

УДК 519.673

Д. К. Берденова<sup>1</sup>, А. Б. Алькина<sup>1</sup>, Д. К. Абдикаримов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина  
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан

<sup>2</sup>Академия Гражданской защиты МЧС Российской Федерации, Московская область,  
Химки, Российская Федерация

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

*Аннотация.* В статье рассмотрено прогнозирование количества пожаров в Карагандинской области на 2022-2024 годы методом наименьших квадратов. Была построена линейная регрессионная модель, получен тренд графика. Точечное прогнозирование наиболее наглядно представляется в случае парной линейной регрессии, где возможна графическая экстраполяция (продолжение) линии модели. Для вычислений использовался пакет программы табличного процессора Microsoft Excel.

*Ключевые слова:* прогнозирование, пожары, статистика, математическая модель, метод линейной регрессии, тренд, доверительный интервал.

Сбор и использование статистических данных находит самое широкое применение в различных областях науки и практической деятельности. Благодаря пожарной статистике можно провести анализ деятельности и функционирования органов управления, подразделений и организаций МЧС Республики Казахстан. Главная задача в статистике пожаров – это изучение их показателей, последствий, тенденций, закономерностей.

Прогнозирование пожаров на различных объектах, жилых зданий и непосредственно населённых пунктов – это один из способов проведения работ по профилактике и предотвращению пожаров [1]. На сегодняшний день есть большое количество компьютерных программ, предназначенных для прогнозирования любых направлений в выбранной области.

В данной статье рассмотрим, как можно прогнозировать значения по имеющимся данным с помощью регрессионного анализа. Регрессионный анализ – это статистический метод, позволяющий найти уравнение, наилучшим образом описывающее множество данных [2, 3]. Суть регрессионного анализа определяется некоторой математической моделью – уравнением, где между случайной величиной  $y$  (зависимой) и значениями одной или нескольких переменных величин (независимых), установлена форма зависимости. Проведем прогнозирование пожаров на определенный год методом линейной регрессии. Линейная регрессия (линейная регрессионная модель), набор точек с координатами  $(x_k; y_k)$ , которая сводится к нахождению уравнения вида [3]:

$$y_k = \overset{\text{тренд}}{(ax_k + b)} + \overset{\text{шум}}{e_k} \quad (1)$$

где  $(ax_k + b)$  - истинная зависимость (тренд),  $e_k$  - случайные колебания (шум).

Идентификацией линейной модели парной регрессии является метод наименьших квадратов, классический метод прогнозирования. Для составления прогноза общего количества пожаров на 2022-2024 годы, будем использовать данные общего количества пожаров (выборка) за 2012-2021 годы по Карагандинской области Республики Казахстан. Статистические данные по общему количеству пожаров за 2012-2021 годы по Карагандинской области Республики Казахстан представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Общее количество пожаров за 2012-2021 годы по Карагандинской области Республики Казахстан

год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
общее кол-во пожаров за год	2380	2013	2028	1889	1783	1939	1787	1585	1434	1086	<b>746</b>

Основные особенности метода наименьших квадратов [3]:

- 1) Наиболее простой с вычислительной точки зрения.
- 2) Оценки коэффициентов регрессии по МНК при определенных предпосылках обладают рядом оптимальных свойств.

Согласно метода наименьших квадратов, нужно найти коэффициенты  $a$ ,  $b$  такие, чтобы минимизировать квадрат разности между аналитической функцией и экспериментальными данными [3, 4]:

$$Z = \sum_{i=0}^n [f(x_i) - \varphi(x)]^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Чтобы функция приняла конкретный вид, необходимо по экспериментальным данным провести вычисления и подставить значения в систему (3):

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (3)$$

Иногда дополнительно к нахождению уравнения регрессии требуется: найти остаточную дисперсию, сделать прогноз значений, найти значение коэффициента корреляции, проверить качество аппроксимации и значимость модели. Для расчетов воспользуемся средствами программы табличного процессора Microsoft Excel [4, 5].

