

А.А. Смолякова, Е.А. Кукавская, Л.В. Буряк, С.В. Жила

**ВКЛАД ПОДРОСТА В ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ
ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭМИССИЮ УГЛЕРОДА
ПРИ ПОЖАРАХ В МИНУСИНСКИХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Введение. Леса занимают 4,06 миллиардов гектаров площади поверхности Земли [The State..., 2020], из которых 22% находятся на территории Российской Федерации¹. Запасы органического углерода в фитомассе растений в мире оцениваются в 500–700 Гт, в то время как в 100-сантиметровом слое почвы этот показатель составляет 1500 Гт [Nieder, Benbi, 2008].

Леса не только аккумулируют углерод в фитомассе, но и вносят свой вклад в эмиссионные потоки углерода за счет дыхания, разложения органического вещества, а также при его сгорании в ходе лесных пожаров [Karsenty et al., 2003]. За период с 1997 по 2023 гг. средний вклад России в мировую эмиссию углерода при природных пожарах оценивается в 6–11% (130–275 Мт С), а при учете лишь лесных пожаров – 3,5–7,5% [Матвеев, Барталев, 2024].

За последние 50 лет средние темпы глобального потепления в мире ($0,13 \pm 0,03$ °С за десятилетие) оказались более чем в два раза выше, чем предполагалось ранее, при этом на территории юга Красноярского края в лесостепной и степной зоне потеплело на 4,7 °С за столетний период (1916–2016 гг.) [Иванова, 2022]. Климатические модели прогнозируют, что глобальное потепление повлияет на увеличение горимости и длительности пожароопасного сезона [Senande-Rivera et al., 2022]. Увеличение интенсивности горения и доли верховых пожаров в лесных экосистемах России приведет к еще большему росту эмиссии углерода [Швиденко, Щепашенко, 2013].

Изменение климата [Zhirnova et al., 2021] и высокая плотность населения на юге Сибири [Коломак, Шерубнева, 2023] обуславливают высокую степень горимости [Маленко и др., 2015] и рост количества и интенсивности пожаров [Буряк и др., 2007; Пономарев, Харук, 2016; Jones et al., 2022].

¹ Сведения о фактических значениях показателей государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 318, за 2023 г. и план на 2024 г.

Для южных районов Сибири характерен максимум горимости в весенний период с периодичностью пожаров 8–20 лет [Каленская и др., 2010; Маленко и др., 2015; Иванова и др., 2022].

Ленточные боры – сосновые насаждения, находящиеся за пределами своего ареала и вклинивающиеся в зону сухих степей [Полякова и др., 2008]. В сухих лесорастительных условиях естественное возобновление часто протекает недостаточно эффективно или же вовсе отсутствует [Савин и др., 2018]. Это обусловлено жёсткими климатическими условиями, недостаточным количеством осадков в ленточных борах и их высокой горимостью [Панин и др., 2023], в связи с чем искусственное лесовосстановление на данной территории является неотъемлемой частью лесохозяйственной деятельности. Так, около 12,7% площади ленточных боров Алтайского края приходится на искусственные насаждения и лесные культуры сосны обыкновенной [Осипенко, 2020]. На юге Красноярского края в Минусинском лесничестве под искусственное лесовосстановление отведены 64% всех земель, нуждающихся в лесовосстановлении².

Запас лесных горючих материалов (ЛГМ) предопределяет возможность возникновения и особенности распространения пожаров [Курбатский, 1970]. Несмотря на то, что для разных типов леса Сибири определены запасы горючих материалов [Матвеева, 2008; Собачкин и др., 2017; Савин и др., 2018; Иванова, Иванов, 2020], работы по вкладу подроста в комплексы ЛГМ немногочисленны. Между тем исследования, проведенные в некоторых районах Сибири, показали значительную роль подроста в формировании структуры и запасов ЛГМ [Фураев и др., 2010b; Софронов, Волокитина, 2011]. Так, доля подроста в ленточных борах Алтая в среднем составила 75% от общего количества напочвенных ЛГМ (включая травы, опад, подстилку и мхи) в насаждениях сухого бора, а в травяном бору – 87% [Фураев и др., 2010a].

Целью работы являлось определение роли подроста сосны обыкновенной в формировании комплекса лесных горючих материалов и оценка его вклада в пирогенную эмиссию углерода в Минусинских ленточных борах Красноярского края.

Материалы и методика исследования. Исследования проводили в Минусинских ленточных борах, расположенных в Минусинском лесничестве на юге Красноярского края. В период с 2013 по 2023 гг. средняя годо-

² Приказ Министерства лесного хозяйства Красноярского края № 86–1722-од от 30.09.2019 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Минусинского лесничества».

вая температура в районе исследования составила $+2,8$ °С, при этом минимальные и максимальные значения варьировали от $-42,7$ °С до $+37,4$ °С. Среднее годовое количество осадков составило $353,8$ мм, а средняя высота снежного покрова – $6,4$ см (максимальная высота не превышала 29 см)³.

На территории лесничества 3% общей площади занято гарями и прогалинами, а средний класс природной пожарной опасности равен $1,1$, что свидетельствует о высокой вероятности возникновения и распространения пожаров в течение всего пожароопасного сезона. Длительность пожароопасного сезона на территории составляет 199 дней⁴.

В 2022 г. в Минусинских ленточных борах были заложены две пробные площади (ПП), пройденные пожарами весной текущего года. Первая пробная площадь (ПП1) представлена лесными культурами сосны обыкновенной, высаженными на гари 2007 г. Вторая пробная площадь (ПП2) представляет собой сосновое насаждение, сформировавшееся на пожарище 2007 г., где погибшая в результате пожара часть древостоя была вырублена, а выжившая – оставлена. В настоящее время пройденное пожаром насаждение представлено низкополнотным приспевающим сосновым древостоем со сформированным естественным образом подростом. Оба участка были пройдены огнем 2 апреля 2022 г. Насаждение на ПП1 пройдено верховым высокоинтенсивным пожаром, а на ПП2 – низовым беглым пожаром средней интенсивности, местами переходившим в верховой пожар. Для каждой ПП были подобраны не горевшие в 2022 г. контрольные насаждения, которые находились в непосредственной близости от ПП и имели одинаковые с ними лесорастительные условия и лесоводственно-таксационные показатели. Почвы на участках – свежие дерново-подзолистые.

