

DOI: 10.31509/2658-607x-202691-189
УДК 630*114.351

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКАХ И НА ВЫРУБКАХ

© 2026

Н. В. Лиханова

*Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» Россия,
167000, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ленина, д. 39*

E-mail: lihanad@mail.ru

Поступила в редакцию: 01.06.2026
После рецензирования: 08.06.2026
Принята к печати: 10.06.2026

В представленной работе дана оценка скорости разложения растительного опада в среднетаежных ельниках черничном влажном и долгомошно-сфагновом, а также на 4-6-летних вырубках в Республике Коми. Изучены особенности компонентного состава опада и изменения химического состава в процессе деструкции в ельниках и на вырубках. Установлено, что в ельниках преобладает опад древесных растений (76-84%), на вырубках происходит замещение опада древесных растений (11-12%) на опад растений напочвенного покрова (88-89%). Общий запас опада на вырубках закономерно снижается до 3.1-3.6 т га⁻¹ год⁻¹. Химический состав опада демонстрирует видовую специфику. Однолетняя хвоя ели активно накапливает азот, калий и фосфор, с возрастом увеличивается содержание кальция, кремния, марганца и алюминия. Хвоя сосны отличается более высоким содержанием калия и меньшим – азота и фосфора, богаче кальцием, кремнием, марганцем и алюминием. Листья березы превосходят хвою по содержанию большинства макро- и микроэлементов. Среди растений напочвенного покрова черника обыкновенная выделяется высоким содержанием азота и кальция, травянистые растения – калием и кремнием, мхи – калием и магнием. Снижение содержания ключевых элементов питания в опаде растений на завершающих этапах онтогенеза отражает замедление метаболических процессов. Отмечено, что химический состав хвои ели статистически значимо отличается в зависимости от условий произрастания (ельники vs вырубки), что может способствовать увеличению дифференциации. Результаты показывают, что, несмотря на низкие общие показатели минерализации, на вырубках пасечных участков процессы разложения растительного опада протекают интенсивнее, чем в ельниках. Это связано с изменившимися абиотическими условиями, преобладанием опада растений напочвенного покрова. Работа выявляет закономерности

сти трансформации растительного опада в условиях нарушенных экосистем и подчеркивает необходимость дальнейших исследований для полного понимания динамики разложения органического вещества и формирования лесной подстилки на вырубках ельников.

Ключевые слова: средняя тайга, ельник, сплошнолесосечная рубка, растительные остатки, качество опада, разложение опада

В лесной биогеоценологии напочвенный покров и лесная подстилка являются ключевыми структурно-функциональными компонентами экосистемы, определяющими биогеохимические потоки и энергетические трансформации. Лесная подстилка, как самостоятельный органогенный горизонт, выполняет роль связующего звена между растительным покровом, опадом и почвой, являясь основным резервуаром и источником элементов минерального питания, что обеспечивает их вовлечение в биологический круговорот (Богатырев, 1997; Богатырев и др., 2019; Семенюк и др., 2020; Ахметова, 2022; Бобкова и др., 2024). Являясь чувствительным индикатором состояния экосистемы, подстилка содержит значительную лесоводственную и почвенно-генетическую информацию, отражающую динамику биогеоценоза и интенсивность биогеохимических процессов, что особенно актуально в условиях усиливающегося антропогенного воздействия (Шебалова, Шхапацев, Казеев, 2023). Она

формирует сложную экотопическую среду, благоприятную для обитания мезо- и микрофауны, микроорганизмов и грибов, активно участвующих в процессах минерализации и гумификации, и служит субстратом для первичного почвообразования (Raiesi, Beheshti, 2015; Patoiné et al., 2017; Колмогорова, Уфимцев, 2018; Thiele-Bruhn et al., 2020; Гродницкая и др., 2023). В таежных бореальных лесах значимость живого напочвенного покрова и лесной подстилки возрастает, поскольку фитомасса и годовой отпад подчиненных ярусов сопоставимы с показателями древесного яруса, что обуславливает высокую продуктивность лесного сообщества и определяет ведущую роль растительного опада в формировании лесной подстилки, а также в оценке направленности влияния растительности на почвообразование (Hilli et al., 2010).

Цель данной работы заключалась в выявлении особенностей содержания и закономерностей изменения химического состава и скорости разложения расти-

тельного опада среднетаежных ельников и их вырубков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Республике Коми на территории государственного казенного учреждения Республики Коми «Чернамское лесничество» Сыктывдинского района, расположенного на Мезенско-Вычегодской равнине (62° 17' с. ш., 50° 30' в. д.). Геологическое строение региона характеризуется докембрийским фундаментом из кристаллических пород, перекрытым осадочными отложениями с минимальными признаками тектонических нарушений пород. Водораздельные участки сложены породами пермского периода – преимущественно песчаниками, а также глинами и мергелями триасовой системы. Эти породы перекрыты четвертичными отложениями, связанных с московским оледенением, которые в дальнейшем подверглись трансформации вследствие денудационных и водно-аккумулятивных процессов (Атлас Коми АССР, 1964). Рельеф исследуемой территории характеризуется преобладанием волнистых и увалистых междуречий с абсолютными высотами, достигающими 230-250 м. Водораздельные участки, как правило, отличаются плоским или слабо выраженными полого-

волнистым рельефом, что обусловлено их генетической принадлежностью к слабо дренированной аккумулятивной моренной равнине. Почвообразующие породы представлены двучленным строением: верхний горизонт сложен маломощными песками и супесями, подстилаемыми плотными моренными суглинками, ограничивающими водоотвод и способствующими застою влаги. В условиях такого геоморфолого-литологического фона формируется почвенный покров, в котором доминируют типичные подзолистые почвы. На более увлажненных участках распространены сочетания торфяно-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых и торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почв, что отражает градиент увлажненности и проявление глеевых процессов в условиях затрудненного дренажа. Более подробные описания объектов исследования даны в ранее вышедших работах (Лиханова, 2014; Бобкова и др., 2024).

Объектами исследования являются два типа ельников: черничный влажный и долгомошно-сфагновый, произрастающие на торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-гумусово-железистой почве. Мощность лесной подстилки ельника черничного влажного составляла 10.5 см, ельника долгомош-

но-сфагнового – 17.0 см. На 4-6-летней вырубке ельника черничного влажного мощность подстилки составила 11.8 см на волоке (L=5.9 см) и 12.2 см на пасеке (L=6.4 см), ельника долгомошно-сфагнового – 18.4 см (L=8.9 см) и 19.0 см (L=9.6 см) соответственно. Лесная подстилка ельников и вырубок имеет хорошо выраженный подгоризонт L и в разной степени трансформированные растительные остатки в подгоризонтах OF и OH. Подгоризонт L представлен в основном растительным опадом предыдущего и текущего года, OF и OH – разложившимися растительными остатками. В районе исследования до рубки преобладали леса с доминированием ели сибирской (*Picea obovate* (Ledeb.)). В данной статье приводим краткую характеристику древостоев.

Древостой ельника черничного влажного (*Piceetum myrtillosum*) составом 7Е2Б1С, разновозрастный (70–210 лет) и разновысотный, V класса бонитета без выраженной ярусности. Подлесок представлен ивой (*Salix* sp.) и рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia*). Растущий подрост – 2.1 тыс. экз. га⁻¹. Травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ) включает чернику обыкновенную (*Vaccinium myrtillosum* L.), бруснику обыкновенную (*V. vitis-idaea* L.), морошку приземистую (*V. uliginosum* L.) и другие виды. Мохово-ли-

шайниковый ярус (МЛЯ) представлен *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br., Sch. et Gmb., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* (Mich.) Sw. с пятнами *Polytrichum commune* Hedw. и сфагновыми мхами.

Ельник долгомошно-сфагновый (*Piceetum polytrichoso-sphagnosum*): разновозрастный (70–200 лет) и разновысотный древостой V класса бонитета составом 6Е3Б1С. Подлесок идентичен ельнику черничному влажному, присутствует ива (*Salix* sp.) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*). Подрост удовлетворительного состояния – 1.8 тыс. экз. га⁻¹ – представлен в основном елью. ТКЯ образован черникой, брусникой, линнеей северной (*Linnaea borealis* L.), осокой шаровидной (*Carex globularis* L.), хвощом лесным (*Equisetum sylvaticum* L.) и другими видами. Моховой покров почти сплошной, с преобладанием сфагновых, зеленых мхов и *Polytrichum commune* Hedw.

