

Младова Т. А., Муллер Н. В., Младов А. С.
T. A. Mladova, N. V. Muller, A. S. Mladov

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ

MODELING OF FOREST FIRE CONDITIONS IN KHABAROVSK KRAI

Младова Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Tatyana A. Mladova – PhD in Engineering, Associate Professor, Cadasters and Technosphere Security Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Муллер Нина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: only_nina@mail.ru.

Nina V. Muller – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Cadasters and Technosphere Security, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: only_nina@mail.ru.

Младов Алексей Сергеевич – магистрант кафедры «Прикладная математика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Aleksey S. Mladov – Master's Degree Student, Applied Mathematics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Аннотация. В статье проведены исследования и анализ причин возникновения лесных пожаров, в том числе и травяных пожаров в Хабаровском крае. В ходе исследования проанализированы зависимости возникновения пожаров от различных причин природного и антропогенного происхождения, сформированы модели расчёта на основе корреляционной зависимости. Применительно к лесным пожарам предложенная модель в соответствии с выявленной приоритетной причиной поможет определить вероятную площадь возгорания и принять соответствующие меры.

Summary. The article studies and analyzes causes of forest fires, including grass fires in the Khabarovsk Territory. In the course of the study, the dependences of the fire occurrence on various causes of natural and anthropogenic origin were analyzed, calculation models based on correlation dependence were formed. In relation to forest fires, the proposed model, in accordance with the identified priority cause, will help determine the likely area of ignition and take appropriate measures.

Ключевые слова: лесной пожар, загрязнение окружающей природной среды, статистика, зависимость, корреляционная связь.

Key words: forest fire, environmental pollution, statistics, dependence, correlation.

УДК 504.054

Проблема лесных пожаров на сегодняшний день остаётся по-прежнему актуальной. Лишь в начале 2022 г. в Хабаровском крае ликвидировано более 400 пожаров растительного происхождения. В некоторых случаях палы угрожали местным жителям. Среди основных причин возникновения пожара можно выделить человеческий фактор (беспечное обращение с огнём, выжигание солом, травы, непотушенные окурки и костры) и природные явления. Ввиду сложной пожарной ситуации правительство Хабаровского края выпустило Распоряжение о создании особого противопожарного режима от 22 апреля 2022 г. № 498-РП.

К решающим факторам для успешной ликвидации пожаров можно отнести: подготовку личного состава пожарной части, повышенный уровень готовности подразделений, новые технологии в проведении аварийно-спасательных работ и модернизацию систем пожаротушения. Одними из условий производимого пожарного надзора и прогноза неблагоприятных ситуаций являются анализ и изучение статистики произошедших пожаров.

Для выявления зависимости сложившейся экологической ситуации от пожаров проведём анализ статистических данных за период с 2017 по 2020 гг. в Хабаровском крае (см. табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели обстановки с пожарами за 2017-2020 гг. по Хабаровскому краю

Количество пожаров	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Всего, ед.	3061	2874	11 530	8228
Количество лесных пожаров, ед.	483	461	479	430

Статистика по количеству пожаров, в том числе лесных, за период 2017 по 2020 гг. представлена на рис. 1.



Рис. 1. Сравнительный анализ пожаров в Хабаровском крае

Резкий всплеск пожаров был зафиксирован в 2019 г. Однако количество лесных пожаров при этом значительно не выросло, а находилось на протяжении рассматриваемых лет почти на одном уровне. Для составления математической модели причин возникновения лесных пожаров необходимо исследовать приоритетный вид пожара – травяной, который является источником возникновения масштабных возгораний.

Проведём анализ влияния травяных пожаров на экологию лесных сообществ. Приведём статистику о травяных пожарах и причинах их развития на основе экологических отчётов и рассчитанные в данной работе коэффициенты корреляции (см. табл. 2).

Независимой переменной является площадь, а зависимой переменной – молнии. Для расчёта коэффициента корреляции необходимо использовать данные, представленные в табл. 3.

Выявим корреляционную связь между показателями: количеством причин пожаров от молнии X и количеством пожаров Y , ед.

