



УДК 630*431

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26

ЗОНАЛЬНОСТЬ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СОСНЯКАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г.А. Иванова¹, д-р биол. наук; ResearcherID: [R-8916-2016](https://orcid.org/0000-0002-3758-8106),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-8106>

В.А. Иванов², д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAE-3176-2019](https://orcid.org/0000-0002-6201-2133),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6201-2133>

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, ул. Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия, 660036;

e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

²Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, ул. Мира, д. 82, г. Красноярск, Россия, 660049;

e-mail: ivanovv53@yandex.ru

Пожары в лесах Сибири возникают ежегодно и наносят огромный ущерб природе. Поэтому актуальны исследования природной пожарной опасности лесов, одной из составляющих которой являются напочвенные лесные горючие материалы. Проведенные исследования на 53 лесных участках в сосняках, произрастающих вдоль Енисейского меридиального трансекта, выявили, что запасы напочвенных лесных горючих материалов в сосновых насаждениях разных зон Средней Сибири определяются географической широтой и возрастают от зоны лесостепи к подзоне северной тайги. Наибольшие запасы лесных горючих материалов сосредоточены в сосняках северной и средней тайги. В их составе преобладают запасы подстилки, доля которой увеличивается от зоны лесостепи (57,4 %) к зоне северной тайги (71,3 %). Полученные уравнения динамики запасов травяно-кустарничкового яруса в течение сезона могут быть применимы и к травяным типам сосняков. Сгорание напочвенных лесных горючих материалов в сосняках при низовых пожарах разной интенсивности варьирует от 10,8 до 31,4 т/га, что составляет 26,1...74,1 % от их запаса до пожара. Интенсивность пожаров определяет не только количество сгоревших лесных горючих материалов, но и их постпирогенное накопление независимо от зонально-экологических условий. Варьирование запасов горючих материалов на лесных участках связано с пирогенным воздействием и периодом восстановления после последнего пожара, а также с мозаичным распределением растительности. Предложены уравнения накопления напочвенных лесных горючих материалов после пожаров разной интенсивности, которые могут быть применены для сосновых лесов Средней Сибири. При длительном отсутствии пожаров в сосняках происходит смена доминантов в напочвенном покрове и уменьшение продуктивности травяно-кустарничкового яруса. Развитие мохового покрова содействует снижению запасов подстилки. Полученные данные о запасах напочвенных лесных горючих материалов и их трансформации при пожаре обеспечивают основу для понимания и моделирования поведения пожаров, оценки эмиссии и воздействия пожаров на запасы лесных горючих материалов и могут быть использованы для совершенствования существующих глобальных и региональных моделей.

Для цитирования: Иванова Г.А., Иванов В.А. Зональность лесных горючих материалов и их пирогенная трансформация в сосняках Средней Сибири // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26

Финансирование: Работа выполнена при поддержке СО РАН и РФФИ (грант № 07-04-00562, грант № 19-58-80002 БРИКС-т).

Ключевые слова: лесные пожары, лесные горючие материалы, запасы, напочвенные лесные горючие материалы, интенсивность пожара, сосняки, Средняя Сибирь.

Введение

Ежегодно на территории Средней Сибири регистрируются лесные пожары. Их возникновение и распространение определяются не только наличием антропогенных или природных источников огня, но также видом, структурой и запасом горючих материалов, их влагосодержанием. Лесной горючий материал (ЛГМ) – это растения и их остатки различной степени разложения, которые могут гореть при пожарах и признаются достаточно однородными [12]. При этом ЛГМ образуют структурный слой, по которому и распространяется горение [11].

ЛГМ различаются по своим пирогенным свойствам, местоположению в биогеоценозе и функциям при пожаре: проводники горения, поддерживающие горение, задерживающие распространение горения [11]. В канадской и американской национальных системах оценки пожарной опасности все растительные горючие материалы также разделены по их положению в биогеоценозе: почвенные, напочвенные и кроновые [27, 31].

На формирование запасов ЛГМ оказывает влияние целый ряд экологических факторов [3, 6, 9–11, 13, 22, 26, 29, 36]. Анализируя имеющиеся литературные источники с точки зрения формирования ЛГМ, необходимо отметить следующее:

в каждом биогеоценозе формируется свой комплекс горючих материалов. Запасы ЛГМ определяются не только типом растительности и условиями увлажнения, но и лесными пожарами. По роли в возникновении и распространении горения их можно дифференцировать на группы [11, 24]. Запасы ЛГМ меняются в течение сезона, как и их функции [13];

основные проводники горения, к которым отнесены опад и подстилка, играют важную роль в процессе горения. Варьирование запаса подстилки в зависимости от типа леса определяет их различия в пирологическом отношении [16, 17, 35]. Поступление опада и его трансформация в подстилку, а также скорость разложения подстилки сбалансированы [7, 19], что обуславливает относительную стабильность запаса подстилки в течение вегетационного периода;

запас надземной вегетирующей фитомассы зависит от типа леса, возраста древостоя и его густоты [3, 6, 9–11, 13, 22]. В пределах однородных лесных участков запасы ЛГМ варьируют в связи с синузильностью живого напочвенного покрова, обусловленной неоднородностью полога древостоя [13, 22].

Цель исследования – анализ зонально-географических особенностей формирования запасов ЛГМ в сосняках Средней Сибири и их трансформации при воздействии лесных пожаров.

Объекты и методы исследования

Работы проводились в сосняках таежной, подтаежной и лесостепной

зон в границах Средней Сибири (рис. 1). Рассматриваем западную часть Средней Сибири вдоль Енисейского меридиального трансекта, который простирается с севера на юг от 70° с.ш. до 52° с.ш. в пределах границ Красноярского края [15]. Описание геологических и орографических условий Средней Сибири подробно приведено в [23].

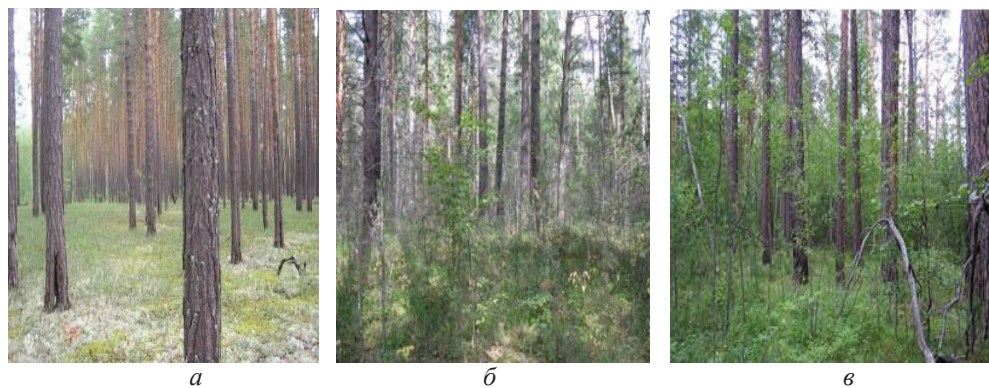


Рис. 1. Сосняки Средней Сибири: *а* – среднетаежный сосняк лишайниково-зеленомошный; *б* – южно-таежный сосняк кустарничково-разнотравно-зеленомошный; *в* – лесостепной сосняк разнотравно-зеленомошный

Fig. 1. Pine forests of Central Siberia: *a* – middle taiga lichen-green moss pine forest; *б* – southern taiga shrub-grass-green moss pine forest; *в* – forest-steppe grass-green moss pine forest

Разнообразие климатических и лесорастительных условий данной территории способствует появлению в течение пожароопасного сезона условий для возникновения лесных пожаров в той или иной ее части. Анализ горимости лесов [8] показал, что условия для возникновения подобных пожаров появляются ежегодно на территории Средней Сибири. Основное их количество приходится на районы светлохвойной тайги. Длительность пожароопасного сезона на этой территории возрастает с севера на юг от 88 до 173 дн. и зависит от географической широты. В лесах Средней Сибири проявляется очередность: на географических широтах $50...55^{\circ}$ с.ш. лесные пожары могут возникать уже в апреле–начале мая; на широте $55...60^{\circ}$ с.ш. – в мае–июне; севернее 60° с.ш. – в июне, а их максимум отмечается в июле.