Для определения таксационных показателей подроста на каждой ПП закладывали по 12 учетных площадок размером 2×2 м, на которых проводили сплошной пересчет молодых деревьев с измерением высот и диаметров. Насаждение на первой ПП представлено чистым сосновым 15-летним молодняком со средним диаметром $2,9 \pm 0,20$ см, средней высотой $3,9 \pm 0,13$ м и густотой $21,5$ тыс. шт./га (табл. 1). Высокая густота подроста обусловлена наличием на ПП естественного возобновления в дополнение к посаженным лесным культурам.

³ Архив погоды в Минусинске. URL: <https://tp5.ru> (дата обращения: 01.02.2025)

⁴ Приказ Министерства лесного хозяйства Красноярского края № 86–1722-од от 30.09.2019 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Минусинского лесничества».

Таблица 1

**Характеристика подроста на пробных площадях
(среднее значение \pm стандартная ошибка)**

**Characteristics of the tree regeneration on the sample plots
(mean \pm standard error)**

Показатель	Пробная площадь	
	1	2
происхождение	комбинированное	естественное
густота, тыс. шт./га	21,5	16,3
D_{cp} , см	2,9 \pm 0,20	1,7 \pm 0,20
H_{cp} , м	3,9 \pm 0,13	2,4 \pm 0,14

На второй ПП сосновый подрост располагается под пологом низкополнотного (полнота – 0,4) соснового древостоя (10С). Средний диаметр древостоя на высоте груди составил 26,6 \pm 1,5 см, средняя высота – 21,4 \pm 0,4 м, возраст – 100 лет. Средний диаметр подроста составил 1,7 \pm 0,20 см, средняя высота – 2,4 \pm 0,14 м, возраст – 14 лет, густота – 16,3 тыс. шт./га (табл. 1). Количество подроста на обеих пробных площадях является достаточным для успешного лесовосстановления⁵.

Для определения надземной фитомассы подроста было срублено 13 деревьев сосны обыкновенной высотой от 0,5 до 5,5 м. У каждого экземпляра измеряли высоту, диаметр, длину и ширину кроны. Для каждого дерева определяли массу по фракциям: ствол, ветви и хвоя. Ветки разделяли на две категории (живые и сухие), а также распределяли по размерным классам (I – 0–0,49 см; II – 0,50–0,99 см; III – 1,0–2,99 см). Веток более 3 см не было. Для определения сухой массы брали по 3 образца каждой фракции, влагосодержание которых устанавливали в лабораторных условиях. На основе данных модельных деревьев были построены аллометрические уравнения связи высоты подроста и запасов отдельных его фракций.

Для определения запасов напочвенных ЛГМ на каждой ПП закладывали по 15 площадок размером 33х33 см, на которых отдельно собирали травы и кустарнички, опад, мох и подстилку, при этом старались охватить все многообразие растительного покрова [Курбатский, 1970]. Образцы напочвенных ЛГМ сушили в лабораторных условиях до абсолютно сухого состо-

⁵ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 1014 от 04.12.2020 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений».

яния. Учет запаса древесных остатков, представленных ветвями и валежом разной степени деструкции, проводился методом пересеченных линий на 12 пятиметровых трансектах [Van Wagner, 1968; McRae et al., 2006].

Количество сгорающего напочвенного покрова, а также древесных остатков рассчитывали как разницу запасов на контрольных и пройденных пожаром участках. Для определения сгоревшего запаса фитомассы подроста на 12 учетных площадках размером 2х2 м глазомерно определяли долю сгоревших фракций подроста (хвоя и веточки по размерным классам). Содержание углерода в различных образцах надземного органического вещества определяли в 3–5 повторностях с использованием изотопного масс-спектрометра Isoprime 100 (Isoprime, Великобритания) и элементарного анализатора Vario Isotope Cube (Elementar, Германия).

Результаты исследования и обсуждение.

Запасы фитомассы подроста. Основные морфологические показатели модельных деревьев и вклад отдельных фракций в общую фитомассу каждого дерева приведены в табл. 2. На основе данных модельных деревьев выявлено, что длина кроны деревьев близких размеров на ПП2 на 25–56%, а ширина кроны на 25–47% превышает аналогичные показатели подроста, отобранного на ПП1 (табл. 2). Установлено, что у модельных деревьев, произрастающих на ПП1, большую часть их фитомассы составляет ствол – 50–83%. На ПП2 у деревьев высотой до 1,3 м основная доля запаса приходилась на хвою и веточки (60–86% от общего запаса), а у деревьев высотой более 1,3 м – на ствол (48–63%).

Таблица 2

Характеристика модельных деревьев и вклад отдельных фракций деревьев в общую фитомассу

Characteristics of model trees and the contribution of individual tree fractions to total phytomass

Показатель		ПП1					ПП2							
H, м		1,2	1,9	2,5	3,3	4,3	5,5	0,6	1,0	1,3	2,4	3,0	3,9	5,3
D _{1,3} , см		–	0,7	1,3	2,0	3,0	5,0	–	–	–	1,9	2,1	3,9	5,0
длина кроны, м		0,44	0,67	1,61	1,80	1,88	3,00	0,35	0,52	1,01	1,50	2,38	3,10	4,30
ширина кроны, м		0,30	0,34	0,65	0,75	0,90	0,95	0,25	0,50	0,39	1,10	1,20	1,50	1,80
фитомасса	всего, г	53	109	344	425	885	3344	16	69	230	572	795	1866	5193
	хвоя	15	8	16	19	11	5	47	18	31	23	20	27	23
	живые ветви	11	9	24	9	11	9	10	35	51	26	18	11	12
	сухие ветви	3	9	10	10	5	3	3	16	4	3	3	1	1
	ствол	71	74	50	62	73	83	40	31	14	48	59	61	64

Наши результаты согласуются с данными по фитомассе модельных деревьев, полученными для 20-летних деревьев сосны обыкновенной естественного происхождения, произрастающих в Канской лесостепи (средний диаметр – 2,8 см, высота – 4,6 м), и 16-летних деревьев сосны, произрастающих в южной тайге Красноярского края (средний диаметр – 3 см) [Усольцев, 2016] и существенно (на 40-190%) отличаются от данных, полученных по модели В.А. Усольцева для сосны обыкновенной, произрастающей на Урале [Усольцев и др., 2023].