На основе данных по табл. 3 произведём расчёт:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{109,57}{10} = 10,957;$$

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = \frac{6,31}{10} = 0,631;$$

$$SS_{XX} = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 = 1307,0911 - \frac{109,57^2}{10} = 106,532 61;$$

$$SS_{YY} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 = 4,5058 - \frac{6,31^2}{10} = 0,526 89;$$

$$SS_{XY} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right)^2 = 71,405 - 109,57 \frac{6,31}{10} = 2,266 33.$$

Таблица 2

Статистические данные по причинам возникновения лесных пожаров

Год	Площадь, млн га	Причины возникновения			
		Человеческие	Молния	Температура	Ветер
2022	16,51	9,7	1	32	2,4
2021	12,8	98,7	0,8	35	2,4
2020	9,27	91,7	0,9	34	3,2
2019	10,05	89,4	0,7	28	3,5
2018	13,84	96,4	0,3	30	2,4
2017	8,6	99	0,4	28	2,1
2016	14,2	87,9	0,4	23	2,1
2015	11,5	95,8	0,5	30	2,7
2014	7,5	92,1	0,77	34	2,3
2013	5,3	94,7	0,34	32	2,64
Коэффициент корреляции		0,78	0,302	0,8	0,55
Степень связи между переменными		Сильная	Умеренная	Сильная	Умеренная

Таблица 3

Статистические данные по причинам возникновения лесных пожаров от молнии

Площадь возгорания S , млн га	Причина Молнии M	$S*M$	S^2 , млн га ²	M^2	
16,51	1	16,51	272,5801	1	
12,8	0,8	10,24	163,84	0,64	
9,27	0,9	8,343	85,9329	0,81	
10,05	0,7	7,035	101,0025	0,49	
13,84	0,3	4,152	191,5456	0,09	
8,6	0,4	3,44	73,96	0,16	
14,2	0,5	7,1	201,64	0,25	
11,5	0,77	8,855	132,25	0,5929	
7,5	0,34	2,55	56,25	0,1156	
5,3	0,6	3,18	28,09	0,36	
Sum =	109,57	6,31	71,405	1307,0911	4,5085

На основе вышеприведённых расчётов коэффициент корреляции равен

$$r = \frac{SS_{XY}}{\sqrt{SS_{XX} * SS_{YY}}} = 0,302.$$

Таким образом, на основании информации, представленной выше, коэффициент корреляции составляет $r = 0,302$. Составим диаграмму рассеяния (см. рис. 2), изображающую значения двух переменных в виде точек на декартовой плоскости.

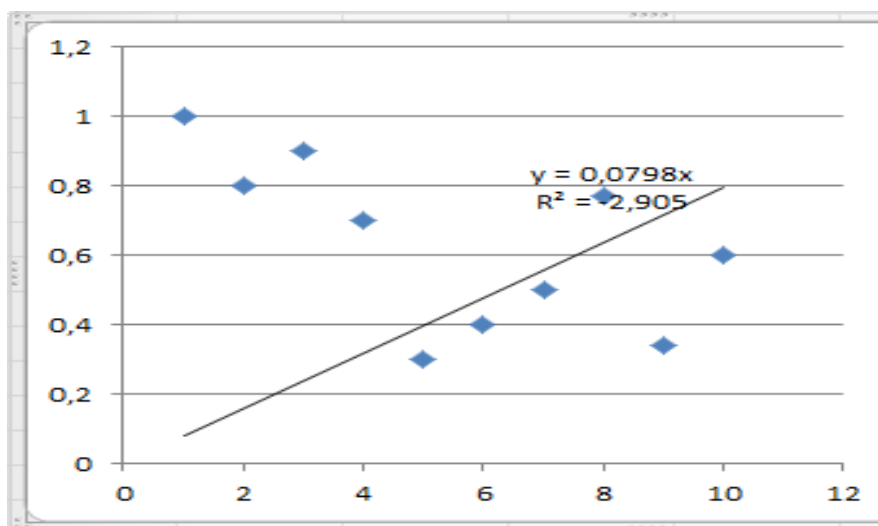


Рис. 2. Зависимость травяных пожаров от молний

В качестве вывода установим, что корреляционная зависимость пожаров от молний умеренная.

Проведём анализ влияния травяных пожаров от изменения температуры окружающего воздуха (см. табл. 4 и рис. 3).

В качестве вывода установим, что корреляционная зависимость температуры и пожаров сильная.

По аналогии рассчитана зависимость пожаров от ветра (умеренная) и от человеческого фактора (сильная).