В подзоне северной тайги максимум пожаров приходится на июнь–июль, основная часть пожаров в подзоне средней тайги – на июль. В южной подзоне тайги помимо летнего максимума (июль) наблюдается и весенний (май). В подтаежной и лесостепной зонах максимум приходится на май, когда сходит снежный покров и горят травяные типы леса, здесь пожары могут возникать в течение всего пожароопасного сезона при наступлении засушливых периодов [8].

Отбор запасов ЛГМ проводили на 53 пробных площадях (постоянных и временных) в различных типах сосновых насаждений разных лесорастительных зон, расположенных вдоль Енисейского меридиана в пределах Красноярского края от п. Туруханск на севере до южной границы с Республикой Тыва (рис. 2).

Запасы напочвенных ЛГМ в насаждениях определяли с использованием общепринятых методов [11, 28, 38]. На каждой пробной площади закладывали от

10 до 25 площадок размером 20×25 см. В запасы напочвенных ЛГМ входят: травы и кустарнички, мхи и лишайники, опад, подстилка, упавшие ветви и валеж,



□ маршрутные исследования ○ стационарные исследования

Рис. 2. Схема размещения пробных площадей (стационарных и временных) в сосняках Средней Сибири (в границах Красноярского края)

Fig. 2. The distribution of the experimental plots (stationary and temporary) in pine forests of Central Siberia (Krasnoyarsk Krai)

запас которых определяли отдельно. При этом придерживались положения, принятого в почвоведении, что подстилка – это верхний горизонт почвы (A_0), состоящий из отмерших частей растений с различной степенью разложения и потерей естественной структуры. Отмершие части растений без признаков разложения и потери структуры относили к опад, как это принято в пирологии, так как они отличаются по своей функции при пожаре [11].

С лесопирологической точки зрения очень важно отделять опад от подстилки, так как он, наряду с лишайниками и мхами, является наиболее активным проводником горения, представленным отмершими частями растений на поверхности мхов и лишайников или включенным в них в виде ветоши или отмершего травостоя. В сосняках разнотравно-брусничных отмершие травы и отчасти хвоя висят на кустиках брусники. Только в типах леса с мертвым напочвенным покровом опад расположен непосредственно на подстилке. К опад относятся части растений, отмершие в 1-2 предшествующих года, но не потерявшие своей формы, опавшие, но еще слабо контактирующие с подстилкой, а также отмерший травостой.

Запасы упавших древесных горючих материалов, к которым относятся ветви и валеж разной степени деструкции, учитывали с использованием метода пересеченных трансектов [30, 33, 37]. Все запасы напочвенных ЛГМ представлены в абс. сухом состоянии.

На постоянных пробных площадях в среднетаежных и южно-таежных сосняках Красноярского края в 2000–2003 гг. были проведены эксперименты по моделированию поведения пожаров разной интенсивности [9, 34]. Эксперименты представляли собой контролируемые выжигания, максимально приближенные к естественным пожарам, при которых моделировалось распространение фронтальной кромки пожара. После выжиганий в течение 14 лет проводился послепожарный мониторинг изменения запасов ЛГМ на этих лесных участках, результаты которого также изложены в статье.

На примере лесостепных сосняков проанализировано формирование запасов ЛГМ после пожаров за более длительный срок на постоянных пробных площадях экспериментальной базы «Погорельский бор» Института леса СО РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных по 53 лесным участкам показал, что запасы напочвенных ЛГМ в сосняках Средней Сибири уменьшаются при продвижении с севера на юг от северной и средней тайги к лесостепи и связаны с географической широтой; коэффициент корреляции 0,59 (рис. 3).

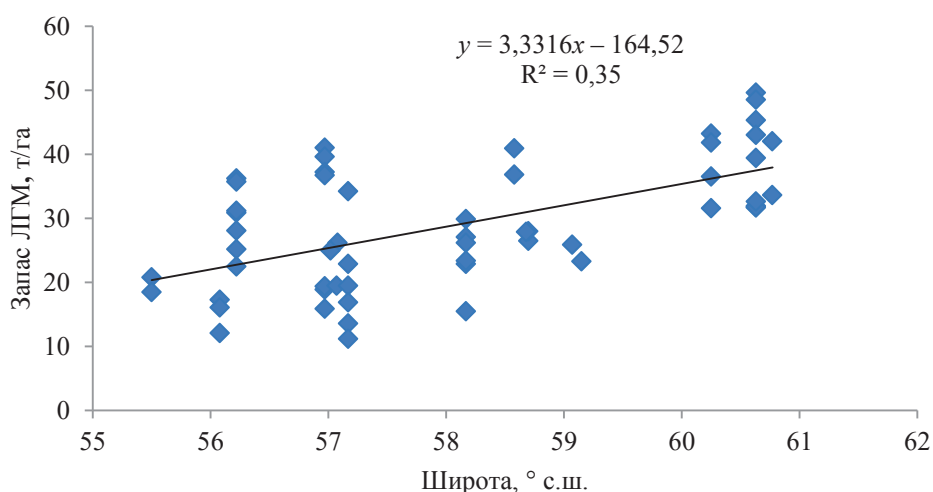


Рис. 3. Распределение запасов напочвенных ЛГМ в сосняках в зависимости от географической широты

Fig. 3. Distribution of surface forest fuel loads in pine forests depending on geographical latitude

При статистической обработке использованы данные о запасах ЛГМ на 16 участках в северной и средней тайге, 20 участках в южной тайге и 17 участках в лесостепной зоне, на которых отобрано более 725 образцов ЛГМ. Наибольшие запасы напочвенных ЛГМ выявлены в сосняках северной и средней тайги, где они составляют 40 т/га и выше (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, основные статистические показатели (средний запас ЛГМ ($M \pm m$), среднее квадратическое отклонение ($\sigma \pm m_\sigma$), коэффициент вариации ($V \pm m_V$), точность опыта ($P \pm m_P$)) достоверны.