Доля хвои у модельных деревьев на обеих ПП варьируется от 5% до 47% от их общей фитомассы, а веточек – от 12% до 54% (табл. 2). Доля запаса хвои у подроста на ПП1 достигает своего максимального значения (19%) при высоте дерева 3,3 м, в дальнейшем по мере роста деревьев (4–6 м) снижается до 5%. Доля хвои у молодого поколения на ПП2 достигает максимума при 1,3 м высоты, где она составляет 31%, затем по мере роста дерева снижается до 20–27%. Доля живых веточек I и II классов у подроста на ПП1 достигла своего максимума при высоте 2,5 м (24%), у более высоких деревьев она уменьшается до 9–11%. У молодого поколения на ПП2 максимальная доля живых веточек составила 50% при достижении ими высоты 1,3 м, после чего по мере роста деревьев она уменьшилась до 26–18% при высоте 2–3 м и 12–11% при высоте 4–5 м.

На основании данных модельных деревьев были построены зависимости фитомассы отдельных фракций подроста от его высоты (рис. 1). Запас хвои у молодого поколения на ПП2 в 2–9 раз, а веточек в 3–4 раза больше, чем у подроста на ПП1, что связано с меньшей загущенностью молодняка в низкоплотном насаждении и, следовательно, более развитой кроной молодых деревьев.

На основе полученных данных по фитомассе модельных деревьев и распределению деревьев по группам высот была рассчитана фитомасса подроста на экспериментальных участках. Общий запас фитомассы подроста составил 29,58 т/га и 23,77 т/га на ПП1 и ПП2 соответственно (рис. 2). Несмотря на то, что фитомасса модельных деревьев на ПП2 превышает таковую на ПП1 (рис. 1), общий запас фитомассы подроста на ПП1 на 20% больше, по сравнению с запасом молодого поколения на ПП2 (рис. 2), что связано с его меньшим количеством на данной пробной площади (табл. 1). Запас стволов и веточек молодых деревьев на ПП1 на 31% и 25% больше, чем у подроста на ПП2, причем сухих веточек у молодого поколения на ПП1 на 77% больше, чем у молодняка на ПП2. Фитомасса хвои у подроста на ПП2 на 46% больше, чем у молодого поколения на

ПП1, что связано с более развитой кроной молодых деревьев (табл. 2). Запасы хвои модельных деревьев на ПП2 в 2 раза превышают таковые, полученные для подростка сосны со схожими таксационными показателями в Красноярском Приангарье, при этом данные показатели у подростка на ПП1 оказались схожи [Софронов, Волокитина, 2011]. Общая фитомасса соснового подростка 18-летнего возраста, произрастающего в Канской лесостепи Красноярского края, оказалась близка с полученными нами данными, при этом наблюдалось аналогичное распределение массы подростка по отдельным фракциям [Усольцев, 2011].

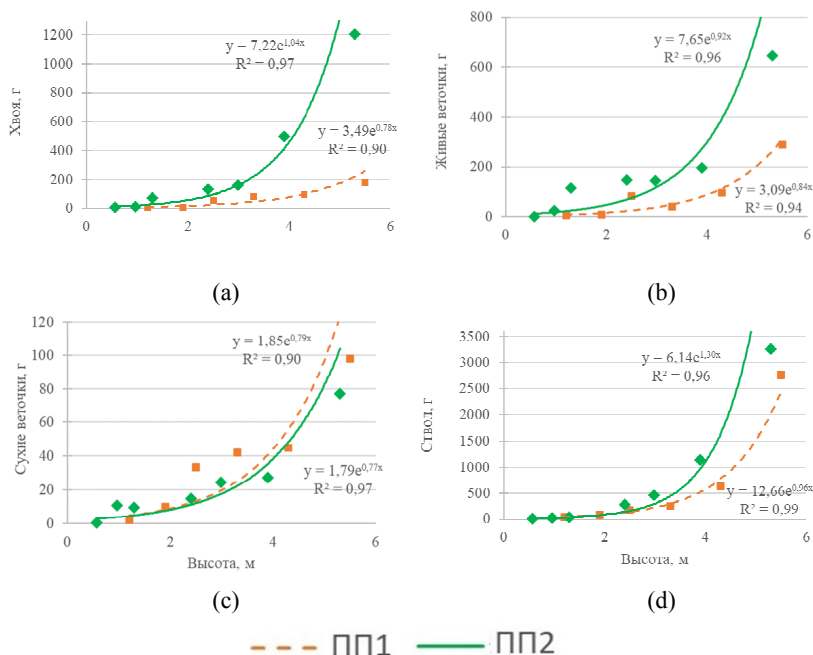


Рис. 1. Зависимость фитомассы отдельных фракций модельных деревьев от их высоты: (а) хвоя, (б) живые веточки, (с) сухие веточки, (д) ствол

Fig. 1. Dependence of phytomass of individual fractions of model trees on their height: (a) needles, (b) live branches, (c) dry branches, (d) stem

Запасы напочвенного покрова. Запасы напочвенных горючих материалов на исследуемых пробных площадях практически не различаются – 8,71 т/га и 8,69 т/га на ПП1 и ПП2 соответственно (рис. 2). Однако запас древесных остатков на ПП2 на 36% больше, чем на ПП1, что связано с отпа-

дом ветвей оставшейся части древостоя на ПП2, а также с очисткой ПП1 от порубочных остатков при подготовке участка к посадке лесных культур в 2007 г. По сравнению с запасами напочвенных ЛГМ в средневозрастных сосняках лесостепной зоны Красноярского края [Собачкин, Ковалева, 2024], запасы на исследуемых нами площадях были в 3,2 раза меньше. На территории бывших сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь запасы напочвенных ЛГМ в 15-летних сосняках варьировали от 2,1 т/га до 5,9 т/га в зависимости от типов леса [Усеня, 1997], что на 24–68% меньше, чем на наших пробных площадях. Запасы напочвенных ЛГМ на исследуемых нами ПП в 6–7 раз меньше, чем в среднетаежных сосняках, и в 4–6 раз меньше, чем в южнотаежных сосняках Средней Сибири [Ivanova et al., 2020].