На рисунке 1 представлены данные по общему количеству пожаров в год и построена регрессивная модель - точечный график:

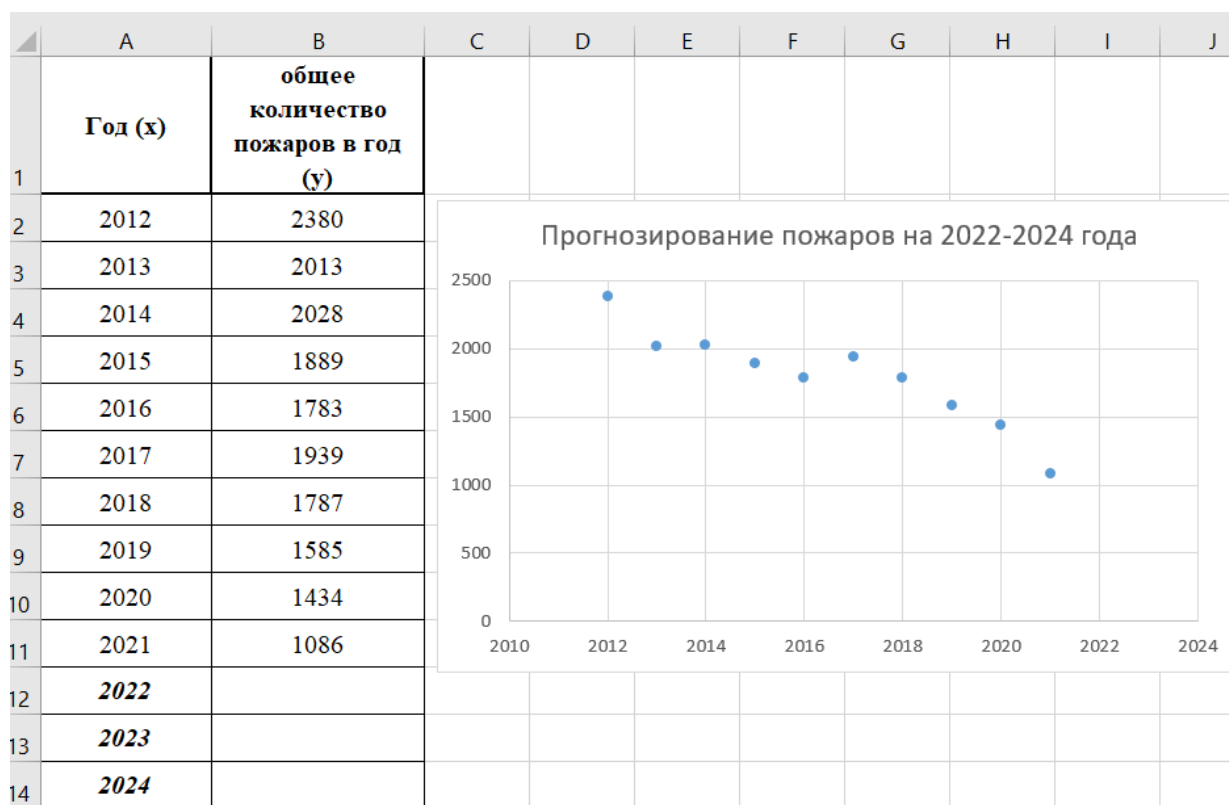


Рисунок 1 - Регрессионная модель

При этом данные за 2022 год не учитывали, т. к. календарный год не окончен, соответственно могут возникнуть неточности при вычислении прогноза. В MS Excel аппроксимация экспериментальных данных осуществляется путем построения их точечного графика с последующим подбором подходящей аппроксимирующей функции (линии тренда). В нашем случае, трендом будет прямая  $y = a^*x + b^*$ . Вычислим коэффициенты  $a$  и  $b$  [5], (таблица 2) используя формулы (4):

$$a^* = \frac{\overline{yx} - \overline{y} \cdot \overline{x}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2}, \quad b^* = \overline{y} - a^* \cdot \overline{x} \quad (4)$$

