14±0,01	0,93±0,32	1,37±0,73	0,02±0,02	0,19±0,05	0,46±0,20	–
ветви	0,43±0,17	3,90±3,80	0,56±0,28	1,48±0,40	0,25±0,09	1,06±0,56	0,07±0,04	0,94±0,68	0,06±0,04
РО ³	0,56±0,11	1,09±0,18	2,00±0,86	0,50±0,08	0,88±0,11	0,75±0,23	0,39±0,16	0,78±0,36	0,08±0,04
<i>Всего</i>	8,68±0,78	18,67±6,60	18,18±4,98	10,27±1,80	12,06±1,38	13,71±3,45	4,79±2,28	6,09±1,55	3,92±0,82

Примечание: ¹10Р – волок, на котором проведено выравнивание и удаление подстилки; ²РОДР – репродуктивные органы древесных растений (почки, семена); ³РО – растительный остаток; ± – ошибка среднего; прочерк – данные отсутствуют.

В период с 2023 по 2024 гг. получают схожие результаты поступления опада на технологические элементы вырубки. На пасечный участок поступило $18,18 \pm 4,98$, на волок – $13,71 \pm 3,45$, на 10Р – $3,92 \pm 0,82$ г/м² в год. Заметно явное превалирование активной фракции, на долю которой приходится 81–97 %. Всё так же доминируют листья древесных растений – 74–83 %.

На вырубках 1–4-летней давности в Архангельской области ельника чернично-влажного доля хвои и листьев не превышает 14–15 г/м² [15], что сопоставимо с нашими результатами. В работе [14] на вырубках 4–6-летних ельников чернично-влажного и долгомошно-сфагнового годовое поступление древесного опада составляло 36,61 и 41,21 г/м² соответственно, что существенно превышает получившиеся показатели в данной работе. Доля активной фракции составляет 61 %, неактивной – 32 %. Спустя 20 лет после сплошной рубки в ельнике черничном годовое поступление древесного опада составило 158 г/м² [30].

По данным наблюдений за три года, на вырубке хвойно-лиственного насаждения отмечается возрастание массы древесного опада, что обусловлено начальными сукцессионными процессами. Однако достоверные межгодовые различия этого параметра за период исследований отсутствуют, что во многом связано с неравномерным размещением подроста по территории вырубки. Стоит отметить, что на участках волоков за время наблюдений увеличение годового поступления опада не происходит, так как полученные данные находятся в пределах погрешности.

На пасечном участке за весь промежуток исследования с 2021 по 2024 гг. различий в годовом поступлении опада не обнаружено ($pt > 0,05$) по всем показателям, за исключением поступления хвои сосны и ели в 2022 и 2024 годах, где показатель упал в 1,6 раза ($pt = 0,023$). На воло-

ке заметно сокращение поступления хвои сосны и ели, где с 2023 по 2024 год оно сократилось в 1,7 раза ($pt = 0,005$). Происходит существенное увеличение поступления всех листьев древесных растений с 2022 по 2024 гг. в 2,2 раза ($pt = 0,043$), практически исчезает кора растений за три года наблюдений, уменьшилась в 46 раз ($pt = 0,17$). На выравненном волокне (10Р) доля неактивной фракции с 2022 по 2024 год уменьшилась в 4,4 раза ($pt = 0,037$). Хвоя древесных растений с 2023 по 2024 год уменьшилась в 4,5 раза ($pt = 0,011$) за счёт уменьшения хвои ели в 4,6 раза ($pt = 0,016$).

В целом, за весь период наблюдений на вырубке преобладает активная фракция (61–97 %), в состав которой входят хвоя, листья, РОДР. Неактивная фракция занимает 2–30 % (кора, ветви, шишки) от общего поступления опада. Незначительная часть приходится на растительный остаток 1–11 %.

