

DOI: 10.31509/2658-607x-202691-184
УДК 630*160.2:582.76/77

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2026 А. В. Иванов^{1*}, С. В. Брянин¹, Е. С. Сулопарова¹, Ю. А. Масютина¹,
А. В. Данилов¹, А. В. Кондратова¹, А. Е. Мажара²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН
Россия, 675000 Благовещенск, пер. Рёлочный, д. 1

²Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Россия
680020 Хабаровск, Волочаевская, 71

*E-mail: aleksandrsg86@mail.ru

Поступила в редакцию: 30.10.2025
После рецензирования: 12.02.2026
Принята к печати: 19.02.2026

В исследовании обобщены и проанализированы данные о свойствах лесной подстилки в лиственных лесах Дальнего Востока, подверженных частым пожарным нарушениям. На основе представительной базы данных описаны закономерности пространственной изменчивости основных свойств подстилки. Исследования проводились на 125 пробных площадях на территории Амурской области, Забайкальского края и Якутии с учетом фактора пожаров. Результаты показали значительную вариабельность запасов подстилки ($C_v = 66.4\%$), в то время как содержание углерода и азота оказалось более консервативным показателем ($C_v = 11.5$ и 19.5% соответственно). Установлено, что запасы углерода в подстилке в исследованных нарушенных лесах сопоставимы с запасами углерода в надземной фитомассе древостоя и составляют в среднем: Амурская область 8.3 ± 0.5 , Якутия 10.4 ± 1.1 , Забайкалье 4.6 ± 0.4 т С га⁻¹, что выше чем значения из национальной базы данных. Дисперсионный анализ выявил статистически значимые различия в запасах подстилки между объектами исследований в разных географических зонах, что отражает климатические градиенты. Построена регрессионная модель запаса подстилки с предикторами «высота над уровнем моря» и «запас углерода в листве» ($R^2 = 0.40$). В то же время, такие характеристики пожаров, как разностный нормализованный индекс гарей (dNBR) и время после последнего пожара, не

показали значимого прямого влияния на запас подстилки, что может быть связано со сложностью пироженных процессов в условиях мерзлоты и ограничениями дистанционных методов оценки.

Ключевые слова: *лесная подстилка, лиственничники, запас, лесные пожары, Дальний Восток*

Леса, образованные видами рода *Larix*, являются наиболее распространенной лесной формацией в России, занимая около 40% покрытой лесом площади (Уткин и др., 2003). Лиственничники характеризуются существенным ландшафтным разнообразием, что, прежде всего, связано с пожарным фактором. Различные виды пожаров, сценарии послепожарного восстановления, особенности рельефа, мерзлоты и другие особенности делают растительный покров лиственничных лесов и их производных чрезвычайно пестрым (Абаимов и др., 2004). В более благоприятных условиях (южная часть ареала) лиственница произрастает в смеси с березой и осиной, в суровых условиях образует чистые древостои на всех стадиях развития. Дальний Восток России – один из регионов с очень высокой горимостью лесов. Согласно исследованиям (Kharuk et al., 2023), здесь существует закономерный тренд роста силы и частоты пожаров, а также средней площади гарей. Пожарные нарушения структуры лесов приводят к уменьшению их угле-

родной емкости (Ponomarev et al., 2023). Прежде всего, пожары уменьшают запасы фитомассы, валежа и лесной подстилки. В беглых низовых пожарах обычно сгорает только верхний слой подстилки (Kharuk, Ponomarev, 2017). Подстилка, выполняя ряд важных функций в лесных экосистемах (хранение семян, почвообразование, поддержание биоразнообразия, предотвращение эрозии и другие) является динамичным обменным пулом углерода, на долю которого в лесах России, как и в лесах мира, приходится 5% общего углерода экосистемы (Domke et al., 2016; Замолодчиков и др., 2018). Понимание закономерностей естественного формирования лесной подстилки как результата процессов опада, отпада и разложения, а также пироженного уменьшения их запасов с учетом региональных особенностей является одной из задач формирования национальной системы климатического мониторинга (Широв, 2023). Лесные пожары являются важным внешним фактором, влияющим на процесс формирования подстилки и их запасы, а разнообразие

пожарных режимов в совокупности с топографическими и климатическими особенностями конкретного региона создают разнообразные варианты постпирогенных лесов и сильную пространственную мозаичность запаса подстилки. Поэтому оценки variability запасов подстилки и других их свойств, а также вклада подстилки в общий запас углерода лесных экосистем являются актуальной задачей.

В настоящем исследовании обобщены данные по лесной подстилке, полученные в ходе изучения лиственничных лесов южной части Дальнего Востока в Институте геологии и природопользования ДВО РАН. Цель исследования – анализ закономерностей пространственной изменчивости основных параметров лесной подстилки с учетом фактора пожаров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подстилка была собрана в лиственнично-березовых лесах на территории трех субъектов России – Амурской области, Забайкальского края и Якутии (южная часть) – в ходе нескольких экспедиций в период 2020-2024 гг. Административное деление в контексте исследования используется как маркер крупных природно-климатических (геогра-

фических) зон: климат в Приамурье – с чертами муссонного (зона 1), в Якутии, отделенной горной системой Станового хребта – резко континентальный, с экстремально суровой, долгой зимой (зона 2), в Забайкалье – резко континентальный (зона 3). Преобладающие почвы – буроземы (Cambisols), подзолистые (Podzoluvisols), почвы засушливых регионов (Xerosols) (Digital Soil Map..., 2003), выражен рельеф (перепад высот по объектам исследования – от 195 до 1180 м). Древесный ярус растительности представлен постпирогенными лиственничниками разного возраста с частичным или полным замещением лиственницы на березу и/или осину, то есть трансформацией в производные типы леса. В живом напочвенном покрове доминируют *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L. На рис. 1 представлена карта размещения мест сбора подстилки.

