

## **ОЦЕНКА ЭМИССИИ УГЛЕРОДА ПРИ ПОЖАРАХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В СОСНЯКАХ СИБИРИ**

*Галина Александровна Иванова*

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 660036, Россия, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесной пирологии, тел. (391)249-44-62, e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

*Валерий Александрович Иванов*

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева, 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 82, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и защиты леса, тел. (391)249-54-29, e-mail: ivanovv53@yandex.ru

В связи с глобальным изменением климата особое внимание уделяется количественному содержанию парниковых газов в атмосфере. В настоящее время лесные пожары являются одним из главных источников газовой и аэрозольной эмиссии в атмосферу. На основе проведенных экспериментальных исследований получены данные по эмиссии углерода при пожарах разной интенсивности в сосновых лесах Сибири. Наиболее важными факторами, определяющими количество сгоревшей биомассы и величину эмиссии углерода, является вид и интенсивность пожара. Пожары высокой интенсивности оказывают наибольшее воздействие на экосистему и величину эмиссии углерода. При возрастании числа крупных высокоинтенсивных пожаров можно ожидать увеличение пирогенной эмиссии углерода в атмосферу.

**Ключевые слова:** лесной пожар, интенсивность пожара, эмиссия углерода, сосняки, Сибирь

## **ESTIMATING CARBON EMISSIONS FROM FIRES OF DIFFERENT INTENSITY IN THE PINE FORESTS OF SIBERIA**

*Galina A. Ivanova*

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, 50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, D. Sc., Leading Researcher of the Laboratory of Forest Pyrology, phone: (391)249-44-62, e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

*Valery A. Ivanov*

Siberian State University of Science and Technology named after M. F. Reshetnev, 82, Mira St., Krasnoyarsk, 660049, Russia, D. Sc., Professor of the Department of Forestry and Forest Protection, phone: (391)2495429, e-mail: ivanovv53@yandex.ru

In connection with global climate change, special attention is paid to the quantitative content of greenhouse gases in the atmosphere. Currently, forest fires are one of the main sources of gas and aerosol emissions into the atmosphere. Based on the conducted experimental studies, data on carbon emissions from fires of different intensity in the pine forests of Siberia were obtained. The most important factors affecting the amount of burned biomass and the amount of carbon emissions are the type and intensity of the fire. High-intensity fires have the greatest impact on the ecosystem and the amount of carbon emissions. With an increase in the number of large high-intensity fires, an increase in pyrogenic carbon emissions into the atmosphere can be expected.

**Keywords:** Forest fire, fire intensity, carbon emission, pine forests, Siberia

В последние десятилетия на территории Сибири количество лесных пожаров также увеличивается [1]. И в ближайшие десятилетия в бореальной зоне ожидается возрастание горимости лесов, более чем в два раза [2]. В результате горения лесных горючих материалов (ЛГМ) в атмосферу поступают продукты горения, как в газообразном виде, так и в виде аэрозольного вещества. Аэрозоли оказывают влияние на поглощение и рассеяние солнечного света, на протекание химических процессов в атмосфере, на формирование смога и тумана, а также на чистоту вдыхаемого воздуха [3, 4]. В бореальных лесах России эмиссии углерода при пожарах оцениваются от 35 до 93 МтС/год и могут достигать 150 МтС/год [5].

На территории России сосновые леса сосредоточены в Сибири, где они составляют до трети от всех хвойных лесов. На них приходится более половины общего количества лесных пожаров, интенсивность которых широко варьирует. Прогнозируемое изменение климата, как ожидается, может привести к увеличению частоты лесных пожаров и их площади [2]. Это может вызвать деградацию лесорастительных условий и повлиять на объем эмиссии углерода при лесных пожарах. Поэтому важна оценка эмиссии углерода при лесных пожарах разной интенсивности.

