

УДК 614.8

А. Б. Кусаинов, К. К. Шаймердинов

*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ПОДВЕРЖЕННЫЕ ЛЕСНЫМ ПОЖАРАМ РЕГИОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. В данной статье рассмотрена методика определения наиболее пожароопасных регионов республики с помощью математической статистики и теории вероятности. Применение математического анализа позволило выявить наиболее пожароопасные лесные массивы страны. Установлено, что исключительно высокий уровень пожарной опасности лесов приходится на Костанайскую область и область Абай, высокий на Жетысускую, Алматинскую, Восточно-Казахстанскую, Акмолинскую, Западно-Казахстанскую, Атыраускую и Карагандинскую области. В данных регионах в соответствии с Правилами пожарной безопасности в лесах, необходимо в первую очередь осуществлять авиационную охрану леса от пожаров.

Ключевые слова: математическая статистика; эмпирический закон распределения выборки; интегральные риски; комплексный показатель пожарной опасности лесов; авиационная охрана и защита лесов.

Введение. В последние годы в Республике Казахстан наблюдается тенденция увеличение числа лесных пожаров. Данное обстоятельство связано с глобальными климатическими изменениями, происходящими на нашей планете.

Одним из важнейших компонентов системы охраны лесов является авиационная служба, обеспечивающая ранее обнаружение лесных пожаров и участвующая в их тушении [1].

Реализация мероприятий авиационной охраны лесов связана с определенными расходами ресурсов, а соответственно и с определенными размерами ассигнований на охрану лесов со стороны уполномоченного органа в области лесного хозяйства, лесовладельцев и лесопользователей [2].

В соответствии с Правилами пожарной безопасности в лесах, «для патрулирования труднодоступных и наиболее подверженных пожарам ценных участков лесов, а также для пожаротушения привлекаются силы и средства специализированных организаций или учреждений, выполняющие авиационные работы по охране лесов и защите лесного фонда» [3].

Авиационные работы по охране и защите лесного фонда осуществляются в соответствии с Правилами осуществления авиационных работ по охране и защите лесного фонда [4].

В настоящее время авиационную охрану и защиту лесов осуществляет подведомственная организация Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан РГКП «Казавиалесоохрана» [5].

Для тушения лесных пожаров применяются вертолеты 1 (тяжелого) класса с водно-сливными устройствами.

Воздушных судов данного класса, в специализированных авиационных организациях недостаточно для размещения во всех регионах республики в пожароопасный период, в целях оперативного задействования на локализацию и ликвидацию лесных пожаров.

В нормативно-правовых актах страны отсутствует методика определения мест дислокации воздушных судов в пожароопасный период.

В целях определения регионов республики, где требуется предусмотреть дислоцирование воздушных судов способных осуществлять тушение очагов горения с применением водно-сливных устройств, необходимо определить регионы страны наиболее подверженные лесным пожарам [6].

Проведем анализ подверженности территории страны лесным пожарам с помощью математической статистики.

В период с 2021 по 2022 года и 9 месяцев 2023 год количество произошедших лесных пожаров составило 2348 единиц (рисунок 1).



Рисунок 1 - Полигон распределения количества пожаров по годам

Из рисунка 1 видно, что в последние годы количество лесных пожаров увеличивается.

В соответствии с рисунком 1, наименьшее значения выборки 749 (2021 г.) и наибольшее значения выборки 801 (2022 г.). Соответственно, размах выборки (длина основного интервала, в который попадают все значения выборки), равен 52. Разница между произошедшими пожарами в рассматриваемый период относительно небольшая [7].

Проведем первичную обработку данных по лесным пожарам. Разобьем основной интервал на 3 подинтервала. Длина каждого подинтервала составит $h_i=17,3$ ($i=3$). Определим количество попаданий величины в каждый интервал (таблица 1).

Таблица 1 – Частота попадания величины в подинтервалы

Подинтервалы	[749; 766,3)	[766,3; 798)	[798; 815,3)
Частоты	1	0	2

Из таблицы 1 видно, что наибольшее число лесных пожаров происходит в интервале от 798 до 815,3.