В фоновом хвойно-лиственном насаждении за три года наблюдений количество поступающего углерода с древесного опада изменялось от $164,71 \pm 7,35$ до $123,49 \pm 6,25$ г/м² (табл. 3). Значения данных находятся в аналогичных пределах, что совпадает с литературными данными ($69,6–172$ г/м²) [16]. По другим материалам [17], количество поступающего углерода на поверхность почвы с опадом составило 130 г/м². После проведения сплошной рубки скорость поступления углерода уменьшается в 1,3–1,9 раза, из которых лишь 17–18 % приходится на древесный опад ($17–18$ г/м²).

Удаление древесного яруса в результате вырубки леса привело к значительному снижению поставок углерода с опадом древесных растений на поверхность почвы. Произошло уменьшение в первый год в 34–70 раз, за второй год в 16–50 раз, в третий год в 14–67 раз (табл. 4). Стоит отметить, что наименьшие показатели всегда получены на участке 10Р.

Таблица 3. Поступление углерода с древесным опадом в хвойно-лиственном насаждении
Table 3. Carbon input from tree litter in a coniferous-deciduous stand

Фракция	Поступление углерода, гС/м ² в год		
	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.
<i>Активные фракции, в т. ч.</i>	124,88±6,67	111,08±5,10	85,66±5,87
хвоя ели	46,76±3,51	53,49±5,96	27,48±2,36
хвоя сосны	0,44±0,23	0,38±0,23	0,27±0,23
хвоя пихты	0,02±0,01	0,01±0,01	0,03±0,01
листья берёзы	60,19±5,37	53,82±4,35	53,23±5,56
листья осины	2,02±0,90	2,15±1,78	4,31±1,77
листья рябины	–	–	0,02±0,02
РОДР ¹	16,98±5,09	2,68±0,33	1,60±0,19
<i>Неактивные фракции, в т. ч.</i>	31,69±5,53	21,59±5,67	29,06±5,19
кора	1,27±0,34	5,36±4,69	1,42±0,91
ветви	30,34±5,52	16,07±2,12	24,86±4,21
шишки	0,08±0,08	0,15±0,08	2,78±1,59
РО ²	7,18±0,99	10,57±0,86	6,51±0,55
<i>Всего</i>	164,71±7,35	144,09±7,68	123,49±6,25

Примечание: ¹РОДР – репродуктивные органы древесных растений (почки, семена); ²РО – растительный остаток; ± – ошибка среднего; прочерк – данные отсутствуют.

На пасечном участке годовое поступление углерода в 2021–2022 гг. составило 4,08±0,37 гС/м², в период с 2022 по 2023 гг. – 8,77±3,10 гС/м², а с 2023 по 2024 гг. – 8,54±2,34 гС/м². На волоке в первый год 4,83±0,85 гС/м², во второй год – 5,67±0,65 г/м², в третий год наблюдений – 6,44±1,62 гС/м². На 10Р 2,35±1,07 гС/м², 2,86±0,73 гС/м², 1,84±0,39 гС/м² за три года наблюдений соответственно. В статье [11] отмечается, что на вырубках ельника чернично-влажного и долгомошно-сфагнового в Республике Коми годовое поступление углерода с древесного опада на поверхность почвы составляло 15,2 и 17,6 гС/м² соответственно, что выше в несколько раз.

На вырубках ельников 15–20-летней давности [9] фитоценоз активно восстанавливается, поэтому количество углерода с древесного опада начинает возрастать и достигает 70 гС/м². Похожие результаты поступления углерода с дре-

весным опадом на вырубках ельников черничных 20-тилетней давности показаны в работе [30], где поступление углерода составило 77 гС/м².

Исходя из полученных результатов, можно сказать о том, что в фоновом хвойно-лиственном насаждении чернично-зеленомошного типа количество ежегодно поступающего древесного опада колеблется в зависимости от климатических условий. На вырубках поступление опада не связано с конкретным технологическим участком, но связано с открытым пространством вырубки, способствующим равномерному распространению отмерших растительных остатков. При этом на волоках наблюдается минимальное количество древесного опада из-за обеднения древесной растительности растений, тогда как на пасечных участках его запас несколько выше. Поступление углерода на поверхность почвы с древесным опадом напрямую зависит от его массы.