В зимний период 2005-2006 гг. в ельниках проведена сплошнолесосечная рубка с сохранением подроста. В условиях сплошных рубок выделяют несколько ключевых технологических площадок, формирующихся в процессе лесозаготовок. Технологические коридоры (волоки) – линейные коридоры для перемещения древесины от места

валки к погрузочным пунктам. Согласно законодательным нормативным документам (Правила ..., 1993), их размеры при сплошных рубках ограничиваются 20–30% от площади лесосеки. Пасечные участки – зоны валки и накопления древесины для трелевки, занимают 59–71% площади лесосеки (Паутов, 1992; Дымов, 2020). Погрузочные площадки, магистральные трелевочные волоки – места концентрации запаса древесины служат для аккумуляции и загрузки древесины на транспорт (в исследовании не рассматриваются).

Значительная часть деловой древесины была вывезена, другая часть оставлена на пасечных участках в виде тонкомерных деревьев (недоруба, семенников) для естественного лесовозобновления и поддержания биоразнообразия. Объем вывезенной деловой древесины составлял $186 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (для ельника долгогомошно-сфагнового) и $193 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (для ельника черничного влажного), где хвойные породы (ель, сосна) занимали 71–85%, лиственные (береза) – 15–29 %. Ресурсы тонкомерной древесины на ежегодно отводимых лесосеках ориентировочно насчитывают 4–5% (Никишов, 1985). По нашим данным, запасы тонкомерной древесины на вырубках были в пределах 7–11% от общего объе-

ма стволовой древесины растущих деревьев до рубки (Бобкова и др., 2024).

4-летняя вырубка ельника черничного влажного. На вырубке наблюдалось активное заселение самосева и подроста ($7.3 \text{ тыс. экз. га}^{-1}$) преимущественно ели и березы. Формирующийся молодняк представлен категориями мелкой и средней крупности. Подлесок формируют ива и рябина ($1.0 \text{ тыс. экз. га}^{-1}$). Рябина в основном вегетативного происхождения. После рубки в роли семенников остались ель (295 экз. га^{-1}), сосна (5 экз. га^{-1}), береза (100 экз. га^{-1}) с общим запасом древесины $42 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, сухостойные деревья (90 экз. га^{-1}) – $1.3 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Валеж – 245 экз. га^{-1} с запасом древесины $12.9 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ и остолопы – 65 экз. га^{-1} , в которых заключено $4.8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ древесины. На вырубке ТКЯ пасечных участков с общим проективным покрытием (ОПП) 60% образован черникой обыкновенной, брусникой обыкновенной, линнеей северной, майником двулистным (*Maianthemum bifolium* (L.) F. Schmidt), осокой шаровидной, хвощом лесным, луговиком извилистым (*Avenella flexuosa* (L.) Dreier). МЛЯ представлен преимущественно *Pleurozium schreberi* и *Sphagnum wulfianum* Girg., *S. girgensohnii* Russ., *S. russowii* Warnst, которые занимают 80–90% проективного покрытия.

Встречаются пятнами *Polytrichum commune* Hedw. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br., Sch. et Gmb., реже – *Dicranum polysetum* (Mich.) Sw. ТКЯ волока с ОПП 50–60% характеризуется доминированием брусники, линнеи северной, майника, ожики волосистой (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), хвоща лесного, луговика извилистого, кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium* L.) и иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium* L.). Моховой покров на волоке занимает 20–30% и формируется за счет *Polytrichum commune*, *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowii*, *Pleurozium schreberi*, а также пятнами присутствует *Dicranum polysetum* (Mich.) Sw.

4-летняя вырубка ельника долгомодно-сфагнового. На территории вырубки присутствовал подрост (6.8 тыс. экз. га⁻¹) удовлетворительного состояния. После рубки в недорубе сохранились ель (456 экз. га⁻¹), сосна (19 экз. га⁻¹), береза (113 экз. га⁻¹) с общим запасом древесины 38 м³ га⁻¹. Сухостойные деревья (449 экз. га⁻¹) представлены елью и березой – 28.2 м³ га⁻¹, валеж (223 экз. га⁻¹) – 5.9 м³ га⁻¹ и остолопы (81 экз. га⁻¹) – 2.1 м³ га⁻¹. В подлеске встречаются кусты рябины и ивы (169 экз. га⁻¹). На пасечных участках вырубки ельника с ОПП около 70% произрастают такие виды, как черника обыкновенная,

брусника обыкновенная, линнея северная, осока шаровидная, хвощ, луговик извилистый и иван-чай узколистный. Моховой ярус представлен практически сплошным покровом, в котором доминируют *Polytrichum commune* и сфагновые мхи – *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowii*, а также пятнами встречается *Dicranum polysetum*. ТКЯ волока с ОПП около 70% формируется брусникой, линнеей северной, хвощом, луговиком извилистым и иван-чаем. Моховой покров, занимающий около 60% площади, представлен *Polytrichum commune* в сочетании с *Sphagnum angustifolium*, *S. russowii*, *S. girgensohnii* и редко встречающимися зелеными мхами.

Эксперименты по изучению процессов разложения растительного опада в разных типах леса проводились с соблюдением единообразия методов и статистической обработки данных. Образцы активной фракции опада (листья, хвоя) доминирующих видов сосудистых растений (ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), березы повислой (*B. pendula* Roth), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), брусники обыкновенной (*V. vitis-idaea* L.) и образцы травянистых растений и мхов (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Br., Sch. et Gmb.,

Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* (Mich.) Sw., *Polytrichum commune* Hedw и *Sphagnum* sp.) отбирались в течении 7 лет (1996-2003 гг.) в ельнике черничном влажном, за 4 года (1999-2003 гг.) в ельнике долгомошно-сфагновом, за 3 года (2009-2012 гг.) на 4-6-летних вырубках этих ельников.

Количество опада древесных растений осуществляли с помощью опадолуловителей площадью 0.25 м² с 20-кратной повторностью. Растительные остатки собирали дважды в год – летом и поздней осенью, затем разделяли их по фракциям. Массу опада кустарничков и мхов рассчитывали по их приросту (черника – 60%, брусника – 30%, мхов – 70%). При определении опада лишайников возраст лишайникового покрова приравнивался ко второму периоду жизни – периоду обновления подстилки. Масса корней древесных растений определена по методу крупных и мелких монолитов. Опад корней трав и кустарничков равен их приросту, составляющему 25% массы корней.

Для оценки скорости трансформации и минерализации растительного опада использовали мешочки из нейлоновой сетки (размер ячеек 1×2 мм). Пробы разных фракций опада в 3-5-кратной повторности закладывали на поверхности почвы (вглубь подгоризонта L

на расстоянии 6-8 см от поверхности) и по истечении 12 месяцев определяли убыль их массы. Пробы отбирались в начале октября через 1 год после начала эксперимента. Расчеты проводились на абсолютно сухой вес. Потери массы рассчитывались как разница между массой образцов до закладки и через 1 год, выраженных в процентах. Перед проведением химического анализа материал измельчали. Содержание углерода и азота в растительных и почвенных образцах оценивали методом газовой хроматографии. Количественное определение химических элементов (Ca, Si, Mg, Mn, K, Na, P, Fe, Al) отдельных компонентов растительного опада осуществляли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Статистический анализ данных проводили для отдельных видов растений с применением критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Масса опада в ельниках и на вырубках. Согласно обобщенным данным Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич (1965), величина листового опада в еловых лесах европейской части России варьирует в зависимости от региона: в восточных и центральных районах она составляет 1.9-3.4 т га⁻¹, в западных – 3.7-4.3 т га⁻¹. В спелых ельниках Республики Коми

масса органического вещества, возвращаемого с годичным опадом, колеблется в пределах 3.7-5.9 т га⁻¹. В разновозрастных ельниках черничного типа масса годичного опада составляет от 1.9 до 3.0 т га⁻¹, в молодняках – от 0.3 до 0.9, в средневозрастных лиственнично-хвойных насаждениях – от 1.9 до 3.1 т га⁻¹ (Бобкова, 1999). Полученные нами данные о массе растительного опада в среднетаежных ельниках черничном влажном (4.5 т га⁻¹) и долгомошно-сфагновом (4.0 т га⁻¹) соответствуют указанным диапазонам (табл. 1). Анализ фракционной структуры опада показал, что в спелых ельниках преобладают растительные остатки древесных растений, составляющие 76-84% от общей массы опада. Основную долю древесного опада формируют листья и хвоя (65-72%), а также корни (15-18%). В ельнике черничном влажном масса годичного опада растений напочвенного покрова составляет в среднем равна 0.7 т га⁻¹, в ельнике долгомошно-сфагновом – 1.1 т га⁻¹.

В ельнике черничном влажном опад наземных органов многолетних кустарничков (черника и брусника) составляет 13%, травянистых растений –

6%, мхов – 24%. В ельнике долгомошно-сфагновом этот показатель составляет соответственно 5%, 21% и 20% от общей массы опада растений напочвенного покрова. Следует подчеркнуть, что в спелых ельниках объем опада растений нижнего яруса составляет 98-99% от их годичного прироста, что свидетельствует о том, что практически весь прирост органического вещества превращается в опад.