Таблица 1

Запасы напочвенных ЛГМ в сосняках разных лесорастительных зон

Зона, подзона	$M \pm m$	$\sigma \pm m_\sigma$	$V \pm m_V$	$P \pm m_P$	В том числе подстилка, % от запаса
	т/га		%		
Северная тайга	38,3±2,6	3,6±1,0	9,4±2,7	3,9±1,1	71,3
Средняя тайга	38,1±2,1	7,1±2,0	18,6±3,8	5,6±1,1	69,9
Южная тайга	29,2±1,6	7,5±1,2	25,7±3,2	5,5±0,7	62,6
Лесостепь	23,0±1,7	7,0±1,2	30,0±5,5	7,4±1,8	57,4

Приведенные данные по запасам напочвенных ЛГМ относятся к моменту наибольшего развития живого напочвенного покрова в пределах вегетационного периода. Существенность различий между средними запасами напочвенных ЛГМ в сосняках северной и средней тайги и их запасами в сосняках южной тайги и лесостепи составляет 3,29 и 5,49 соответственно, т. е. достоверна. Во всех случаях определяющим является запас подстилки, которая аккумулирует влагу и влияет на пожарное созревание лесных участков. Наблюдается тенденция увеличения доли подстилки в запасах напочвенных ЛГМ от зоны лесостепи к подзоне северной тайги (от 57,4 до 71,3 %).

Лесная подстилка, как и опад, по роли в процессе горения отнесена к проводникам горения. Она гигроскопична, отличается плотной структурой с большой долей порошкообразных частиц и горит беспламенно (тлеет).

Варьирование запасов подстилки вызывает различия в скорости пожарного созревания напочвенных ЛГМ и их горении при пожаре [11].

Ранее нами выявлено [13], что на запасы ЛГМ влияет густота древостоев. Установлена тесная (отрицательная) связь запасов сосняков бруснично-разнотравных красноярской лесостепи с количеством деревьев на 1 га; коэффициент корреляции 0,71 (рис. 4). Позднее подобная связь запасов с густотой древостоя была подтверждена и для таежных сосняков [32].

Влияние сомкнутости полога проявляется также в синузильности живого напочвенного покрова и, соответственно, в варьировании запасов напочвенных ЛГМ. Так, в лесостепных сосняках разнотравно-брусничных установлено возрастание запаса трав и кустарничков в зависимости от удаленности от ствола дерева (коэффициент корреляции 0,92). Это согласуется с выводами Н.Н. Лашинского [14] о том, что по мере удаления от стволов масса трав увеличивается и достигает максимума в межкрупных пространствах.

Варьирование запасов напочвенных ЛГМ по площади, связанное с синузильностью травяно-кустарничкового яруса, также выявлено и в таежных сосняках. В массиве среднетаежных сосняков лишайниково-зеленомошных (перстойных, IV класса бонитета) средние запасы напочвенных ЛГМ варьировали по участкам от 39,00 до 62,00 т/га (коэффициент вариации 31...43 %), т. е. изменчивость большая. Средние запасы напочвенных ЛГМ в этом типе сосняков

составляли 48,21 т/га, при этом на долю подстилки приходилось 44...69 % от запаса напочвенных ЛГМ (табл. 2).

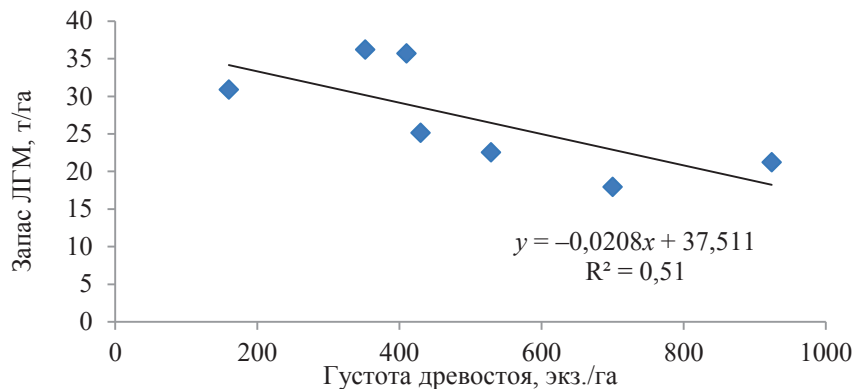


Рис. 4. Зависимость запаса напочвенных ЛГМ от густоты древостоя в лесостепных сосняках разнотравно-брусничных

Fig. 4. Dependence of surface forest fuel loads on stand density in forest-steppe grass-cowberry pine forests

Таблица 2

Запасы напочвенных ЛГМ в среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошных (т/га)

№ участка	Травы, кустарнички	Мхи, лишайники	Опад	Подстилка	УДГМ	Итого
1	0,24±0,07	12,98±1,83	0,99±0,11	35,38±2,62	12,84±3,02	62,43±2,06
2	0,23±0,08	11,61±1,45	1,85±0,25	31,64±2,70	9,00±3,12	54,33±2,64
3	0,48±0,10	5,63±0,91	1,56±0,31	24,05±2,32	8,17±3,04	39,89±2,77
4	0,40±0,08	6,55±0,82	1,81±0,20	30,67±1,86	4,76±1,78	44,19±1,81
5	0,65±0,08	6,64±1,12	2,94±0,63	21,68±2,61	16,88±5,56	48,79±2,24
6	0,68±0,07	5,69±1,14	2,56±0,26	22,92±2,04	9,59±3,55	41,44±2,13
7	0,47±0,10	6,61±1,33	1,78±0,19	23,71±2,20	8,74±3,53	41,31±2,20
8	0,22±0,07	10,70±1,72	1,11±0,14	31,00±3,21	5,65±2,14	48,68±3,06
9	0,27±0,09	11,72±1,93	1,10±0,15	35,44±4,40	4,40±1,36	52,93±3,14
Среднее	0,40±0,10	8,68±1,90	1,74±0,23	28,50±2,72	8,89±1,32	48,21±2,50

Примечания. 1. Всего при статистической обработке на каждом участке использованы данные по 125 образцам ЛГМ, т. е. по 1125 образцам на всех участках. 2. УДГМ – упавшие древесные горючие материалы (ветви и валеж).

На долю мхов и лишайников приходилось 13...22 % от запаса напочвенных ЛГМ (5,63...12,98 т/га). Доля опада составляет от 2 до 6 % (0,99... 2,94 т/га), УДГМ – от 8 до 35 % (4,40...16,88 т/га), травы и кустарничков – до 2 % (0,24...0,68 т/га).

В сосняках лишайниково-зеленомошных общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьировало от 15 до 40 %. В его видовом составе брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – сор; черника (*V. myrtillus* L.) –

сор₁₋₂; багульник (*Ledum palustre* L.) – sp.; вейник (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) – un. Степень покрытия мхами и лишайниками составляла от 80 до 100 %. Доминирующее положение занимает *Pleurozium schreberi* (Wild ex Brid.) Mitt. с примесью *Dicranum polysetum* Sw. Лишайниковый покров представлен различными видами эпигейных лишайников из рода *Cladonia* Web., реже из рода *Cetraria* (*Cladina rangiferina* L. (Web. ex Wigg); *Cl. stellaris* (Opiz) Pousar and Verda; *Cl. arbuscula* (Wallr.); *Cl. gracilis* (L) Wild и др.). Запасы мхов и лишайников значительно превышали запасы трав и кустарничков (табл. 2).

Наблюдения за сезонной динамикой опада и подстилки в лесостепных сосняках позволили выявить варьирование их запасов в течение вегетационного периода. На рис. 5 приведены данные о сезонной динамике запасов опада и подстилки в лесостепных сосняках разнотравно-брусничных, обобщенные по 4 постоянным пробным площадям, т. е. каждое значение обозначает средний запас, рассчитанный по 40 площадкам.

