

УДК 630*465

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

ПОСТПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЯ В НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

Г.А. Иванова, д-р биол. наук, вед. науч. сотр.

С.В. Жила, канд. биол. наук, мл. науч. сотр.

Е.А. Кукавская, канд. биол. наук, науч. сотр.

В.А. Иванов, д-р с.-х. наук, проф.

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук,
Академгородок № 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036;
e-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru

Лесные пожары воздействуют на древостой как непосредственно при горении, так и в течение длительного времени после пожара. Целью исследований являлись оценка и мониторинг трансформации фитомассы древостоя под воздействием крупномасштабных экспериментальных лесных пожаров разной интенсивности в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья Красноярского края. Фитомассу древостоя оценивали методом перечислительной таксации с взятием модельных деревьев по ступеням толщины. Проведен 5-летний мониторинг изменения фитомассы древостоя после пожаров разной интенсивности. Выявлено наличие связи фитомассы деревьев сосны и лиственницы и их отдельных фракций с морфологическими признаками и возрастом дерева. На первые 2-3 года после пожаров приходится до 90 % отпада деревьев. Установлена тесная связь между интенсивностью пожара и величиной послепожарного отпада деревьев. Спустя 3 года после пожара высокой интенсивности в сосновых насаждениях отпад составил 62 %, после средней и низкой – соответственно 22 и 17 % от общего числа деревьев. В лиственничных насаждениях после пожара высокой интенсивности отпад деревьев первого яруса достигал 49 %, после пожаров средней и низкой интенсивности – соответственно 35 и 20 %. Отпад деревьев второго яруса в лиственничниках: 18...34 % – при низкоинтенсивном, до 62 % – при среднеинтенсивном, до 100 % – при высокоинтенсивном пожаре. В зависимости от интенсивности пожаров фитомасса живых деревьев в сосняках после пожаров снизилась на 16...62 %, в лиственничниках – на 15...50 %. Динамика надземной фитомассы древостоя после пожаров в сосновых и лиственничных насаждениях определяется интенсивностью горения. Пожары способствуют перераспределению фитомассы живых деревьев в мортмассу, которая увеличивается в результате отмирания деревьев и опада хвои и ветвей с поврежденных огнем деревьев.

Ключевые слова: южнотаежные сосняки и лиственничники, лесной пожар, интенсивность пожара, фитомасса древостоя, Нижнее Приангарье.

Для цитирования: Иванова Г.А., Жила С.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А. Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 17–32. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

Введение

В настоящее время в Сибири ежегодно возникают десятки тысяч лесных пожаров, площадь которых достигает миллионов гектар. Глобальное изменение климата может привести к увеличению частоты лесных пожаров, расширению области их распространения и, как следствие, к долгосрочной деградации лесорастительных условий [29, 31]. На светлехвойные леса, которые составляют до 90 % площади лесов Нижнего Приангарья [1, 8], приходится более 60 % от общего количества лесных пожаров [34].

Лесные пожары воздействуют на все компоненты биогеоценоза, в том числе на древостой как непосредственно при горении, так и опосредованно в течение длительного времени после него. Основные горючие материалы при пожарах в лесном биогеоценозе – вся совокупность органической массы, преимущественно растения и их отмершие части [5, 12]. Фитомасса древостоя вносит значительный вклад в накопление лесной подстилки, которая является проводником горения и горючим материалом при низовых пожарах, кроновые материалы (хвоя и мелкие ветви) активно участвуют в горении при верховых пожарах. Выявлена зависимость между количеством фитомассы древостоя и его биометрическими характеристиками [4, 15, 20, 23].

На характер и степень повреждения древостоев пожарами влияет целый ряд факторов (вид пожара, тип леса, породный состав, возраст и полнота насаждения, крутизна склона, погодные условия и др. факторы) [6, 7, 11, 13, 14, 18, 21, 26]. В настоящее время разработан целый ряд различных моделей, описывающих отдельные последствия пожаров для североамериканских лесов [32, 33, 36–38]. Для российских лесов имеются модели послепожарного отпада деревьев в зависимости от их диаметра и породы [3].

Известно, что процессы послепожарного отпада имеют различную длительность. В слабо и средне поврежденных сосняках северной подзоны тайги процесс отпада завершается через 5 лет после пожара, в сильно поврежденных сосняках он длится до 7 лет [3]. В среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошных при пожарах разной интенсивности основной отпад деревьев после пожаров происходит в первые 2-3 года. При этом на первый год приходится до 90 % от всех отпавших деревьев после пожара высокой интенсивности, до 75 % – средней интенсивности, до 70 % – низкой интенсивности. В последующие годы величина отпада значительно снижается [10].

Под воздействием пожаров происходит перераспределение фитомассы между живым пологом и мортмассой [30, 39]. Однако исследования, связанные с оценкой трансформации фитомассы древостоя под воздействием пожаров, единичны.