Таблица 2 – Вычисление коэффициентов  $a$  и  $b$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Год (x)	Общее количество пожаров за год (y)	$x*y$	$x^2$	Тренд		$\pm 1,5\sigma$	
2	2012	2380	4788560	4048144	2285,055		2280,513	2289,596
3	2013	2013	4052169	4052169	2175,576		2171,034	2180,117
4	2014	2028	4084392	4056196	2066,097		2061,555	2070,638
5	2015	1889	3806335	4060225	1956,618		1952,077	1961,16
6	2016	1783	3594528	4064256	1847,139		1842,598	1851,681
7	2017	1939	3910963	4068289	1737,661		1733,119	1742,202
8	2018	1787	3606166	4072324	1628,182		1623,64	1632,723
9	2019	1585	3200115	4076361	1518,703		1514,162	1523,245
10	2020	1434	2896680	4080400	1409,224		1404,683	1413,766
11	2021	1086	2194806	4084441	1299,745		1295,204	1304,287
12	<b>2016,5</b>	<b>1792,4</b>	<b>3613471,4</b>	<b>4066280,5</b>	<b>1792,4</b>			
13	ср.знач	ср.знач	ср.знач $x*y$	ср.знач $x^2$				
14								
15				a=	-109,4787879			
16				b=	222556,3758			

После нахождения коэффициентов  $a$  и  $b$  был построен тренд прогноза и на рисунке 2 показана линейная регрессионная модель:  $y = -109,479x + 222556,376$ .

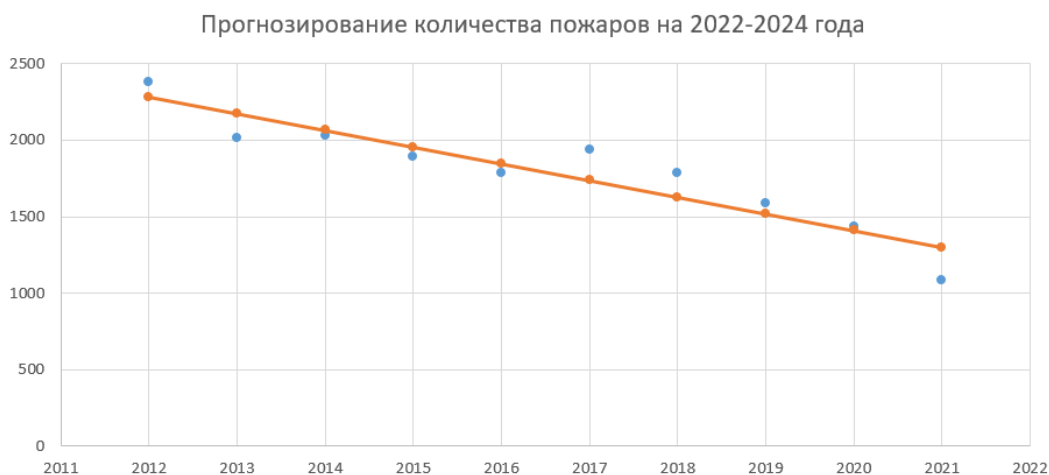


Рисунок 2 - Линейная регрессионная модель с трендом  $y = -109,479x + 222556,376$

Следующее вычисление выполняется для выявления и исключения «выпадающих точек» – фильтрация, т. е. нахождение больших отклонений от тренда  $|\bar{y} - y| \geq 1,5\sigma$ . При вычислении случайных возмущений, таких точек на нашем графике не обнаружено.

В таблице 3 по формуле экстраполяции  $y = -109,479x + 222556,376$  построили тренд, получив прогностический диапазон на 2022-2024 гг. (таблица 3 и рисунок 3, результаты выделены штрих линией):

Таблица 3 – Получение прогностического диапазона 2022-2024 года

	A	B	C	D	E
	Год (x)	Общее количество пожаров за год (y)	x*y	x^2	Тренд
1					
2	2012	2380	4788560	4048144	2285,055
3	2013	2013	4052169	4052169	2175,576
4	2014	2028	4084392	4056196	2066,097
5	2015	1889	3806335	4060225	1956,618
6	2016	1783	3594528	4064256	1847,139
7	2017	1939	3910963	4068289	1737,661
8	2018	1787	3606166	4072324	1628,182
9	2019	1585	3200115	4076361	1518,703
10	2020	1434	2896680	4080400	1409,224
11	2021	1086	2194806	4084441	1299,745
12	<b>2022</b>				<b>1190,267</b>
13	<b>2023</b>				<b>1080,788</b>
14	<b>2024</b>				<b>971,309</b>