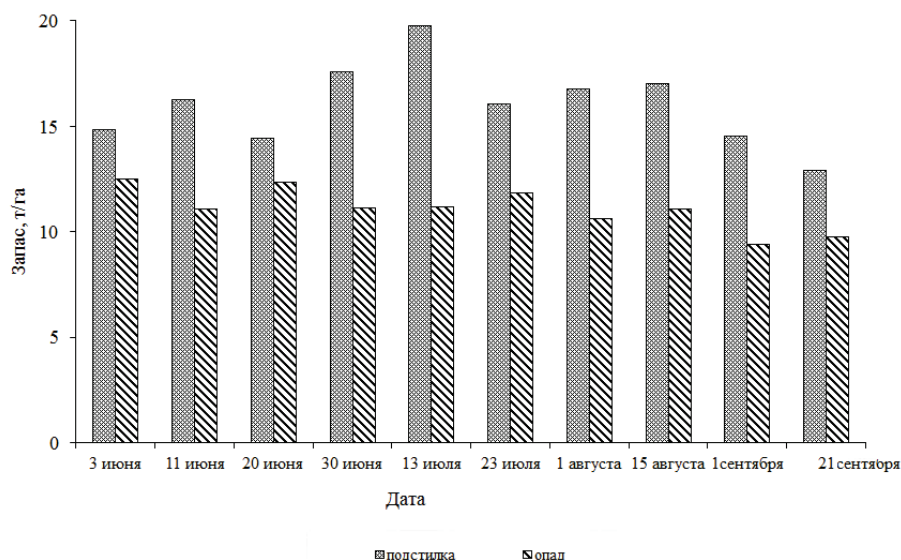


Рис. 5. Сезонная динамика запаса опада и подстилки в лесостепном сосняке разнотравно-брусничном

Fig. 5. Seasonal loads dynamics of litter and duff in forest-steppe grass-cowberry pine forest, t/ha

Наблюдается тенденция снижения запасов опада и подстилки от весны к осени. Происходящее осенью отмирание трав увеличивает запас опада за счет их ветоши. В течение зимы также отмечается опад хвои, шишек, частичек коры, веточек с деревьев, которые весной после стаивания снежного покрова пополняют запас опада. Установлено [25], что запас древесного опада в сосняках изменяется по годам в пределах 6...10 % от его запаса в абс. сухом состоянии.

По мнению ряда исследователей [1, 4, 5, 20], деструкция вновь поступившего опада и образование подстилки происходят за счет физического разрушения, обусловленного резким перепадом дневных и ночных температур на поверхности почвы, и активизации процессов разложения. Известно, что по-

ступление опада, его преобразование в подстилку, а также скорость разложения подстилки сбалансированы [7].

Сезонные изменения запаса трав и кустарничков, связанные с фенологическими стадиями их развития, также влияют на варьирование запасов напочвенных горючих материалов. Сезонная динамика запаса трав и кустарничков в лесостепном сосняке разнотравно-брусничном хорошо аппроксимируется уравнением параболы 2-го порядка (рис. 6), где каждое значение – средний запас трав и кустарничков на 20 площадках.

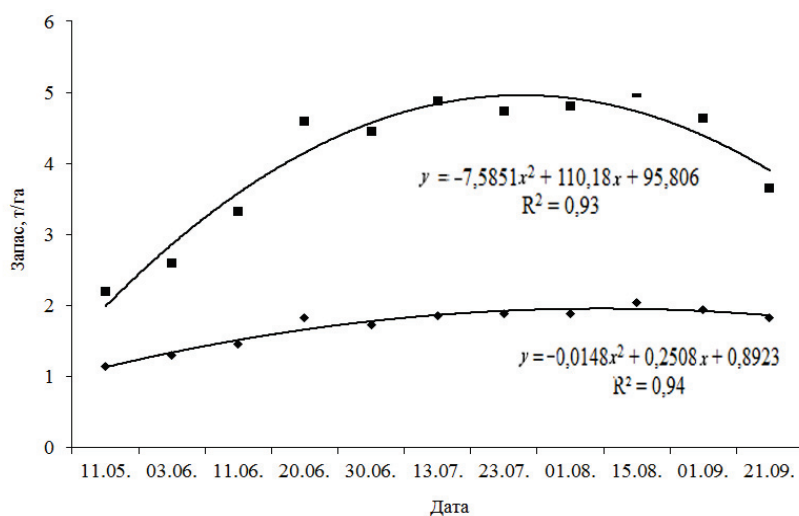


Рис. 6. Сезонная динамика запасов трав и кустарничков в лесостепном сосняке в вегетирующем (верхняя линия) и абс. сухом состоянии (нижняя линия)

Fig. 6. Seasonal dynamics of herb and shrub loads in the forest-steppe (upperpine forest in vegetative line) and absolutely dry (lower line) conditions

После схода снежного покрова в начале вегетационного периода брусника имеет сохранившуюся значительную массу (1,1...1,2 т/га в абс. сухом состоянии). В течение вегетационного периода происходит нарастание зеленой массы трав и кустарничков, максимум которого приходится на конец июля–начало августа. При этом по массе в абс. сухом состоянии преобладает брусника, а в вегетирующем – травянистые растения. Осенью происходит отмирание трав и запас опада за счет их ветоши увеличивается на 0,5...0,6 т/га (в абс. сухом состоянии).

Повторяющиеся лесные пожары оказывают влияние на формирование запасов напочвенных ЛГМ. В то же время сгорание ЛГМ при пожаре определяет послепожарные процессы (отпад древостоя, трансформацию фитомассы, направленность сукцессии и лесовозобновления независимо от зонально-экологических условий). Все эти процессы взаимосвязаны и воздействуют на послепожарное накопление ЛГМ [9].

Полнота сгорания и запас сгоревших ЛГМ в среднетаежных и южно-таежных сосняках при контролируемых низовых пожарах разной интенсивности

приведены в табл. 3. Средние значения сгоревшего запаса ЛГМ рассчитаны по 25 точкам.

В сосняках при низовом пожаре сгорают в основном напочвенные ЛГМ (мхи и лишайники, опад, упавшие мелкие ветви и сучья, частично подстилка и валеж). Травы и кустарнички сгорают вместе с опадом, лишайниками и мхами или погибают от термического воздействия. Ранее нами выявлено, что количество ЛГМ, сгорающих при пожаре, связано с предшествующими погодными условиями, которые определяют их высыхание [9].

Таблица 3

Полнота сгорания ЛГМ при пожарах разной интенсивности в сосняках

№ участка	Интенсивность пожара	Виды ЛГМ, % от запаса до пожара				Всего ЛГМ	
		Травы, кустарнички	УДГМ	Опад	Мхи, лишайники, подстилка	т/га	% от общего запаса
<i>Средне-таежные сосняки</i>							
1	Высокая	100	45,7	100	80,8	30,7±1,7	74,1
2	Средняя	100	30,4	100	45,0	23,9±1,5	45,2
3	Низкая	100	6,3	100	26,3	10,8±1,2	26,1
<i>Южно-таежные сосняки</i>							
4	Высокая	100	26,6	100	46,5	31,4±2,0	63,7
5	Средняя	100	33,0	100	32,7	19,2±1,6	44,1
6	Низкая	100	49,1	100	21,6	11,3±1,2	34,6

Примечание. Пожары интенсивностью до 2000 кВт/м – низкоинтенсивные; 2001...4000 кВт/м – среднеинтенсивные; более 4000 кВт/м – высокоинтенсивные [34].