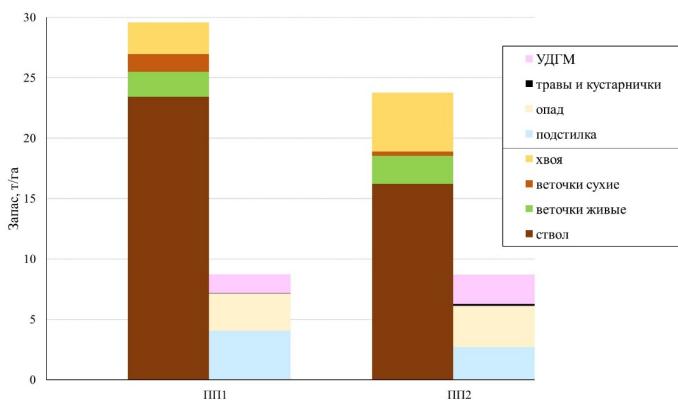


Рис. 2. Запасы подроста и напочвенного покрова на пробных площадях
 Fig. 2. Tree regeneration and ground cover loads in sample plots

Доля запаса подстилки составила 46% (4,05 т/га) и 31% (2,70 т/га) от общего запаса напочвенных горючих материалов на ПП1 и ПП2 соответственно. Доля трав и кустарничков на обеих ПП не превышала 2%, что обусловлено проведением исследований ранней весной (апрель), до наступления их активной вегетации. На долю запаса опада приходится 35% (3,08 т/га) и 39% (3,40 т/га) от общего запаса напочвенных ЛГМ на ПП1 и ПП2 соответственно. Полученные нами запасы опада в 1,1–3,4 раза больше запасов в спелых среднетаежных сосняках и в 1,6–3,1 раз больше, чем в южнотаежных сосняках Красноярского края [Ivanova et al. 2020], что обусловлено более высокой продуктивностью ленточных боров [Залесов и др.,

2023], расположенных в более благоприятных климатических условиях. Так, запас опада на исследуемых ПП был на 67–84% больше, чем на бывших сельскохозяйственных угодьях Емельяновского лесничества Красноярского края [Морозов и др., 2020].

Сгораемые горючие материалы и эмиссия углерода. Общий запас сгоревших горючих материалов на пробных площадях составил 11,87 т/га и 13,79 т/га (табл. 3), что составляет 31% и 42% от допожарного запаса на ПП1 и ПП2 соответственно. Вклад подроста в количество сгораемых ЛГМ составил 27% на ПП1 и 42% на ПП2. Несмотря на то, что фитомасса подроста до пожара на ПП1 больше, чем на ПП2 (рис. 2), сгоревший запас подроста на ПП2 на 43% превышает таковой на ПП1. Это связано с тем, что изначальные запасы хвои и мелких веточек (I и II классы) на ПП2 имеют большие значения по сравнению с ПП1 (7,53 против 6,15 т/га). Кроме того, веточки I класса сгорели на 45% и 58% от допожарного запаса, а II класса – на 8% и 17% на ПП1 и ПП2 соответственно (табл. 3). Хвоя на обеих ПП сгорела полностью.

На напочвенные ЛГМ приходится 58–73% общего сгоревшего запаса (табл. 3). Полностью сгорели травы и кустарнички, опад и подстилка на обеих ПП. Древесные остатки на поверхности почвы сгорели на 94% от допожарного запаса на ПП1 и на 73% на ПП2.

Таблица 3

Количество сгоревших ЛГМ

Amount of forest fuel burned

ПП	Кроновые ЛГМ			Напочвенные ЛГМ					Итого
	всего	веточки	хвоя	всего	опад	травы и кустарнички	подстилка	древесные остатки	
1	<u>3,26</u> 11	<u>0,65</u> 18	<u>2,61</u> 100	<u>8,61</u> 99	<u>3,08</u> 100	<u>0,04</u> 100	<u>4,05</u> 100	<u>1,44</u> 94	<u>11,87</u> 27
2	<u>5,74</u> 24	<u>0,86</u> 32	<u>4,88</u> 100	<u>8,05</u> 93	<u>3,40</u> 100	<u>0,18</u> 100	<u>2,70</u> 100	<u>1,77</u> 73	<u>13,79</u> 42

Примечание: в числителе – запас т/га, в знаменателе –% от допожарного запаса

Содержание углерода в различных образцах варьировалось от 38% до 48% в зависимости от вида горючих материалов (табл. 4). Минимальные значения наблюдали в подстилке (38,2%) и травах (43,3%). Максимальное содержание углерода выявлено у веточек (47,9%).

Таблица 4

**Содержание углерода в различных образцах
(среднее значение ± стандартная ошибка)**

Carbon content in various samples (mean ± standard error)

Фракция	Содержание углерода, %
веточки	47,90±0,9
хвоя	45,20±0,2
опад	46,25±0,7
травы	43,30±0,7
подстилка	38,24±0,2

Величина эмиссии углерода, рассчитанная на основе данных по сгоревшему запасу (табл. 3) в зависимости от содержания углерода в различных компонентах ЛГМ (табл. 4), составила 5,17 тС/га на ПП1 и 6,15 тС/га на ПП2 (рис. 3). На подстилку приходится 17–30% общей эмиссии углерода, опад – 26–28%, ветви и валеж на поверхности почвы – 13–14%. Вклад подроста в эмиссию углерода составил 29% и 43% на ПП1 и ПП2 соответственно, из них большая часть пришлась на сгоревшую хвою (1,18 тС/га и 2,21 тС/га).