Выбор площадок для сбора подстилки и характеристика пожаров. Пробные площади выбирали на основе предварительного дистанционного анализа. Перед началом полевых работ в мобильное ГИС-приложение было загружено около 300 точек-претендентов для проведения полевых работ, из которых на местности отбирались более под-

ходящие. Точки выбирались по различной степени пожарного воздействия, которое определялось дистанционно. При этом учитывалась транспортная доступность на местности, наличие максимального числа снимков и облачность (отсутствие облаков в конкретной точке на всех снимках). Использовали архив снимков Landsat, охватывающий период с 1986 до 2024 гг. При этом использовался уровень обработки снимков Level-2, где предварительно выполнены процедуры коррекции, обеспечивающие сопоставимость значений интенсивности отражений в одноименных каналах у разных спутников (Crawford et al., 2023). В качестве характеристики

пожарного нарушения был выбран нормализованный индекс гарей (Normalized Burn Ratio) NBR. Разность индексов, полученных после и до пожара (differentiated NBR, разностный нормализованный индекс гарей (Забродин, Пономарев, 2023)), дает величину, которая может быть использована для оценки изменений конкретных натуральных величин, например, запасов фотосинтезирующей фитомассы и т.д. (Key, Benson, 2006). Для каждой пробной площади также определялось число лет после последнего пожара. Подробно методика получения индексов гарей описана в статье (Ivanov et al., 2024).

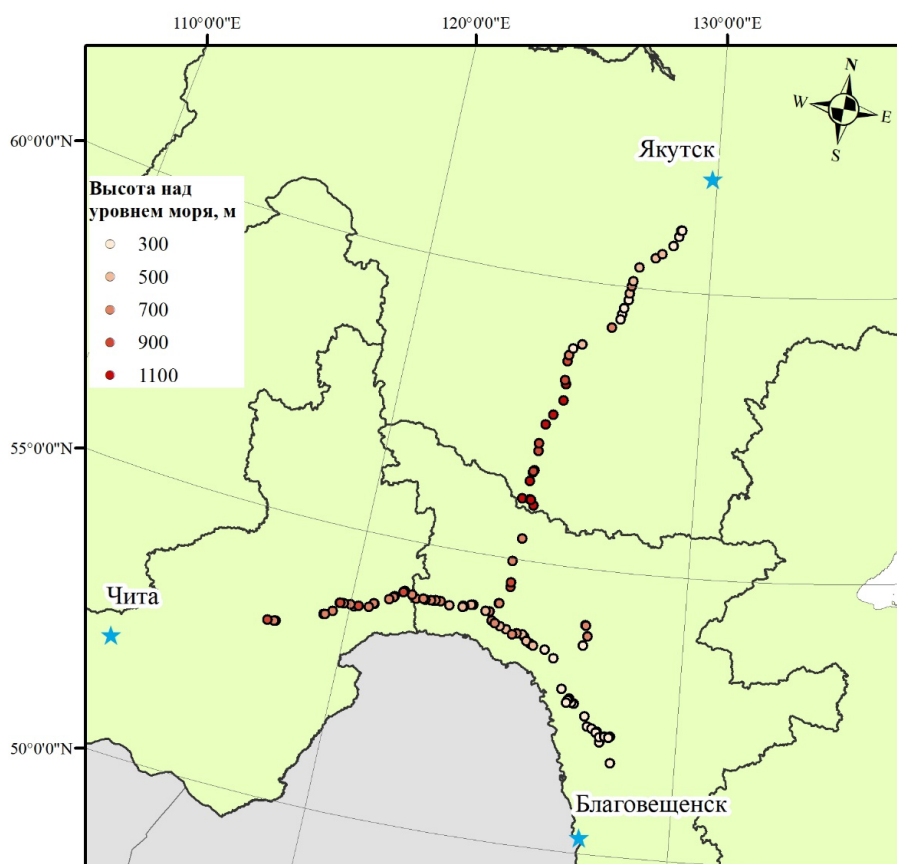


Рисунок 1. Размещение участков сбора подстилки на территории южной части Дальнего Востока

Описание древостоев. Оценка запасов углерода в надземной фитомассе (P_{ab}) на 125 пробных площадях (ПП) проводилась двумя методами, что было обусловлено различными задачами полевых экспедиций. На 42 пробных площадях (19 в Амурской области, 11 в Якутии, 12 в Забайкалье) был применен метод сплошного пересчета на участках 50×50 м: у каждого дерева измеряли диаметр ствола (начиная от 6 см). Высота измерялась у 10-12 модельных деревьев каждой породы для определения разряда высоты и объема стволов. Для получения фитомассы использовалась база данных В. А. Усольцева (2016), на основе которой для каждой породы были построены локальные аллометрические уравнения, связывающие диаметр ствола с фитомассой. В базе выбирали не менее 20 модельных деревьев каждого вида, полученных в наиболее близких к пробным площадям районах, так, чтобы были максимально представлены все ступени толщины, включая значения диаметров, близкие к измеренным на ПП. Фитомассу древостоя получали как сумму масс всех деревьев. Конверсия фитомассы в запас углерода осуществлялась с использованием коэффициента 0.5. На остальных 83 пробных

площадях для таксации древостоя применялся реласкопический метод. На каждой ПП закладывалось по три круговые площадки, где с помощью полнотомера Биттерлиха определялась сумма площадей сечений стволов и измерялись высоты модельных деревьев. На основе этих измерений рассчитывался общий запас древесины на 1 га. Для обеспечения сопоставимости результатов, полученных разными методами таксации, была разработана модель пересчета запаса древостоя в запас фитомассы. На данных с 42 ПП была построена линейная зависимость между запасом древесины и запасом углерода в надземной фитомассе. Полученная линейная зависимость модель ($R^2 = 0.77$, $p < 0.001$, ошибка модели 11%) была применена к данным по запасу древесины, полученным реласкопическим методом, для расчета запасов углерода фитомассы на ПП 43-125 (Ivanov et al., 2022, 2024). Такой подход позволил создать единый, сопоставимый массив данных по углероду фитомассы древостоя для всех 125 участков.