Далее по формулам n_i/n , $n_i/n \cdot h_i$ вычислим относительные частоты и плотность относительных частот, где x_i – элемент выборки, n_i – частота элемента x_i (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты первичной обработки статистических данных (эмпирический закон распределения выборки)

Средины подинтервалов (x_i)	757,65	782,15	806,65
Частоты (n_i)	1	0	2
Относительные частоты (n_i/n)	0,33	0	0,66
Плотность относительной частоты ($n_i/n \cdot h_i$)	0,019	0	0,038

В соответствии с эмпирическим законом распределения выборки, рассчитаем несмещенную оценку генеральной средней совокупности \bar{x}_B , по формуле [8]:

$$\bar{x}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \cdot x_i \quad (1)$$

Согласно данным таблицы 2 получаем $\bar{x}_B = 790,32$. Данное значение является средним показателем, при наблюдающемся росте количества лесных пожаров в республике.

Далее по формулам (2), (3) и (4) рассчитаем смещенную оценку генеральной дисперсии (выборочная дисперсия – D_B), исправленную дисперсию (несмещенная дисперсия – S^2) и среднее квадратичное отклонение σ .

$$D_B = (\overline{x^2} - (\bar{x}_B)^2) \quad (2)$$

$$S^2 = \frac{n}{n-1} \cdot D_B \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot D_B} \quad (4)$$

Получаем генеральную дисперсию $D_B = 528,3$ исправленную дисперсию $S^2 = 792,45$ и среднее квадратичное отклонение $\sigma = 28,15$.

Далее, по заданным значениям σ , \bar{x}_B и n по формуле (5) определим доверительный интервал.

$$\bar{x}_B - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < N_{\Pi} < \bar{x}_B + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

где $t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \delta$ точность оценки, t – значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$.

Найдем доверительный интервал для оценки с надежностью $P = 0,95$ количества пожаров N_{Π} в период с 2021 по 2023 гг.

Из условия $\Phi(t) = 0,95$ находим, что $t = 1,96$. Тогда точность оценки $\delta = 31,89$.

$$758,43 < N_{\Pi} < 822,2$$

По полученным интервальным значениям $44,6 < N_{п17} < 48,4$, предлагается установить уровни пожарной опасности (таблица 5).

Таблица 5 – Уровни лесной пожарной опасности

Значение	Уровень пожарной опасности
$> 48,4$	Исключительно высокий
$46,5 \leq 48,4$	Высокий
$44,6 \leq 46,5$	Средний
$0 \leq 44,6$	Низкий

Согласно полученным интервальным значениям, проведем сравнительный анализ произошедших пожаров и интервальных значений для регионов страны (рисунок 2).