Таблица 4

Статистические данные по причинам возникновения лесных пожаров от температуры окружающей среды

Площадь возгорания S , млн га	Причина температура T	$S*T$	S^2 , млн га ²	T^2
16,51	0,9	14,859	272,5801	1
12,8	1,2	15,36	163,84	0,81
9,27	0,8	7,416	85,9329	1,44
10,05	0,65	6,5325	101,0025	0,4225
13,84	1,4	19,378	191,5456	1,96
8,6	1,4	12,04	73,96	1,96
14,2	1,4	19,88	201,64	1,96
11,5	0,87	10,005	132,25	0,7589
7,5	0,99	7,425	56,25	0,9801
5,3	0,78	4,134	28,09	0,6084
Sum =	109,57	117,0275	1307,0911	11,5370

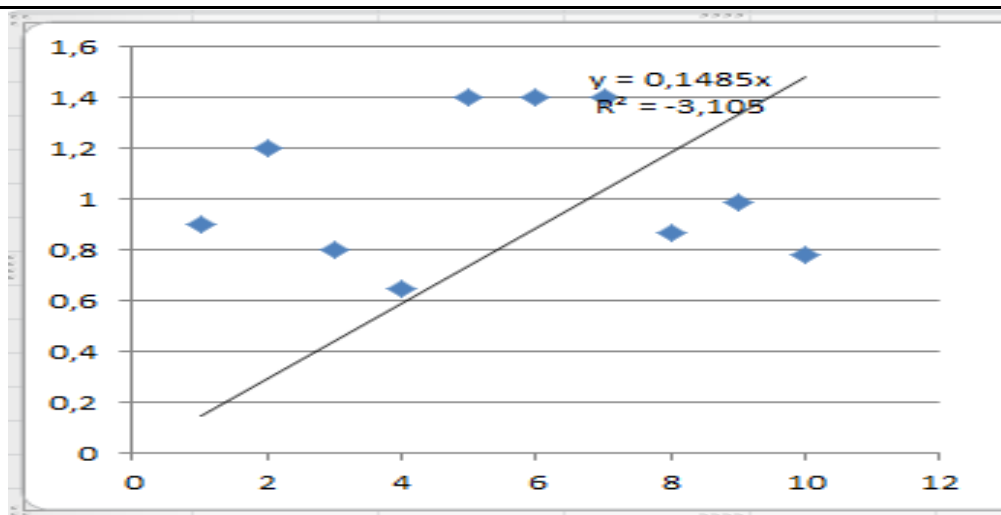


Рис. 4. Зависимость травяных пожаров от температуры окружающей среды

Можно предположить, что площадь травяных палов увеличится от температуры на 1,482 млн га, от человеческого фактора – на 0,989 млн га, от молний – на 0,0798 млн га, от ветра – на 0,1485 млн га.

Большой процент пожаров приходился на Комсомольский район, поэтому для выполнения оценки загрязнения воздуха в г. Комсомольске-на-Амуре разработана информационная модель загрязнения воздушной среды выбросами лесных пожаров (ЛП). Прежде всего учитывались вещества токсического действия, вред воздействия которых на организм подтверждён: оксид углерода; диоксид углерода; метан; азот; сера; диоксид серы; сероводород; бенз(а)пирен.

Для анализа пожаров используем статистические данные, представленные в табл. 5.

Таблица 5

Показатели причин лесных пожаров в Комсомольском районе

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Зарегистрировано возгораний	18 010	10 200	13 400	12 350	10 200	15 160	11 400	11 025	11 100	10 300	10 200
Площадь возгораний S , млн га	2,3	1,4	2,8	3,7	1,3	1,8	2,5	1,8	1,5	1,1	1,2
Причина возгорания	Процент от общего числа										
Человеческий фактор	10	20	15	19	25	14	13	10	11	16	10
Природный фактор	25	20	25	14	20	11	17	40	30	14	15
Сельскохозяйственные палы	10	10	15	25	20	23	25	20	25	19	20
Поджоги	15	20	19	15	25	23	13	19	20	20	19
Грозовые разряды	5	8	10	11	7	10	14	7	10	20	10
Пройдено огнём, млн га	2,3	1,4	2,8	3,7	1,3	1,8	2,5	1,8	1,5	1,1	1,2
Ущерб, млрд р.	2,1	3	3,4	3,8	2,6	1,1	2,7	2	2	2,1	3,8

По результатам статистических данных построены графики, где видны общая тенденция уменьшения количества пожаров в рамках 10-летнего интервала (см. рис. 5), причины пожаров (см. рис. 6) и ущерб от пожаров (см. рис. 7).