Таблица 4. Поступление углерода с древесным опадом на вырубке
Table 4. Carbon input from tree litter in a clear-cut area

Фракции	Поступление углерода, гС/м ² в год								
	Пасека			Волок			10Р ¹		
	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.	2021–2022 гг.	2022–2023 гг.	2023–2024 гг.
<i>Активные фракции, в т. ч.</i>	3,33±0,38	6,40±1,91	7,10±2,03	3,46±0,62	4,49±0,71	5,59±1,34	1,97±1,11	1,84±0,20	1,77±0,35
хвоя ели	0,76±0,28	0,33±0,17	0,08±0,05	0,42±0,11	0,55±0,24	0,10±0,03	0,23±0,05	0,81±0,15	0,18±0,07
хвоя сосны	0,44±0,16	0,44±0,20	0,20±0,05	0,53±0,12	0,63±0,14	0,59±0,15	0,17±0,07	0,15±0,06	0,03±0,01
листья берёзы	1,03±0,13	2,36±0,65	2,70±1,22	1,47±0,37	2,39±0,58	2,60±0,50	0,66±0,24	0,65±0,23	1,44±0,31
листья осины	0,83±0,39	1,07±0,31	3,75±1,52	0,39±0,14	0,12±0,08	0,88±0,31	0,92±0,92	0,17±0,17	0,04±0,03
листья рябины	0,16±0,10	0,75±0,75	–	0,01±0,01	0,05±0,05	–	–	–	–
листья ивы	0,11±0,11	0,02±0,02	0,07±0,07	0,27±0,27	0,08±0,05	0,20±0,14	–	–	0,05±0,05
листья шиповника	–	1,41±0,82	0,13±0,08	–	0,60±0,33	1,12±0,71	–	–	0,01±0,01
РОДР ²	–	0,02±0,01	0,18±0,08	0,08±0,05	0,08±0,04	0,09±0,03	–	0,05±0,05	0,02±0,01
<i>Неактивные фракции, в т. ч.</i>	0,35±0,12	1,87±1,80	0,33±0,13	1,13±0,26	0,76±0,32	0,51±0,27	0,20±0,03	0,66±0,39	0,03±0,02
кора	0,14±0,07	0,04±0,01	0,07±0,01	0,44±0,15	0,64±0,34	0,01±0,01	0,08±0,02	0,22±0,09	–
ветви	0,21±0,08	1,83±1,79	0,26±0,13	0,70±0,19	0,12±0,04	0,50±0,26	0,04±0,02	0,44±0,32	0,03±0,02
РО ³	0,26±0,05	0,51±0,08	0,94±0,40	0,24±0,04	0,41±0,05	0,35±0,11	0,18±0,08	0,37±0,17	0,04±0,02
<i>Всего</i>	4,08±0,37	8,77±3,10	8,54±2,34	4,83±0,85	5,67±0,65	6,44±1,62	2,35±1,07	2,86±0,73	1,84±0,39

Примечание: ¹10Р – волок, на котором проведено выравнивание и удаление подстилки; ²РОДР – репродуктивные органы древесных растений (почки, семена); ³РО – растительный остаток; ± – ошибка среднего; прочерк – данные отсутствуют.

Выводы

Выявлено, что в условно-фоновом хвойно-лиственном насаждении чернично-зеленомошного типа масса древесного опада в год составляет от 260,74 до 347,34 г/м², в котором преобладает активная фракция (75 %), состоящая из хвои и листьев древесных растений. На технологических участках вырубке этот параметр составил: в первый год 4,79–10,27 г/м², во второй год – 6,09–18,67 г/м², в третий год – 3,92–18,18 г/м². Наименьшая масса древесного опада была зафиксирована на выравненном волоке. На всех участках во все годы наблюдений преобладала активная фракция (70–97 %), состоящая из листьев мелколиственных деревьев.