По наблюдениям М.З. Мусина [18], в сосновых древостоях казахского мелкосопочника количество опада после пожара увеличивается, а скорость разложения опавшей хвои и веточек остается неизменной, в результате запас опада и подстилки некоторое время возрастает. Происходит накопление напочвенных ЛГМ, причем их может стать больше, чем до пожара. После достижения максимума в накоплении напочвенных ЛГМ наступает фаза уменьшения запасов опада и подстилки примерно до допожарного количества. Аналогичные тенденции отмечены М.Д. Евдокименко [7] для сосняков Забайкалья.

В результате сгорания при пожаре запас напочвенных ЛГМ уменьшился, но послепожарный отпад деревьев способствовал их последующему накоплению. Интенсивность горения также влияет на величину послепожарного отпада деревьев [10] и, следовательно, на количество и состав древесного опада. Если до горения все фракции (хвоя, кора, шишки, веточки) в опаде были представлены равномерно, то через 2 года после пожара в его составе количество хвои увеличилось до 84 %, а в последующие годы наблюдалось отмирание коры и повышение ее доли в опаде до 40 % [9]. Это согласуется с выводами о послепожарном увеличении доли хвои [4, 7].

Отпад деревьев обуславливает возрастание запаса не только древесного опада, но и ветвей, и валежа. Через 13 лет после высокоинтенсивного пожара вследствие вывала сухостоя в южно-таежном сосняке лишайниково-зеленомошном количество валежа увеличилось в 2 раза и в 4 раза по сравнению с допожарным запасом в среднетаежном сосняке этого же типа леса.

Послепожарное накопление напочвенных ЛГМ определяется не только интенсивностью пожара, но и давностью его воздействия. Наиболее интенсив-

ное накопление ЛГМ в сосняках после пожаров, независимо от их интенсивности, наблюдается в первые 3–5 лет, когда происходит отпад деревьев (рис. 7).

В среднетаежном сосняке запас напочвенных ЛГМ достиг допожарного значения через 5 лет после высокоинтенсивного пожара, дальнейшее его накопление происходило лишь за счет вывала сухостоя и разрастания трав и кустарничков (рис. 7, *a*). В южно-таежном сосняке запас напочвенных ЛГМ достиг максимума (лишь 74 % от допожарного значения) через 3 года после высокоинтенсивного пожара (рис. 7, *б*), затем накопление замедлилось, так как отпад деревьев прекратился и в связи с тем, что в южно-таежной зоне деревья в состоянии сухостоя могут сохраняться в течение длительного времени и не вываливаться. В последующие годы накопление ЛГМ снизилось и регулировалось лишь разложением опада и подстилки и разрастанием растительности.

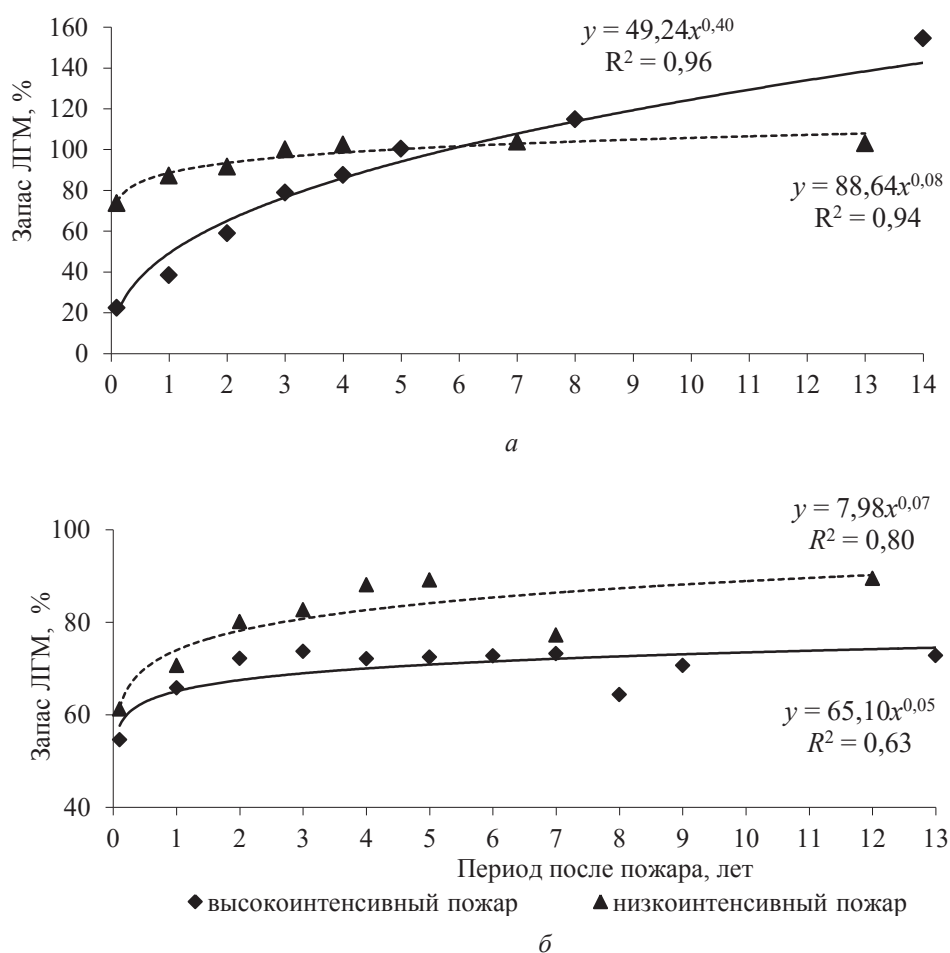


Рис. 7. Динамика запасов напочвенных ЛГМ в среднетаежных (*a*) и южно-таежных (*б*) сосняках после пожаров высокой и низкой интенсивности (% от допожарного запаса)

Fig. 7. Dynamics of surface forest fuel loads in the middle taiga (*a*) and southern taiga (*б*) pine forests after high and low intensity fires (% of pre-fire reserves)

После пожаров низкой интенсивности через 5 лет запас напочвенных ЛГМ в среднетаежных сосняках достиг допожарного уровня после пирогенного воздействия (рис. 7, *a*), а в южно-таежных сосняках – своего максимума (около

90 % от допожарного значения) (рис. 7, б). В последующие годы запас сохранялся на этом уровне.

Мы проанализировали также формирование запасов ЛГМ после низового пожара (1958 г.) за более длительный срок на примере лесостепных сосняков Погорельского бора, где были заложены постоянные пробные площади. По литературным данным [21], сразу после пожара 1958 г. в напочвенном покрове здесь было представлено разнотравье, а сосняки относились к разнотравному типу леса. Сосняки в течение 60 лет после воздействия пожара претерпевали трансформацию: сосняки разнотравные – сосняки бруснично-ирисово-осочковые – сосняки бруснично-разнотравные (разнотравно-брусничные) – сосняки разнотравно-зеленомошные и бруснично-зеленомошные.