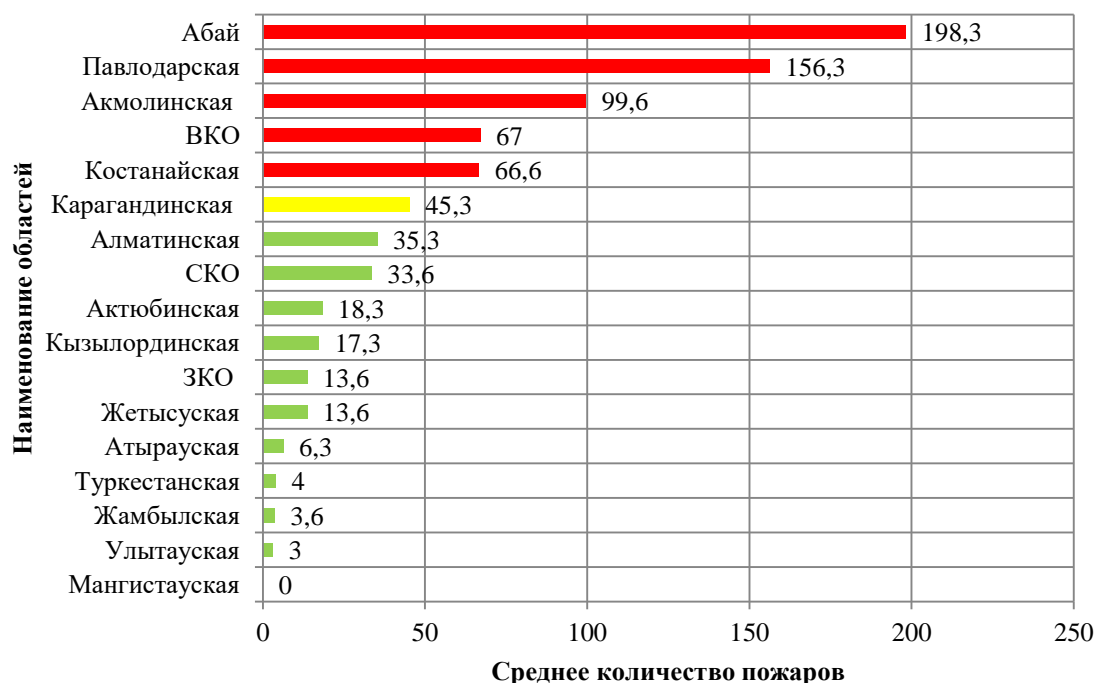


Рисунок 2 - Сравнительный анализ интервальных значений в разрезе регионов страны

Из рисунка 2 видно, что в Абай, Павлодарской, Акмолинской, Восточно-Казахстанской и Костанайской областях количество лесных пожаров в период с 2021 по 2022 гг. и 9 месяцев 2023 г. имели исключительно высокий уровень лесной пожарной опасности.

На основании чего можно сделать вывод, что обстановка с лесными пожарами в данных регионах была выше критического значения.

При этом в Абай и Павлодарской областях среднее значение лесных пожаров в рассматриваемый период превышало в 2-3 раза в сравнении с другими регионами.

Проверим данную гипотезу с помощью теории интегральных рисков.

Интегральные (территориальные) риски характеризуют комплекс опасностей, угрожающих различными сложными системами [9].

При анализе и оценке интегральных лесных пожарных рисков, воспользуемся репрезентативными статистическими массивами данных, таких как количество произошедших пожаров, площадь, пройденная огнем и материальный ущерб.

К основным интегральным (территориальным) лесным пожарным рискам (далее – лесным пожарным рискам) относятся следующее [10]:

- риск R_1 – площадь, приеденная огнем за год, в расчете на один лесной пожар,

$$R_1 = \frac{S_{\text{пож}}}{N_{\text{пож}}} \left[\frac{\text{га год}}{\text{пожар}} \right] \quad (6)$$

- риск R_2 – экономический ущерб от пожаров за год, в расчете на один лесной пожар.

$$R_2 = \frac{\text{тыс.тг.}}{N_{\text{пож}}} \quad (7)$$

В целях получения детализированной информации о лесной пожарной опасности в разрезе регионов, рассчитаем комплексный показатель.

Комплексный показатель пожарной опасности лесов $k_{\text{лес}}^{\text{по}}$ определяется как сумма индексов лесных пожарных рисков R_1 и R_2 .

Индексы I_{Rn} присваиваются путем ранжирования лесных пожарных рисков R_1 и R_2 , чем выше риск, тем выше индекс [11].

Зная количество лесных пожаров, площадь пройденную огнем и материальный ущерб, проведем оценку комплексного показателя лесной пожарной опасности в разрезе регионов страны (таблица 3).

Таблица 3 – Комплексный показатель лесной пожарной опасности

Наименование региона	Кол-во пожаров	Площадь, га	Ущерб, тыс. тг.	R_1	R_2	I_{R1}	I_{R2}	$k_{\text{лес}}^{\text{по}}$
Абай	198,3	22889	54415327	115,4	274409,1	10	17	27
Акмолинская	99,6	4458	1792135	44,8	17993,1	7	14	21
Актюбинская	18,3	762	627	41,6	34,3	6	2	8
Алматинская	35,3	20599	34822	583,5	986,4	14	10	24
Атырауская	6,3	4442	439	705,1	69,7	15	4	19
ВКО	67	5518	422016	82,4	6298,7	8	13	21
Жамбылская	3,6	706	749,5	196,1	208,2	12	5	17
Жетысуская	13,6	5817	24285	427,7	1785,7	13	12	25
ЗКО	13,6	1494	16201	109,8	1191,3	9	11	20
Карагандинская	45,3	6579	38565	145,2	851,3	11	8	19
Костанайская	66,6	51814	6401974	778	96126	16	15	31
Кызылординская	17,3	307	600	17,7	34,7	4	3	7
Мангистауская	0	0	0	0	0	0	0	0
Павлодарская	156,3	1920	147771	12,3	945,4	2	9	11
СКО	33,6	531	27327	15,8	813,3	3	7	10
Туркестанская	4	78	1029	19,5	257,3	5	6	11
Улытауская	3	19	293	6,3	7,7	1	1	2

Согласно полученным значениям $k_{\text{лес}}^{\text{по}}$, для определения интервальных значений, рассчитаем среднее квадратичное отклонение по формуле 13.