Сбор образцов подстилки и определение их свойств. На каждой пробной площади подстилку собирали в трех или пятикратной повторности. Число

повторностей было выбрано в целях максимизации пространственного охвата исследования для выявления крупномасштабных закономерностей (минимальное число повторностей позволило выполнить отбор на максимальном числе ПП). Сбор осуществлялся однократно в период с 20 июня по 20 июля с помощью рамки размером 20×20 см. Предварительно визуально оценивали наиболее распространенные элементы парцеллярной структуры фитоценоза, в которых закладывали рамку. Рамку не располагали ближе, чем на 1 м к стволам деревьев, непосредственно у фрагментов валежа, в микроповышениях и микропонижениях. По периметру рамки подстилка разрезалась ножом, крупные корни и надземные части растений удалялись, для хранения и транспорта образцов использовали герметичные zip-пакеты.

В камеральных условиях образцы взвешивали в естественном состоянии, затем высушивали, измельчали, перемешивали и отбирали навеску (не менее 100 г) для определения влажности и дальнейшего расчета абсолютно сухой массы образца, которую пересчитывали в запас подстилки в тоннах на 1 га.

Для определения содержания углерода и азота в подстилке из гомогенизи-

рованного образца отбиралась навеска 1-2 г, которая измельчалась в дробилке в сухом состоянии. Анализ содержания углерода и азота проводился на элементном анализаторе Shimadzu TOC-L CSN (Shimadzu, Япония).

Формирование базы и анализ данных. На первом этапе исходные данные о свойствах подстилки были агрегированы по пробным площадям – получены средние значения и их стандартные ошибки по всем повторностям. В базе данных представлены следующие свойства подстилки: мощность, запас, содержание общего углерода и азота, отношение C:N. База содержит 125 записей, из которых 62 относятся к Амурской области, 39 – к Якутии и 24 – к Забайкальскому краю. Свойства подстилки и характеристики древостоев получены не для всех пробных площадей. Полнота базы данных характеризуется следующими числами значений параметров: широта, долгота, высота над уровнем моря, мощность и запас подстилки, запас надземной фитомассы древостоя – 125 записей; содержание углерода – 124, содержание азота – 49, запас фитомассы ливы – 42, dNBR – 77, период после последнего пожара – 92, межпожарный интервал – 83 записи. Каждый показатель получен на репрезентативном числе ПП,

охватывающем большую часть региона исследования. Полученная база данных находится в открытом доступе в онлайн-репозитории Figshare (Ivanov, 2025).

Обработку и анализ данных выполняли с использованием программного обеспечения MS Excel, R Studio. Использовали методы линейных моделей с несколькими переменными и дисперсионный анализ. Поскольку для некоторых показателей (содержание углерода, запасы подстилки) распределение значений отличалось от нормального, для выявления различий по этим показателям между объектами в разных географических зонах использовался непараметрический критерий Краскела-Уоллиса.

В случае обнаружения значимых различий ($p < 0.05$) проводились попарные сравнения с использованием критерия Данна. Визуализация данных выполнена с использованием пакета ggplot2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для иллюстрации вариаций основных параметров подстилки составлена табл. 1. Полученные данные существенно расширяют имеющуюся информацию о подстилке лесов Дальнего Востока. Так, в базе данных о подстилке лесов России, созданной по инициативе А. И. Уткина, из 883 записей лишь 59 относилось к Дальнему Востоку (Честных и др., 2007).

Таблица 1. Показатели вариации основных параметров лесной подстилки

Показатель	N	\bar{x}	SD	Min	Max	CV, %
Содержание углерода, %	124	36.2	4.5	26.0	43.1	11.5
Содержание азота, %	48	1.2	0.2	0.7	1.8	19.5
Отношение C/N	48	30.8	6.2	19.9	51.5	20.1
Запас подстилки, т га ⁻¹	125	22.7	15.6	2.6	90	66.4
Запас углерода подстилки, т га ⁻¹	125	8.1	5.3	0.9	35.6	66.7

Обозначения: N – число ПП по которым усреднялись значения, \bar{x} – среднее значение, SD – стандартное отклонение, Min – минимальное значение, Max – максимальное значение, CV – коэффициент вариации.

Наименьшая вариация оказалась у показателей содержания углерода и азота – 13.1 и 19.5% соответственно. Это наиболее консервативные свойства под-

стилки, варьирующие в относительно небольшом диапазоне на обширной территории в различных лесах с разной пожарной историей. Содержание углерода

в подстилке варьирует от 26.0 до 43.1% со средним значением 36.2%, что очень близко к рекомендованному МГЭИК значению в 37% (Руководящие..., 2003). Таким образом, для глобальных расчетов и модельных оценок на территории юга Дальнего Востока использование усредненного общемирового показателя содержания углерода в лесной подстилке является корректным. Однако при описании запасов углерода на конкретной площадке это может привести к ошибке в оценке запаса (по нашим данным, от -50 до +17%).

Значения содержания углерода в выборках Амурской области и Забайкалья распределены ненормально (тест Шапиро-Уилка, $p < 0.01$) и имеют левостороннюю асимметрию. Для сравнения содержания С в подстилке между объектами в разных географических зонах использовались медианные значения: Амурская область – 36.4%, Якутия – 35.1%, Забайкалье – 39.4%. При этом подстилка на объектах в Забайкалье достоверно отличается более высоким содержанием углерода от подстилки на объектах в Амурской области ($p = 0.0025$, тест Дана) и Якутии ($p = 0.0055$), а различия между объектами в Амурской области и Якутии статистически не значимы ($p = 1.0$).