Как и в сосняках других лесорастительных зон, отпад деревьев и интенсивное накопление напочвенных ЛГМ до их максимального запаса происходили в первые годы после пожара. Через 20 лет после пирогенного воздействия количество опада стабилизировалось, произошло разрастание кустарничков, сосняки из разнотравных трансформировались в бруснично-разнотравные и разнотравно-брусничные. Запасы напочвенных ЛГМ в этот период были довольно стабильны, т. е. скорости поступления опада на поверхность почвы и его разложения были близки (табл. 4).

Таблица 4

**Послепожарное изменение запасов напочвенных ЛГМ (т/га)
в лесостепных сосняках**

№ участка	Тип леса	Травы, кустарнички	Мхи	Опад	Подстилка	Всего ЛГМ
<i>Через 20 лет после пожара</i>						
1	Бруснично-разнотравный	1,70±0,28	0,20±0,02	12,09±1,10	22,21±1,85	36,20±2,3
2	Разнотравно-брусничный	1,97±0,30	0,09±0,01	11,19±0,98	11,96±1,30	25,21±1,4
3	Бруснично-разнотравный	1,39±0,21	0,09±0,01	12,84±1,52	21,37±1,92	35,69±2,9
4	Разнотравно-брусничный	2,52±0,39	0,12±0,01	11,26±1,10	8,62±0,95	22,52±1,9
<i>Среднее</i>		1,90±0,27	0,12±0,01	11,84±1,21	16,0±1,71	29,90±2,2
<i>Через 40 лет после пожара</i>						
1	Разнотравно-зеленомошный	0,31±0,04	2,41±0,36	4,72±0,63	7,71±0,88	15,15±2,1
2	Разнотравно-зеленомошный	0,51±0,09	2,53±0,25	4,56±0,52	12,24±1,40	19,84±1,4
3	Злаково-зеленомошный	2,41±0,29	1,79±0,30	4,70±0,41	10,20±1,32	19,10±1,9
4	Бруснично-зеленомошный	0,64±0,28	3,22±0,39	7,78±0,75	9,12±1,28	20,76±2,7
<i>Среднее</i>		0,97±0,16	2,49±0,23	5,44±0,9	9,82±1,11	18,71±1,8

Примечания. 1. Запас по каждому виду ЛГМ рассчитан по 20 площадкам. 2. Показатель существенности различия (t) по средним запасам отдельных видов ЛГМ во всех случаях $t \geq 3$, т. е. различия существенны.

В последующий 20-летний период (до 40 лет после пожара) сосняки бруснично-разнотравные претерпели трансформацию в сосняки разнотравно-зеленомошные. Длительное отсутствие лесных пожаров способствовало фор-

мированию мохового покрова. Этому также сопутствовало и изменение сомкнутости полога насаждения за счет разрастания подлеска и подроста. Существенно изменился состав доминантов травяно-кустарничкового яруса и его запасы снизились в 2 раза (табл. 4). При этом за счет разрастания мхов *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not. общие запасы живого напочвенного покрова трансформированных разнотравно-брусничных сосняков увеличились в среднем до 3,46 т/га, а мхов возросли в среднем в 20 раз, достигнув 1,79...3,22 т/га. Повышение доли мхов в общем запасе напочвенных ЛГМ в сосняках бруснично-разнотравной группы типов леса в среднем на 13 % привело к образованию хорошо развитого мохового покрова, что преобразовало их фитоценотическую структуру. В соответствии с этим изменились условия разложения растительного материала и накопления опада и подстилки.

Если через 20 лет после пожара в сосняках разнотравно-брусничных доля опада составляла 94 % от общего запаса трав, мхов и опада, то через 40 лет в сосняках разнотравно-зеленомошных на долю опада уже приходилось 63 % запаса, а мхов – 29 %. Если в опаде преобладали (54 %) древесные компоненты (шишки, кора, мелкие веточки), а на хвою и ветошь трав приходилось 32 и 14 % соответственно, то через 40 лет в опаде преобладал очес мха (до 50 %).

Через 40 лет после пирогенного воздействия в лесостепных сосняках запас опада снизился почти в 3 раза и изменился его состав (уменьшилось количество ветоши мезофитных трав и листьев кустарничков, увеличилось содержание очеса мхов). Известно [2], что формирование мохового покрова содействует изменению гидротермического режима почв и повышению биогенности подстилок в сосняках бруснично-зеленомошных.

Таким образом, через 40 лет после пожара наряду со сменой доминантов в напочвенном покрове произошло снижение продуктивности травяно-кустарничкового яруса. Также изменился состав опада, а разрастание мхов способствовало изменению гидротермического режима почв, повышению биогенности подстилок и уменьшению их запасов.

Заключение

Проведенные исследования в сосняках Средней Сибири показали, что запасы и структура напочвенных ЛГМ определяются не только типом растительности и условиями увлажнения, но зональностью и периодичностью лесных пожаров. Запасы ЛГМ связаны с географической широтой и возрастают от зоны лесостепи к подзоне северной тайги. Во всех случаях преобладает запас подстилки, которая является аккумулятором влаги и заметно влияет на скорость пожарного созревания лесных участков, различающихся в зональном аспекте. Наблюдается тенденция увеличения доли запасов подстилки от лесостепи к подзоне северной тайги.

В пределах однородных лесных участков запасы ЛГМ варьируют в связи с синузильностью напочвенного покрова, обусловленной неоднородностью полога древостоя. Запасы отдельных видов ЛГМ меняются в течение сезона, как изменяется и их роль в возникновении и распространении лесного пожара. Поступление опада и его преобразование в подстилку, а также и скорость разложения подстилки сбалансированы, что обуславливает относительную стабильность запаса подстилки в течение вегетационного периода.

Повторяющиеся лесные пожары влияют на формирование запасов напочвенных ЛГМ. Интенсивность пожаров определяет не только количество

сгоревших лесных горючих материалов, но и послепожарные процессы, и накопление напочвенных ЛГМ независимо от зонально-экологических условий. При длительном отсутствии пожаров в напочвенном покрове сосняков, наряду со сменой доминантов, происходит снижение продуктивности травяно-кустарничкового яруса. Изменяется ботанический состав опада, а образование мохового покрова способствует повышению биогенности подстилок и уменьшению их запасов.

Экспериментальные данные по послепожарной динамике накопления ЛГМ позволяют сделать вывод, что уже через 2-3 года после пожара запасы напочвенных ЛГМ достигают такого количества, при котором возможно возникновение и распространение по ним повторных пожаров, что и наблюдается довольно часто. Необходимо проведение профилактических контролируемых выжиганий в целях снижения запасов напочвенных ЛГМ и предотвращения высокоинтенсивных пожаров.

Представленные нами данные о запасах и структуре ЛГМ и их динамике могут быть использованы для оценки риска возникновения и распространения пожара, его эмиссии и интенсивности, а также для расчета сил и средств при тушении пожара. Полученные данные по ЛГМ и их трансформации при пожаре для сосновых лесов обеспечивают базовую основу для понимания и моделирования поведения пожаров и их воздействия на экосистемные процессы, а данные о запасах ЛГМ могут быть использованы для совершенствования существующих глобальных и региональных моделей, включающих характеристики ЛГМ.