Растительный опад на вырубках лесных сообществ (особенно в средней тайге) претерпевает значительные изменения: древесный опад замещается травяно-кустарничковым, а общий запас органического вещества и скорость ее деструкции зависят от периода, прошедшего после рубки (Дымов и др., 2020). Естественный ход развития лесных сообществ подразумевает увеличение объема и площади поступления опада с кроны по мере роста деревьев. При этом в подкроновом пространстве распределение опада может колебаться: у средневозрастных елей эти отклонения достигают 20% от годовой массы опада, у старших – 40% (Кожевникова, Второва, 1988).

Таблица 1. Годовое количество опада древесного яруса в ельниках и на вырубках, кг абс. сух. вещества·га⁻¹

Компоненты опада	Черничный влажный		Долгомошно-сфагновый	
	ельник	вырубка	ельник	вырубка
Древесный опад				
Листья (хвоя)				
ель	1356 ± 8	101 ± 12	640 ± 5	130 ± 36
сосна	84 ± 10	8 ± 6	30 ± 1	7 ± 3
береза	1291 ± 8	92 ± 56	1300 ± 8	91 ± 48
Ветви				
ель	99 ± 12	44 ± 13	130 ± 16	51 ± 16
сосна	3 ± 2	6 ± 2	90 ± 10	7 ± 1
береза	79 ± 9	5 ± 2	30 ± 1	22 ± 5
Кора				
ель	2 ± 2	2 ± 1	50 ± 6	1 ± 0
сосна	3 ± 2	4 ± 3	20 ± 1	3 ± 1
береза	1 ± 1	13 ± 1	-	-
Древесина стволовая				
ель	-	-	120 ± 14	-
береза	100 ± 12	-	-	-
Корни				
ель	507 ± 4	38 ± 11	430 ± 4	45 ± 14
сосна	24 ± 1	4 ± 1	10 ± 1	4 ± 1
береза	150 ± 17	3 ± 1	10 ± 1	12 ± 3
Репродуктивные органы				
шишки ель	91 ± 11	-	100 ± 11	4 ± 0
шишки сосны	-	17 ± 8	-	5 ± 2
сережки березы	-	5 ± 3	-	4 ± 3
лишайники-эпифитные	-	4 ± 2	-	3 ± 2
Труха	-	20 ± 13	80 ± 9	23 ± 13
ИТОГО	3790 ± 23	366 ± 72	3040 ± 18	412 ± 85
Опад растений напочвенного покрова				
Кустарнички	83 ± 10	549 ± 6	52 ± 1	680 ± 9
Травы	38 ± 1	393 ± 4	240 ± 8	401 ± 4
Корни кустарничков и трав	300 ± 3	1195 ± 9	550 ± 3	1541 ± 9
Мхи	229 ± 3	612 ± 9	230 ± 5	574 ± 6
Лишайники	10 ± 1	-	10 ± 1	-
Полукустарнички	-	-	40 ± 1	-
ИТОГО	660 ± 5	2749 ± 16	1122 ± 14	3196 ± 22
Всего	4450 ± 27	3115 ± 18	4162 ± 52	3608 ± 25

В результате мероприятий по хозяйственной эксплуатации ельников изъятие деловой древесины составило 186 м³ га⁻¹ для ельника долгомошно-

сфагнового и $193 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ для ельника черничного влажного. Структура изъятной древесины была представлена преимущественно хвойными породами (ель, сосна) в объеме 71–85% с долей лиственных пород (береза) 15–29%. Преобразования в лесных ценозах привели к снижению запасов растительного опада на 4-6-летних вырубках до 3.1 т га^{-1} для ельника черничного влажного и 3.6 т га^{-1} для ельника долгомошно-сфагнового (табл. 1). На вырубках, характеризующихся разреженным древесным ярусом в связи с удалением (вывозом) старовозрастных деревьев, наблюдается закономерное снижение потока опада древесных растений. Так, для вырубок ельников опад древесный растений сократился многократно (в 7-10 раз), составив примерно 0.4 т га^{-1} . В. Г. Чертовской в своей работе (1963) указывает об отсутствии существенного влияния опада древесных пород на формирование органогенного горизонта на свежих вырубках, где доминирующая роль отводится растениям напочвенного покрова. Результаты настоящих исследований подтверждают эту закономерность, показывая, что масса опада растительных остатков древесных растений на 4-6-летних вырубках ельников составляет лишь 11-12%, в то время как доля растений напочвенного покрова в формиро-

вании опада достигает 88-89%. При этом 55-60% ежегодного опада древесных растений приходится на надземные органы, оставшаяся доля (40-45%) приходится на подземные органы (корни).

Химический состав растущих растений и опада. Количественные и качественные характеристики годичного опада определяет объем поступления питательных веществ в почву и может меняться в зависимости от климатических условий. Зольный состав растительности, в свою очередь, находится в прямой зависимости от специфической способности организмов к аккумуляции химических элементов (Никонов и др., 2004; Becker et al., 2018; Neumann et al., 2018). Кроме этого, на содержание химических элементов в растительном опаде влияют возраст древостоя и положение отдельных деревьев в его структуре (Trap et al., 2013; Иванова и др., 2023).

Сравнительный анализ элементов питания в отдельных фракциях опада и в живых компонентах соответствующих видов растений выявил ряд закономерностей, отражающих изменения в накоплении химических элементов на разных этапах онтогенеза хвои ели, сосны и листьев березы. В однолетней хвое ели ельников отмечалось более интенсивное накопление азота (N), калия (K) и фосфора (P), что обусловлено их ключевой

ролью в первичных метаболических процессах и высокой подвижностью, в результате которой происходит транслокация этих элементов в более молодые ткани, что приводит к обеднению опавшей хвои (табл. 2). Опавшая хвоя ели в ельниках, по сравнению с однолетней, демонстрировала достоверное повышение содержания кальция (Ca), кремния (Si), марганца (Mn) и алюминия (Al). Увеличение содержания Ca и Si в процессе старения хвои ели может свидетельствовать об их роли в поддержании механической прочности, устойчивости к стрессам и защите тканей от внешних воздействий, тогда как накопление Mn и Al может быть связано с процессами детоксикации и участия в ферментативных реакциях, меняющихся с возрастом. Содержание химических элементов в опавшей хвое ели, в которой массовая доля магния (Mg) и железа (Fe) оказалась существенно ниже, чем в однолетней хвое, связано со снижением интенсивности метаболических процессов и оттоком подвижных элементов перед опадением. На 4-6-летних вырубках ельников данная тенденция для хвои ели сохраняется: молодая хвоя ели активно накапливает N, K и P для метаболической деятельности, а со временем увеличиваются Ca, Si, Mn и Al за счет их роли в поддержании структурной

прочности, защиты тканей от внешних стрессов и участия в ферментативных процессах. Содержание Mg и Fe снижается у опавшей хвои ели, что отражает снижение обменных процессов и адаптационных механизмов растения. На вырубках ельников в однолетней хвое ели отмечается повышенное содержание Si по сравнению с ельниками, при этом наблюдается снижение содержания K и Ca.

В ельниках у молодой хвои сосны наблюдается накопление N, K, Mg, P и Fe, при этом содержание N и P существенно ниже по сравнению с однолетней хвоей ели, а массовая доля K выше. Опавшая хвоя сосны богаче Ca, Si, Mn и Al. Согласно исследованиям Е. А. Ивановой и др. (2023), опавшая хвоя сосны характеризуется более высоким содержанием азота по сравнению с хвоей ели последних лет жизни, что объясняется различиями в возрасте хвои. Однако нашими исследованиями в ельниках выявлено, что опавшая хвоя сосны содержит меньше N, чем стареющая хвоя ели, при этом подтверждено, что массовая доля K в опавшей хвое ели достоверно выше соответствующего показателя у хвои сосны. Возможно, различия в содержании N, K и P обусловлены их высокой подвижностью и способностью к быстрому перераспределению внутри растения (Hel-

misaari, 1990; Rautio et al., 1998). Отметим, что К не образует прочных органических соединений и вступает преимущественно в слабые адсорбционные взаимодействия и обменные реакции, что способствует его динамической мобилизации (Демаков и др., 2024). На вырубках ельников сохраняется характер перераспределения элементов питания в хвое сосны между однолетней хвоей и опавшей. При этом зафиксировано, что в растущей хвое сосны массовая доля N, Са и К выше на вырубках по сравнению с ельниками. Ю. П. Демаковым с соавторами (2024) отмечено, что в процессе поглощения Mg растениями существует конкуренция между Са, К и Mn, причем при недостатке Mg наблюдается тенденция к увеличению содержания последних элементов. Наблюдается зависимость между Mg и P: недостаток первого приводит к уменьшению содержания последнего в растениях. Кроме того, в физиологических процессах растений происходит антагонизм между Mn и Fe: при избытке одного из них уменьшается содержание другого.