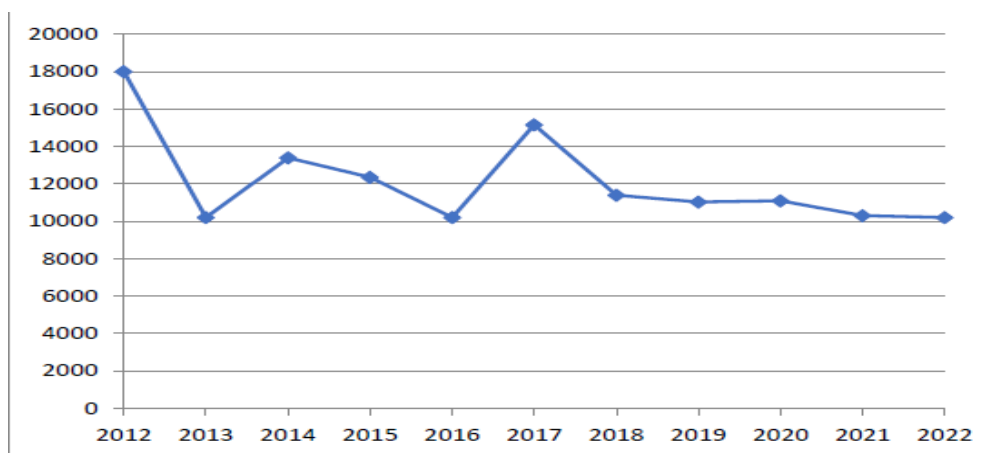


Рис. 5. Общее количество пожаров в Комсомольском районе

Процентное соотношение причин возгораний в среднем находится в интервале от 4 до 25 % от общего количества, за исключением 2019 г., когда было зафиксировано рекордное количество возгораний по причинам природного фактора.

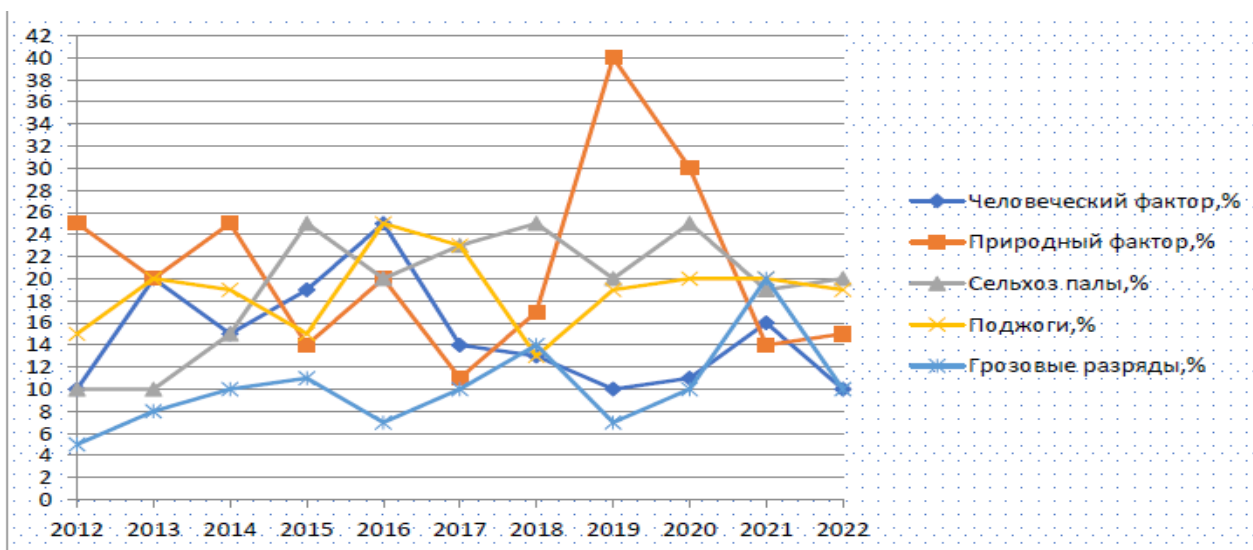


Рис. 6. Причины возгорания пожаров в Комсомольском районе

При графическом сравнении зависимостей пройденного огнём пути и нанесённого, как следствие, ущерба наблюдается прямая взаимосвязь данных событий, однако исключением является 2022 г., когда была зафиксирована относительно небольшая площадь пройденного расстояния огнём, сопровождающаяся рекордным ущербом, зафиксированным ранее только в 2015 г.