Целью наших исследований являлись оценка и мониторинг трансформации фитомассы древостоя под воздействием лесных пожаров разной интенсивности в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в сосняках и лиственничниках Нижнего Приангарья (Красноярский край). Экспериментальные участки (10 участков)

площадью 1 га каждый, располагались в бассейне р. Ангары (58°35' с.ш., 98°55' в.д.). Лесоводственно-таксационное описание древостоев на экспериментальных участках проводили по методике В.Н. Сукачева, С.В. Зонна и Г.П. Мотовилова [22]. Характеристика насаждений на экспериментальных участках представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений
на экспериментальных участках**

№ участка	Тип леса	Состав, ярус (возраст)	Средние		Полнота	Бонитет	Подрост, тыс. шт./га
			диаметр, см	высота, м			
<i>Сосняки</i>							
1	Лишайниково-зеленомошный	10С (90)	24	18	0,8	III	30,6
2	Лишайниково-зеленомошный	10С (90)	26	22	0,6	III	20,4
3	Ольховниково-бруснично-зеленомошный	10С + Л (110)	32	21	0,8	III	40,2
4	Разнотравно-зеленомошный	10С + Л ед. Ос (120)	28	22	0,5	III	30,1
<i>Лиственничники</i>							
5	Мелкотравно-зеленомошный	I 5Лц4С1Ос + Е (160) II 3Б2Лц2С1Ос 1Е1П+К (60)	32 16	27 16	0,7	II	16,2
6	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц5С (150) II 5Б2П2С1Ос ед. Е, К (50)	26 18	26 18	0,6	II	20,8
7	Осочково-зеленомошный	I 6Лц3С1П + Б, Ос (140) II 3Е3Б2П1С1Ос + К (50)	30 13	27 16	0,6	II	11,8
8	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц5С + Ос (150) II 3С3Е2П1Л1Б + К (40)	36 16	26 18	0,7	III	8,2
9	Разнотравно-зеленомошный	I 5Лц4С1Е + Ос (140) II 7С2Лц1Е + П, Б (40)	36 20	26 20	0,6	III	7,3
10	Разнотравно-зеленомошный	I 9Лц1Е + С, К (140) II 7С2Б1Е + П, Л (50)	44 22	26 20	0,6	II	10,1

Сосняки лишайниково-зеленомошные (участки 1, 2) на песчаных подзолах занимают плоскую ровную ступень склона и пройдены пожаром более 80 лет назад (1922 г.). Средний возраст деревьев – 90 лет, средний диаметр – 25 см, средняя высота – 20 м, полнота – 0,8, III класс бонитета. Подлесок развит хорошо. В напочвенном покрове преобладает бруснично-зеленомошно-лишайниковая растительность. Моховой покров – до 60 %, с преобладанием *Pleurozium schreberi*. Проективное покрытие лишайников – 40 %, доминируют лишайники вида *Cladonia rangiferina*.

Сосняки разнотравно-зеленомошные (участки 3, 4) расположены также на песчаных подзолах и пройдены пожаром более 60 лет назад (1948 г.). Средний возраст деревьев – 100...120 лет, средний диаметр – 30 см, средняя высота – 22 м, полнота – 0,7, III класс бонитета. Подлесок густой, в травяно-кустарничковом ярусе доминирует мелкотравье. Общее проективное покрытие мха – до 100 %, доминирует *Pleurozium schreberi*.

Лиственничники зеленомошного типа произрастают на дерново-карбонатных почвах. Древостои сложные по структуре и составу, разновозрастные, II-III класса бонитета. В первом ярусе доминируют лиственница и сосна (140...160 лет), отдельные деревья достигли возраста 200...300 лет. В составе древостоя встречаются ель и пихта. Средний диаметр деревьев первого яруса изменяется на участках от 26 до 44 см, средняя высота – от 26 до 27 м. Второй ярус представлен хвойными и лиственными породами, в составе присутствуют пихта, ель, кедр, сосна, лиственница, береза и осина в возрасте 40...50 лет. Средний диаметр деревьев второго яруса изменяется на участках от 13 до 22 см, средняя высота – от 16 до 20 м, относительная полнота древостоя – от 0,65 до 1,0. Насаждения с подростом (от 7,3 до 20,8 тыс. экз./га) и подлеском под пологом древостоев. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует таежное мелкотравье. Моховой покров хорошо развит, общее проективное покрытие – до 100 %, доминируют *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* (Hedw.) V.S.G., единично встречается *Peltigera canina*. Последний пожар был зарегистрирован в 1953 г.

Фитомассу древостоя оценивали методом перечислительной таксации с взятием модельных деревьев по ступеням толщины. Модельные деревья отбирали на прилегающей к участку зоне. Все фракции дерева взвешивали, отбирали образцы на влагосодержание, которые в лабораторных условиях высушивали и определяли их абс. сухой вес. Для оценки фитомассы было взято 50 модельных деревьев разных пород с делением их на фракции. Фитомасса ствола дерева приведена с корой. В работе были использованы данные В.А. Усольцева [24] по фитомассе березы и осины, а также взяты модели подраста по градациям высот.

В 2002–2007 гг. на участках были проведены эксперименты по моделированию поведения пожара при различных погодных условиях и оценке их воздействия на компоненты биогеоценоза. Эксперименты представляли собой контролируемые выжигания, при которых кромка горения распространялась

по ветру. Интенсивность пожара определялась исходя из теплотворной способности лесного горючего материала, сгоревшего запаса и скорости распространения кромки огня [27]. В сосняках на экспериментальных участках развились низовые пожары, которые преобладают в лесах Средней Сибири. В лиственничниках также были низовые пожары, но с выходом огня в кроны. Согласно классификации лесных пожаров по интенсивности [35], на экспериментальных участках 2, 5 развился высокоинтенсивный пожар (интенсивность горения на кромке пожара более 4001 кВт/м), на 1, 9 – среднеинтенсивный (2001 ... 4000 кВт/м), на 3, 4, 6–8 – низкой интенсивности (менее 2000 кВт/м).