После проведения сплошной рубки масса древесного опада сократилась в 14–66 раз за весь период наблюдений.

Установлено значительное уменьшение годового поступления углерода с древесного опада на поверхность почвы после сплошной рубки леса. В сравнении с фоновым хвойно-лиственным насаждением чернично-зеленомошного типа, это снижение составило от 14 до 70 раз. На пасечном участке показатели годового поступления углерода варьировались от 4,08 до 8,77 гС/м², на волоке – от 4,83 до 6,44 гС/м², а на участке 10Р – от 1,84 до 2,86 гС/м² за период с осени 2021 года по весну 2024 года.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Курганова И. Н., Кудеяров В. Н. Экосистемы России и глобальный бюджет углерода // Наука в России. 2012. № 5 (191). С. 25–32. EDN: PFRAGB
2. Osipov A. F., Bobkova K. S., Dymov A. A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // Geoderma Regional. 2021. Vol. 27. Art. e00427. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427; EDN: TQVIZW
3. Демаков Ю. П., Симанова А. А. Распространение и производительность ельников в различных экотопах Республики Марий Эл // Научный диалог. 2013. № 3 (15). С. 26–42. EDN: PXQKOV
4. Курбанов Э. А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 2. С. 7–15. EDN: MUCKWN
5. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils / P. Smith, M. F. Cotrufo, C. Rumpel et al. // Soil. 2015. Vol. 1, iss. 2. Pp. 665–685. DOI: 10.5194/soil-1-665-2015
6. The use of forest ecosystem model EFIMOD for research and practical implementation at forest stand, local and regional levels / O. Chertov, A. Komarov, A. Loukianov et al. // Ecological Modelling. 2006. Vol. 194, iss. 1–3. Pp. 227–232. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.10.015
7. Сравнительная оценка скорости разложения растительного опада в еловых и сосновых лесах на северном пределе распространения / Е. А. Иванова, М. А. Данилова, В. Э. Смирнов и др. // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6, № 3. С. 92–122. DOI: 10.31509/2658-607x-202363-132; EDN: WHOTJK
8. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях / А. А. Дымов, К. С. Бобкова, В. В. Тужилкина и др. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2012. № 3 (327). С. 7–18. EDN: OZITPN
9. Пристова Т. А. Аккумуляция углерода в подстилках среднетаёжных лиственных лесов Республики Коми // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 2. С. 81–85. DOI: 10.55355/snsv2023122112; EDN: HEGAOM
10. Кузнецов М. А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаёжном чернично-сфагновом ельнике // Лесоведение. 2010. № 6. С. 54–60. EDN: NBKODD
11. Лиханова Н. В., Бобкова К. С. Пулы и потоки углерода в экосистемах вырубки ельников средней тайги Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 91–100. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-091-100; EDN: QNTOOZ
12. Старцев В. В., Севергина Д. А., Дымов А. А. Динамика содержания водорастворимых форм углерода и азота почв в первые годы после сплошной рубки // Почвоведение. 2024. № 6. С. 797–812. DOI: 10.31857/S0032180X24060028; EDN: YCDBMV
13. Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828; EDN: WLXSUO
14. Лиханова Н. В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 3 (339). С. 52–66. EDN: SEEOIV
15. Чертовской В. Г. Долгомошные вырубки, их образование и облесение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.
16. Осипов А. Ф., Кузнецов М. А., Бобкова К. С. Запасы и потоки углерода в хвойных экосистемах и на вырубках средней тайги // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая

продуктивность и дистанционный мониторинг. 2017. № 3. С. 105–112. EDN: YOKZTN

17. Кузнецов М. А., Осипов А. Ф. Растительный опад как компонент биологического круговорота углерода в заболоченных хвойных сообществах средней тайги // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 9. С. 10–12. EDN: VVEXMN

18. Атлас почв Республики Коми / Ред. Г. В. Добровольский, А. И. Таскаев, И. В. Забоева. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с. EDN: QLNHTN