Прогнозирование количества пожаров на 2022-2024 года

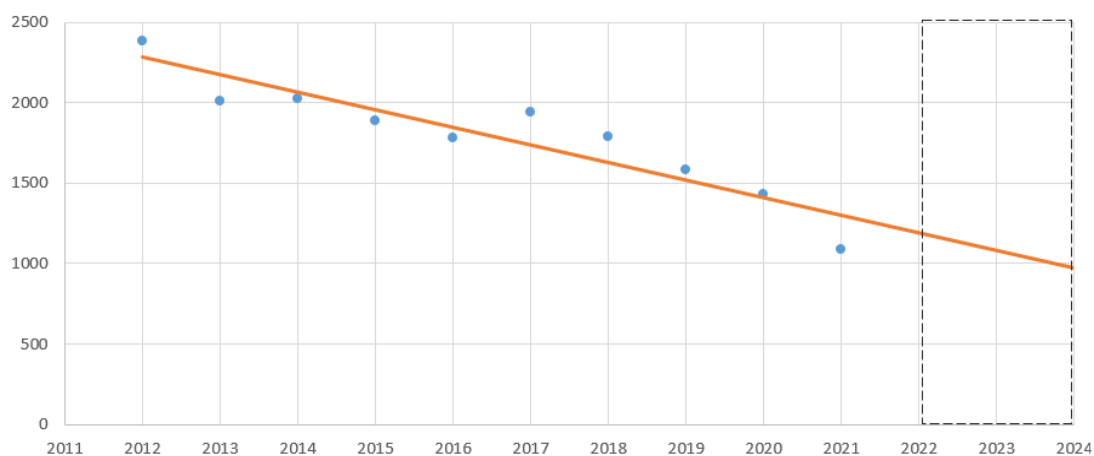


Рисунок 3 - Прогностический диапазон на 2022-2024 гг.

Созданная линейная регрессионная модель не является окончательным предполагаемым прогнозом пожаров на заданные промежутки времени. Чтобы построить достоверный прогноз, необходимо построить доверительный интервал.

Уравнения границ доверительного интервала находятся по формулам (5) ( $i = \overline{1,3}$ ):

$$y^{\text{верх}} = a^* x + b^* + i\sigma$$

$$y_{\text{уб;}} = a^* x + b^* - i\sigma \quad (5)$$

В таблице 4 представлены значения полученного доверительного интервала. На рисунке 4 построение 3 пар доверительных интервалов  $(-\sigma; +\sigma)$ ;  $(-2\sigma; +2\sigma)$ ;  $(-3\sigma; +3\sigma)$ .