### ***Методы и материалы***

Исследования проведены на территории Красноярского края в сосняках средней и южной подзоны тайги в бассейне р. Енисей на Сымской равнине (60°38' с. ш., 89°41' в. д.) и бассейне реки Ангара. Сосняки на экспериментальных участках кустарничково-лишайниково-зеленомошного типа леса. При оценке структуры и запасов напочвенных ЛГМ использовали методики Н. П. Курбатского [6] и Д. Дж. Макрея с соавт. [7]. Эксперименты по моделированию поведения пожара представляли собой контролируемые выжигания, при которых зажигание проводили по направлению ветра от одной из сторон участка. При этом моделировали распространение фронтальной кромки пожара [8].

### ***Результаты и обсуждение***

Все сосняки были пройдены низовыми пожарами. Интенсивность на кромке горения варьировала от 878 кВт/м у низкоинтенсивного пожара до 5611 кВт/м у пожара высокой интенсивности [8, 9]. В отдельных точках интенсивность горения в сосняке лишайниково-зеленомошном достигала 25-40 тыс. кВт/м [10].

Пирогенные эмиссии определяются количеством сгоревших лесных горючих материалов (ЛГМ) при пожаре. Полнота сгорания ЛГМ при пожарах в сосняках на экспериментальных участках составила от 26.1 до 74.1 % от допозарного запаса (табл. 1). При пожаре сгорают в основном напочвенные ЛГМ, к которым относятся мхи и лишайники, опад, упавшие мелкие ветви и сучья (УДГМ), частично подстилка и валеж. Травы и кустарнички сгорают вместе с опадом, лишайниками и мхами или погибают от термического воздействия.

## Полнота сгорания ЛГМ при пожарах разной интенсивности в сосняках

№ п/п	Интенсивность пожара	Вид ЛГМ					
		травы, кустарнички	УДГМ	опад	мхи, лишайники, подстилка	Всего	
		% от запаса до пожара				т/га	%
Среднетаежные сосняки							
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
Южнотаежные сосняки							
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 с интенсивностью до 2000 кВт/м отнесены к низкоинтенсивным, от 2001 до 4000 кВт/м – к среднеинтенсивным и более 4000 кВт/м – к высокоинтенсивным [7].

Выявлена тесная связь количества сгоревших ЛГМ при пожарах в сосняках с предшествующими погодными условиями, определяющими их высыхание, характеризуемые показателем ПВ-1, при расчете которого используются данные об осадках, температуре воздуха и температуре точки росы [11] (рис. 1).