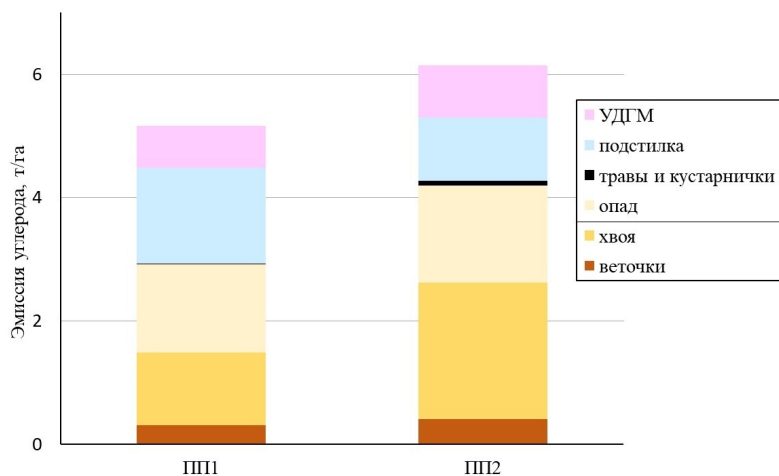


Рис. 3. Вклад компонентов насаждений в эмиссию углерода при пожарах
Fig. 3. Contribution of vegetation components to carbon emissions during fires

Полученные нами значения эмиссии углерода при пожарах в 1,6–2 раза ниже, чем оценка пирогенной эмиссии на территории национального парка «Шушенский бор» [Кукавская и др., 2019], который находится на юге Красноярского края в относительной близости от места исследования. Это связано с тем, что Шушенские ленточные боры расположены в более благоприятных климатических условиях, обуславливающих более высокую продуктивность насаждений, а также с тем, что эффективная организация охраны лесов от пожаров на территории национального парка послужила причиной накопления значительных запасов горючих материалов вследствие более длительного межпожарного интервала, в то время как исследуемые ПП были пройдены пожарами в 2007 г. и высокий запас ЛГМ на них еще не успел сформироваться.

В целом запасы ЛГМ в ленточных борах юга Сибири относительно малы, что обуславливает низкие показатели эмиссии углерода даже при высокой горимости. Так, в сосняках южной тайги Нижнего Приангарья эмиссия углерода при низовых пожарах составила 8,9–11,2 т/га [Ivanova et al., 2011], что в 1,5–2,2 раза больше, чем на наших ПП. В средней тайге эмиссия углерода при средне- и высокоинтенсивных низовых пожарах в сосновых насаждениях в 1,1–3 раза превышает полученные нами значения [Иванова, Иванов, 2015].

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что Минусинские ленточные боры отличаются невысокими запасами лесных горючих материалов, включая напочвенные горючие материалы и подрост, что представляет собой практически все группы лесных горючих материалов в данных лесорастительных условиях, за исключением крон деревьев и слабо развитого подлеска. Общий запас подроста и напочвенного покрова в сосновых молодняках юга Красноярского края, сформированных на пройденной пожаром площади, составил 32,5–38,3 т/га. Наибольший вклад в формирование комплексов ЛГМ внес подрост, на долю которого пришлось 73–77% от общего запаса. Густота подроста в значительной степени определяет его фитомассу и распределение по отдельным фракциям. Запас напочвенных горючих материалов составил 8,7 т/га, при этом на подстилку приходится 39–47%.

Количество сгоревших горючих материалов варьировалось от 11,9 до 13,8 т/га (31–42% от допожарного запаса), при этом вклад подроста составил 27–42%. Большая часть сгоревшей массы кроновых ЛГМ (22–35%) пришлась на хвою. Масса сгоревших напочвенных ЛГМ составила 8,1–8,6 т/га. Эмиссия углерода при пожарах варьировала от 5,2 до 6,2 т/га, при этом 56–71% приходилось на напочвенный покров.

Несмотря на то, что для юга Сибири характерны быстрое пожарное созревание участков лесных земель и их высокая горимость, пирогенные

эмиссии углерода с единицы площади на данной территории невысоки по сравнению с последствиями пожаров в высоких широтах, что обусловлено низкими запасами горючих материалов на территориях, часто подвергающихся воздействию огня.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена при поддержке проекта государственного задания № FWES–2024–0040. Работа Буряк Л.В. была поддержана темой государственного задания № 1-О25 горючие материалы (Приказ Рослесхоза от 25.06.2025 № 421).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Буряк Л.В., Каленская О.П., Пономарев Е.И., Сухинин А.И. Пожары и их последствия в ленточных борах юга Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 4–5. С. 398–404.

Залесов С.В. Осипенко А.Е., Толстиков А.Ю., Усов М.В., Гоф А.А., Савин В.В. Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 357 с.

Иванова Г.А., Иванов А.В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.

Иванова Г.А., Иванов В.А. Зональность лесных горючих материалов и их пирогенная трансформация в сосняках средней Сибири // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 4. С. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26.

Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Безкровная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Ковалева Н.М., Краснощекова Е.Н., Тарасов П.А. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

Иванова О.И. Анализ изменения климата лесостепной и степной зоны Красноярского края // Современные проблемы землеустройства, кадастров, природообустройства и повышения безопасности труда в АПК: мат. IV нац. науч. конф. Красноярск, 2022. С. 51–54.

Каленская О.П., Буряк Л.В., Толмачева А.В. Влияние низовых пожаров на состояние сосновых насаждений в равнинной части национального парка «Шушенский бор». Красноярск: СибГТУ, 2010. 132 с.

Коломак Е.А., Шерубнева А.И. Оценка значимости агломерационных эффектов на юге Сибири // Пространственная экономика. 2023. Т. 19, № 1. С. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052–069.

Кукавская Е.А., Буряк Л.В., Каленская О.П., Толмачёв А.В., Жила С.В., Барбанцева А.Е. Оценка пирогенной эмиссии углерода на территории национального парка «Шушенский бор» // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 37–44. DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2019–1(37–44).

Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1970. С. 5–58.

Маленко А.А., Малиновских А.А., Чичкарев А.С. Динамика горимости лесов юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 6. С. 68–72.

Матвеев А.М., Барталев С.А. Сравнительный анализ оценок эмиссии углерода от природных пожаров на территории России на основании глобальных продуктов ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 4. С. 141–161. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-141-161.

Матвеева Т.А. Запасы лесных горючих материалов в горных лесах южной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 30–33.

Морозов А.С., Иванова Г.А., Бакиеева Е.О., Иванов В.А. Пожароопасность сосновых молодняков на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 26–36.

Осипенко А.Е. Рост и развитие искусственных и естественных сосновых древостоев в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2020. 20 с.