Таблица 4 – Выведение доверительного интервала

	A	B	E	H	I	J	K	L	M	N	O
	Год (x)	Общее количество пожаров за год (y)	Тренд	Отклон (шум)	Отклон^2	±σ		±2σ		±3σ	
1											
2	2012	2380	2285,055	94,9	9014,6	2157,76	2412,35	2030,46	2539,64	1903,17	2666,94
3	2013	2013	2175,576	-162,6	26430,9	2048,28	2302,87	1920,99	2430,17	1793,69	2557,46
4	2014	2028	2066,097	-38,1	1451,4	1938,80	2193,39	1811,51	2320,69	1684,21	2447,98
5	2015	1889	1956,618	-67,6	4572,2	1829,32	2083,91	1702,03	2211,21	1574,73	2338,50
6	2016	1783	1847,139	-64,1	4113,9	1719,84	1974,43	1592,55	2101,73	1465,25	2229,02
7	2017	1939	1737,661	201,3	40537,6	1610,37	1864,96	1483,07	1992,25	1355,78	2119,55
8	2018	1787	1628,182	158,8	25223,2	1500,89	1755,48	1373,59	1882,77	1246,30	2010,07
9	2019	1585	1518,703	66,3	4395,3	1391,41	1646,00	1264,11	1773,29	1136,82	1900,59
10	2020	1434	1409,224	24,8	613,8	1281,93	1536,52	1154,63	1663,81	1027,34	1791,11
11	2021	1086	1299,745	-213,7	45687,1	1172,45	1427,04	1045,16	1554,34	917,86	1681,63
12	<b>2022</b>		<b>1190,267</b>			1062,97	1317,56	935,68	1444,86	808,38	1572,15
13	<b>2023</b>		<b>1080,788</b>			953,49	1208,08	826,20	1335,38	698,90	1462,67
14	<b>2024</b>		<b>971,309</b>			844,01	1098,60	716,72	1225,90	589,42	1353,19
15	<b>2016,5</b>	<b>1792,4</b>	<b>1792,4</b>	<b>0,0</b>	<b>162040,0</b>	<b>1-й доверит интер</b>		<b>2-й доверит интер</b>		<b>3-й доверит интер</b>	
16											
17				D=	16204,00						
18				σ=	127,29						

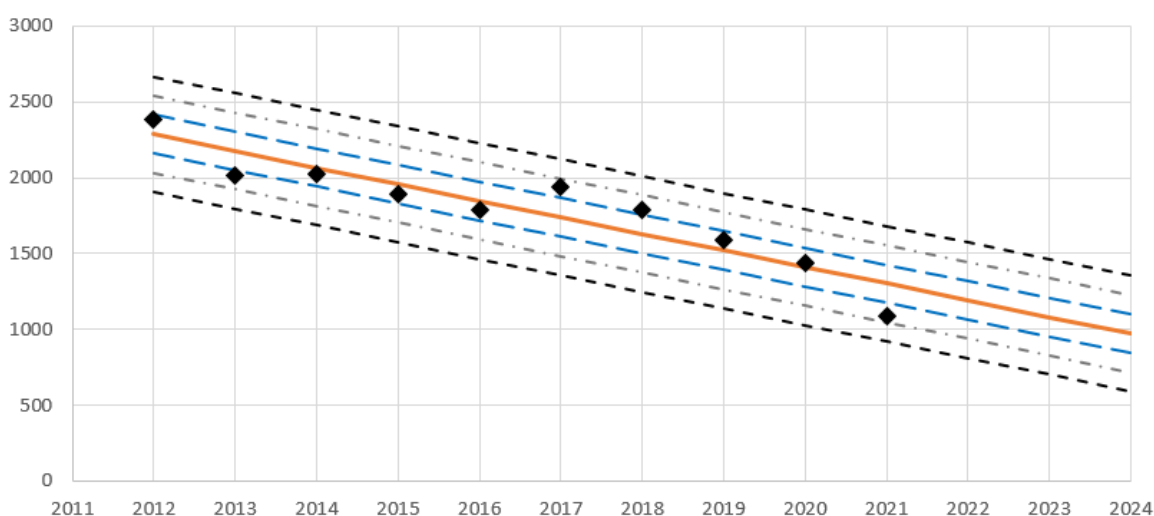


Рисунок 4 - Построение 3 пар доверительных интервалов  $(-\sigma; +\sigma)$ ;  $(-2\sigma; +2\sigma)$ ;  $(-3\sigma; +3\sigma)$

Согласно плотности вероятности при нормальном распределении получили следующие данные:

– В доверительном интервале  $(+\sigma; -\sigma)$  должно попадать 68% всех точек [6]. Из 10 значений, 6 значений находятся в данном интервале, что составляет 60%.

– В доверительном интервале  $(+2\sigma; -2\sigma)$  должно попадать 95% всех точек [6]. Соответственно, из 10 значений, все 10 значений находятся в данном интервале, что составляет 100%.

– В доверительном интервале  $(+3\sigma; -3\sigma)$  должно попадать 99% всех точек [6]. В нашем случае, таковых не оказалось.