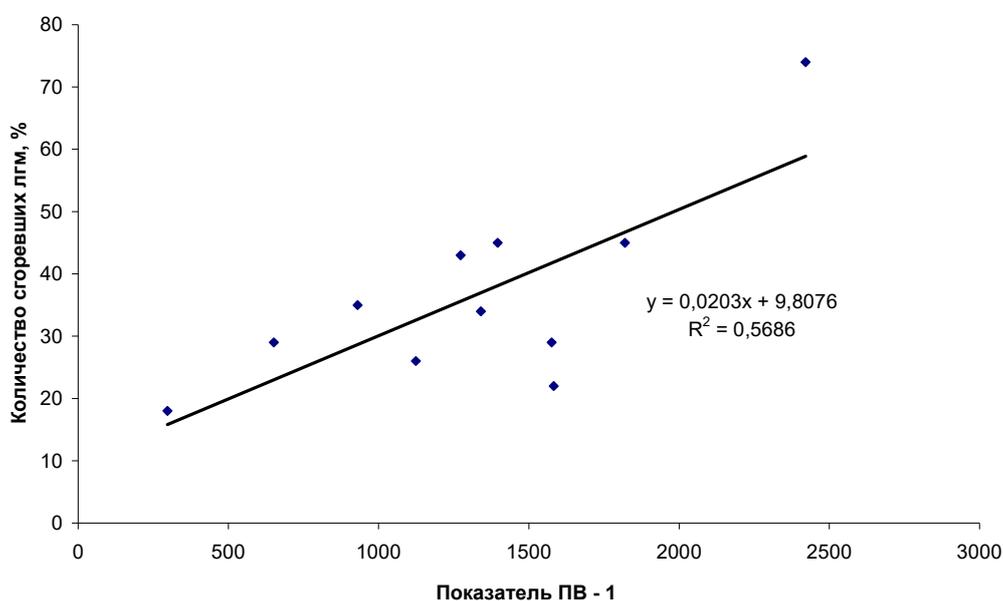


Рис. 1. Влияние погодных условий (ПВ-1) на долю сгоревших при пожарах ЛГМ (% от допозарного запаса) в сосняках

Пожарная эмиссия углерода в среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошных составила от 5,39 до 15,37 тС/га, а в южнотаежных сосняках от 5,65 до 15,7 тС/га (табл. 2). Вклад опада и УДГМ в эмиссию углерода составляет

от 10 до 22%. Наибольшее количество углерода (74 – 88%) высвободилось при сгорании мхов, лишайников и подстилки. Величина эмиссии углерода при низовых пожарах определяется интенсивностью горения на кромке пожара (коэффициент корреляции 0,75), а также предшествующими погодными условиями, характеризующимися показателем ПВ-1 (коэффициент корреляции 0,80).

Таблица 2

Вклад разных видов горючих материалов в эмиссию углерода при пожарах разной интенсивности, в %

№ п/п	Интенсивность пожара	Эмиссия углерода, тС/га	Вид ЛГМ, %			
			травы и кустарнички	опад	УДГМ	мхи, лишайники, подстилка
Среднетаежные сосняки						
1	Высокая	15,37	2.2	8.3	14.3	75.2
2	Средняя	11,97	1.2	4,6	5.6	88.6
3	Низкая	5,39	4.3	16.5	5.2	74.0
Южнотаежные сосняки						
4	Высокая	15.70	2.8	4.7	11.3	81.2
5	Средняя	9.60	1.6	8.3	14.6	75.5
6	Низкая	5.65	4.4	15.9	4.5	75.2

Пожары вызывают нарушение соотношения продукционных и деструкционных процессов в насаждении, степень которого определяется интенсивностью пожара. Разовая пирогенная эмиссия при высокоинтенсивных пожарах в сосняках превосходит ежегодные потери углерода от разложения органического вещества более чем в 12 раз (Иванова, Иванов, 2015).

В последние десятилетия наблюдается тенденция увеличения количества и площади пожаров в лесах Сибири. Количество пожаров при этом варьирует из года в год, обуславливая пространственную и временную изменчивость эмиссии углерода.

Вариабельность эмиссии углерода при пожарах обусловлена как метеорологическими условиями, так и различиями в запасах и типе лесных горючих материалов. Так, по официальным статистическим данным Авмалесоохраны при пожарах в лесах Нижнего Приангарья Красноярского края за 2000-2020 гг. пирогенные эмиссии углерода при горении варьировали от 37 тыс. тС (2000 г.) до 5.8 MtС в год (2006 г) (рис. 2). За последние 20 лет при лесных пожарах в данном регионе суммарно выделилось около 17.8 MtС.

Таким образом, в результате наших исследований получены данные по воздействию лесных пожаров разной интенсивности на прямые пожарные эмиссии углерода в сосновых насаждениях. Полученные данные могут быть использованы при оценке эмиссии парниковых газов и экологического ущерба от лесных пожаров в светлохвойных насаждениях, наиболее представленных на территории Сибири.