Среднее значение единого показателя пожарной опасности составляет $k_{лес.ср}^{по} = 17$. Среднее квадратичное отклонение равно $\sigma = 8,61$.

Таким образом, $k_{лес.ср}^{по} \pm \sigma$ получаем интервалы средних квадратичных отклонений $8,4 < k_{по ср}^i < 25,6$.

По значениям средних квадратичных отклонений $8,4 < k_{по ср}^i < 25,6$, установим уровни лесной пожарной опасности регионов Республики Казахстан (таблица 7).

Таблица 7 – Уровни лесной пожарной опасности по показателю пожарного риска

Значение	Уровень пожарной опасности
$> 25,6$	Исключительно высокий
$17,0 \leq 25,6$	Высокий
$8,4 \leq 17,0$	Средний
$0 \leq 8,4$	Низкий

На основании данных уровней определен показатель лесной пожарной опасности регионов Республики Казахстан, по которым проведен сравнительный анализ (рисунок 3).

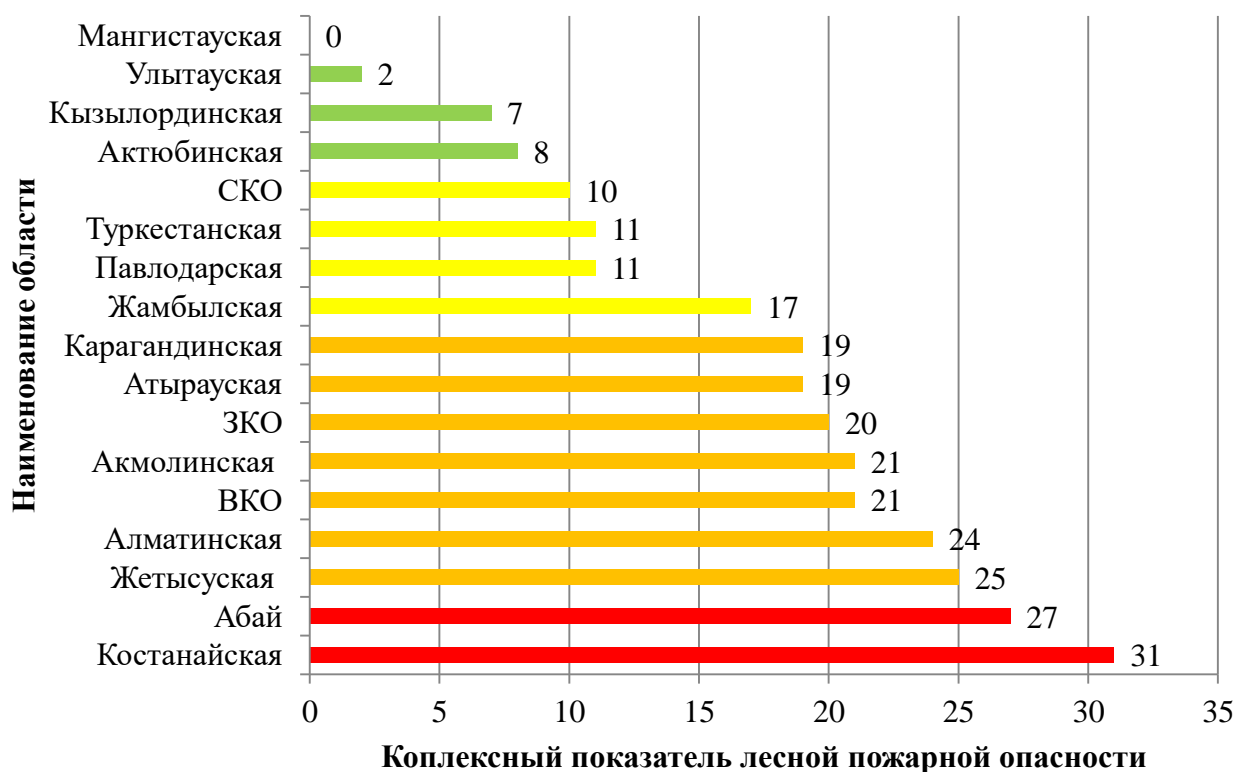


Рисунок 3 – Комплексный показатель лесной пожарной опасности областей республики

Из рисунка 3 видно, что исключительно высокий уровень пожарной опасности лесов приходится на Костанайскую область и область Абай, высокий на Жетысускую, Алматинскую, Восточно-Казахстанскую, Акмолинскую, Западно-Казахстанскую, Атыраускую и Карагандинскую области.

Вывод. С помощью теорий математической статистики и оценки риска проведен анализ наиболее подверженных регионов страны лесным пожарам. Проведенный анализ позволил установить регионы, в которых в первую очередь необходимо предусматривать базирование вертолетов тяжелого класса с водно-сливными устройствами для оперативной локализации и ликвидации возникающих лесных пожаров, в целях предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

1. Лесные пожары и борьба с ними: Сб. научн. тр. / Ред. коллегия: Арцыбашев Е. С. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. – 139 с.
2. Справочник Лесничего Казахстана / составители: акад. С. Байзаков, проф. С. Исаков, проф. Б. Муканов. – Астана, 2010.
3. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 23.10.2015 г. № 18-02/942 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах» [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система нормативно-правовых актов Республики Казахстан Әділет [сайт]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012351> (дата обращения 17.10.2023г.).
4. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 января 2015 года № 18-02/64 «Об утверждении Правил осуществления авиационных работ по охране и защите лесного фонда» [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система нормативно-правовых актов Республики Казахстан Әділет [сайт]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V15F0010464> (дата обращения 19.10.2023г.).
5. Официальный сайт РГКП «Казавиалесоохрана» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://aviales.kz/> (дата обращения: 28.10.2023г.).
6. Пуздриченко В. Д., Еремин В. Н., Замуриев В. Г., Горышин В. М., Лобанев В. И., Еремин В. И., Гумба М. О. Техничко-экономическая оценка эффективности применения воздушных судов при тушении лесных пожаров: методические рекомендации – Л.: ЛенНИИЛХа, 1989. – 36 с.
7. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
8. Шварев А. А., Шамшович Е. О., Шамшович В. Ф., Шварева Е. Н. Анализ чрезвычайных ситуаций в России с помощью математической статистики // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14, № 3. – С. 204-208.
9. Брушлинский Н. Н., Иванов О. В., Клепко Е. А., Соколов С. В. Пожарные риски (основы теории): монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 65 с.
10. Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б. К вопросу о пожарной безопасности в Республике Казахстан // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 56-60.
11. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P., Hall J. R. World fire statistics. Report No. 10. – 2nd ed. – Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. — 200 p.

References

11. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi. Sb. nauchn. tr. / Red. kol.: Arcybashev E. S. – L.: LenNIILH, 1986. – 139 s.
2. Spravochnik Lesnichego Kazahstana / sostaviteli: akad. S. Bajzakov, prof. S. Iskakov, prof. B. Mukanov. – Astana, 2010.
3. Prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 23.10.2015 g. №18-02/942

«Ob utverzhdenii Pravil pozharnoj bezopasnosti v lesah» [Elektronnyj resurs] // Informacionno-pravovaya sistema normativno-pravovyh aktov Respubliki Kazahstan Әdilet [sajt]. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012351> (data obrashcheniya 17.10.2023g.).

4. Prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 30 yanvarya 2015 goda № 18-02/64 «Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya aviacionnyh rabot po ohrane i zashchite lesnogo fonda» [Elektronnyj resurs] // Informacionno-pravovaya sistema normativno-pravovyh aktov Respubliki Kazahstan Әdilet [sajt]. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V15F0010464> (data obrashcheniya 19.10.2023g.).