На рис. 2 представлены диаграммы размаха для значения запаса углерода в подстилке и живой надземной фитомассе на объектах в разных географических зонах.

При группировке пробных площадей с учетом географических зон и применении непараметрического критерия Краскела-Уоллиса получены значимые различия в запасах углерода подстилки между объектами в разных зонах ($\chi^2 = 24.4$, $p < 0.001$, рис. 2). Попарное сравнение иллюстрирует, что наименьшие запасы углерода в подстилке объектов в лесах Забайкалья (медиана – 4.9 т С га⁻¹), что значимо ниже по сравнению с объектами в лесах Якутии (9.4 т С га⁻¹, $p < 0.001$) и Амурской области (7.6 т С га⁻¹, $p < 0.001$). Различия, вероятно, объясняются более интенсивной пирогенной нагрузкой на леса Забайкалья, поскольку участки полевых работ здесь находятся в зоне влияния интенсивной автомагистрали Чита-Хабаровск и транссибирской железной дороги. При этом значимых различий по запасам подстилки между объектами в лесах Якутии и Амурской области не выявлено ($p = 0.52$).

В рассматриваемых лесах соотношение подстилка/фитомасса существенно выше, чем в лесах, длительное время развивающихся без нарушений. На объ-

ектах в лесах Амурской области и Забайкалья запасы углерода подстилки составляют в среднем 31–38% от углерода фитомассы; на объектах в лесах Якутии эта доля составляет 86%, что свидетельствует о специфике формирования углеродных пулов: наиболее холодный климат (по сравнению с другими региона-

ми) и наличие сплошной мерзлоты замедляют деструкцию органического вещества, а частые пожары препятствуют накоплению больших запасов фитомассы в древостое. На объектах в постпирогенных лесах Якутии пул подстилки сопоставим по запасам углерода с пулом фитомассы.

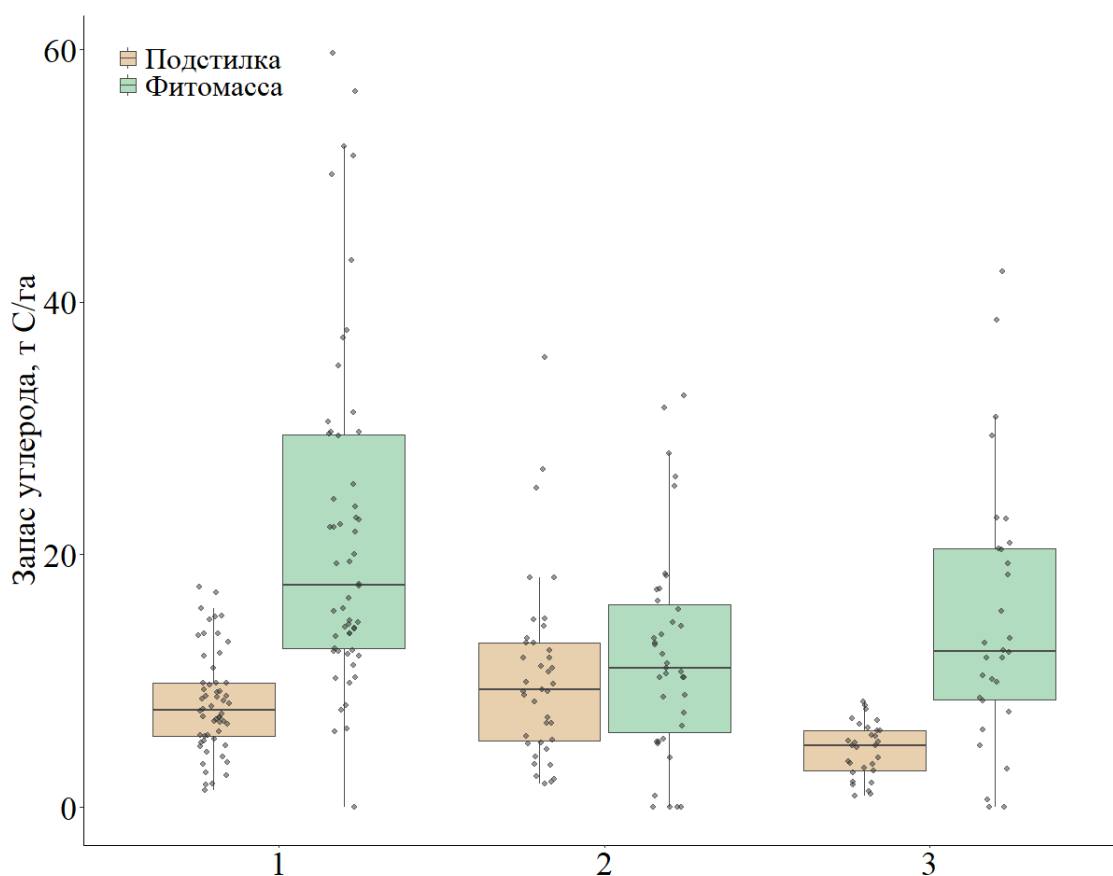


Рисунок 2. Запасы подстилки и надземной фитомассы древостоя на объектах исследования в разных географических зонах: 1 – Приамурье, 2 – Якутия, 3 – Забайкальский край

В вышеупомянутой базе данных (Честных и др., 2007) запасы подстилки в лиственничниках Дальнего Востока южной зональной полосы изменяются в пределах 1.1–11.2 т С га⁻¹ со средним

значением 5.5±0.5 т С га⁻¹, а средней зональной полосы 4.6–12.7 т С га⁻¹ (среднее 7.3±0.9). Запасы углерода на гарях в базе данных приводятся для средней и южной полосы всей страны лишь по шести

описаниям и составляют 10.6 ± 3.4 т С га⁻¹ (Честных и др., 2007). Средние значения запасов углерода по нашим объектам в лесах разных географических зон составили: Амурская область – 8.3 ± 0.5 , Якутия 10.4 ± 1.1 , Забайкалье 4.6 ± 0.4 т С га⁻¹, что иллюстрирует выраженную пространственную изменчивость. Таким образом, усредненные запасы подстилки, согласно нашим оценкам, оказались несколько выше, чем приведенные в базе данных (Честных и др., 2007) для лесов дальневосточного региона. Полученные различия объясняются, прежде всего, значительной пространственной изменчивостью и подтверждают актуальность создания национальной сети мониторинга климатически активных веществ на биомной основе.