Оценку послепожарного отпада деревьев проводили по методике, основанной на методе квадратов, исходящих из одной центральной точки [28], позволяющем более точно учитывать отпад деревьев и его распределение на данной площади. Особенностью этого метода является то, что деревья выбирали в равномерно расположенных на участке точках. На каждом из экспериментальных участков была разбита сеть базовых точек на расстоянии 20...25 м. В каждой точке выбирали по 4 дерева, расположенных на ближайшем к ней расстоянии. На каждом участке отбирали и маркировали не менее 100 деревьев каждого яруса. Всего в лиственничниках было учтено 1200, в сосняках – 420 деревьев. У каждого дерева измеряли высоту, диаметр на высоте 1,3 м, высоту до живой кроны, а также высоту нагара, степень повреждения пожаром кроны и ее состояние, степень заселения насекомыми.

Обсуждение результатов

Проведенный анализ данных по фитомассе модельных деревьев подтвердил наличие тесной связи ее отдельных фракций с морфологическими признаками дерева и его возрастом (табл. 2). Наиболее высокая зависимость выявлена между фитомассой и диаметром дерева на высоте 1,3 м независимо от породы дерева (рис. 1). Подобная зависимость установлена и для фитомассы отдельных фракций дерева.

На ствол приходится до 89,0 % надземной фитомассы сосны и лиственницы. Значительная часть фитомассы приходится на живые ветки, доля которых у лиственницы составляет до 8,4 %, у сосны – до 21,8 %.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции фитомассы фракций дерева (сосны) с его биометрическими параметрами

Фракция дерева	Диаметр на высоте 1,3 м, см	Высота, м	Возраст, лет
Ствол	0,97	0,84	0,94
Ветви	0,94	0,77	0,94
Хвоя	0,88	0,79	0,84
Шишки	0,80	0,71	0,83
Дерево	0,97	0,84	0,94

Доля хвои у лиственницы варьирует от 0,8 до 2,8 %, у сосны – от 3,7 до 4,8 %. При этом наблюдается закономерное снижение доли хвои относительно фитомассы всего дерева по мере увеличения диаметра, что согласуется с опубликованными ранее данными о том, что продуктивность хвои сосны резко снижается с возрастом дерева [2, 17, 19].

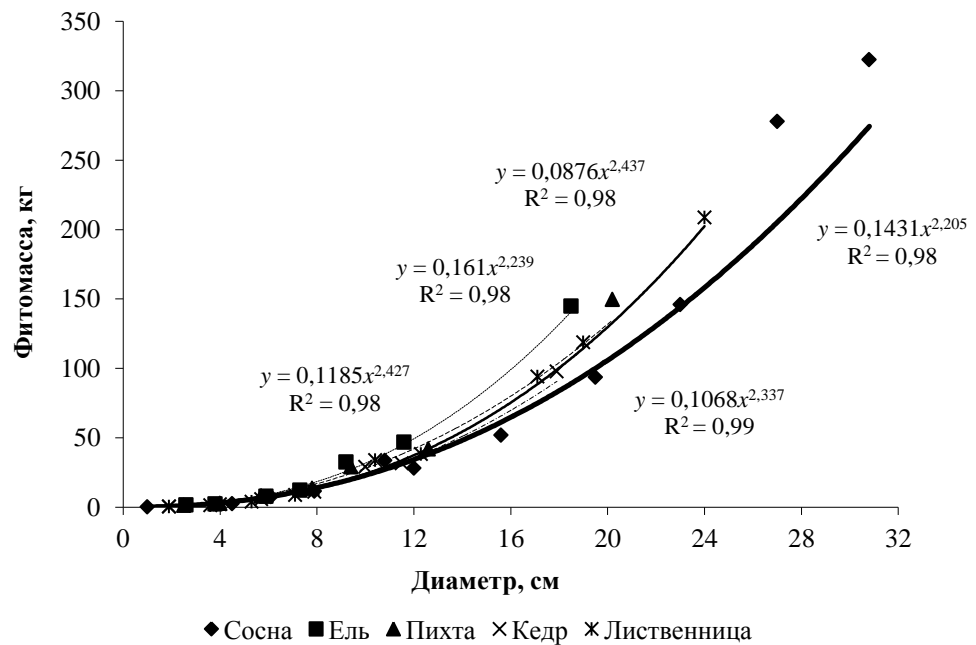


Рис. 1. Зависимость фитомассы модельных деревьев разных пород от диаметра на высоте 1,3 м

У ели и пихты на ствол приходится 53,0...87,0 % от общей фитомассы, на хвою – до 25,0 %, но при этом, как и у сосны, так и у лиственницы, наблюдается снижение доли хвои с увеличением диаметра дерева. Вклад живых ветвей варьирует от 4,0 до 32,0 %, на сухие ветки приходится до 12,8 %.

На основе полученных данных по фитомассе модельных деревьев и распределению деревьев по ступеням толщины была рассчитана фитомасса древостоя на экспериментальных участках (табл. 3).

Общая фитомасса древостоя в сосняках (участки 1–4) составляет от 123 до 171 т/га, в лиственничных насаждениях со вторым ярусом из темнохвойных пород – от 93 до 126 т/га. При этом на стволы приходится 65,0...89,0 %, на живые ветви – до 22,0 %, на хвою и листья – 4,0...10,0 %. Полученные данные сопоставимы со значениями, приведенными В.А. Усольцевым для насаждений подзоны южной тайги Средней Сибири [24].