19. Влияние лесозаготовительной техники на динамику естественного возобновления леса после рубки хвойно-лиственного насаждения средней тайги / И. Н. Кутявин, А. В. Манов, В. В. Старцев и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 123–132. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-123-132; EDN: FCHCEN

20. Осипов А. Ф., Старцев В. В., Дымов А. А. Влияние сплошной рубки на эмиссию CO₂ с поверхности подзолистой почвы среднетаёжного хвойно-лиственного насаждения (Республика Коми) // Почвоведение. 2024. № 5. С. 728–737. DOI: 10.31857/S0032180X24050066; EDN: YLNPY

21. Физические свойства минеральных горизонтов почв вырубки (средняя тайга, Республика Коми) / С. А. Огородня, М. А. Бутылкина, С. Р. Крайков и др. // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. Т. 79, № 2. С. 15–25. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-15-25; EDN: NUMGPK

22. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / А. П. Братцев и др.; Отв. ред. А. И. Таскаев. М.: Дрофа; Дик, 1997. 115 с.

23. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колёсной лесозаготовительной

техники (средняя тайга, Республика Коми) / А. А. Дымов, В. В. Старцев, Н. М. Горбач и др. // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441. DOI: 10.31857/S0032180X22110028; EDN: ULGVOC

24. Carbon Pools and Fluxes in Mixed Coniferous-Small-Leaved Forests and Clearcut Areas / A. A. Dymov, A. F. Osipov, V. V. Startsev et al. // Eurasian Soil Science. 2024. Vol. 57, iss. 11. Pp. 1867–1878. DOI: 10.1134/S1064229324601847; EDN: GLFNIH

25. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests / M. Portillo-Estrada, J. F. J. Korhonen, M. Pihlatie et al. // Annals of Forest Science. 2013. Vol. 70, iss. 4. Pp. 367–379. DOI: 10.1007/s13595-013-0273-0

26. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.

27. Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаёжных ельниках на автоморфных почвах: монография. СПб.: Наука, 2014. 270 с. EDN: TNBFNN

28. Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.

29. Кошелева Ю. П., Трофимов С. Я. Особенности биохимического состава растительного опада разной степени разложения (по данным термического анализа) // Известия РАН. Серия Биологическая. 2008. № 1. С. 77–83. EDN: IBYSRV

30. Запасы фитомассы и органического углерода среднетаёжных ельников при восстановлении после сплошнолесосечной рубки / А. Ф. Осипов, В. В. Тужилкина, А. А. Дымов и др. // Известия РАН. Серия Биологическая. 2019. № 2. С. 215–224. DOI: 10.1134/S0002332919020103; EDN: YYEKLL

Статья поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 06.02.2025; принята к публикации 28.02.2025

Информация об авторах

СЕВЕРГИНА Дарья Андреевна – аспирант, младший научный сотрудник отдела почвоведения, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – вырубки, микробиологические свойства. Автор 10 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3464-2744>; SPIN-код: 9380-5418

АРЗУБОВ Павел Андреевич – аспирант, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина; старший лаборант отдела почвоведения, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – вырубки, дыхание почв, газообмен. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4941-3799>

ПАЮСОВА Ирина Владимировна – аспирант, старший лаборант отдела почвоведения, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – почвенное органическое вещество, гари, бензолполикарбоновые кислоты. Автор трёх научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-3727>; SPIN-код: 2672-0391

ОСИПОВ Андрей Фёдорович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – газообмен, вырубки. Автор 120 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-9660>; SPIN-код: 9431-5624

ДЫМОВ Алексей Александрович – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела почвоведения, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – лесное почвоведение, цикл углерода, бореальные леса. Автор 253 научных публикаций, в том числе 12 монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1284-082X>; SPIN-код: 3678-3807

Вклад авторов:

Севергина Д.А. – выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Арзубов П.А. – выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Паюсова И.В. – выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Осипов А.Ф. – постановка цели и задач, разработка программы и методики, организация мониторинговых наблюдений, вычитка окончательного варианта рукописи.