*Выводы:*

В данной статье был проведен экспериментальный расчет прогнозирования количества пожаров в Карагандинской области по методу наименьших квадратов на ближайшие три года. Можно сделать следующий вывод:

1. Так как диапазон колебаний количества пожаров за период 2012-2021 года 100 % находился в доверительном интервале  $(+2\sigma; -2\sigma)$ , а это составляет 95 % истинности прогноза, то можно предположить, что в 2022 году произойдет от 936 до 1445 пожаров по области. В таблице 1 на 1.10.2022 года указано 746 пожаров. В 2023 году соответственно прогноз показывает интервал 826-1335 пожаров в год, в 2024 году – 717-1226 пожаров в год по области [7].

2. Можно предположить более рисковый прогноз, вписав прогноз количества пожаров в первый доверительный интервал  $(+\sigma; -\sigma)$ , что составляет 68 % истинности прогноза. Тогда количество пожаров в 2022 году в Карагандинской области должно составить от 1063 до 1318 пожаров.

3. Из таблицы 4 видно, что по всем трем доверительным интервалам в Карагандинской области идет снижение количества пожаров за год. Будем надеяться, что вычисленные данные будут достоверными и количество пожаров будет снижено.

Список литературы

1. Статистика пожаров: учебное пособие / С. Н. Масаев, А. Н. Минкин, Д. А. Едимичев [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. – 148 с.
2. Математическая статистика: учебное пособие / Д. К. Агишева, С. А. Зотова, Т. А. Матвеева, В. Б. Светличная; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 159 с.
3. Борздова Т. В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel: учебное пособие. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. – 75 с.
4. Бараз В. Р., Пегашкин В. Ф. Использование MSExcel для анализа статистических данных: учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 181 с.
5. Фильков А. И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров. – Томск: Изд. Дом Томского государственного университета, 2014. – 276 с.
6. Коломиец Л. В., Поникарова Н. Ю. Метод наименьших квадратов: методические указания. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.
7. Берденова Д. К. Использование алгоритмической деятельности в математической подготовке будущих бакалавров техники и технологии // Вестник Кокшетауского технического института. – 2020. - № 2 (38). – С.89-94.

References

1. Statistika požarov: ucheb.posobie / S. N. Masaev, A. N. Minkin, D. A. Edimichev [i dr.]. – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2019. – 148 s.
2. Matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie / D. K. Agisheva, S. A. Zotova, T. A. Matveeva, V. B. Svetlichnaya; VPI (filial) VolgGTU. – Volgograd, 2010. – 159 s.
3. Borzdova T. V. Osnovy statisticheskogo analiza i obrabotka dannyh s primeneniem MicrosoftEkhsel: uchebnoe posobie. – Minsk: GIUST BGU, 2011. – 75 c.
4. Baraz V. R., Pegashkin V. F. Ispol'zovanie MSExcel dlya analiza statisticheskikh dannyh: uchebnoe posobie, 2-e izd., pererab. i dop. – Nizhnij Tagil: NTI (filial) UrFU, 2014. – 181 s.
5. Fil'kov A. I. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie vozniknoveniya prirodnyh požarov. – Tomsk: Izdatel'skij Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014. – 276 c.
6. Kolomic L. V., Ponikarova N. YU. Metod naimen'shih kvadratov: metodicheskie ukazaniya. – Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2017. – 32 s.
7. Berdenova D. K. Ispol'zovanie algoritmicheskoy deyatel'nosti v matematicheskoy podgotovke budushchih bakalavrov tekhniki i tekhnologii // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo instituta. – 2020. – № 2 (38). – S.89-94.