Таблица 3

Структура фитомассы (т/га) древостоя до пожара

№ участка	Живые деревья					Итого	Сухостой
	Хвоя, листва	Шишки	Ветви		Ствол		
			живые	сухие			
<i>Сосняки</i>							
1	5,43	0,42	20,82	5,77	96,57	129,01	8,19
2	6,26	1,90	13,95	1,86	101,18	125,15	3,15
3	10,52	1,10	24,21	9,37	126,00	171,20	6,23
4	12,61	0,40	27,36	1,82	81,38	123,57	4,21
<i>Лиственничники</i>							
5	12,88	0,41	27,94	1,86	83,11	126,20	4,99
6	3,95	0,30	15,14	4,19	70,21	93,79	6,03
7	4,26	0,95	5,41	0,48	89,86	100,96	7,31
8	6,21	1,86	13,85	1,86	100,46	124,24	11,41
9	11,62	0,37	25,19	1,68	74,95	113,81	7,60
10	6,42	0,62	14,16	5,29	73,83	100,32	7,21

Естественный отпад деревьев в насаждениях до пожара составлял от 2,0 до 15,0 % от их общего количества. Наибольшая масса сухостоя в сосняках приходилась на деревья диаметром 8...20 см, в лиственничниках – на деревья диаметром 16...32 см ступеней толщины. В сосняках она варьировала от 3,15 до 8,19 т/га, в лиственничниках – от 4,99 до 11,41 т/га.

В сосняках 100 % фитомассы приходилось на сосну, за исключением участка 3, где вклад лиственницы составлял 13,5 %. В лиственничниках, где в составе присутствовали и темнохвойные породы, на пихту, ель и кедр, которые преобладали во втором ярусе, приходилось от 2,5 до 25,0 % от общей фитомассы древостоя (табл. 4).

Известно, что характер и степень повреждения древостоев пожарами определяется рядом неравнозначных по своему значению факторов. К ним относятся: вид пожара, тип леса, породный состав, возраст и полнота насаждения, погодные условия [3, 14, 18, 25].

Таблица 4

Распределение (%) в лиственничниках фитомассы древостоя по породам

№ участка	Сосна	Лиственница	Ель	Пихта	Кедр	Береза	Осина
5	29,1	37,8	2,6	7,5	2,6	8,3	12,1
6	37,6	38,5	0,9	0,3	1,3	17,7	3,7
7	18,1	46,7	6,3	0,9	5,0	16,4	6,6
8	38,0	23,7	13,2	5,8	2,0	8,3	9,0
9	29,7	27,3	17,3	4,5	3,2	13,3	4,7
10	12,0	64,2	8,6	5,0	2,4	6,1	1,7

Причиной отпада древостоя после пожара является не только воздействие высоких температур, но и заселение энтомофагами в результате ослабления жизненного состояния дерева [16, 18].

Нами проведен мониторинг изменения фитомассы древостоя под воздействием пожаров разной интенсивности, проанализированы данные по отпаду деревьев до пирогенного воздействия и в течение 5 лет после пожаров.

Основной отпад деревьев в южнотаежных сосняках и лиственничниках после пожаров, как и в среднетаежных сосняках [9], приходится на первые 2-3 года (табл. 5). Через год после пожара высокой интенсивности в сосновых насаждениях отпад деревьев составил 55 %, спустя 2 года он увеличился до 62 % и сохранялся на этом уровне все последующие годы. После пожара средней интенсивности отпад деревьев в первый год составил 9 %, на второй год увеличился до 20 %, через 3 года – до 22 %. После пожара низкой интенсивности за 5 лет максимальный отпад составил 11...17 % от общего числа деревьев.

Отпад деревьев первого яруса в лиственничном насаждении через год после пожара высокой интенсивности составил 34 %, через 5 лет он увеличился до 49 %. Отпад деревьев второго яруса на этом участке уже на второй год составил 100 %. После пожаров средней и низкой интенсивности отпад деревьев первого яруса в лиственничниках через 4 и 5 лет стал соответственно 35 и 20 %.

Таблица 5

Отпад деревьев (% от общего числа живых деревьев)

№ участка	Интенсивность пожара	Ярус древостоя	Отпад деревьев					
			до пожара	после пожара по годам, лет				
				1	2	3	4	5
<i>Сосняки</i>								
1	Средняя	I	5	9	20	22	22	22
2	Высокая	I	5	55	62	62	62	62
3	Низкая	I	3	8	12	15	16	17
4	Низкая	I	2	5	11	11	11	11
<i>Лиственничники</i>								
5	Низкая	I	5	8	14	15	18	20
		II	2	7	16	16	16	18
6	Высокая	I	5	34	42	47	47	49
		II	3	96	100	100	100	100
7	Низкая	I	7	12	15	15	18	–
		II	3	26	29	32	33	–
8	Низкая	I	15	15	17	17	17	–
		II	7	11	16	16	18	–
9	Низкая	I	9	9	9	9	11	–
		II	5	13	25	31	34	–
10	Средняя	I	14	27	27	30	35	–
		II	3	48	58	62	62	–

Отпад деревьев второго яруса на этих участках через 4...5 лет после пожара средней интенсивности составил 62 %, после пожара низкой интенсивности – 18...34 %. Полный отпад деревьев второго яруса после высокоинтенсивного пожара и значительный после пожаров средней и низкой интенсивности объясняется не только присутствием в нем темнохвойных пород, но и высокой сомкнутостью полога за счет подроста хвойных пород.