5. Oficial'nyj sayt RGKP «Kazavialesoohrana» [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <https://aviales.kz/> (data obrashcheniya: 28.10.2023g.).

6. Puzdrichenko V. D., Eremin V. N., Zamuriev V. G., Goryshin V. M., Lobanev V. I., Eremin V. I., Gumba M. O. Tekhniko-ekonomicheskaya ocenka effektivnosti primeneniya vozдушnyh sudov pri tushenii lesnyh požarov: metodicheskie rekomendacii. – L.: LenNIILHa, 1989. – 36 s.

7. Kobzar' A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – M.: Fizmatlit, 2006. – 816 s.

8. SHvarev A. A., SHamshovich E. O., SHamshovich V. F., SHvareva E. N. Analiz chrezvychajnyh situacij v Rossii s pomoshch'yu matematicheskoy statistiki // Neftegazovoe delo. – 2016. – T. 14, № 3. – S. 204-208.

9. Brushlinskij N. N., Ivanov O. V., Klepko E. A., Sokolov S. V. Pozharnye riski (osnovy teorii): monografiya. – M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2015. – 65 s.

10. Raimbekov K. ZH., Kusainov A. B. K voprosu o požarnoj bezopasnosti v Respublike Kazahstan // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. — 2017. — T. 24, № 3. — S. 56-60.

11. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P., Hall J. R. World fire statistics. Report No. 10. – 2nd ed. – Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2005. – 200 p.

А. Б. Құсайынов, Қ. Қ. Шаймердинов

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЕҢ КӨП ОРМАН ӨРТІНЕ ШАЛДЫҚҚЫШ ЕҢ АЙМАҚТАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа. Бұл мақалада математикалық статистика мен ықтималдық теориясын пайдалана отырып, республиканың ең өрт қауіпті аймақтарын анықтау әдістемесі қарастырылады. Математикалық талдауды қолдану республикадағы ең өрт қауіпті орман алқаптарын анықтауға мүмкіндік берді. Орман өрт қауіпінің ерекше жоғары деңгейі Қостанай облысы мен Абай облысында, ал Жетісу, Алматы, Шығыс Қазақстан, Ақмола, Батыс Қазақстан, Атырау және Қарағанды облыстарында жоғары екені анықталды. Бұл аймақтарда Ормандағы өрт қауіпсіздігі ережелеріне сәйкес, ең алдымен, ормандарды өрттен авиациялық қорғауды қамтамасыз ету қажет.

Түйінді сөздер: математикалық статистика; іріктеуді бөлудің эмпирикалық заңы; интегралды тәуекелдер; орман өртінің қауіптілігінің кешенді көрсеткіші; авиациялық қауіпсіздік және орманды қорғау.

A. B. Kussainov, K. Shaimerdinov

*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

MATHEMATICAL METHODS FOR DETERMINING THE MOST SUSPENDED REGIONS OF FOREST FIRES IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract. This article discusses the methodology for determining the most fire-dangerous oblasts of the republic using mathematical statistics and probability theory. The use of mathematical analysis made it possible to identify the most fire-hazardous forest areas in the country. It has been established that an exceptionally high level of forest fire danger occurs in the Kostanay oblast and the Abay oblast, and high in the Zhetysu, Almaty, East Kazakhstan, Akmola, West Kazakhstan, Atyrau and Karaganda oblasts. In these oblasts, in accordance with the Fire Safety Rules in Forests, it is necessary, first of all, to provide aviation protection of forests from fires.

Key words: mathematical statistics; empirical law of sample distribution; integral risks; a comprehensive indicator of forest fire danger; aviation security and forest protection.

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

Арман Болатұлы Құсайынов – техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясының қашықтықтан оқыту факультетінің бастығы. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: arman_1703@mail.ru

Қадырхан Шаймерденов – Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясының магистранты. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: kadyr.shaymer@mail.ru

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана Серэ, 136. E-mail: arman_1703@mail.ru

Шаймерденов Кадырхан – магистрант Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана Серэ, 136. E-mail: kadyr.shaymer@mail.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan. 136 Akan Sere str., Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Kadyrkhan Shaimerdenov – is a master's student of the Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republic of Kazakhstan. 136 Akan Sere str., Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kadyr.shaymer@mail.ru