Уравнения, разработанные по послепожарной динамике накопления напочвенных ЛГМ в зависимости от интенсивности пожара и времени после пирогенного воздействия, а также информация о средних значениях запасов ЛГМ могут быть применимы к аналогичным сосновым лесам Средней Сибири, для которых отсутствуют данные. Полученные результаты также необходимы для оценки долгосрочного воздействия пожаров на запасы ЛГМ, их послепожарное восстановление и динамику растительности. Аналогичные данные по запасам ЛГМ требуются и для других типов лесов Средней Сибири, включая лиственничные и темнохвойные леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А., Сорокин Н.Д., Богородская А.В., Иванов В.А., Коноард С.Г., Макрае Д.Д. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сиб. экол. журн. 2005. № 1. С. 143–152. [Bezkorovainaya I.N., Ivanova G.A., Tarasov P.A., Sorokin N.D., Bogorodskaya A.V., Ivanov V.A., Konard S.G., McRae D.J. Pyrogenic Transformation of Pine Stand Soil in Middle Taiga of Krasnoyarsk Region. *Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal* [Siberian Journal of Ecology], 2005, no. 1, pp. 143–152].
2. Бугакова Т.М., Бузыкин А.И. Микрофлора и биологическая активность подстилок сосновых лесов Приангарья // Микробные ассоциации в лесных биогеоценозах. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1983. С. 101–115. [Bugakova T.M., Buzykin A.I. Microflora and Bioactivity of Pine Forest Litter of the Angara Region. *Microbial Associations in Forest Biogeocenoses*. Krasnoyarsk, ILID SO AN SSSR Publ., 1983, pp. 101–115].
3. Буряк Л.В., Лузганов А.Г., Матвеев П.М., Каленская О.П. Влияние низовых пожаров на формирование светлохвойных насаждений юга Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, 2003. 195 с. [Buryak L.V., Luzganov A.G., Matveev P.M., Kalenskaya O.P.

The Influence of Ground Fires on the Formation of Coniferous Plantations in the South of Central Siberia. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2003. 195 p.].

4. Горшков В.В., Ставрова Н.И., Баккал И.Ю. Динамика восстановления лесной подстилки в бореальных сосновых лесах после пожаров // Лесоведение. 2005. № 3. С. 37–45. [Gorshkov V.V., Stavrova N.I., Bakkal I.Yu. Post-Fire Restoration of Forest Litter in Boreal Pine Forests. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2005, no. 3, pp. 37–45].

5. Горбачев В.Н., Попова Э.П., Сорокин Н.Д., Дмитриенко В.К. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1982. 185 с. [Gorbachev V.N., Popova E.P., Sorokin N.D., Dmitrienko V.K. Soil-Ecological Studies in Forest Biogeocenoses. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 185 p.].

6. Диченков Н.А. Географичность запасов лесных горючих материалов // Лесохоз. информ. 1992. Вып. 257. С. 156–160. [Dichenkov N.A. Geographical Reserves of Forest Fuels. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 1992, iss. 257, pp. 156–160].

7. Евдокименко М.Д. Динамика лесной подстилки в сосняках Забайкалья после низовых пожаров // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. 62 с. [Evdokimenko M.D. Dynamics of Litter in the Pine Forests of the Transbaikal Region after Surface Fires. *Role of Litter in Forest Biogeocenoses*. Moscow, Nauka Publ., 1983. 62 p.].

8. Иванова Г.А., Иванов А.В. Зонально-географические особенности пожаров в сосновых лесах Средней Сибири // Пожары в лесных экосистемах Сибири: материалы всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 132–133. [Ivanova G.A., Ivanov A.V. The Zone-Geographical Features of Forest Fires in Pine Forests of Central Siberia. *Fires in Forest Ecosystems of Siberia: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation*. Krasnoyarsk, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 2008, pp. 132–133].

9. Иванова Г.А., Конард С.Г., Макрае Д.Д., Безкоровайная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Иванов А.В., Ковалева Н.М., Краснощечекова Е.Н., Кукавская Е.А., Орешков Д.Н., Перевозникова В.Д., Самсонов Ю.Н., Сорокин Н.Д., Тарасов П.А., Цветков П.А., Шишикин А.С. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с. [Ivanova G.A., Conard S.G., McRae D.J., Bezkorovayanay I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Kovaleva N.M., Krasnoshchekova E.N., Kukavskaya E.A., Oreshkov D.N., Perevznikova V.D., Samsonov Yu.N., Sorokin N.D., Tarasov P.A., Tsvetkov P.A., Shishikin A.S. *The Impact of Fires on the Ecosystem Components of the Central Taiga Pine Forests of Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2014. 232 p.].

10. Иванова Г.А., Жила С.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А. Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2016. № 6. С. 17–32. [Ivanova G.A., Zhila S.V., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A. The Post-Fire Transformation of Forest Stand Phytomass in Plantations of the Lower Angara Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2016, no. 6, pp.17–32]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2016.6.17](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.6.17), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/e8a/17_32.pdf

11. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопр. лесн. пирологии. Красноярск: ИЛИД, 1970. С. 5–58. [Kurbatskiy N.P. Studies of Loading and Characteristics of Forest Fuels. *Issues of Forest Pyrology*. Krasnoyarsk, ILiD Publ., 1970, pp. 5–58].

12. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии // Вопр. лесн. пирологии. Красноярск: ИЛИД, 1972. С. 171–231. [Kurbatskiy N.P. Terminology of Forest Pyrology. *Issues of Forest Pyrology*. Krasnoyarsk, ILiD Publ., 1972, pp. 171–231].

13. Курбатский Н.П., Иванова Г.А. Пожароопасность сосняков лесостепи и пути ее снижения. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1987. 113 с. [Kurbatskiy N.P., Ivanova G.A. *Fire Hazard of Pine Forest-Steppe and Ways to Reduce It*. Krasnoyarsk, ILiD Publ., 1987. 113 p.].