В результате исследований были установлены зависимости влияния пожаров на экологическую ситуацию с указанием первоочередных причин возникновения пожаров.

Полученные коэффициенты данной математической модели применительно к лесным пожарам позволяют определить вероятную площадь возгорания в зависимости от причин.

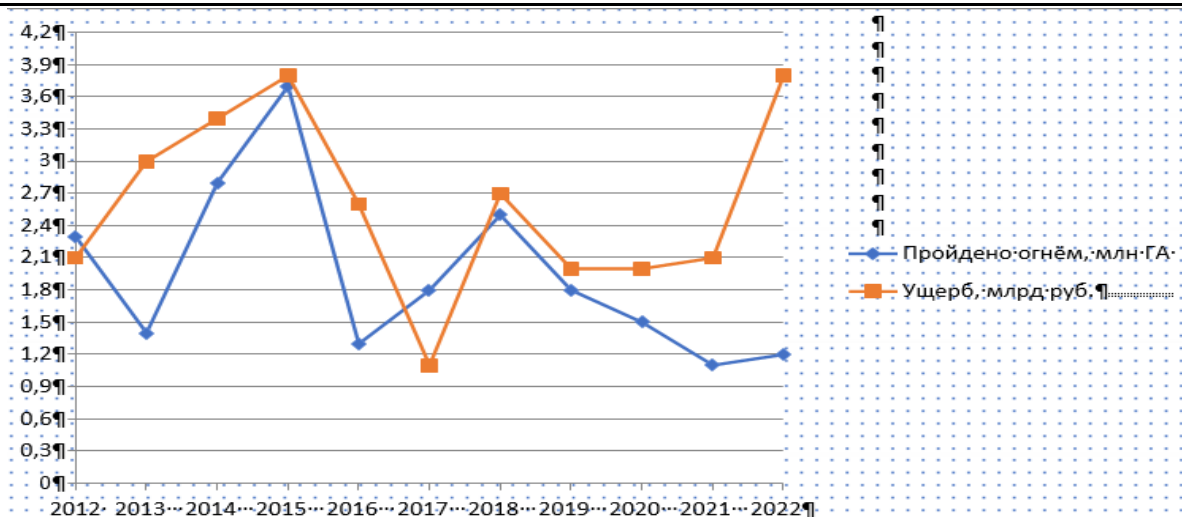


Рис. 7. Ущерб от пожаров возгорания

Моделирование является полезным инструментом предвидения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Модель, представленная в данной работе, позволяет минимизировать вероятность возникновения пожаров и их последствий с помощью предвидения событий, значительно снизить площади возгораемой территории, уменьшая экологический ущерб и повышая экономическую эффективность затрат на тушение пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, А. М. Роль лесных пожаров как экологического фактора / А. М. Матвеев, Т. А. Матвеева // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие», январь, 2018 г. – СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – С. 100-105.
2. Епринцев, С. А. Изучение очагов лесных пожаров на европейской территории России по данным дистанционного зондирования как фактора экологической безопасности / С. А. Епринцев, М. А. Дорофеева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 12-8. – С. 89-92.
3. Несговорова, Н. П. Изучение проблемы лесных пожаров как фактора экологической опасности: региональный аспект / Н. П. Несговорова, В. Г. Савельев, Г. В. Иванцова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-6. – С. 1207-1211.
4. Медведева, А. В. Лесные пожары как экологическая проблема / А. В. Медведева // Молодой учёный. – 2020. – № 18 (308). – С. 223-224.
5. Исаева, Л. К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф: учеб. пособие / Л. К. Исаева. – М.: Академия ГПС МВД России, 2001. – 301 с.
6. Телицын, Г. П. К оценке экологических последствий лесных пожаров / Г. П. Телицын, В. В. Острошенко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2008. – № 21-3. – С. 130-133.
7. МЧС России, сайт. – URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 27.03.2023). – Текст: электронный.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с.
9. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2020 году / Министерство природных ресурсов Хабаровского края, 2021. – 255 с. – URL: <https://www.dtu.net.ru/media/Государственный%20доклад%20о%20состоянии%20.pdf> (дата обращения: 27.03.2023). – Текст: электронный.