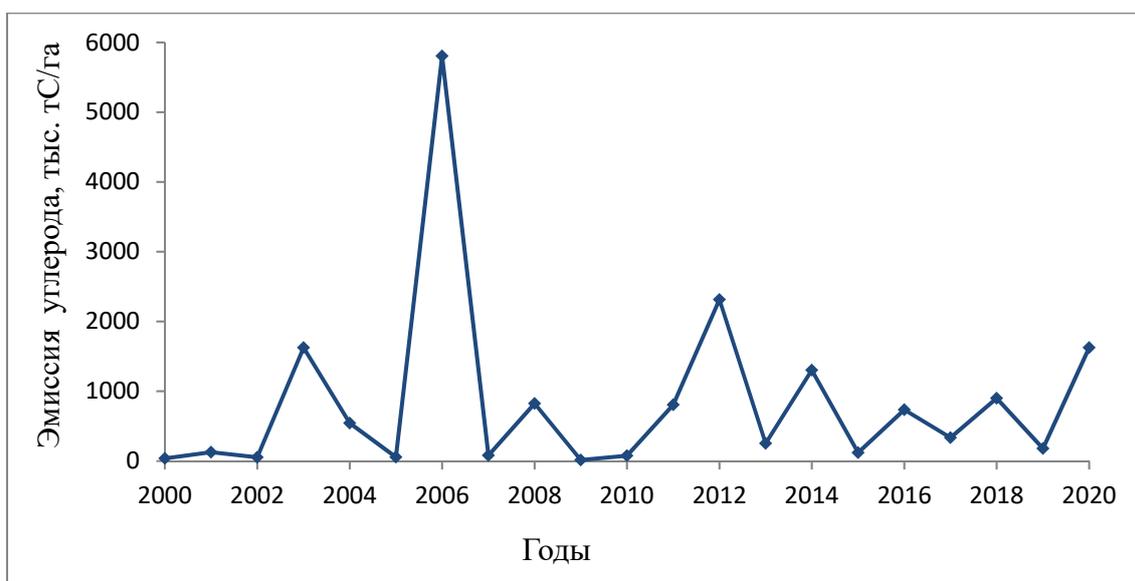


Рис. 2. Эмиссия углерода при лесных пожарах в Нижнем Приангарье

*Исследования выполнены при финансовой поддержке СО РАН и РФФИ (грант № 19-58-80002 БРИКС-т).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Conard S.G., Ponomarev E.I. Fire in the North the 2020 Siberian fire season // Wildfire Magazine. - October 2020.- P.26-31.
2. Flannigan MD, Fighting fire with science // Nature 576: 328. - 2019. [https://doi: 10.1038/d41586-019-03747-2](https://doi.org/10.1038/d41586-019-03747-2).
3. Кондратьев К. Я., Исидоров В. А. Воздействия сжигания биомассы на химический состав атмосферы // Оптика атмосферы и океана. – 2001. - т.14.- №2. - С. 106-115.
4. Аэрозоли Сибири. Отв. ред. К.П. Куценогий // Интеграционные проекты СО РАН. вып. 9. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
5. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. Оценка запасов и депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение.– 1993. – № 6. – С. 3-10.
6. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. // Вопросы лесной пирологии. - Красноярск, 1970. С. 5–58.
7. McRae D.J., Alexander M.E. and Stocks B.J. Measurement and description of fuel and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Dept. Environ., Can. For. Serv.- Sault Ste. Marie - ON. Rep. O-X-287. – 1979.
8. Иванова Г. А., Иванов А. В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск : Наука.- 2015.- 240 с.
9. Variability of Fire Behavior Fire Effects and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia / McRae D. J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W. // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. – 2006.– Vol. 11. – №1. – P. 45-74.
10. McRae D.J., J.-Z. Jin, Conard S.G., Sukhinin A.I., Ivanova G.A., and Blake T.W. Infrared characterization of fine-scale variability in behavior of boreal forest fires // Canadian journal of forest research. – 2005. – Vol.35.- №9. -P. 2194-2206. DOI: 10.1139/X05-096.
11. Вонский С.М., Жданко В.А., Корбут В.И. и др. Определение природной пожарной опасности в лесу. Методические рекомендации. – Л.: ЛенНИИЛХ.–1975.– 40 с.

© Г. А. Иванова, В. А. Иванов, 2021