Для выявления факторов, влияю-

щих на запас подстилки (stock) в нашем наборе данных, была построена линейная модель, в качестве предикторов выбраны: широта (N), долгота (E), высота над уровнем моря (H), углерод надземной фитомассы (Pab), углерод фитомассы листвы (Pl), dNBR, период после последнего пожара (fr) и межпожарный интервал (interval). Модель оказалась статистически значимой ($p = 0.0025$) и описывала 42.4% вариации запаса подстилки. Статистически значимым предиктором оказалась только H ($p = 0.043$). Вторым по значимости был показатель фитомассы листвы (Pl), остальные предикторы, согласно модели, можно было убрать без потери качества. Далее была построена линейная модель вида $stock \sim (H, Pl)$, результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты множественной линейной регрессии для прогнозирования запасов лесной подстилки ($R^2 = 0.40$, $MSE = 61.9$)

Предиктор	Коэффициент (β)	Ст. ошибка (SE)	t-статистика	p-value
Свободный член (Intercept)	-2.64	4.89	-0.54	0.593
Углерод фитомассы листвы (Pl)	7.11	2.01	3.54	0.001
Высота н.у.м. (H)	0.022	0.007	3.31	0.002

Построенная модель базируется только на данных 42 ПП, для которых рассчитан запас фитомассы листвы и которые распределены по географическим

зонам следующим образом: объекты Амурской области – 45%, Якутии – 31%, Забайкалья – 24%. Выбранная модель описывает 40 % вариации запаса под-

стилки. Оба предиктора являются значимыми ($p < 0.01$), однако сила влияния запаса углерода в фитомассе листьев значительно выше, чем высоты над уровнем моря. Выбранные предикторы естественным образом связаны с запасом подстилки: запас фитомассы листьев составляет большую часть опада, который формирует лесную подстилку, а в более высоких по рельефу участках накапливается больше подстилки по причине относительно более холодных условий. Однако большая часть вариации осталась не описанной моделью. Это связано с тем, что взаимосвязь между запасами подстилки и древостоя осложняется историей нарушений, которые по-разному влияли на эти пулы органического вещества. В нашем исследовании зафиксированная давность последнего пожара изменяется от 2 до 37 лет, что также является источником значительной неопределенности. Это связано с тем, что динамика восстановления подстилки после пожара – нелинейный процесс, включающий качественно разные этапы динамики растительных сообществ (Nave et al., 2017; Ficken, Wrigh, 2017). Далее была выполнена проверка гипотезы о том, что влияние пожаров может «перекрываться» высотным градиентом. Для этого использо-

вался метод анализа остатков. После исключения зависимости, связанной с высотой над уровнем моря, корреляция между остаточными запасами подстилки и индексом dNBR осталась статистически незначимой ($p = 0.47$).

При использовании в качестве предикторов запаса подстилки степени воздействия пожара (dNBR), давности последнего пожара и межпожарного интервала (в различных комбинациях с другими предикторами), значимых зависимостей найдено не было. Слабая связь между запасом подстилки и индексами dNBR указывает на сложный, характер послепожарного восстановления экосистем. Поскольку запасы подстилки в исследуемых лесах формируются как результат баланса опада, разложения в условиях мерзлоты и прямых потерь от пожаров, то влияние конкретного пожарного события со временем нивелируется сукцессионными процессами, что ограничивает прогностическую силу моделей основанных на данных ДЗЗ. Потери надземной фитомассы не коррелируют с потерями углерода подстилки. В то время как между запасом надземной фитомассы древостоя и индексом dNBR на наших объектах была найдена значимая отрицательная корреляция (Ivanov et al., 2024).

Следует отметить, что наше исследование направлено на поиск общих закономерностей в пределах макрорегиона и сфокусировано на участках леса, подвергавшимся пожарам разных периодов и разной интенсивности, оцененной по dNBR. Поэтому здесь не работают закономерности, полученные в локальных условиях. Например, в северной лиственничной тайге (Эвенкия) показано увеличение запаса подстилки в геохимически сопряженном ландшафте от автоморфного к аккумулятивному (Сергеева и др., 2020), что не согласуется с нашими результатами. Однако в этом же исследовании сообщается о более высоких запасах на склонах северной экспозиции, что косвенно подтверждает наш вывод о положительной связи запаса подстилки с высотой над уровнем моря, опосредованной через температуру. Для оценки влияния экспозиции склона на запасы лесной подстилки был проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). В нашем исследовании однофакторный дисперсионный анализ не выявил статистически значимых различий в средних значениях запасов подстилки между участками с разной экспозицией ($F(7; 77) = 1.55, p = 0.164$). Таким образом, в рамках данного исследования экспозиция склона не является ключе-

вым фактором, определяющим вариацию запасов лесной подстилки

В лиственничниках северной тайги, отличающихся меньшей продуктивностью и наличием непрерывной многолетней мерзлоты, запасы подстилки оцениваются в 30-65 т га⁻¹ (Прокушкин и др., 2006), что в среднем выше полученных нами значений и иллюстрирует влияние климата на запасы: в северных регионах деструкция подстилки замедлена ввиду низких температур и короткого теплого периода. Также для подстилки северных лиственничников характерно существенно меньшее содержание азота (0.5%) и очень высокие значения C:N. В более южном регионе Дальнего Востока – Приморском крае – запасы подстилки в типичных лесных экосистемах (хвойно-широколиственных лесах), наоборот, существенно меньше, чем найденные нами для лесов треугольника Благовещенск-Якутск-Чита, и составляют 6-15 т га⁻¹ (Иванов, 2015; Иванов и др., 2023). В базе данных по подстилке лесов России для южнотаёжных лиственничников (данные не дифференцированы по регионам) запас подстилки колеблется от 16 до 32 т га⁻¹ (Честных и др., 2007), что, вероятно, является заниженной оценкой.