Выявлена тесная связь между интенсивностью пожара и величиной отпада (коэффициент корреляции 0,90). На рис. 2 приведено влияние интенсивности кромки пожара на отпад деревьев в светлохвойных насаждениях.

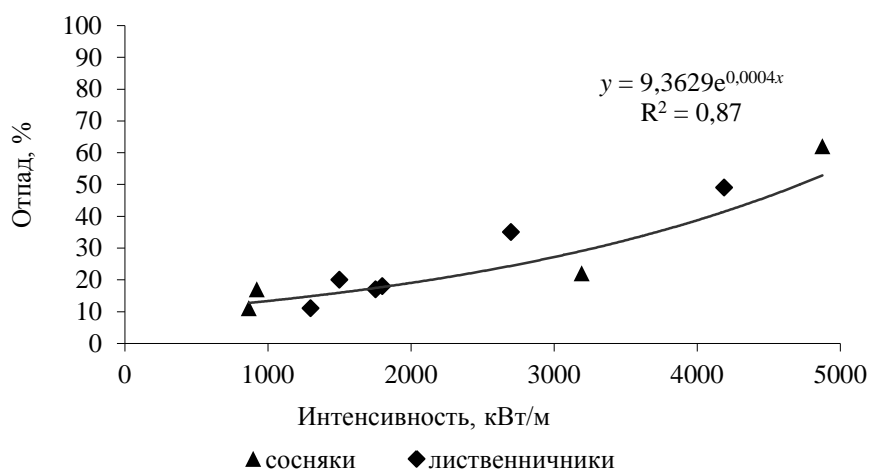


Рис. 2. Отпад деревьев в светлохвойных насаждениях (от общего числа деревьев) в зависимости от интенсивности кромки пожара

После воздействия пожаров и отпада деревьев фитомасса древостоя снизилась в зависимости от интенсивности горения (табл. 6). После пожара высокой интенсивности фитомасса древостоя в сосняках составила 47,56 т/га, средней интенсивности – 100,62 т/га, низкой интенсивности – 109,98 т/га. Фитомасса древостоя после пожара высокой интенсивности снизилась на 62 %, средней – на 22 %, низкой – на 11...17 % от значения до пожара (рис. 3).

В лиственничниках фитомасса древостоя после пожара высокой интенсивности составила 47,83 т/га, средней и низкой – соответственно 65,21 и 103,12 т/га (табл. 6). После высокоинтенсивного пожара фитомасса живых деревьев в лиственничниках снизилась на 49 %, после средне- и низкоинтенсивного – соответственно на 35 и 11...20 % (рис. 3).

Таблица 6

Изменение фитомассы (т/га) древостоев светлохвойных насаждений Нижнего Приангарья

№ участка	Фитомасса древостоев до пожара	Изменение фитомассы после пожара по годам, лет				
		1	2	3	4	5
<i>Сосняки</i>						
1	129,01	117,39	103,20	100,62	100,62	100,62
2	125,15	56,32	47,56	47,56	47,56	47,56
3	171,20	157,50	150,66	145,52	143,81	142,10
4	123,57	117,39	109,98	109,98	109,98	109,98
<i>Лиственничники</i>						
5	126,20	116,09	108,52	107,26	103,48	100,95
6	93,79	61,90	54,40	49,71	49,71	47,83
7	100,96	88,84	85,81	85,81	82,78	–
8	124,24	105,60	103,12	103,12	103,12	–
9	113,81	103,56	103,56	103,56	101,28	–
10	100,32	73,23	73,23	70,22	65,21	–

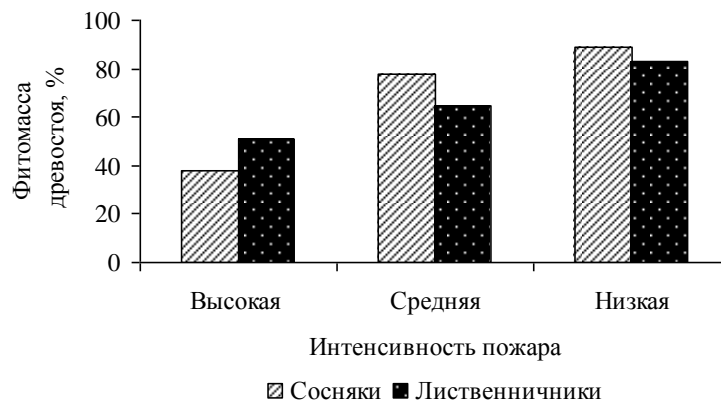


Рис. 3. Изменение (от значения до пожара) фитомассы древостоя в зависимости от интенсивности пожаров в сосняках и лиственничниках

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что послепожарная трансформация фитомассы древостоя в южнотаежных сосняках и лиственничниках определяется интенсивностью пирогенного воздействия. Выявлена тесная связь между величиной отпада деревьев и интенсивностью кромки лесного пожара. Отпад деревьев после пожаров высокой интенсивности в сосняках составил до 62 %, в первом и во втором ярусах лиственничников – соответственно до 49 и 100 %. Основной отпад деревьев