Дымов А.А., – постановка цели и задач, разработка программы и методики, организация мониторинговых наблюдений, вычитка окончательного варианта рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*114.351

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.19>

EDN: FXPLTA

Assessing the Qualitative and Quantitative Composition of Tree Litter and its Role in Carbon Input in a Clearcut Area

D. A. Severgina¹, P. A. Arzubov^{1,2,✉}, I. V. Payusova¹, A. F. Osipov¹, A. A. Dymov¹

¹ Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation

² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, 55, Oktyabrsky Prosp., Syktyvkar, 167001, Russian Federation
arzubov-2000@mail.ru ✉

Abstract. *Introduction.* In terrestrial ecosystems, the input of plant litter is a key link in the biogeochemical element cycling. The quality and composition of tree litter supplied to the soil surface is determined by the age and composition of the forest stand. To date, insufficient research attention has been given to changes in the functioning of taiga ecosystems in the case clear cutting is performed using specialized equipment, as well as to changes occurring during regeneration. This work *aims* to assess the quantitative and qualitative composition of litter in clear-cut areas of the middle taiga coniferous-deciduous stands of the Komi Republic at various technological sites and to estimate the carbon influx from litter to the soil surface. *Objects and methods.* The study was conducted on the territory of the Syktyvdinsky district of the Komi Republic. Tree litter was collected in late May in 2022–2024 and at the end of the 2021–2023 growing seasons after autumn leaf fall. Based on the analysis of data obtained, two groups of fractions were distinguished according to their decomposition rate: active fractions (leaves, needles, seeds) and inactive ones (branches, bark, cones). To convert the mass of plant organic matter of the ground litter into carbon stocks, coefficients specific to individual fractions in the studied region were used. *Results.* In different years, the tree litter mass at the background site was as follows: 347.34±15.64 g/m² in 2021–2022, 304.25±16.33 g/m² in 2022–2023, and 260.74±13.30 g/m² in 2023–2024. After clear-cutting in the middle taiga coniferous-deciduous stand, annual litter fall decreased 14–66 times over the entire observation period. In the background coniferous-deciduous stand, the amount of carbon input varied from 164.71±7.35 to 123.49±6.25 gC/m² during three years of observation. Removal of the tree layer through forest clear cutting resulted in a significant 14- to 70-fold reduction in carbon supply from tree litter to the soil surface.

Keywords: tree litter; carbon input; clear cutting; forest ecosystems

Funding: the study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-74-10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>

For citation: Severgina D. A., Arzubov P. A., Payusova I. V. et al. Assessing the Qualitative and Quantitative Composition of Tree Litter and its Role in Carbon Input in a Clearcut Area. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2025;(1):19–32. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2025.1.19>; EDN: FXPLTA