Листья березы, как и хвоя ели, характеризуются более высоким содержанием зольных элементов по сравнению с хвоей сосны. Как в ельниках, так и на вырубках в листьях березы в 1.3-2 раза больше N, чем в хвое ели и сосны.

Аналогичные закономерности наблюдаются по содержанию К, Са, Mg, P и Mn. Ранее было отмечено, что накопление элементов минерального питания в листьях березы происходит неравномерно, с выраженными колебаниями интенсивности накопления на различных этапах развития, включая периоды усиленного и замедленного накопления, что связано с началом интенсивного прироста всех частей дерева и особенно с увеличением массы листвы (Семенова, 1975). В опадающих листьях березы снижаются массовые доли большинства элементов минерального питания, за исключением Са, Al и Fe, которые, напротив, накапливаются в опавшей листве. На вырубках ельников по сравнению с ельниками отмечается значительное снижение содержания в листьях березы N, Са, К, Mg, P, Al и Na. Отток химических элементов из листьев березы может быть обусловлен процессами вымывания отдельных элементов атмосферными осадками. На вырубках ельников отмечается повышение соотношений C:N, C:P и N:P в опавших листьях березы.

Исследования химического состава растений напочвенного покрова в ельниках и на вырубках выявили особенности накопления элементов минерального питания (Лиханова, Бобкова, 2013). В ельниках, произрастающих на болот-

Таблица 2. Химический состав живых растений и опада растений в ельниках и на вырубках

Химический элемент / компонент фитомассы	Содержание химического элемента, %			
	ельник	вырубка	ельник	вырубка
Хвоя ели (однолетняя)	в растущих древесных растениях		в опаде древесных растений	
N	1.29 ± 0.24	1.20 ± 0.15	0.84 ± 0.10	0.79 ± 0.15
Ca	0.38 ± 0.10	0.24 ± 0.06	0.98 ± 0.09	0.63 ± 0.08
K	0.75 ± 0.15	0.52 ± 0.10	0.15 ± 0.03	0.23 ± 0.05
Si	0.17 ± 0.02	0.27 ± 0.003	0.76 ± 0.13	0.60 ± 0.10
Mg	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.06 ± 0.01
P	0.21 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.11 ± 0.02
Mn	0.06 ± 0.02	0.09 ± 0.03	0.16 ± 0.02	0.22 ± 0.02
Al	0.012 ± 0.006	0.002 ± 0.001	0.018 ± 0.02	0.04 ± 0.02
Fe	0.005 ± 0.002	0.003 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.001 ± 0.0012
Na	0.011 ± 0.006	0.003 ± 0.001	0.010 ± 0.005	0.002 ± 0.002
C:N	-	-	55	40
C:P	-	-	928	435
N:P	-	-	17	11
Хвоя сосны (однолетняя)	в растущих древесных растениях		в опаде древесных растений	
N	1.24 ± 0.26	1.71 ± 0.36	0.48 ± 0.10	0.56 ± 0.11
Ca	0.18 ± 0.02	0.24 ± 0.03	0.74 ± 0.09	0.89 ± 0.12
K	0.42 ± 0.05	0.53 ± 0.07	0.18 ± 0.03	0.13 ± 0.03
Si	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.02
Mg	0.19 ± 0.02	0.18 ± 0.04	0.07 ± 0.02	0.08 ± 0.02
P	0.10 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.09 ± 0.02	0.16 ± 0.04
Mn	0.08 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.11 ± 0.03	0.10 ± 0.03
Al	0.028 ± 0.001	0.025 ± 0.001	0.043 ± 0.02	0.046 ± 0.02
Fe	0.008 ± 0.004	0.010 ± 0.004	0.005 ± 0.002	0.001 ± 0.0002
Na	0.009 ± 0.004	0.010 ± 0.005	0.008 ± 0.003	0.008 ± 0.004
C:N	-	-	58	43
C:P	-	-	543	326
N:P	-	-	9	8
Листья березы	в растущих древесных растениях		в опаде древесных растений	
N	1.33 ± 0.16	1.42 ± 0.17	0.74 ± 0.09	0.65 ± 0.08
Ca	0.77 ± 0.10	0.57 ± 0.07	0.97 ± 0.12	0.94 ± 0.12
K	0.87 ± 0.11	0.49 ± 0.06	0.23 ± 0.04	0.19 ± 0.03
Si	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.01
Mg	0.19 ± 0.03	0.17 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
P	0.28 ± 0.03	0.20 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.11 ± 0.02
Mn	0.19 ± 0.02	2.30 ± 0.24	0.20 ± 0.03	0.10 ± 0.02
Al	0.007 ± 0.002	0.001 ± 0.0003	0.03 ± 0.006	0.01 ± 0.004
Fe	0.004 ± 0.001	0.006 ± 0.002	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.006
Na	0.013 ± 0.004	0.004 ± 0.001	0.02 ± 0.006	0.01 ± 0.004
C:N	-	-	34	35
C:P	-	-	325	450
N:P	-	-	9	13

Продолжение таблицы 2

Химический элемент / компонент фитомассы	Содержание химического элемента, %			
	ельник	вырубка	ельник	вырубка
Листья черники	в растущих растениях напочвенного покрова		в опаде растений напочвенного покрова	
N	1.78	1.42	1.24	1.04
Ca	0.65	0.68	0.68	0.70
K	0.47	0.46	0.42	0.38
Si	0.07	0.07	0.05	0.06
Mg	0.11	0.10	0.06	0.08
P	0.15	0.13	0.09	0.09
Mn	0.23	0.24	0.21	0.17
Al	0.08	0.12	0.01	0.01
Fe	0.007	0.009	0.01	0.03
Na	0.009	0.008	0.005	0.004
C:N	-	-	40	46
C:P	-	-	545	534
N:P	-	-	14	12

но-подзолистых почвах, листья черники обыкновенной отличались высоким содержанием азота. Для этого кустарничка характерно повышенное накопление Ca в его ассимилирующих органах и относительно высокое содержание Mn в листьях и побегах. Опавшие листья черники в ельниках, по сравнению с аналогичными листьями на вырубках, характеризуются достоверно более низким соотношением C:N. В то же время соотношения C:P и N:P оказываются достоверно выше на вырубках. По сравнению с черникой брусника демонстрирует менее выраженную зольность и сниженное содержание азота, что подчеркивает видовую специфику аккумуляции элементов у кустарничков в лесных сообществах. В травянистых растениях еловых сообществ

преобладают K и Si. Исключение составляет осока шаровидная, где массовая доля Si превышает долю K, а также наблюдается некоторое увеличение содержания Al и Fe. Зола мхов обогащена K и Mg. Зеленые мхи, по сравнению со сфагновыми и политриховыми, характеризуются меньшим содержанием K и более высоким – Mg и Mn. Анализ показал, что при отмирании растений нижнего яруса ценозов, как в ельниках, так и на вырубках, происходят изменения в содержании элементов. В процессе миграции химических элементов в опад в живых растениях напочвенного покрова наблюдается общая тенденция к понижению содержания N, P, Mg, Si, Mn, Al, Na и K, при одновременном повышении массовых долей Ca и Fe.

Таблица 3. Статистические показатели содержания азота и зольных элементов в однолетней и опавшей хвое ели в ельниках и на вырубках

Химический элемент	Однолетняя хвоя ели				Опад хвой ели					
	M±m	min	max	δ	CV	M±m	min	max	δ	CV
Ельники										
N	1.26 ± 0.04	0.92	1.60	0.18	14	0.83 ± 0.01	0.77	0.95	0.05	6
Ca	1.20 ± 0.08	0.73	1.72	0.40	33	0.66 ± 0.23	0.24	0.98	0.05	34
K	0.66 ± 0.03	0.42	0.90	0.16	24	0.21 ± 0.10	0.14	0.52	0.02	46
Si	0.23 ± 0.02	0.15	0.76	0.12	50	0.66 ± 0.11	0.27	0.76	0.02	16
Mg	0.12 ± 0.01	0.12	0.15	0.03	10	0.08 ± 0.01	0.06	0.09	0.001	7
P	0.17 ± 0.01	0.05	0.23	0.04	23	0.08 ± 0.03	0.04	0.14	0.01	38
Mn	0.10 ± 0.01	0.04	0.16	0.04	36	0.18 ± 0.03	0.09	0.22	0.01	15
Al	0.01 ± 0.001	0.002	0.02	0.02	46	0.02 ± 0.01	0.002	0.04	0.003	52
Fe	0.005 ± 0.0003	0.003	0.01	0.001	28	0.002 ± 0.001	0.001	0.003	0.0002	33
Na	0.005 ± 0.001	0.001	0.011	0.003	73	0.005 ± 0.003	0.001	0.009	0.001	62
Вырубка ельников										
N	1.42 ± 0.02	1.30	1.50	0.07	5	1.30 ± 0.03	1.17	1.57	0.14	10
Ca	0.83 ± 0.01	0.73	0.96	0.14	8	0.72 ± 0.02	0.53	0.89	0.10	14
K	0.61 ± 0.02	0.50	0.74	0.08	13	0.19 ± 0.01	0.17	0.23	0.02	12
Si	0.25 ± 0.001	0.24	0.27	0.01	4	0.64 ± 0.01	0.60	0.68	0.03	4
Mg	0.05 ± 0.007	0.05	0.13	0.03	32	0.08 ± 0.01	0.08	0.09	0.002	2
P	0.16 ± 0.01	0.14	0.22	0.03	18	0.08 ± 0.001	0.10	0.11	0.003	3
Mn	0.09 ± 0.001	0.08	0.10	0.01	6	0.19 ± 0.002	0.18	0.22	0.01	6
Al	0.015 ± 0.001	0.01	0.03	0.01	31	0.02 ± 0.002	0.002	0.03	0.01	42
Fe	0.005 ± 0.0003	0.003	0.01	0.001	34	0.002 ± 0.0001	0.001	0.01	0.0004	21
Na	0.005 ± 0.001	0.001	0.010	0.003	58	0.006 ± 0.0001	0.001	0.002	0.001	22