Панин И.А., Секерин И.М., Усов М.В., Осипенко А.Е. Специфика тушения лесных пожаров // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11(113). Ч. 1. С. 166–170.

Полякова М.А., Дитц Л.Ю., Ермаков Н.Б. Исследование экологических особенностей ленточных боров Минусинской межгорной котловины методами градиентного анализа // Экология. 2008. № 4. С. 253–260. DOI: 10.1134/S1067413608040024.

Пономарев Е.И., Харук В.И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // Сибирский экологический журнал. 2016. № 1. С. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104.

Савин М.А., Маленко А.А., Пономарев С.В., Дергунов Р.В. Оценка запаса напочвенных лесных горючих материалов в сосновом молодняке в засушливой степи // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. мат. XIII межд. науч.–практ. конф. Барнаул, 2018. Т. 1. С. 402–403.

Собачкин Р.С., Ковалева Н.М. Влияние периодичности низовых пожаров на запас лесных горючих материалов средневозрастных сосняков в лесостепи Красноярского края // Лесоведение. 2024. № 2. С. 75–84.

Собачкин Р.С., Ковалева Н.М., Петренко А.Е., Собачкин Д.С. Структура горючих материалов в сосняках разного возраста Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2017. № 6. С. 431–436.

Софронов М.А., Волокитина А.В. Запас хвои подростка как горючего материала в лесах Красноярского Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1–2. С. 60–63.

Усея В.В. Исследование запасов лесных горючих материалов различных групп в сосновых насаждениях // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. 1997. № 45. С. 124–127.

Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 575 с.

Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2016. 336 с.

Усольцев В.А., Цепордей И.С., Уразова А.Ф., Борников А.В. Биомасса подроста лесообразующих видов Урала и ее аллометрические модели // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006.

Фуряев В.В., Черных В.А., Злобина Л.П. Роль подроста в формировании комплекса лесных горючих материалов и снижении пожароустойчивости ленточных боров Алтая // Лесоведение. 2010. № 3. С. 15–20.

Фуряев И.В., Самсоненко С.Д., Фуряев В.В. Роль подроста в формировании комплексов лесных горючих материалов в насаждениях Верхне-Обского лесного массива // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 3–4. С. 257–262.

Швиденко А.З., Щенащенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.

Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia // Environmental Research Letters. 2011. Vol. 6, № 4. Art. no. 045203. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045203.

Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Conard S.G., McRae D.J. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia // Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. P. 2507–2524. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118075.

Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Bets R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C., Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change // Reviews of Geophysics. 2022. Vol. 60, iss. 3. Art. no. e2020RG000726. DOI: 10.1029/2020RG000726.

Karsenty A., Blanco C., Dufour T. Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. Rome: FAO, 2003. 82 p.

McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogij K.P., Kovaleva N.M. Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. Vol. 11, № 1. P. 45–74. DOI: 10.1007/s11027-006-1008-4.

Nieder R., Benbi D.K. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment. Springer Dordrecht, 2008. 430 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8433-1.

Senande-Rivera M., Insua-Costa D., Miguez-Macho G. Spatial and temporal expansion of global wildland fire activity in response to climate change // Nature communications. 2022. № 13. Art. no. 1208. DOI: 10.1038/s41467-022-28835-2.

The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome: FAO and UNEP, 2020. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.

Van Wagner C.E. The line intersect method in forest fuel sampling // *Forest Science*. 1968. Vol. 14, № 1. P. 20–26. DOI: 10.1093/forestscience/14.1.20.

Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Meko D.M., Babushkina E.A., Vaganov E.A. Climate change and tree growth in the Khakass- Minusinsk Depression (South Siberia) impacted by large water reservoirs // *Scientific Reports*. 2021. № 11. Art. no. 14266. DOI: 10.1038/s41598-021-93745-0.

References

Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Ponomarev E.I., Sukhinina A.I. Fires and their consequences in the ribbon forests of southern Siberia. *Coniferous Boreal Zone*, 2007, vol. 24(4–5), pp. 398–404. (In Russ.)

Furyaev I.V., Samsonenko S.D., Furyaev V.V. The role of tree regeneration in the formation of complexes of forest combustible materials in the plantations of the Upper Ob forest massif. *Coniferous Boreal Zone*, 2010, vol. 27, no. 3–4, pp. 257–262. (In Russ.)

Furyaev V.V., Chernykh V.A., Zlobina L.P. The role of tree regeneration in the formation of a complex of forest combustible materials and reducing the fire resistance of the Altai ribbon forests. *Russian Journal of Forest Science*, 2010, no. 3, pp. 15–20. (In Russ.)

Ivanova G.A., Ivanov A.V. Fires in pine forests of Central Siberia. Novosibirsk: Nauka, 2015. 240 p. (In Russ.)

Ivanova G.A., Ivanov V.A. Zonality of forest combustible materials and their pyrogenic transformation in pine forests of Central Siberia. *Russian Forestry Journal*, 2020, no. 4, pp. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26. (In Russ.)

Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia. *En-vironmental Research Letters*, 2011, vol. 6, no. 4, art. no. 045203. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045203.

Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Conard S.G., McRae D.J. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia. *Journal of Forestry Research*, 2020, vol. 31, pp. 2507–2524. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118075.

Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Bezkrornaya I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Kovaleva N.M., Krasnoshchekova E.N., Tarasov P.A. Impact of fires on light coniferous forests of the Lower Angara region. Novosibirsk: Nauka, 2022. 204 p. (In Russ.)

Ivanova O.I. Analysis of climate change in the forest-steppe and steppe zones of the Krasnoyarsk Territory. *Modern problems of land management, cadasters, environmental management and improving safety at work in the agro-industrial complex: mat. of the IV nat. sci. conf.* Krasnoyarsk, 2022, pp. 51–54. (In Russ.)

Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C.,

Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 2022, vol. 60, iss. 3, art. no. e2020RG000726. DOI: 10.1029/2020RG000726.

Kalenskaya O.P., Buryak L.V., Tolmacheva A.V. Influence of ground fires on the state of pine plantations in the plain part of the Shushensky Bor National Park. Krasnoyarsk: SibSTU, 2010. 132 p. (In Russ.)

Karsenty A., Blanco C., Dufour T. Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. Rome: FAO, 2003. 82 p.