REFERENCES

1. Kurganova I. N., Kudeyarov V. N. Ecosystems of Russia and global carbon budget. *Nauka v Rossii (Science in Russia)*. 2012;5(191):25–32. EDN: PFRAGB (In Russ.).
2. Osipov A. F., Bobkova K. S., Dymov A. A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia. *Geoderma Regional*. 2021;27:e00427. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427; EDN: TQVIZW
3. Demakov Yu. P., Simanova A. A. Expansion and yield of spruce forests in various ecotopes of Mari El Republic. *Nauchnyi dialog (Scientific Dialogue)*. 2013;(3 (15)):26–42. EDN: PXQKOV (In Russ.).
4. Kurbanov E. A. Carbon budget simulation in forest stands based on example of Povolzhje pine forests. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2009;(2):7–15. EDN: MUCKWN (In Russ.).
5. Smith P., Cotrufo M. F., Rumpel C. et al. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil*. 2015;1(2):665–685. DOI: 10.5194/soil-1-665-2015
6. Chertov O., Komarov A., Loukianov A. et al. The use of forest ecosystem model EFIMOD for research and practical implementation at forest stand, local and regional levels. *Ecological Modelling*. 2006;194(1-3):227–232. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.10.015
7. Ivanova E. A., Danilova M. A., Smirnov V. E. et al. Comparative assessment of the decomposition rate of plant litterfall in spruce and pine forests at the northern distribution limit. *Forest Science Issues*. 2023;6(3):92–122. DOI: 10.31509/2658-607x-202363-132; EDN: WHOTJK (In Russ.).
8. Dymov A. A., Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V. et al. Tree waste in an aboriginal spruce forest and mixed stands. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*; 2012;(3(327)):7–18. EDN: OZITPN (In Russ.).
9. Pristova T. A. Carbon stocks in the litter of the middle taiga deciduous forests of the Komi Republic. *Samara Journal of Science*. 2023;12(2):81–85. DOI: 10.55355/snv2023122112; EDN: HEGAOM (In Russ.).
10. Kuznetsov M. A. Effect of decomposition conditions and falloff composition on litter reserves and characteristics in a bilberry-sphagnum spruce forest of middle taiga. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*. 2010;(6):54–60. EDN: NBKODD (In Russ.).
11. Likhanova N. V., Bobkova K. S. Pools and carbon fluxes in felling ecosystems spruce forests of the middle taiga of the Komi Republic. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019;(2):91–100. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-091-100; EDN: QNTOOZ (In Russ.).
12. Startsev V. V., Severgina D. A., Dymov A. A. Dynamics of water-soluble carbon and nitrogen content in soils in the first years after clearcutting. *Eurasian Soil Science*. 2024;(6):797–812. DOI: 10.31857/S0032180X24060028; EDN: YCDBMV (In Russ.).
13. Dymov A. A. Soil successions at boreal forests of the Komi Republic. Moscow, GEOS Publ.; 2020. 336 p. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828; EDN: WLXSUO (In Russ.).
14. Likhanova N. V. The role of tree waste in the litter layer formation in cutting areas of middle taiga spruce forests. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2014;(3(339)):52–66. EDN: SEEOIV (In Russ.).
15. Chertovskoy V. G. Cutting areas in haircap-moss forests, their formation and afforestation. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1963. 136 p. (In Russ.).
16. Osipov A. F., Kuznetsov M. A., Bobkova K. S. Carbon stocks and flows in coniferous ecosystems and clearings of the middle taiga. *Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring*. 2017;(3):105–112. EDN: YOKZTN (In Russ.).
17. Kuznetsov M. A., Osipov A. F. Plant litter as a component of the biological carbon cycle of wet coniferous communities in the middle taiga. *Vestnik of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2011;(9):10–12. EDN: VVEXMN (In Russ.).
18. Soil atlas of the Komi Republic. Dobrovolsky G. V., Taskaev A. I., Zaboeva I. V. (Eds.). Syktyvkar, Komi Republic Publishing House; 2010. 356 p. EDN: QLNHTN (In Russ.).
19. Kutyavin I. N., Manov A. V., Starcev V. V. et al. The logging equipment effect on the dynamics of natural reforestation of after cutting mixed coniferous-deciduous stand in the middle taiga. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024;(3):123–132. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-123-132; EDN: FCHCEN (In Russ.).
20. Osipov A. F., Startsev V. V., Dymov A. A. Influence of clear felling on CO₂ emission from the podzolic soil surface of the coniferous-deciduous forest (Middle Taiga, Komi Republic). *Eurasian Soil Science*. 2024;(5):728–737. DOI: 10.31857/S0032180X24050066; EDN: YLINPY (In Russ.).
21. Ogorodnyaya S. A., Butylkina M. A., Krasikov S. R. et al. Physical properties of upper mineral horizons of cutting area (Middle Taiga, Komi Republic). *Lomonosov Soil Science Journal*. 2024;79(2):15–25. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-15-25 (In Russ.).
22. Atlas of the Komi Republic on climate and hydrology. Bratsev A. A., Bratsev A. P. (Map eds.), Taskaev A. I. (Ed.). Moscow, DiK, Drofa Publ.; 1997. 116 p. (In Russ.).