14. Лащинский Н.Н. Структура и динамика сосновых лесов Нижнего Приангарья. М.: Наука, 1981. 272 с. [Lashchinskiy N.N. *Structure and Dynamics of Pine Forests of the Lower Angara Region*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 272 p.].
15. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / под ред. Ф.И. Плешикова. Новосибирск: СО РАН, 2002. 356 с. [*Forest Ecosystems of the Yenisei Meridian*. Ed. by F.I. Pleshikov. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2002. 356 p.].
16. Мелехов И.С. Об отложении лесной подстилки в зависимости от типа леса // Тр. АЛТИ. 1957. Вып. 17. С. 124–137. [Melekhov I.S. On the Deposition of Forest Litter, Depending on the Forest Type. *Trudy ALTI*, 1957, iss. 17, pp. 124–137].
17. Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с. [Molchanov A.A. *The Productivity of Organic Matter in Forests of Various Zones*. Moscow, Nauka Publ., 1971. 275 p.].
18. Мусин М.З. Лесные пожары в борах Казахского мелкосопочника и их профилактика: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1974. 24 с. [Musin M.Z. *Forest Fires in the Woods of the Kazakh Upland and Their Prevention: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.* Krasnoyarsk, 1974. 24 p.].
19. Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1969. 155 с. [Pozdnyakov L.K., Protopopov V.V., Gorbatenko V.M. *Biological Productivity of the Forests in Central Siberia and Yakutia*. Krasnoyarsk, ILiD SO AN SSSR Publ., 1969. 155 p.].
20. Попова Э.П. Особенности почвообразования в лесных биогеоценозах Приангарья в зависимости от давности пожаров // Генезис и география лесных почв. М.: Наука, 1980. С. 40–52. [Popova E.P. Features of Soil Formation in the Forest Biogeocenoses of the Angara Region Depending on Duration of Fires. *Genesis and Geography of Forest Soils*. Moscow, Nauka Publ., 1980, pp. 40–52].
21. Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 165 с. [Semechkina M.G. *The Structure of Phytomass of Pine Forests*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978. 165 p.].
22. Софронов М.А., Баранов Н.М. Распределение по площади запасов мха, опада и подстилки // Моделирование и охрана лесов от пожаров. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1979. С. 99–108. [Sofronov M.A., Baranov N.M. Distribution by Area of Stocks of Moss, Litter and duff. *Forest Fire Simulation and Protection*. Krasnoyarsk, ILiD SO AN SSSR Publ., 1979, pp. 99–108].
23. Средняя Сибирь / под ред. И.П. Герасимова. М.: Наука, 1964. 480 с. [*Central Siberia*. Ed. by I.P. Gerasimov. Moscow, Nauka Publ., 1964. 480 p.].
24. Шешуков М.А. К вопросу составления пожарных карт // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1966. Вып. 8. С. 407–416. [Sheshukov M.A. To the Issue of Making Fire Maps. *Collection of Academic Papers of DalNILH*. 1966, iss. 8, pp. 407–416].
25. Щербakov И.П., Забелин О.Ф., Карпель Б.А. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, 1979. 224 с. [Shcherbakov I.P., Zabelin O.F., Karpel B.A. *Forest Fires in Yakutia and Their Influence on the Forest Nature*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 224 p.].
26. Albini F.A. *Estimating Wildfire Behavior and Effects*. USDA Forest Service. General Technical Report INT-30. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1976. 92 p.
27. Alexander M.E., Lawson B.D., Stocks B.J., Van Wagner C.E. *User Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System: Rate of Spread Relationships*. Ottawa, ON, Canadian Forest Service Fire Danger Group, 1984. 73 p.
28. Alexander M.E., Stocks B.J., Lawson B.D. *Fire Behavior in Black Spruce-Lichen Woodland: The Porter Lake Project*. Information Report NOR-X-310. Edmonton, AB, Northern Forestry Centre, 1991. 44 p.

29. Anderson H.E. *Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior*. General Technical Report INT-122. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1982. 22 p.
30. Brown J.K. A Planar Intersect Method for Sampling Fuel Volume and Surface Area. *Forest Science*, 1971, vol. 17(1), pp. 96–102.
31. Deeming J.E., Burgan R.E., Cohen J.D. *The National Fire-Danger Rating System*. General Technical Report INT-39. Ogden, UT, USDA Forest Service, 1978. 66 p.
32. Kukavskaya E.A., Ivanova G.A., Conard S.G., McRae D.J., Ivanov V.A. Biomass Dynamics of Central Siberian Scots Pine Forests Following Surface Fires of Varying Severity. *International Journal of Wildland Fire*, 2014, vol. 23(6), pp. 872–876. DOI: [10.1071/WF13043](https://doi.org/10.1071/WF13043)
33. McRae D.J., Alexander M.E., Stocks B.J. *Measurement and Description of Fuels and Fire Behavior on Prescribed Burns: A Handbook*. Information Report O-X-287. Marie, ON, Great Lakes Forest Research Centre, 1979. 44 p.
34. McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N. et al. 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, pp. 45–74. DOI: [10.1007/s11027-006-1008-4](https://doi.org/10.1007/s11027-006-1008-4)
35. Morgan P., Hradý C.C., Swetnam T.W., Rollins M.G., Long D.G. Mapping Fire Regimes across Time and Space: Understanding Coarse and Fine-Scale Fire Patterns. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10(4), pp. 329–342. DOI: [10.1071/WF01032](https://doi.org/10.1071/WF01032)
36. Ottmar R.D., Sandberg D.V., Riccardi C.L., Prichard S.J. An Overview of the Fuel Characteristic Classification System – Quantifying, Classifying, and Creating Fuelbeds for Resource Planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, vol. 37, no. 12, pp. 2383–2393. DOI: [10.1139/X07-077](https://doi.org/10.1139/X07-077)
37. Van Wagner C.E. The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. *Forest Science*, 1968, vol. 14, no. 1, pp. 20–26.
38. Walker J.D., Stocks B.J. *The Fuel Complex of Mature and Immature Jack Pine Stands in Ontario*. Information Report O-X-229. Marie, ON, Great Lakes Forest Research Centre, 1975. 19 p.

ZONALITY OF FOREST FUELS AND THEIR PYROGENIC TRANSFORMATION IN PINE FORESTS OF CENTRAL SIBERIA

G.A. Ivanova¹, Doctor of Biology; ResearcherID: [R-8916-2016](https://orcid.org/0000-0002-3758-8106),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3758-8106>

V.A. Ivanov², Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAE-3176-2019](https://orcid.org/0000-0002-6201-2133),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6201-2133>

¹Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS”, ul. Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ul. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: ivanovv53@yandex.ru

Fires in the forests of Siberia occur annually and cause enormous damage to natural resources. Therefore, studies of the natural forest fire hazard, one of the components of which are forest fuels, are relevant. The research carried out on 53 sites in the pine forests growing along the Yenisei meridian transect revealed that surface fuel loads in pine stands of different zones of Central Siberia are defined by geographical latitude and increase from the forest-steppe zone to the northern taiga subzone. The largest forest fuel loads are concentrated

in the pine stands of the northern and middle taiga. Their composition is dominated by loads of duff, the fraction of which in surface fuel loads increases from the forest-steppe zone (57.4 %) to the northern taiga zone (71.3 %). The obtained dynamic equations of the reserves of grass-shrub understory over the season may be applicable to grassy types of pine forests. Combustion of surface forest fuels in pine forests during surface fires of different intensity varies from 10.8 to 31.4 t/ha, which is from 26.1 to 74.1 % of their loads before the fire. The intensity of fires determines not only the number of burned forest fuels, but also their post-pyrogenic accumulation regardless of zonal and environmental conditions. The variation of fuel loads in forest areas is related to pyrogenic effects and the recovery period after the last fire, as well as to the mosaic distribution of living ground vegetation. Equations of accumulation of surface forest fuels after fires of different intensity that can be applied to pine forests of Central Siberia are developed. A change of dominants in the ground cover and a decrease in the productivity of the grass-shrub understory occurs in a long-term absence of fires in pine forests. The development of moss cover contributes to the decrease in litter reserves. The data obtained on the loads of surface forest fuels and their transformation during a fire provide the basis for understanding and simulation fire behavior, estimating emissions and impacts of fires on fuel loads, and can be used for improvement the existing global and regional models.

For citation: Ivanova G.A., Ivanov V.A. Zonality of Forest Fuels and Their Pyrogenic Transformation in Pine Forests of Central Siberia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 4, pp. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26

Funding: The research was supported by the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and the Russian Foundation for Basic Research (grant projects No. 07-04-00562 and 19-58-80002 BRICS-t).

Keywords: forest fires, forest fuels, loads, surface forest fuels, fire intensity, pine forests, Central Siberia.

Поступила 09.12.19 / Received on December 9, 2019