Примечание: M+m– среднее значение с учетом стандартного отклонения; min – минимальное значение измеряемой величины; max – максимальное значение измеряемой величины; δ – стандартная ошибка среднего арифметического значения; CV – коэффициент вариации.

Таблица 4. Оценка достоверности различий содержания химических элементов между однолетней и опавшей хвои ели ельников и их вырубок

Показатель	N	Ca	K	Mg	P	Si	Mn	Al	Fe	Na
Ельники										
Средняя ошибка разности (SED)	0.0416	0.0611	0.041	0.003	0.0108	0.0347	0.0108	0.003	0.0007	0.0007
Число степеней свободы, k	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
t-критерий (p≤0.05)	10.4	5.4	11.0	13.3	8.4	-12.4	-7.4	-3.3	10.0	0.1
Значимость различий	Различия между группами статистически достоверны.									
	Вероятность того, что эти различия случайны, практически равна нулю.									
Вырубка ельников										
Средняя ошибка разности (SED)	0.035	0.0261	0.0184	0.0067	0.0067	0.0071	0.0032	0.0032	0.0002	0.0007
Число степеней свободы, k	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
t-критерий (p≤0.05)	3.4	4.2	22.8	3.0	7.4	-55.2	-31.6	-26.0	12.5	0.3
Значимость различий	Различия между группами статистически достоверны. Вероятность того, что эти различия случайны, практически равна нулю.									

Для оценки степени изменчивости химического состава было проанализировано содержание элементов в однолетней хвое и опаде хвои ели в ельниках и на вырубках, используя коэффициент вариации (CV) как показатель относительной изменчивости (табл. 3). В ходе исследований установлено, что элементы, присутствующие в низких концентрациях, такие, как Na и Al, демонстрируют высокую вариативность (> 40-50%) как в хвое, так и в опаде, вне зависимости от условий (ельник или вырубка). Наилучшую стабильность содержания в хвое показывает Mg, с низким CV (< 10%) в обоих условиях. N также отличается высокой стабильностью, особенно на вырубках. Элементы Ca, K, Si, P и Mn проявляют умеренную вариативность. На вырубках отмечается тенденция к снижению вариативности содержания большинства химических элементов в опаде хвои (N, Ca, K, Si, Mg, P, Mn) по сравнению с ельниками. Несмотря на общую тенденцию к стабилизации, элементы Na и Al сохраняют высокую вариативность как в однолетней хвое, так и в опаде, даже на вырубках. Таким образом, анализ CV подтверждает, что содержание большинства химических элементов в однолетней хвое и опаде является изменчивым, особенно для элементов в низких концентрациях. Вырубка ель-

ников ведет к снижению вариативности содержания многих элементов в опаде хвои. Стабильность содержания Mg выделяется как исключение, в то время как Na и Al остаются наиболее вариативными элементами в исследуемых условиях.

Статистический анализ (табл. 4) выявил существенные различия в химическом составе между однолетней хвоей ели и опадом хвои, как в условиях ельников, так и на вырубках. Для подавляющего большинства исследуемых элементов (за исключением Na) выявлены статистически достоверные различия в содержании. Это свидетельствует о значительных процессах аккумуляции и трансформации химических элементов в процессе жизни и отмирания хвои, причем эти различия наблюдаются как в ельниках, так и на вырубках. Содержание Na показало статистически недостоверные различия между однолетней хвоей и опадом в обоих случаях. Возможно, это связано с его поступлением в одинаковых количествах, быстрым перераспределением в тканях растения или низким общим содержанием с высокой вариативностью. Отметим, что для многих элементов величина t-критерия на вырубках превышает значения, наблюдаемые в ельниках. Это указывает на усиление различий в химическом со-

ставе между однолетней хвоей и опадом на вырубках. Таким образом, химический состав однолетней хвои и опада ели статистически значимо отличается для большинства элементов, причем выруб-ка может способствовать увеличению этой дифференциации.

Скорость разложение и измене-ния химического состава раститель-ных остатков в процессе деструкции в ельниках и на вырубках. На исследу-емых вырубках ельников пасечные участки занимают 90%, а волокни – 10%

от общей площади. Скорости потерь мас-сы органического вещества на вырубках были определены только на пасечных участках. Отметим, что на 70-75% дан-ных участков сохраняется структура нижних ярусов ценозов, характерных для еловых лесов, что свидетельствуют о частичном сохранении исходной структуры экосистемы. Причем измене-ния живого напочвенного покрова на зимних вырубках выражены значи-тельно слабее (уничтожается 2-3%), чем на летних (5% и выше) (Паутов, 1992).

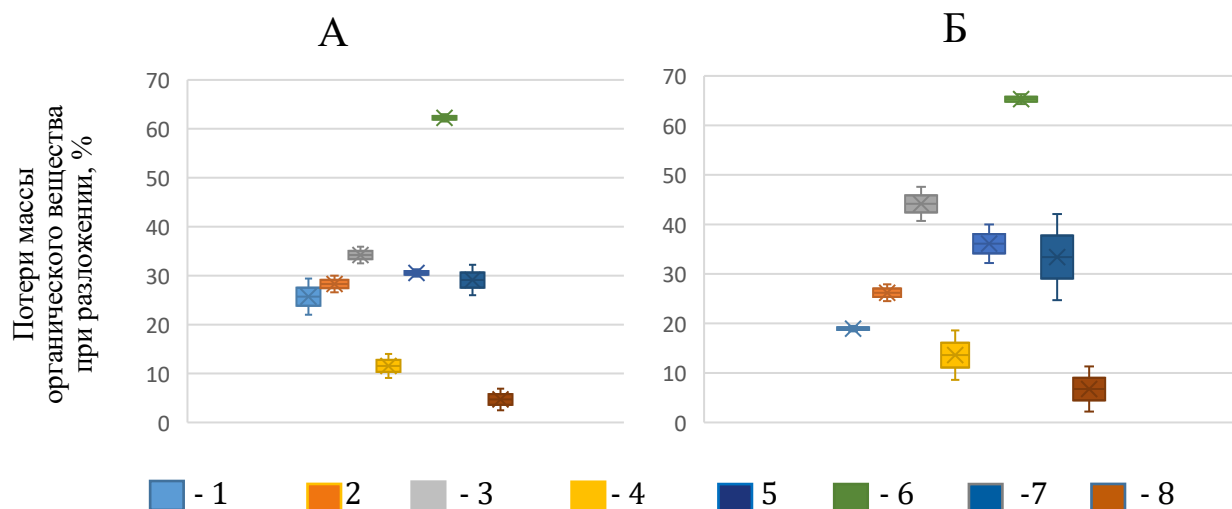


Рисунок 1. Потери массы органического вещества при разложении основных компонентов опада в ельниках (А) и на вырубках (Б): 1 – хвоя ели; 2 – хвоя сосны; 3 – листья березы; 4 – ветви ели, сосны, березы; 5 – листья брусники; 6 – листья черники; 7 – мхи (сфагновые, политриховые, зеленые); 8 – кора ели, сосны, березы.

Скорость потерь массы органиче-ского вещества после первого года раз-ложения опада растительных остатков в ельниках и на вырубках варьирует от 2% до 64% (рис. 1). Порядок убывания массы опада представлен в табл. 5.