23. Dymov A. A., Startsev V. V., Gorbach N. M. et al. Changes in soil and vegetation with different number of passes of wheeled forestry equipment (Middle Taiga, Komi Republic). *Eurasian Soil Science*. 2022;(11): 1633–1646. DOI: 10.31857/S0032180X22110028; EDN: ULGVOC (In Russ.).

24. Dymov A. A., Osipov A. F., Startsev V. V. et al. Carbon pools and fluxes in mixed coniferous–small-leaved forests and clearcut areas. *Eurasian Soil Science*. 2024;57(11):1867–1878. DOI: 10.1134/S1064229324601847; EDN: GLFNIIH

25. Portillo-Estrada M., Korhonen J. F. J., Pihlatie M. et al. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests. *Annals of Forest Science*. 2013;70(4):367–379. DOI: 10.1007/s13595-013-0273-0

26. Karpachevskiy L. O. Forest and forest soils. Moscow, Lesnaya Promyshlennost; 1981. 264 p. (In Russ.).

27. Bobkova K. S., Mashika A. V., Smagin A. V. Dynamics of carbon organic matter content of spruce forests in middle taiga growing on automorphic soils. *Monograph*. St. Petersburg, Nauka; 2014. 270 p. EDN: TNBFNN (In Russ.).

28. Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V. Carbon concentrations and caloric value of organic matter in northern forest ecosystems. *Ecology*. 2001;(1):69–71. (In Russ.).

29. Kosheleva Yu. P., Trofimov S. Ya. Characteristics of the biochemical composition of plant litter at different stages of decomposition (according to thermal analysis data). *Izvestiya Akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2008;(1):77–83. EDN: IBYSRV (In Russ.).

30. Osipov A. F., Tuzhilkina V. V., Dymov A. A. et al. Phytomass and organic carbon stocks in the middle taiga spruce forests during restoration after clear cutting. *Biology Bulletin*. 2019; (2): 215–224. DOI: 10.1134/S0002332919020103; EDN: YYEKLJ (In Russ.).

The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 06.02.2025; accepted for publication 28.02.2025

Information about the authors

Darya A. Severgina – postgraduate student, Junior Researcher at the Soil Science Department, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB FRC Komi SC UB RAS). Research interests – cuttings, soil respiration, gas exchange. Author of 10 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3464-2744>; SPIN: 9380-5418

Pavel A. Arzubov – postgraduate student, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University; Senior Laboratory Assistant at the Soil Science Department, IB FRC Komi SC UB RAS. Research interests – cuttings, soil respiration, gas exchange. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4941-3799>

Irina V. Payusova – postgraduate student and Senior Laboratory Assistant at the Soil Science Department, IB FRC Komi SC UB RAS. Research interests – soil organic matter, burnt areas, benzene polycarboxylic acids. Author of three scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7169-3727>; SPIN: 2672-0391

Andrey F. Osipov – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Forest Biological Problems of the North, IB FRC Komi SC UB RAS. Research interests – gas exchange, cuttings. Author of 120 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-9660>; SPIN: 9431-5624

Alexey A. Dymov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Soil Science Department, IB FRC Komi SC UB RAS. Research interests – forest soil science, carbon cycle, boreal forests. Author of 253 scientific publications, including 12 monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-9660>; SPIN: 9431-5624

Contribution of the authors:

Severgina D.A. – carrying out experimental work, writing and preparing the article.

Arzubov P.A. – carrying out experimental work, writing and preparing the article.

Payusova I.V. – carrying out experimental work, writing and preparing the article.

Osipov A.F. – setting the research goal and objectives, developing the program and methodology, organizing monitoring observations, collecting litter, revising the final version of the manuscript.

Dymov A.A. – setting the research goal and objectives, developing the program and methodology, organizing monitoring observations, revising the final version of the manuscript.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.