Kolomak E.A., Sherubneva A.I. Assessing the Significance of Agglomeration Effects in Southern Siberia. *Spatial Economics*, 2023, vol. 19(1), pp. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052–069. (In Russ.)

Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Tolmachev A.V., Zhila S.V., Barabantseva A.E. Assessment of pyrogenic carbon emissions in the territory of the Shushensky Bor National Park. *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 1, pp. 37–44. DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2019–1(37–44). (In Russ.)

Kurbatskiy N.P. Investigation of the quantity and properties of forest combustible materials. *Issues of forest pyrology*. Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58. (In Russ.)

Malenko A.A., Malinovskikh A.A., Chichkarev A.S. Dynamics of forest fire occurrence in the south of Western Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2015, no. 6, pp. 68–72. (In Russ.)

Matveev A. M., Bartalev S.A. Comparative analysis of carbon emission estimates from natural fires in Russia based on global remote sensing products. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2024, vol. 21, no. 4, pp.141–161. DOI: 10.21046/2070–7401–2024-21-4-141-161. (In Russ.)

Matveeva T.A. Reserves of forest combustible materials in the mountain forests of southern Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2008, vol. 12, pp. 30–33. (In Russ.)

McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogij K.P., Kovaleva N.M. Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, vol. 11, no. 1, pp. 45–74. DOI: 10.1007/s11027-006-1008-4.

Morozov A.S., Ivanova G.A., Baksheeva E.O., Ivanov V.A. Fire hazard of pine young growth on unused agricultural lands. *Siberian Forestry Journal*, 2020, no. 3, pp. 26–36. (In Russ.)

Nieder R., Benbi D.K. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment. Springer Dordrecht, 2008. 430 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8433-1.

Osipenko A.E. Growth and development of artificial and natural pine stands in the Altai-Novosibirsk region of forest-steppes and ribbon forests: author's abstract. Diss. ... Cand. Agr. Sci. Yekaterinburg, 2020. 20 p. (In Russ.)

Panin I.A., Sekerin I.M., Usov M.V., Osipenko A.E. Specifics of extinguishing forest fires. *International Research Journal*, 2023, no. 11(113), ch. 1, pp.166–170. (In Russ.)

Polyakova M. A., Dietz L. Yu., Ermakov N. B. Investigation of the ecological features of ribbon forests of the Minusinsk intermontane basin by methods of gradient analysis. *Ecology*, 2008, no. 4, pp. 253–260. DOI: 10.1134/S1067413608040024. (In Russ.)

Ponomarev E.I., Kharuk V.I. Fire occurrence of forests in the Altai-Sayan region under observed climate changes. *Siberian Ecological Journal*, 2016, no. 1, pp. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104. (In Russ.)

Savin M.A., Malenko A.A., Ponomarev S.V., Dergunov R.V. Assessment of the stock of ground forest combustible materials in pine young growth in arid steppe. *Agrarian science for agriculture: a collection of mat. of the XIII int. sci.-pract. conf. Barnaul*, 2018, vol. 1, pp. 402–403. (In Russ.)

Senande-Rivera M., Insua-Costa D., Miguez-Macho G. Spatial and tem-poral expansion of global wildland fire activity in response to climate change. *Nature communications*, 2022, no. 13, art. no. 1208. DOI: 10.1038/s41467-022-28835-2.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Climate change and forest fires in Russia. *Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 5, pp. 50–61. (In Russ.)

Sobachkin R.S., Kovaleva N.M. Influence of the frequency of ground fires on the stock of forest combustible materials in middle-aged pine forests in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. *Russian Journal of Forest Science*, 2024, no. 2, pp. 75–84. (In Russ.)

Sobachkin R.S., Kovaleva N.M., Petrenko A.E., Sobachkin D.S. Structure of combustible materials in pine forests of different ages in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Russian Journal of Forest Science*, 2017, no. 6, pp. 431–436. (In Russ.)

Sofronov M.A., Volokitina A.V. Reserve of undergrowth needles as combustible material in the forests of the Krasnoyarsk Angara region. *Coniferous Boreal Zone*, 2011, vol. 28, no. 1–2, pp. 60–63. (In Russ.)

The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome: FAO and UNEP, 2020. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.

Usenya V.V. Study of the reserves of forest combustible materials of various groups in pine plantations. *Problems of forestry and silviculture: a collection of sci. papers*, 1997, no. 45, pp. 124–127. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass and primary production of Eurasian forests. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. 575 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass of model trees of forest-forming species of Eurasia: database, climatically determined geography, taxation standards. Yekaterinburg: Ural state un-ty, 2016. 336 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Urazova A.F., Bornikov A.V. Biomass of the undergrowth plants in the Ural forests and its allometric models. *Forests of Russia and economy in them*, 2023, no. 3 (86), pp. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006. (In Russ.)

Van Wagner C.E. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, 1968, vol. 14, no. 1, pp. 20–26. DOI: 10.1093/forestscience/14.1.20.

Zalesov S.V., Osipenko A.E., Tolstikov A.Yu., Usov M.V., Gof A.A., Savin V.V. Reproduction and rejuvenation of ribbon pine forests of the Altai Territory: monograph. Yekaterinburg: USFEU, 2023. 357 p. (In Russ.)

Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Meko D.M., Babushkina E.A., Vaganov E.A. Climate change and tree growth in the Khakass–Minusinsk Depression (South Siberia) impacted by large water reservoirs. *Scientific Reports*, 2021, no. 11, art. no. 14266. DOI: 10.1038/s41598-021-93745-0.