пришелся на первые 2-3 года после пожара. После пожаров выявлено снижение надземной фитомассы древостоев на 11...62 % от их значения до пожара в зависимости от интенсивности пожаров и давности их воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А., Бердси Р.А.* Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 218 с.
2. *Артемяева Н.В., Бузыкин А.И., Исмагилов А.М., Кофман Г.Б.* Оценка продуктивности древостоя // Факторы продуктивности леса: сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 156 с.
3. *Воинов Г.С., Софронов М.А.* Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск: АИЛиЛх, 1976. С. 115–121.
4. *Гордина Н.П.* Пространственная структура и продуктивность сосняков Нижнего Енисея. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 128 с.
5. *Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К.* Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 134–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Евдокименко М.Д.* Жизнеспособность деревьев после низового пожара // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1974. С. 167–196.
7. *Евдокименко М.Д.* Огневые повреждения сосняков рододендроновых в Забайкалье // Проблемы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 207–220.
8. *Жуков А.Б., Коротков И.А., Кутафьев В.П., Назимова Д.И., Савин С.П., Черепникова Ю.С.* Леса Красноярского края // Леса СССР. М.: Наука, 1969. С. 248–320.
9. *Иванова Г.А.* Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках средней Сибири: дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2005. 405 с.
10. *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., Краснощекова Е.Н., Кукавская Е.А., Орешков Д.Н., Перевозникова В.Д., Самсонов Ю.Н., Сорокин Н.Д., Тарасов П.А., Цветков П.А., Шишкин А.С.* Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
11. *Исаев А.С., Уткин А.И.* Низовые пожары в лиственных лесах Восточной Сибири и значение стволовых вредителей в послепожарном состоянии древостоя // Защита лесов Сибири от насекомых вредителей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 118–183.
12. *Курбатский Н.П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
13. *Матвеев П.М.* Послепожарный отпад деревьев в лиственных лесах мерзлотной зоны // Материалы конф. «Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона». Красноярск, 1991. С. 74–78.
14. *Мелехов И.С.* Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 126 с.
15. *Онучин А.А., Спицина Н.Т.* Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. 1995. № 5. С. 48–58.
16. *Орешков Д.Н., Шишкин А.С.* Динамика животного населения при воздействии пожаров разной интенсивности в среднетаежных сосняках Средней Сибири // Сибир. эколог. журн. 2003. Т.10, №6. С. 743–748.

17. Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1969. 156 с.
18. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу / Материалы совещания. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
19. Санникова Н.С. Экологические исследования в лесных и луговых биогеоценозах равнинного Зауралья // Информационные материалы Талицкого стационара. Свердловск: УИЦ АН СССР, 1978. С. 15–19.
20. Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 24 с.
21. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 150 с.
22. Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 115 с.
23. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 250 с.
24. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 635 с.
25. Фуряев В.В., Киреев Д.М. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 160 с.
26. Шешуков М.А. Влияние пожаров на развитие таежных биогеоценозов // Горение и пожары в лесу. Ч. III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1979. С. 81–96.
27. Byram G.M. *Forest Fire: Control and Use*. New York; Toronto; London, 1959, pp. 61–89.
28. Cottam G., Curtis J.T. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 1956, vol. 37, no. 3, pp. 451–460.
29. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, pp. 483–507.
30. 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, no. 6, iss. 4.
31. Kasischke E.S., Christensen N.L., Stocks B.J. Fire, Global Warming and the Carbon Balance of Boreal Forests. *Ecological Applications*, 1995, vol. 5, no. 2, pp. 437–451.
32. Keane R.E., Arno S.F., Brown J.K. FIRESUM – an Ecological Process Model for Fire Succession in Western Conifer Forests. *General Technical Report INT-266, USDA, Forest Service*. Ogden, 1989. 76 p.
33. Keane R.E., Ryan K.C., Finney M.A. Simulating the Consequences of Fire and Climate Regimes on a Complex Landscape in Glacier National Park, Montana. *Tall Timbers Fire Ecology Conf. Proc.*, 1998, vol. 2, pp. 310–324.
34. Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht; Boston; London, 1996, pp. 112–128.
35. 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., Koutzenogii K.P., Kovaleva N. 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.

36. Reinhardt E.D., Keane R.E., Brown J.K. Modeling Fire Effects. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10, no. 3–4, pp. 373–380.

37. Robichaud P.R., Miller S.M. Spatial Interpolation and Simulation of Post-Burn Duff Thickness after Prescribed Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 9, pp. 137–143.

38. Ryan K.S., Reinhardt E.D. Predicting Post-Fire Mortality of Seven Western Conifers. *Canadian J. of Forest Research*, 1988, no. 18, pp. 1291–1297.

39. Wardle D.A., Hornberg G., Zackrisson O., Kalela-Brundin M., Coomes D.A. Long-Term Effects of Wildfire on Ecosystem Properties Across an Island Area Gradient. *Science*, 2003, vol. 300, pp. 972–975.

Поступила 30.09.15

UDC 630*465

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

The Post-Fire Transformation of Forest Stand Phytomass in Plantations of the Lower Angara Region