В метаанализе о влиянии пожаров на свойства подстилки и почв (Nave et al.,

2017) говорится, что потери запаса подстилки могут сильно зависеть от типа опада: в хвойных лесах (при прочих равных условиях) прогорание подстилки происходит сильнее, чем в лиственных и смешанных лесах. Эта особенность, вероятно, также повлияла на степень неопределенности в наших моделях. Дополнительным источником материала, влияющим на структуру подстилки и формирующим ее запас, является ярус живого напочвенного покрова, который в регионе нашего исследования чаще всего представлен кустарничками. Брусника, багульник, голубика, формируя проективное покрытие более 50%, экранируют подстилку от прогорания в период весенних пожаров, перераспределяют тепловые потоки, меняют режим испарения (Сергеева и др., 2020). В дальнейшем для более глубокого понимания динамики запасов лесной подстилки в постпирогенных лесах необходимо одновременно учитывать и свойства яруса живого напочвенного покрова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования впервые представлена и проанализирована обширная база данных, характеризующая свойства лесной подстилки в постпирогенных лиственнич-

ных лесах на территории трех субъектов Дальнего Востока России.

Установлено, что при высокой пространственной изменчивости большинства характеристик наиболее вариabельным показателем является запас подстилки (коэффициент вариации 67.6%), в то время как содержание азота и углерода характеризуется слабой вариацией. На обследованных пробных площадях запасы углерода в подстилке составляют в среднем 30-80% от запасов углерода надземной фитомассы, что подчеркивает ключевую роль подстилки в бюджете углерода лесов на объектах в разных географических зонах, рассматриваемых в настоящем исследовании. Полученные значения запасов подстилки в среднем превышают ранее опубликованные оценки для лиственничников Дальнего Востока, а значения для расчетов в методике Минприроды для лиственничников Амурской области и Забайкалья оказались почти в два раза ниже. Данные настоящего исследования могут быть использованы для уточнения действующих нормативов для расчета бюджета углерода в лесах южной части Дальнего Востока.

Анализ данных выявил статистически значимые различия в запасах подстилки между объектами в разных гео-

графических зонах, что отражает влияние климата на процессы формирования лесной подстилки. Попытка построения регрессионной модели для прогнозирования запаса подстилки показала, что наиболее значимыми предикторами являются высота над уровнем моря и запас фитомассы листьев. Эти факторы объясняют около 40% вариации. Важным результатом исследования является отсутствие прямой статистически значимой связи запаса лесной подстилки со степенью воздействия пожара на растительность (dNBR) и временем, прошедшим с момента последнего пожара. Вероятно, это связано с тем, что их влияние перекрывается совокупностью других факторов: сложной историей нарушений, а также спецификой пожаров в условиях мерзлоты, где прогорание подстилки может быть неравномерным.

Многочисленные пожары создали на юге Дальнего Востока мозаичный растительный покров, где запасы лесной подстилки контролируются сложным взаимодействием климата, рельефа, структуры древостоя и спецификой пожарного режима. Для дальнейшего, более глубокого понимания динамики углерода в постпирогенных листовенниках необходимо проведение исследований, комплексно учитывающих не

только характеристики древостоя, но и свойства живого напочвенного покрова, а также более детальную реконструкцию истории пожарных нарушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М.* Оценка и прогноз послепожарного состояния листовенницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири // *Лесоведение*. 2004. № 2. С. 3–11.
- Забродин А. Н., Пономарев Е. И.* Оценка связи между степенью пожарного воздействия на растительность и мощностью теплоизлучения от пожара // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 5. С. 166–175.
- Замолотчиков Д. Г., Грабовский В. И., Честных О. В.* Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // *Вопросы лесной науки*. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–24. DOI: 10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-24
- Иванов А. В.* Запасы лесных подстилок в кедрово-широколиственных лесах южного Сихотэ-Алиня // *Сибирский лесной журнал*. 2015. № 5. С. 87–95.

- Иванов А. В., Замолодчиков Д. Г., Иванова Е. В. Новые оценки элементов углеродного цикла для пойменных лесов южного Приморья // Аграрный вестник Приморья. 2023. № 2 (30). С. 63–67.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С., Масагина О. В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 2006. Т. 13. № 2. С. 131–139.
- Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003. 648 с.
- Сергеева О. В., Мухортова Л. В., Кривобок Л. В. Распределение запасов подстилки и биомассы живого напочвенного покрова в северной тайге Центральной Эвенкии в зависимости от рельефа // Сибирский лесной журнал. 2020. № 1. С. 38–46.
- Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии: электронное издание на русском языке. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2016.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. Органический углерод лиственничных лесов России // Хвойные бореальной зоны. 2003. Т. 21. № 1. С. 66–76.
- Честных О. В., Лыжин В. А., Кокшарова А. В. Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. 2007. № 6. С. 114–121.
- Широв А. А. Создание системы мониторинга и прогнозирования выбросов климатически активных веществ в интересах модернизации и развития экономики России // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 11–24.
- Crawford C., Roy D., Arab S., Barnes C., Vermote E., ... & Zahn S. The 50-year Landsat collection 2 archive // Science of Remote Sensing. 2023. Vol. 8. P. 100103. DOI: 10.1016/j.srs.2023.100103
- Digital Soil Map of the World and derived soil properties (Version 3.6). FAO Land and Water Development Division. FAO. 2003.
- Domke G. M., Perry C. H., Walters B. F., Woodall C. W., Russell M. B., Smith J. E. Estimating litter carbon stocks on fo-