Результаты наблюдений показали, что как в ельниках, так и на вырубках в течение года наибольшую скорость де-струкции показали следующие компо-ненты опада: листья березы, листья чер-ники и брусники, а также мхи политри-

ховые. На вырубках ельников отмечено более интенсивное разложение листьев березы: потеря массы органического вещества составила 41-48%, что выше показателя для ельников (33-36%). При этом соотношение C:N на вырубках составило 35, в то время как в ельниках этот показатель равнялся 34. Схожая тенденция наблюдалась и для листьев черники: потеря массы увеличилась с 63 до 64%, причем соотношение C:N возросло с 40 до 46 (табл. 2). Опад листьев черники в первый год разлагался достоверно быстрее, чем листья брусники, что закономерно. Листья брусники содержат больше лигнина и фенольных соединений (танинов), что замедляет процесс разложения. В листьях черники отмечены более высокие массовые доли содержания N, чем в листьях брусники. Решающую роль в ускорении процесса разложения активных компонентов опада (листьев березы, листьев черники) на 4-6-летних вырубках сыграли изменившиеся абиотические факторы (температура и влажность), в меньшей мере активность микрофлоры. Согласно исследованиям А. А. Дитц с соавторами (2024), на пасечных участках вырубок, где подстилка сохраняется почти полностью, снижение численности макрофауны и сокращение систематических групп выражено менее значительно.

Хвоя ели и сосны достоверно медленнее теряла массу в первый год наблюдений на 22-30% в ельниках и 18-28% на вырубках. При накоплении относительно малоподвижного Са в опавшей хвое ели и сосны наблюдается тенденция к уменьшению содержания К и Mg в данной структуре растения. В свою очередь, недостаток Mg в опаде растения приводит к снижению концентрации Р. В опаде хвои сосны и ели на вырубках происходит статистически значимое снижение соотношений C:N, C:P и N:P по сравнению с ельниками (табл. 2). Убыль массы органического вещества растительного опада в течение первого года в ельнике черничном влажном составила 19.6%, в ельнике долгомошно-сфагновом – 27.6%. Минерализация растительных остатков опада на вырубках ельников невысокая: на вырубке ельника черничного влажного она составляла 35.6%, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 36.2%. Полученные результаты указывают на то, что минерализация растительных остатков на вырубках пасечных участков ельников происходит значительно интенсивнее, чем в самих ельниках. Стоит уточнить, что исследования по разложению растительных остатков на вырубках были проведены на пасечных участках. Кроме того, основная доля опада (88-89%) приходится на растения напочвенного покрова.

Таблица 5. Порядок убывания массы органического вещества опада в ельниках и на вырубках

Сообщества	Порядок убывания массы
Ельник черничный влажный	листья березы > листья брусники > хвоя сосны > хвоя ели > мхи (зеленые, политриховые) > ветви > кора
Вырубка ельника черничного влажного	листья черники > листья березы > мхи политриховые > листья брусники > мхи зеленые, сфагновые > хвоя ели, сосны > ветви > кора
Ельник долгомошно-сфагновый	листья черники > листья березы > мхи (сфагновые, зеленые) > листья брусники > хвоя сосны > мхи (политриховые) > хвоя ели > ветви ели, сосны > кора ели
Вырубка ельника долгомошно-сфагнового	листья черники > мхи политриховые > листья березы > листья брусники > мхи сфагновые, зеленые > хвоя ели, сосны > ветви > кора

Наиболее интенсивно массу теряют опад листьев березы и листья черники, на вырубках хвоя ели и сосны разлагается медленнее по сравнению с ельниками. Это означает, что кроме изменений водного баланса и аэрации, температурного и светового режимов, доступности питательных веществ, которые резко меняются при переходе от условий сомкнутого ельника к условиям открытой (частично) вырубленной территории, свое влияние оказывают и другие факторы. На вырубках, помимо естественного опада и отпада, значительный вклад в разложение органического вещества и трансформацию лесной подстилки вносят порубочные остатки. Они действуют как физический барьер и источник углерода, изменяя микроклимат почвы, активность микроорганизмов и скорость образования гумуса. В составе лесосеч-

ных отходов встречаются довольно крупные обрезки вершин и обломки стволов, накапливаясь на вырубках от 11 до 14 т га⁻¹ органического вещества. Этот объем составляет 47-52% от общих запасов фитомассы крупных древесных отходов. Однако, следует отметить, что порубочные остатки в большей степени оказывают влияние на волокна, чем на пасечных участках вырубки.

Перечисленные факторы напрямую влияют на скорость разложения органического вещества и формирование лесной подстилки. Тем не менее, открытым остается вопрос о комбинированном влиянии нескольких видов древесных растений на разложение органического вещества. Чем выше разнообразие видов древесных растений, тем более смешанным становится опад. При этом опад хвойных в присутствии опада листвен-

ных деревьев разлагается быстрее. Существуют исследования, подтверждающие положительное влияние функционального разнообразия растений на разложение опада (Patoine et al., 2017). Поэтому наши утверждения об интенсивной минерализации растительных остатков на пасечных участках вырубках при сравнении с ельниками требуют дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Республике Коми в среднетаежных ельниках черничном влажном и долгомошно-сфагновом зафиксировано 4.5 и 4.0 т га⁻¹год⁻¹ растительного опада соответственно. В спелых ельниках преобладает опад древесных растений (76-84%), в основном хвоя и листья (65-72%), а также корни (15-18%). Опад напочвенного покрова незначителен и составляет 0.7 т га⁻¹ в ельнике черничном влажном и 1.1 т га⁻¹ в ельнике долгомошно-сфагновом, причем мхи и травянистые растения вносят большой вклад. На 4-6-летних рубках происходит замещение древесного опада (11-12%) на опад нижних ярусов ценозов (88-89%), его общий запас снижается до 3.1-3.6 т га⁻¹ после изъятия 186-193 м³ га⁻¹ древесины.

Однолетняя хвоя ели активно накапливает азот, калий и фосфор, тогда

как с возрастом хвои увеличивается содержание кальция, кремния, марганца и алюминия, а содержание магния и железа снижается. На 4-6-летних рубках эти тенденции сохраняются, но отмечаются некоторые отклонения в содержании элементов питания у разных видов растительности. Однолетняя хвоя сосны, в отличие от однолетней хвои ели, характеризуется более высоким содержанием калия и меньшим азота и фосфора. Опад хвоя сосны богаче кальцием, кремнием, марганцем и алюминием. На рубках в растущей хвое сосны снижается содержание калия и кальция по сравнению с ельниками. Листья березы, как и хвоя ели, обладают высокой зольностью и превосходят хвою ели и сосны по содержанию азота, калия, кальция, магния, фосфора и марганца. В опавших листьях березы снижается содержание большинства элементов, кроме кальция, алюминия и железа. На рубках отмечается значительное снижение содержания многих элементов питания в листьях березы, что может быть связано с вымыванием их атмосферными осадками. Растения напочвенного покрова также имеют видовую специфику накопления элементов: черника обыкновенная богата азотом и кальцием. В травянистых растениях преобладают калий и кремний, а зола мхов обо-

гащена калием и магнием. При отмирании растений нижнего яруса ценозов, как в ельниках, так и на вырубках, наблюдается снижение содержания азота, фосфора, магния и калия и повышение кальция, кремния и железа. Все выявленные закономерности отражают выраженную депрессию метаболических процессов растений на завершающих этапах онтогенеза, сопровождающуюся перераспределением и относительным накоплением менее подвижных и структурно-защитных элементов, а также снижением содержания ключевых элементов питания, участвующих в активном метаболизме. Химический состав однолетней хвои и опада хвои ели статистически значимо отличается для большинства элементов, причем рубка может способствовать увеличению этой дифференциации.