G.A. Ivanova, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher

S.V. Zhila, Candidate of Biological Sciences, Research Assistant

E.A. Kukavskaya, Candidate of Biological Sciences, Research Officer

V.A. Ivanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the Russian Academy

of Sciences, Akademgorodok 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation;

e-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru

Forest fires affect on tree stands during combustion and for a long period after a fire. The work objective is an assessment and monitoring of the transformation of stand phytomass under the impact of large-scale experimental forest fires of varying intensity in pine and larch forests of the Lower Angara region, Krasnoyarsk Krai. Stand phytomass is estimated by the enumeration survey method of the model trees according to the diameter classes. A five-years monitoring of stand phytomass changes after fires of varying intensity has been carried out. A link of pine and larch phytomass and their individual fractions with morphological features and the tree age has been revealed. Up to 90 % of tree mortality happens in the first 2–3 years after a fire. The close link between the fire intensity and the amount of post-fire tree mortality is established. 3 years later after a fire of high intensity in the pine forest the tree mortality reached 62 %, after the middle and low intensity fires – 22 and 17 % respectively of the total number of trees. The mortality of the first layer trees in the larch stands after the fire of high intensity was 49 %, after the middle and low intensity fires – 35 and 20 % respectively. The mortality of the second layer trees in the larch stands varied from 18...34 % after the low intensity fires, and reached up to 62 % and 100 % after the middle and high intensity fires, respectively. The phytomass of living trees decreased after the fires by 16...62 % in the pine stands and by 15...50 % in the larch forests

For citation: 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*, 2016, no. 6, pp. 17–32. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.17

depending on the fire intensity. The post-fire dynamics of the aboveground stand phytomass in the pine and larch forests was determined by the fire intensity. The fires contribute to the phytomass redistribution of living trees into mortmass that increases as a result of the tree mortality, needle litter and cladoptosis from the trees damaged by fires.

Keywords: south-taiga pine and larch forest, forest fire, fire intensity, stand phytomass, Lower Angara region.

REFERENCES

1. Alekseev V.A., Berdsi R.A. *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii* [Carbon in the Forest and Bog Ecosystems of Russia]. Krasnoyarsk, 1994. 218 p.
2. Artem'eva N.V., Buzykin A.I., Ismagilov A.M., Kofman G.B. Otsenka produktivnosti drevostoya [Estimation of Stand Productivity]. *Faktory produktivnosti lesa* [Forest Productivity Factors]. Novosibirsk, 1989. 156 p.
3. Voinov G.S., Sofronov M.A. Prognozirovaniye otpada v drevostoyakh posle nizovykh pozharov [The Loss of Growing Forest Prediction in the Stands After Surface Fires]. *Sovremennye issledovaniya tipologii i pirologii lesa* [Current Research of Typology and Forest Fire Science]. Arkhangelsk, 1976, pp. 115–121.
4. Gordina N.P. *Prostranstvennaya struktura i produktivnost' sosnyakov Nizhnego Eniseya* [The Spatial Structure and Productivity of Pine Forests of the Lower Yenisei]. Krasnoyarsk, 1985. 128 p.
5. Gusev V.G., Lopukhova E.L., Dubovyy V.K. Klassifikatsiya i obshchie svoystva lesnykh goryuchikh materialov [Classification and the General Properties of Wood Combustible Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 134–145.
6. Evdokimenko M.D. Zhiznesposobnost' derev'ev posle nizovogo pozhara [Trees Viability After Surface Fires]. *Voprosy lesnoy pirologii* [Forest Pyrology Issues]. Krasnoyarsk, 1974, pp. 167–196.
7. Evdokimenko M.D. Ognevye povrezhdeniya sosnyakov rododendronovykh v Zabaykal'e [Fire Damage of Rhododendron Pine Forests in Transbaikalia]. *Problemy lesnoy pirologii* [Problems of Forest Pyrology]. Krasnoyarsk, 1975, pp. 207–220.
8. Zhukov A.B., Korotkov I.A., Kutaf'ev V.P., Nazimova D.I., Savin S.P., Cherebnikova Yu.S. Lesa Krasnoyarskogo kraya [Forests of the Krasnoyarsk Region]. *Lesa SSSR* [Forests of the USSR]. Moscow, 1969, pp. 248–320.
9. Ivanova G.A. *Zonal'no-ekologicheskie osobennosti lesnykh pozharov v sosnyakakh sredney Sibiri: dis. ... dok-ra biol. nauk* [Zonal and Ecological Features of Forest Fires in Pine Forests of Central Siberia: Dr. Biol. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2005. 405 p.
10. Ivanova G.A., Conard S.G., McRae D.D., Beskorovainaya I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Kovaleva N.M., Krasnoshekhova E.N., Kukavskaya E.A., Oreshkov D.N., Perevosnokova V.D., Samsonov Yu.N., Sorokin N.D., Tarasov P.A., Tzvetkov P.A., Shishikin A.S. *Vozdeystvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnykh sosnyakov Sibiri* [The Impact of Fires on the Ecosystem Components of Pine Forests of the Middle Taiga in Siberia]. Novosibirsk, 2014. 232 p.
11. Isaev A.S., Utkin A.I. Nizovye pozhary v listvennichnykh lesakh Vostochnoy Sibiri i znachenie stvolovykh vrediteley v poslepozharom sostoyanii drevostoya [Surface Fires in Larch Forests of Eastern Siberia and the Meaning of Stem Pests in the Post-Fire Condition of Stands]. *Zashchita lesov Sibiri ot nasekomykh vrediteley* [Protection of Siberia Forests from Pests]. Moscow, 1963, pp. 118–183.

12. Kurbatskiy N.P. Issledovanie kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov [The Quantity and Property Research of Forest Combustible Materials]. *Voprosy lesnoy pirologii* [Forest Pyrology Issues]. Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58.

13. Matveev P.M. Poslepozharnyy otpad derev'ev v listvennichnikakh merzlotnoy zony [Post-Fire Tree Mortality in Larch Forests of the Permafrost Zone]. *Materialy konf. "Ispol'zovanie i vosstanovlenie resursov Angaro-Eniseyskogo regiona"* [Proc. Conf. "The Use and Restoration of the Angara-Yenisei Region's Resources"]. Krasnoyarsk, 1991, pp. 74–78.