- rest land in the United States // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 557. P. 469–478.
- Ficken C. D., Wright J. P.* Effects of fire frequency on litter decomposition as mediated by changes to litter chemistry and soil environmental conditions // *PLoS One*. 2017. Vol. 12. No. 10. P. e0186292.
- Ivanov A. V.* Forest litter in the Far East of Russia. Figshare. Dataset. 2025. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30422950.v1> (дата обращения 01.02.2026)
- Ivanov A. V., Neumann M., Darman G. F., Danilov A. V., Susloparova E. S., Solovyov I. D., Kravchenko O. M., Smuskina I. N., Bryanin S.* Vulnerability of larch forests to forest fires along a latitudinal gradient in Eastern Siberia // *Canadian Journal of Forest Research*. 2022. Vol. 52. P. 1543–1552. DOI: 10.1139/cjfr-2022-0161
- Ivanov A., Masyutina Y., Susloparova E., Danilov A., Zenevskaya E., Bryanin S.* Effect of fire on aboveground carbon pools dynamic in the boreal forests of Eastern Eurasia: Analysis of field and remote data // *Forests*. 2024. Vol. 15. Article 1448. DOI: 10.3390/f15081448
- Key C. H., Benson N. C.* Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR; USDA. Washington, 2006. 55 p.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I.* Spatiotemporal characteristics of wildfire frequency and relative area burned in larch-dominated forests of Central Siberia // *Russian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 48. P. 507–512. DOI: 10.1134/S1067413617060042
- Kharuk V. I., Shvetsov E. G., Buryak L. V., Golyukov A. S., Dvinskaya M. L., Petrov I. A.* Wildfires in the larch range within permafrost, Siberia // *Fire*. 2023. Vol. 6(8). P. 301. DOI: 10.3390/fire6080301
- Nave L. E., Vance E. D., Swanston C. W., Curtis P. S.* Fire effects on temperate forest soil C and N storage // *Ecological Applications*. 2011. Vol. 21. No. 4. P. 1189–1201. DOI: 10.1890/10-0660.1
- Ponomarev E. I., Zabrodin A. N., Shvetsov E. G., Ponomareva T. V.* Wildfire intensity and fire emissions in Siberia // *Fire*. 2023. Vol. 6(7). P. 246. DOI: 10.3390/fire6070246

REFERENCES

- Abaimov A. P., Prokushkin S. G., Sukhovol'skii V. G., Ovchinnikova T. M., Otsenka i prognoz poslepozharного

- sostoyaniya listvennitsy Gmelina na merzlotnykh pochvakh Srednei Sibiri (Assessment and forecast of the post-fire state of Gmelin larch on permafrost soils of Central Siberia), *Lesovedenie*, 2004, No 2, pp. 3–11.
- Chestnykh O. V., Lyzhin V. A., Koksharova A. V., Zapasy ugleroda v podstilkakh lesov Rossii (Carbon stocks in the litters of Russian forests), *Lesovedenie*, 2007, No 6, pp. 114–121.
- Crawford C., Roy D., Arab S., Barnes C., Vermote E., ... & Zahn S., The 50-year Landsat collection 2 archive, *Science of Remote Sensing*, 2023, Vol. 8, Article 100103, DOI: 10.1016/j.srs.2023.100103
- Digital Soil Map of the World and derived soil properties (Version 3.6), FAO Land and Water Development Division, FAO, 2003.
- Domke G. M., Perry C. H., Walters B. F., Woodall C. W., Russell M. B., Smith J. E., Estimating litter carbon stocks on forest land in the United States, *Science of The Total Environment*, 2016, Vol. 557, pp. 469–478.
- Ficken C. D., Wright J. P., Effects of fire frequency on litter decomposition as mediated by changes to litter chemistry and soil environmental conditions, *PLoS One*, 2017, Vol. 12, No 10, Article e0186292.
- Ivanov A. V. Forest litter in the Far East of Russia. *Figshare. Dataset*. 2025. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30422950.v1> (2026, 1 February)
- Ivanov A. V., Neumann M., Darman G. F., Danilov A. V., Susloparova E. S., Solovyov I. D., Kravchenko O. M., Smuskina I. N., Bryanin S., Vulnerability of larch forests to forest fires along a latitudinal gradient in Eastern Siberia, *Canadian Journal of Forest Research*, 2022, Vol. 52, pp. 1543–1552.
- Ivanov A. V., Zamolodchikov D. G., Ivanova E. V., Novye otsenki elementov uglerodnogo tsikla dlya poimennykh lesov yuzhnogo Primor'ya (New estimates of carbon cycle elements for floodplain forests of southern Primorye), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2023, No 2 (30), pp. 63–67.
- Ivanov A. V., Zapasy lesnykh podstilok v kedrovo-shirokolistvennykh lesah yuzhnogo Sikhote-Alinya (Forest litter stocks in cedar-broadleaf forests of southern Sikhote-Alin), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2015, No 5, pp. 87–95.
- Ivanov A., Masyutina Y., Susloparova E., Danilov A., Zenevskaya E., Bryanin S., Effect of fire on aboveground carbon