Несмотря на относительно низкие показатели минерализации растительных остатков, процессы разложения на рубках пасечных участков протекают интенсивнее, чем в ельниках. Это обусловлено комплексом факторов, включая изменившиеся абиотические условия, видовым и количественным составом опада, ролью порубочных остатков. Особую роль играет активное разложение компонентов растений напочвенного покрова, в то время как опад хвои ели

и сосны остается более устойчивой к деградации. Открытым остается вопрос о комбинированном влиянии различных видов растений и более детальном исследовании роли микрофлоры в этих процессах. Дальнейшие исследования необходимы для понимания динамики разложения органического вещества и формирования лесной подстилки в условиях нарушенных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Коми АССР. М.: ГУГК, 1964. 112 с.
- Ахметова Г. В. Пространственная неоднородность химического состава лесных подстилок сосновых насаждений средней тайги Восточной Финноскандии // Лесоведение. 2022. № 3. С. 250–261.
- Бобкова К. С., Лиханова Н. В., Кузнецов А. М. Влияние промышленных рубок на круговорот веществ в системе почва-фитоценоз среднетаежных ельников на болотно-подзолистых почвах. СПб.: Наука, 2024. 246 с.
- Бобкова К. С. Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми. М.: Издательско-производственный центр «Дизайн. Информация. Картография», 1999. С. 40–54.
- Богатырев Л. Г. Образование подстилки – один из важнейших процессов

- в лесных экосистемах // Почвоведение. 1997. № 4. С. 501–512.
- Богатырев Л. Г., Демаков Ю. П., Исаев А. В., Шарафутдинов Р. Н., Бенедиктова А. И., Земсков Ф. И. Структурно-функциональная организация подстилки в борах Марийского Заволжья // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2019. № 1. С. 3–9.
- Гродницкая И. Д., Пашкеева О. Э., Старцев В. В., Дымов А. А. Дыхательная активность и биоразнообразие микробиомов подзолистых почв постпирогенных еловых лесов Красноярского края и Республики Коми // Почвоведение. 2023. № 6. С. 758–773.
- Демаков Ю. П., Шейкина О. В., Шаранов Е. С. Содержание зольных элементов в древесине, коре и хвое деревьев сосны обыкновенной на территории Республики Марий Эл // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 3. Статья № 153.
- Дитц А. А., Конакова Т. Н., Фатеева А. А. Трансформация почвенных зооценозов в первый год после рубки леса // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 48–56.
- Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с.
- Иванова Е. А., Данилова М. А., Смирнов В. Э., Ершов В. В. Сравнительная оценка скорости разложения растительного опада в еловых и сосновых лесах на северном пределе распространения // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 3. Статья № 132. С. 1–30.
- Кожевникова Н. Д., Второва В. Н. Биологический круговорот веществ в ельниках северного Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1988. 346 с.
- Колмогорова Е. Ю., Уфимцев В. И. Некоторые особенности химического состава опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала // Успехи современного естествознания. 2018. № 11. Ч. 2. С. 267–272.
- 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.
- Лиханова Н. В., Бобкова К. С. Изменение содержания макро и микроэлементов в растениях напочвенного покрова ельников средней тайги после сплошной рубки // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49. № 2. С. 223–232.

- Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная промышленность, 1985. 264 с.
- Никонов В. В., Лукина Н. В., Безель В. С., Бельский Е. А., Беспалова А. Ю., ..., Яценко-Хмелевская М. А. Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. 616 с.
- Паутов Ю. А. Техногенная структура вырубок – основа технологии лесовосстановления. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. Вып. 345. 24 с.
- Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части Российской Федерации: [утверждены приказом Рослесхоза от 31.08.1993 № 226] // Сборник нормативно-технических документов по лесному хозяйству. М., 1993. 25 с.
- Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.
- Семенова В. Г. Влияние рубок главного пользования на почвы и круговорот веществ в лесу. М.: Лесная промышленность, 1975. 184 с.
- Семенюк О. В., Телеснина В. М., Богатырев Л. Г., Бенедиктова А. И., Кузнецова Я. Д. Оценка внутрибиогеоценозной изменчивости лесных подстилок и травяно-кустарничковой растительности в еловых насаждениях // Почвоведение. 2020. № 1. С. 31–43.
- Чертовской В. Г. Долгомошные вырубки, их образование и облесение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.
- Шебалова А. М., Залесов С. В. Лесные экосистемы зон сильного антропогенного загрязнения // Лесной вестник. 2008. № 3(60) С. 105–107.
- Шхапацев А. К., Казеев К. Ш. Сравнительная устойчивость биологических свойств почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2023. № 4.
- Becker H., Aosaar J., Varik M., Morozov G., Aun K., Mander U., Soosaar K., Uri V. Annual net nitrogen mineralization and litter flux in well-drained downy birch, Norway spruce and Scots pine forest ecosystems // Silva Fennica. 2018. Vol. 52. No. 4. Article ID 10013. 18 p.
- Helmisaari H.-S. Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles // Canadian Journal of Forest Research. 1990. No. 5. P. 177–193.
- Hilli S., Starka S., Derome J. Litter decomposition rates in relation to litter stocks in boreal coniferous forests along cli-

- matic and soil fertility gradients // *Applied Soil Ecology*. 2010. No. 46. P. 200–208.
- Neumann M., Ukonmaanaho L., Johnson J., Benham S., Vesterdal L., ..., & Hasenauer H.* Quantifying carbon and nutrient input from litterfall in European forests using field observations and modeling // *Global Biogeochemical Cycles*. 2018. Vol. 32. No. 5. P. 784–798.
- Patoine G., Thakur M.P., Friese J., Nock C., Eisenhauer N.* Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community // *Pedobiologia*. 2017. Vol. 65. P. 29–42.
- Raiesi F., Beheshti A.* Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands // *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 50. P. 173–185.
- Rautio P., Huttunen S., Lamppu J.* Seasonal foliar chemistry of northern Scots pine under Sulphur and heavy metal pollution // *Chemosphere*. 1998. Vol. 37. No. 2. P. 271–287.
- Thiele-Bruhn S., Schlöter M., Wilke B.-M., Beaudette L.A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Römbke J.* Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // *Soil*. 2020. Vol. 6. P. 17–34.
- Trap J., Hättenschwiler S., Gattin I., Aubert M.* Forest ageing: an unexpected driver of beech leaf litter quality variability in European forests with strong consequences on soil processes // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 302. P. 338–345.
- ### REFERENCES
- Atlas Komi ASSR*, Moscow: GUGK, 1964, 112 p.
- Ahmetova G. V.*, Prostranstvennaja neodnorodnost' himicheskogo sostava lesnykh podstilok osnovnykh nasazhdenij srednej tajgi Vostochnoj Fennoskandii (Spatial heterogeneity of the chemical composition of forest litter in pine forests of the middle taiga of Eastern Fennoscandia), *Lesovedenie*, 2022, No 3, pp. 250–261.
- Becker H., Aosaar J., Varik M., Morozov G., Aun K., Mander U., Soosaar K., Uri V.*, Annual net nitrogen mineralization and litter flux in well-drained downy birch, Norway spruce and Scots pine forest ecosystems, *Silva Fennica*, 2018. Vol. 52, No 4, Article ID 10013, 18 p.
- Bobkova K. S., Lihanova N. V., Kuznetsov A. M.*, Vlijanie promyshlennykh rubok na krugovorot veshchestv v sisteme pochva-fitocenoz srednetaezhnykh el'nikov na bolotno-podzolistykh pochvakh (The impact of industrial logging

- on the circulation of substances in the soil-phytocenosis system of middle taiga spruce forests on bog-podzolic soils), Saint-Petersburg: Nauka, 2024, 246 p.
- Bobkova K. S., *Biologicheskaja produktivnost' lesov* (Biological productivity of forests), In: *Lesy Respubliki Komi* (Forests of the Komi Republic), M.: Izdatel'sko-produserskij centr «Dizajn. Informacija. Kartografija», 1999, pp. 40–54.
- Bogatyrev L. G., *Образование подстилки – один из важнейших процессов в лесных экосистемах* (Litter formation is one of the most important processes in forest ecosystems), *Pochvovedenie*, 1997, No 4, pp. 501–512.
- Bogatyrev L. G., Demakov Ju. P., Isaev A. V., Sharafutdinov R. N., Benediktova A. I., Zemskov F. I., *Структурно-функциональная организация подстилки в борях Маријского Заволж'я* (Structural and functional organization of forest litter in the Mari Trans-Volga pine forests), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Serija 17, Pochvovedenie*, 2019, No 1, pp. 3–9.
- Chertovskoj V. G., *Dolgomoshnye vyrubki, ih obrazovanie i oblesenie*, Moscow: Izdatel AN SSSR, 1963, 136 p.
- Demakov Ju. P., Shejkina O. V., Shara-pov E. S., *Soderzhanie zol'nyh jele-mentov v drevesine, kore i hvoe derev'ev sosny obyknovennoj na terri-torii Respubliki Mariј Jel* (Ash content in wood, bark and needles of Scots pine trees in the Republic of Mari El), *Voprosy lesnoj nauki*, 2024, Vol. 7, No 3, Article 153.
- Ditc A. A., Konakova T. N., Fateeva A. A., *Transformacija pochvennyh zoocenozov v pervyj god posle rubki lesa* (Transformation of soil zoocenoses in the first year after forest felling), *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2024, No 2, pp. 48–56.
- Dymov A. A., *Sukcessii pochv v boreal'nyh lesah Respubliki Komi* (Soil successions in boreal forests of the Komi Republic), Moscow: GEOS, 2020, 336 p.
- Grodnickaja I. D., Pashkeeva O. Je., Starcev V. V., Dymov A. A., *Dyhatel'naja aktivnost' i bioraznoobrazie mikro-biov podzolistyh pochv postpirogen-nyh elovyh lesov Krasnojarskogo kraja i Respubliki Komi* (Respiratory activity and biodiversity of microbiomes of podzolic soils of post-pyrogenic spruce forests of Krasnoyarsk Krai and the Komi Republic), *Pochvove-denie*, 2023, No 6, pp. 758–773.
- Helmisaari H.-S., *Temporal variation in nutrient concentrations of Pinus sylvestris needles*, *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, No 5, pp. 177–193.