14. Melekhov I.S. *Vliyanie pozharov na les* [The Impact of Fires on Forests]. Moscow; Leningrad, 1948. 126 p.

15. Onuchin A.A., Spitsina N.T. Zakonomernosti izmeneniya massy khvoi v khvoynykh drevostoyakh [Laws of Change of the Needles Mass in Conifer Stands]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 48–58.

16. Oreshkov D.N., Shishikin A.S. Dinamika zhivotnogo naseleniya pri vozdeystvii pozharov raznoy intensivnosti v srednetaezhnykh sosnyakakh Sredney Sibiri [The Dynamics of Animal Populations under the Influence of Fires of Varying Intensity in the Pine Forests of the Middle Taiga Zone in Middle Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2003, vol. 10, no. 6, pp. 743–748.

17. Pozdnyakov L.K., Protopopov V.V., Gorbatenko V.M. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Sredney Sibiri i Yakutii* [The Biological Productivity of the Forests of Central Siberia and Yakutia]. Krasnoyarsk, 1969. 156 p.

18. Sannikov S.N. Lesnye pozhary kak evolyutsionno-ekologicheskiy faktor vuzobnovleniya populyatsiy sosny v Zaural'e [Forest Fires as the Evolutionary and Ecological Factor of Regeneration of Pine Populations in Trans-Urals]. *Gorenie i pozhary v lesu* [Combustion and Fires in a Forest]. Krasnoyarsk, 1973, pp. 236–277.

19. Sannikova N.S. Ekologicheskie issledovaniya v lesnykh i lugovykh biogeotsenozakh ravninnogo Zaural'ya [Environmental Studies in Forest and Meadow Biogeocenoses of Plain Trans-Urals]. *Informatsionnye materialy Talitskogo statsionara* [Information Materials of the Talitsky Station]. Sverdlovsk, 1978, pp. 15–19.

20. Semechkina M.G. *Struktura fitomassy sosnyakov* [The Phytomass Structure of Pine Forests]. Novosibirsk, 1978. 24 p.

21. Sofronov M.A. *Lesnye pozhary v gorakh Yuzhnoy Sibiri* [Forest Fires in the Mountains of Southern Siberia]. Moscow, 1967. 150 p.

22. Sukachev V.N., Zonn S.V., Motovilov G.P. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Guidelines for the Study of Forest Types]. Moscow, 1957. 115 p.

23. Usol'tsev V.A. *Rost i struktura fitomassy drevostoev* [The Phytomass Growth and Structure of Forest Stands]. Novosibirsk, 1988. 250 p.

24. Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii. Metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [The Biological Productivity of Forests of Northern Eurasia. The Methods, Database and Its Applications]. Yekaterinburg, 2007. 635 p.

25. Furyaev V.V., Kireev D.M. *Izuchenie poslepozharnoy dinamiki lesov na landshaftnoy osnove* [A Study of the Post-Fire Forest Dynamics on the Landscape Basis]. Novosibirsk, 1979. 160 p.

26. Sheshukov M.A. Vliyanie pozharov na razvitie taezhnykh biogeotsenozov [The Impact of Fires on the Development of Boreal Ecosystems]. *Gorenie i pozhary v lesu. Ch. III. Lesnye pozhary i ikh posledstviya* [Combustion and Fires in a Forest. Part 3. Forest Fires and Their Consequences]. Krasnoyarsk, 1979, pp. 81–96.

27. Byram G.M. *Forest Fire: Control and Use*. New York; Toronto; London, 1959, pp. 61–89.

28. Cottam G., Curtis J.T. The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 1956, vol. 37, no. 3, pp. 451–460.
29. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, pp. 483–507.
30. 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, no. 6, iss. 4.
31. Kasischke E.S., Christensen N.L., Stocks B.J. Fire, Global Warming and the Carbon Balance of Boreal Forests. *Ecological Applications*, 1995, vol. 5, no. 2, pp. 437–451.
32. Keane R.E., Arno S.F., Brown J.K. FIRESUM – an Ecological Process Model for Fire Succession in Western Conifer Forests. *General Technical Report INT-266, USDA, Forest Service*. Ogden, 1989. 76 p.
33. Keane R.E., Ryan K.C., Finney M.A. Simulating the Consequences of Fire and Climate Regimes on a Complex Landscape in Glacier National Park, Montana. *Tall Timbers Fire Ecology Conf. Proc.*, 1998, vol. 2, pp. 310–324.
34. Korovin G.N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht; Boston; London, 1996, pp. 112–128.
35. 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., Koutzenogii K.P., Kovaleva N. 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.
36. Reinhardt E.D., Keane R.E., Brown J.K. Modeling Fire Effects. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10, no. 3–4, pp. 373–380.
37. Robichaud P.R., Miller S.M. Spatial Interpolation and Simulation of Post-Burn Duff Thickness after Prescribed Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 9, pp. 137–143.
38. Ryan K.S., Reinhardt E.D. Predicting Post-Fire Mortality of Seven Western Conifers. *Canadian J. of Forest Research*, 1988, no. 18, pp. 1291–1297.
39. Wardle D.A., Hornberg G., Zackrisson O., Kalela-Brundin M., Coomes D.A. Long-Term Effects of Wildfire on Ecosystem Properties Across an Island Area Gradient. *Science*, 2003, vol. 300, pp. 972–975.

Received on September 30, 2015