- pools dynamic in the boreal forests of Eastern Eurasia: Analysis of field and remote data, *Forests*, 2024, Vol. 15, No 1448, DOI: 10.3390/f15081448
- Key C. H., Benson N. C., Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods. In: *USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR*, USDA: Washington, DC, USA, 2006, 55 p.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Spatiotemporal characteristics of wildfire frequency and relative area burned in larch-dominated forests of Central Siberia, *Russian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 48, pp. 507–512.
- Kharuk V. I., Shvetsov E. G., Buryak L. V., Golyukov A. S., Dvinskaya M. L., Petrov I. A., Wildfires in the Larch Range within Permafrost, Siberia, *Fire*, 2023, Vol. 6, No 8, p. 301, DOI: 10.3390/fire6080301
- Nave L. E., Vance E. D., Swanston C. W., Curtis P. S., Fire effects on temperate forest soil C and N storage, *Ecological Applications*, 2011, Vol. 21, No 4, pp. 1189–1201, DOI: 10.1890/10-0660.1
- Ponomarev E. I., Zabrodin A. N., Shvetsov E. G., Ponomareva T. V., Wildfire intensity and fire emissions in Siberia, *Fire*, 2023, Vol. 6, No 7, p. 246, DOI: 10.3390/fire6070246
- Prokushkin S. G., Abaimov A. P., Prokushkin A. S., Masyagina O. V., Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony srednei Sibiri (Biomass of ground cover and understorey in larch forests of the cryolithozone of Central Siberia), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2006, Vol. 13, No 2, pp. 131–139.
- Rukovodyashchie ukazaniya po effektivnoi praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenii v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaistva* (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry), *Programma MGEIK po natsional'nym kadastram parnikovykh gazov*, MGEIK, 2003, 648 p.
- Sergeeva O. V., Mukhortova L. V., Krivobokov L. V., Raspredelenie zapasov podstilki i biomassy zhivogo napochvennogo pokrova v severnoi taige Tsentral'noi Evenkii v zavisimosti ot rel'efa (Distribution of litter stocks and biomass of live ground cover in the northern taiga of Central Evenkia depending on topography), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No 1, pp. 38–46.
- Shirov A. A., Sozdanie sistemy monitoringa i prognozirovaniya vyбposov klimaticheskii aktivnykh veshchestv v interesakh modernizatsii i razvitiya ekonomiki Rossii (Creation of a sys-

- tem for monitoring and forecasting emissions of climate-active substances in the interests of modernization and development of the Russian economy), *Problemy prognozirovaniya*, 2023, No 6, pp. 11–24.
- Usol'tsev V. A., *Fitomassa model'nykh derev'ev dlya distantsionnoi i nazemnoi taksatsii lesov Evrazii* (Phytomass of model trees for remote and ground forest inventory in Eurasia), Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016.
- Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnykh O. V., *Organicheskiy uglerod listvennichnykh lesov Rossii* (Organic carbon in larch forests of Russia), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2003, Vol. 21, No 1, pp. 66–76.
- Zabrodin A. N., Ponomarev E. I., Otsenka svyazi mezhdu stepen'yu pozharnogo vozdeistviya na rastitel'nost' i moshchnost'yu teploizlucheniya ot pozhara (Assessment of the relationship between the degree of fire impact on vegetation and the intensity of thermal radiation from fire), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No 5, pp. 166–175.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskii V. I., Chestnykh O. V., *Dinamika balansa ugleroda v lesakh federal'nykh okrugov Rossiiskoi Federatsii* (Dynamics of carbon balance in the forests of federal districts of the Russian Federation), *Voprosy lesnoi nauki*, 2018, Vol. 1, No 1, pp. 1–24.

SPATIAL VARIABILITY OF FOREST FLOOR PROPERTIES IN POST-FIRE LARCH FORESTS OF THE RUSSIAN FAR EAST

A. V. Ivanov^{1*}, S. V. Bryanin¹, E. S. Susloparova¹, Yu. A. Masyutina¹, A. V. Danilov¹,
A. V. Kondratova¹, A. E. Mazhara²

¹*Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of
Sciences*

Relyochny Lane 1, Blagoveshchensk 675000, Russian Federation

²*Far East Forestry Research Institute, Volochaevskaya St, 71, Khabarovsk, 680020, Rus-
sian Federation*

*E-mail: aleksandr86@mail.ru

Received: 30.10.2025

Revised: 12.02.2026

Accepted: 19.02.2026

The study summarizes and analyzes data on forest litter properties in the larch forests of the Russian Far East, which are subject to frequent fire disturbances. Based on a representative database, spatial variability patterns of the key litter properties were described. The research was conducted on 125 sample plots across the Amur Region, Transbaikal Territory, and Yakutia, considering the fire factor. The results revealed significant variability in litter stocks ($C_v = 66.4\%$), whereas carbon and nitrogen contents proved to be more conservative indicators ($C_v = 11.5\%$ and 19.5% , respectively). It was established that litter carbon stocks in the studied disturbed forests are comparable to the carbon stocks in the aboveground tree biomass, averaging $8.3 \pm 0.5 \text{ t C ha}^{-1}$ in the Amur Region, $10.4 \pm 1.1 \text{ t C ha}^{-1}$ in Yakutia, and $4.6 \pm 0.4 \text{ t C ha}^{-1}$ in Transbaikal, which exceeds the values reported in the national database. Analysis of variance (ANOVA) identified statistically significant differences in litter stocks between the regions, reflecting climatic gradients. A regression model for litter stock was developed using "elevation" and "foliage carbon stock" as predictors ($R^2 = 0.40$). Meanwhile, fire characteristics, such as the differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) and time since the last fire, showed no significant direct effect on litter stock. This lack of correlation may be attributed to the complexity of fire-induced processes in permafrost conditions and the inherent limitations of remote sensing assessment techniques.

Keywords: *forest litter, larch forests, stock, forest fires, Far East*

Рецензент: К. Б. Н., В. Н. С. Прокушкин А. С.