- Hilli S., Starka S., Derome J., Litter decomposition rates in relation to litter stocks in boreal coniferous forests along climatic and soil fertility gradients, *Applied Soil Ecology*, 2010, No 46, pp. 200–208.
- Ivanova E. A., Danilova M. A., Smirnov V. Je., Ershov V. V., Sravnitel'naja ocenka skorosti razlozhenija rastitel'nogo opada v elovvyh i sosnovyh lesah na severnom predele rasprostraneniya (Comparative assessment of the rate of decomposition of plant litter in spruce and pine forests at the northern limit of distribution), *Voprosy lesnoj nauki*, 2023, Vol. 6, No 3, Article 132, pp. 1–30.
- Kolmogorova E. Ju., Ufimcev V. I., Nekotorye osobennosti himicheskogo sostava opada sosny obyknovennoj, proizrastajushhej v uslovijah porodnogo otvala (Some features of the chemical composition of litter from Scots pine growing in waste dump conditions), *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*, 2018, No 11, Part. 2, pp. 267–272.
- Kozhevnikova N. D., Vtorova V. N., *Biologicheskij krugovorot veshhestv v el'nikah severnogo Tjan'-Shanja* (Biological circulation of substances in spruce forests of the northern Tien Shan), Frunze: Ilim, 1988, 346 p.
- Lihanova N. V., Rol' rastitel'nogo opada v formirovanii lesnoj podstilki na vyrubkah el'nikov srednej tajgi (The role of plant litter in the formation of forest litter in cleared areas of spruce forests in the middle taiga), *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2014, No 3 (339), pp. 52–66.
- Lihanova N. V., Bobkova K. S., Izmenenie soderzhanija makro i mikrojelementov v rastenijah napochvennogo pokrova el'nikov srednej tajgi posle sploshnoj rubki (Changes in the content of macro and microelements in ground cover plants of middle taiga spruce forests after clear-cutting), *Rastitel'nye resursy*, 2013, Vol. 49, No 2, pp. 223–232.
- Neumann M., Ukonmaanaho L., Johnson J., Benham S., Vesterdal L., ... & Hasenauer H., Quantifying carbon and nutrient input from Litterfall in European forests using field observations and modeling, *Global Biogeochemical Cycles*, 2018, Vol. 32, No 5, pp. 784–798.
- Nikishov V. D., *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* (Complex use of wood), Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1985, 264 p.
- Nikonov V. V., Lukina N. V., Bezel' V. S., Bel'skij E. A., Bespalova A. Ju., ... & Jacenko-Hmelevskaja M. A., *Rassejannye*

- jelementy v boreal'nyh leash* (Trace elements in boreal forests), Moscow: Nauka, 2004, 616 p.
- Patoine G., Thakur M. P., Friese J., Nock C., Eisenhauer N., Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community, *Pedobiologia*, 2017, Vol. 65, pp. 29–42.
- Pautov Ju. A., *Tehnogennaja struktura vyrubok – osnova tehnologii lesovostanovlenija* (The man-made structure of logging is the basis of reforestation technology), Syktyvkar: Komi NC UrO RAN, 1992, Issue 345, 24 p.
- Pravila rubok glavnogo pol'zovanija v ravninnyh lesah evropejskoj chasti Rossijskoj Federacii: [utverzhdeny prikazom Rosleshoza ot 31.08.1993 No 226], *Sbornik normativno-tehnicheskikh dokumentov po lesnomu hozjajstvu*, Moscow, 1993, 25 p.
- Raiesi F., Beheshti A., Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands, *Ecological Indicators*, 2015, Vol. 50, pp. 173–185.
- Rautio P., Huttunen S., Lamppu J., Seasonal foliar chemistry of northern Scots pine under Sulphur and heavy metal pollution, *Chemosphere*, 1998, Vol. 37, No 2, pp. 271–287.
- Rodin L. E., Bazilevich N. I., *Dinamika organicheskogo veshhestva i biologicheskij krugovorot zol'nyh jelementov i azota v osnovnyh tipah rastitel'nosti zemnogo shara* (Dynamics of organic matter and biological cycling of ash elements and nitrogen in the main types of vegetation on the globe), Moscow; Leningrad: Nauka, 1965, 253 p.
- Semenjuk O. V., Telesnina V. M., Bogatyrev L. G., Benediktova A. I., Kuznecova Ja. D., Ocenka vnutribiogeocenoizmenchivosti lesnyh podstilok i travjano-kustarnichkovoj rastitel'nosti v elovyh nasazhdenijah (Assessment of intrabiogeocenotic variability of forest litter and grass-shrub vegetation in spruce stands), *Pochvovedenie*, 2020, No 1, pp. 31–43.
- Semenova V. G., *Vlijanie rubok glavnogo pol'zovanija na pochvy i krugovorot veshhestv v lesu* (The impact of final felling on soils and the circulation of substances in the forest), Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1975, 184 p.
- Shebalova A. M., Zalesov S. V., Lesnye jekosistemy zon sil'nogo antropogennogo zagrjaznenija (Forest ecosystems in areas of severe anthropogenic pollution), *Lesnoj vestnik*, 2008, No 3(60), pp. 105–107.
- Shhapacev A. K., Kazeev K. Sh., Sravni-

- tel'naja ustojchivost' biologicheskikh
svoystv pochv raznyh tipov Zapadnogo
Kavkaza k rubkam i pozharam, *Agro-
JekoInfo: Jelektronnyj nauchno-pro-
izvodstvennyj zhurnal*, 2023, No 4.
- Thiele-Bruhn S., Schlöter M., Wilke B.-M.,
Beaudette L. A., Martin-Laurent F.,
Cheviron N., Römcke J., Identification
of new microbial functional standards
for soil quality assessment, *Soil*, 2020,
Vol. 6, pp. 17–34.
- Trap J., Hättenschwiler S., Gattin I., Aubert M.,
Forest ageing: an unexpected driver
of beech leaf litter quality variability
in European forests with strong con-
sequences on soil processes, *Forest
Ecology and Management*, 2013, Vol.
302, pp. 338–345.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE DECOMPOSITION RATE OF PLANT LITTER IN MIDDLE-TAIGA SPRUCE FORESTS AND IN CLEAR-CUT AREAS

N. V. Likhanova

*Sykt'yvkar forest institute
Lenin st. 39, Sykt'yvkar, Komi Republic 167982, Russia*

E-mail: lihanad@mail.ru

Received: 01.06.2026

Revised: 08.06.2026

Accepted: 10.06.2026

The presented work provides an assessment of the rate of decomposition of plant litter in middle-taiga spruce forests of the moist bilberry type and the polytrich-sphagnum type, as well as in 4–6-year-old clear-cut areas in the Republic of Komi. The features of the component composition of plant litter and its chemical transformations during decomposition in spruce forests and clear-cut areas were studied. It was found that in spruce forests litter from woody plants predominates (76–84%), whereas in clear-cut areas there is a replacement of woody plant litter (11–12%) by litter from ground vegetation (88–89%). The total litter stock in clear-cut areas naturally decreases to 3.1–3.6 t ha⁻¹ year⁻¹. The chemical composition of litter shows species-specific characteristics. One-year-old spruce needles actively accumulate nitrogen, potassium, and phosphorus, while with increasing age the concentrations of calcium, silicon, manganese, and aluminum increase. Pine needles are characterized by higher po-

tassium content and lower nitrogen and phosphorus content, and they are richer in calcium, silicon, manganese, and aluminum. Birch leaves exceed needles in the content of most macro- and microelements. Among ground vegetation species, bilberry (*Vaccinium myrtillus*) is characterized by high nitrogen and calcium content, herbaceous plants are characterized by higher potassium and silicon content, mosses – by potassium and magnesium content. The decrease in the content of key nutrient elements in plant litter at the final stages of ontogenesis reflects a slowdown in metabolic processes. It was noted that the chemical composition of spruce needles differs significantly depending on growing conditions (spruce forests vs. clear-cut areas), which may contribute to increased differentiation. The results show that, despite generally low mineralization rates, the decomposition of plant litter proceeds more intensively in cutting areas between skidding roads than in spruce forests. This is associated with altered abiotic conditions and the predominance of ground vegetation litter. The study reveals patterns of plant litter transformation in disturbed ecosystems and emphasizes the need for further research to fully understand the dynamics of organic matter decomposition and forest floor formation in clear-cut spruce forest areas.

Keywords: *middle taiga, spruce forests, clear-cutting, plant residues, quality of litter, decomposition of litter*

Рецензент: к. б. н., с. н. с. Телеснина В. М.