Д. К. Берденова<sup>1</sup>, А.Б. Алькина<sup>1</sup>, Д. К. Абдикаримов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы, Кокшетау, Қазақстан

<sup>2</sup>Ресей ТЖМ Азаматтық қорғау академиясы, Мәскеу облысы, Химки, Ресей Федерациясы

#### ЕҢ АЗ КВАДРАТТАР ӘДІСІ БОЙЫНША ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҚАРАҒАНДЫ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ӨРТТЕР САНЫН БОЛЖАУ

*Аңдатпа.* Мақалада 2022-2024 жылдарға Қарағанды облысындағы өрттер санын кіші квадраттар әдісімен болжау қарастырылған. Сызықтық регрессия моделі құрылды, графиктің тренді табылды. Нүктелік болжау үлгі сызығының графикалық экстраполяциясы (жалғасы) мүмкін болатын жұптық сызықтық регрессия жағдайында барынша анық көрсетіледі. Есептеу үшін Microsoft Excel электрондық кесте бағдарламасының пакеті пайдаланылды.

*Түйінді сөздер:* болжау, өрт, статистика, математикалық модель, сызықтық регрессия әдісі, тренд, сенімділік аралығы.

D. K. Berdenova<sup>1</sup>, A. B. Alkina<sup>1</sup>, D.K.Abdikarimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan

<sup>2</sup>The Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, Moscow region, Khimki, Russian Federation

#### FORECAST OF THE NUMBER OF FIRES IN THE KARAGANDA REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN BY THE LEAST SQUARES METHOD

*Abstract.* The article considers the forecasting of the number of fires in the Karaganda region for 2022-2024 by the least squares method. A linear regression model was built, the trend of the graph was obtained. Point forecasting is most clearly presented in the case of pairwise linear regression, where graphical extrapolation (continuation) of the model line is possible. The Microsoft Excel spreadsheet program package was used for calculations.

*Keywords:* forecasting; fires; statistics; mathematical model; linear regression method; trend; confidence interval.



**Авторлар туралы мәлімет/ Сведения об авторах/ Information about the authors**

*Динара Қуанышбекқызы Берденова* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі М. Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы жалпы техникалық пәндер, ақпараттық жүйелер және технологиялар кафедрасы бастығының орынбасары. Қазақстан, Көкшетау, Ақана Сері к-сі, 136. E-mail: bdk-76@mail.ru

*Айнур Бағдатовна Алькина* – экономика және бизнес магистрі, Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі М. Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы жалпы техникалық пәндер, ақпараттық жүйелер және технологиялар кафедрасының аға оқытушысы. Қазақстан, Көкшетау, Ақана Сері к-сі, 136. E-mail: ainur-9207@mail.ru

*Диас Қайратұлы Әбдікәрімов* – генерал-лейтенант Д. И. Михайлик атындағы Ресей Федерациясы ТЖМ Азаматтық қорғау академиясының шетелдік мамандарды даярлау факультетінің 6221 оқутобының тыңдаушысы. Ресей Федерациясы, Мәскеу облысы, Химки, ш. а. Новогорск. E-mail: diasabdikarimov1989@mail.ru

*Берденова Динара Қуанышбековна* – магистр естественных наук, заместитель начальника кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Ақана Серэ, 136. E-mail: bdk-76@mail.ru

*Алькина Айнур Бағдатовна* – магистр экономики и бизнеса, старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Ақана Серэ, 136. E-mail: ainur-9207@mail.ru

*Абдиқаримов Диас Қайратович* – слушатель учебной группы 6221 факультета по подготовке иностранных граждан Академии Гражданской защиты имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика. Российская Федерация, Химки, Московская область, мкр. Новогорск. E-mail: diasabdikarimov1989@mail.ru

*Berdenova Dinara* – master of Natural Sciences, Deputy Head of the Department of General Technical Disciplines, Information Systems and Technologies of the Academy of Civil Protection named after M. Gabdullin of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, Akana Sere st., 136. E-mail: bdk-76@mail.ru

*Alkina Ainur* – master in economics and business, senior lecturer of the Department of General Technical Disciplines, Information Systems and Technologies of the Academy of Civil Protection named after M. Gabdullin of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, Akana Sere st., 136. E-mail: ainur-9207@mail.ru

*Abdikarimov Dias* – student of the study group 6221 of the faculty for the training of foreign specialists of the Academy of Civil Protection named after Lieutenant General D. I. Mikhailik. Russian Federation, Khimki, Moscow region, md. Novogorsk. E-mail: diasabdikarimov1989@mail.ru