Материал поступил в редакцию 27.03.2025

Смолякова А.А., Кукавская Е.А., Буряк Л.В., Жила С.В. Вклад подроста в формирование комплексов горючих материалов и эмиссию углерода при пожарах в Минусинских ленточных борах Красноярского края // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 217–237. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.217-237

Леса занимают значительную часть поверхности суши и являются существенным аккумулятором атмосферного углерода. В условиях глобального изменения климата наблюдается увеличение горимости лесов и пирогенной эмиссии, что особенно проявляется на территории Сибири. Цель исследования – оценка роли подроста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в формировании комплексов лесных горючих материалов (ЛГМ) и оценка эмиссии углерода при сгорании ЛГМ в Минусинских ленточных борах. Исследования проводили на двух пробных площадях с подростом сосны комбинированного (ПП1) и естественного (ПП2) происхождения, сформированных после пожара 2007 г. и повторно пройденных огнем в 2022 г. Также исследовали контрольные не горевшие в 2022 г. участки. Установлено, что послепожарное лесовосстановление на ПП протекает успешно, количество подроста составило 21,5 и 16,3 тыс.шт/га на ПП1 и ПП2 соответственно. Общий запас подроста и напочвенных горючих материалов составил 38,3 т/га и 32,5 т/га, при этом доля подроста составила 77% и 73% на ПП1 и ПП2 соответственно. При пожарах сгорело 11,9 и 13,8 т/га органического вещества, пирогенная эмиссия составила 5,17 тС/га (ПП1) и 6,15 тС/га (ПП2). Вклад подроста в эмиссию углерода при пожарах составил 29% на ПП1 и 43% на ПП2. Доля эмиссии при сгорании хвои на ПП1 составила 22%, на ПП2 – 35 %, что связано с более развитой кроной на ПП2. Несмотря на то, что ленточные боры характеризуются высокой степенью горимости, лесорастительные особенности региона и частые ландшафтные пожары не дают возможности накопиться большим запасам лесных горючих материалов, что обуславливает меньшие, по сравнению с зонами южной и средней тайги Сибири, значения пирогенной эмиссии с единицы площади.

Ключевые слова: ленточные боры, лесные горючие материалы, подрост, напочвенный покров, запасы, лесные пожары, эмиссия углерода.

Smolyakova A.A., Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Zhila S.V. Contribution of Tree Regeneration to the Formation of Fuel Complexes and Carbon Emissions from Fires in the Minusinsk Ribbon-like Pine Forests of the Krasnoyarsk krai. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 217–237 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.217-237

Forests occupy a significant proportion of the Earth's land surface and act an essential role in accumulating atmospheric carbon. Under conditions of global climate change, forest fires and pyrogenic emissions are increasing, particularly in Siberia. The purpose of this study is to assess the role of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) regeneration in the formation of forest fuel complexes (FFC) and to estimate carbon emissions from the combustion of FFC in the Minusinsk Ribbon-like Pine Forests. The research was conducted on two sample plots of Scots pine regeneration of combined (SP1) and natural (SP2) origin, formed after the fire of 2007 and re-burned in 2022. In addition, control forest plots that did not burn in 2022 were investigated. It was found that post-fire reforestation on the sample plots is successful, with the number of trees reaching 21.5 and 16.3 thousand individuals/ha on SP1 and SP2, respectively. The total phytomass of model pine trees is 50-330% higher on the area with natural post-fire regeneration (SP2) than on the sample plot with combined regeneration (SP1). The total loads of regeneration and ground fuels were 38.3 t/ha and 32.5 t/ha, with the phytomass of regeneration accounting for 77% and 73% on SP1 and SP2, respectively. The fires consumed 11.9 and 13.8 t/ha of organic matter, with a pyrogenic emission of 5.17 tC/ha for SP1 and 6.15 tC/ha for SP2. The contribution of regeneration to fire carbon emissions was 29% for SP 1 and 43% for SP 2, with burnt needles accounting for 22% for SP 1 and 35% for SP 2, which is associated with a more developed tree crown on SP2. Overall, despite the fact that pine ribbon-like forests are characterized by high fire-frequency, the forest-growing characteristics of the region and the frequent landscape fires inhibit the accumulation of significant forest fuels, resulting in lower fire emissions per unit area compared to the southern and central taiga zones of Siberia.

Keywords: ribbon-like forests, forest fuels, regeneration, surface cover, loads, forest fires, carbon emissions.

СМОЛЯКОВА Анастасия Антоновна – старший лаборант лаборатории экспериментальной и прикладной экологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. SPIN-код: 5417-8638. ORCID: 0009-0002-8079-157X.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: smolyakova.aa@ksc.krasn.ru

SMOLYAKOVA Anastasiya A. – Senior Laboratory Assistant, Laboratory of Experimental and Applied Ecology, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 5417-8638. ORCID: 0009-0002-8079-157X.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: smolyakova.aa@ksc.krasn.ru

КУКАВСКАЯ Елена Александровна – ведущий научный сотрудник лаборатории экспериментальной и прикладной экологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 7693-2106. ORCID: 0000-0002-2805-2588.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: kukavskaya@ksc.krasn.ru

KUKAVSKAYA Elena A. – PhD (Biological), Leading Researcher, Laboratory of Experimental and Applied Ecology, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 7693-2106. ORCID: 0000-0002-2805-2588.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: kukavskaya@ksc.krasn.ru

БУРЯК Людмила Викторовна – главный научный сотрудник Центра лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиала ФБУ ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства.

660062, ул. Крупской, д. 42, г. Красноярск, Россия;

профессор кафедры лесного хозяйства и природопользования Института лесных технологий Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва.

660037, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», д. 31, Красноярск, Россия;

ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга леса Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 6634-1141. ORCID: 0000-0001-7475-2959.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: lburak@mail.ru

BURYAK Ludmila V. – DSc (Agricultural), Chief Researcher, Center for Forest Pyrology, Development of Technologies for the Protection of Forest Ecosystems, Protection and Reproduction of Forests – a branch of the All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry;

660062. Krupskoy str. 42. Krasnoyarsk. Russia;

Professor, Department of Silviculture, Forest Protection and Defense, Institute of Forest Technologies, Siberian State University of Science and Technology.

660037. Im. gaz. «Krasnoyarskiy rabochiy» av. 31. Krasnoyarsk. Russia;

Leading Researcher, Forest Monitoring Laboratory, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 6634-1141. ORCID: 0000-0001-7475-2959.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: lburak@mail.ru

ЖИЛА Сергей Викторович – старший научный сотрудник лаборатории лесной пирологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 6251-4188. ORCID: 0009-0008-4130-9094.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: new_science@bk.ru

ZHILA Sergey V. – PhD (Biological), Senior Researcher, Forest Pyrology Laboratory, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 6251-4188. ORCID: 0009-0008-4130-9094.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: new_science@bk.ru