

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 614.8

А. Б. Кусаинов¹, Ж. О. Тлеуова², А. Ж. Дулатова¹

*¹Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

²Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, Кокшетау, Казахстан

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Аннотация. Природные бедствия наносят огромные социально-экономические, экологические и иные ущербы, препятствуя устойчивому развитию странам Центральной Азии. Чрезвычайные ситуации неизбежны, однако их негативное воздействие может быть минимизировано на основе заблаговременного проведения превентивных мероприятий, то есть с применением методологии управления риском.

Управление рисками чрезвычайных ситуаций является составной частью предупреждения природных бедствий и техногенных аварий. Важной составляющей управления рисками является их анализ и прогнозирование. В данной статье проводится анализ и среднесрочный прогноз чрезвычайных ситуаций в странах Центральной Азии за период с 1997 по 2021 годы.

Ключевые слова: математическая статистика, чрезвычайные ситуаций, математический анализ и прогнозирование.

В последние десятилетия во всем мире наблюдается тенденция возрастания количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) и масштабов их последствий, в том числе и в Центральной Азии.

Проведенный анализ показал, что в странах ЦА (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан) за последние 12 лет произошло более 766,5 тыс. природных бедствий и техногенных аварий (рисунок 1) [1].

*Теоретические и практические аспекты предупреждения,
ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны*

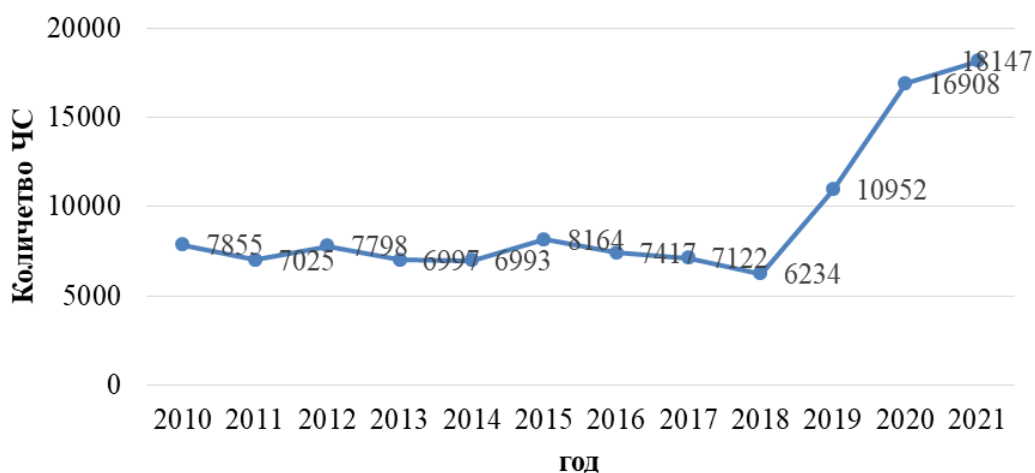


Рисунок 1 – Полигон распределения количества чрезвычайных ситуаций по годам в странах Центральной Азии [2]

В настоящее время для обработки и исследования данных, а также изучения закономерностей случайных величин используются методы математической статистики.

Для проведения анализа ЧС методом математической статистики составлен вариационный ряд (расположили в порядке возрастания количество ЧС) генеральной совокупности объёмом $n=12$ (рисунок 2).

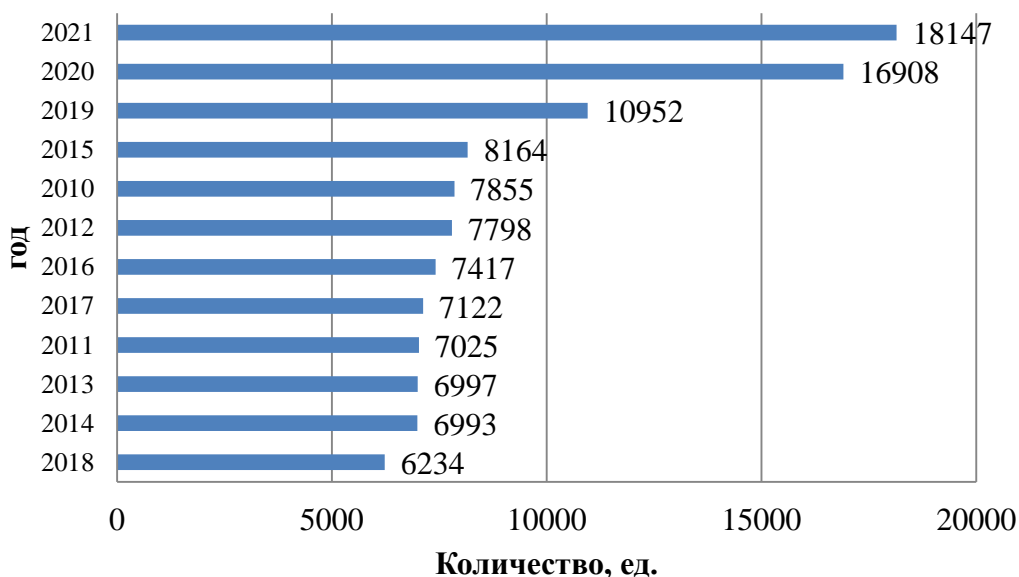


Рисунок 2 – Вариационный ряд количества чрезвычайных ситуаций

Из рисунка 2 видно, что количество ЧС в странах ЦА в последние годы возрастает [3]. Наименьшее значения выборки 6234 (наименьшее количество ЧС за рассматриваемый период было в 2018 г.), а наибольшее значения выборки 18147 (в 2021 г.). Соответственно, размах выборки (длина основного интервала, в который попадают все значения выборки), равен 11913 [4]. Достаточно большая разница между произошедшими ЧС в странах ЦА в рассматриваемый период.

Проведем первичную обработку статистических данных. Разобьем основной интервал на 12 подинтервалов. Длина каждого подинтервала составит $h_i=992,7$ ($i=\overline{1,12}$). Определим количество попаданий величины в каждый интервал (таблица 1).

Таблица 1 – Частота попадания величины в подинтервалы

Подинтервалы	[6234; 7226,7)	[7226,7; 8219,4)	[8219,4; 9212,1)	[9212,1; 10204,8)	[10204,8; 11197,5)	[11197,5; 12190,2)	[12190,2; 13182,9)	[13182,9; 14175,6)	[14175,6; 15168,3)	[15168,3; 16161)	[16161; 17153,7)	[17153,7; 18146,4)
Частоты	5	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1

Из таблицы 1 видно, что наибольшее число ЧС происходит на интервале от 6234 до 8219,4.

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)	6730,35	7723,05	8715,75	9708,45	10701,15	11693,85	12686,55	13679,25	14671,95	15664,65	16657,35	17650,05
Частоты (n_i)	5	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Относительные частоты (n_i/n)	0,41	0,33	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0,08	0,08
Плотность относительной частоты ($n_i/n \cdot h_i$)	0,0004	0,0003	0	0	0,00008	0	0	0	0	0	0,00008	0,00008

В целях визуального анализа полученных в таблице 2, построим гистограмму плотности относительных частот (рисунок 3).

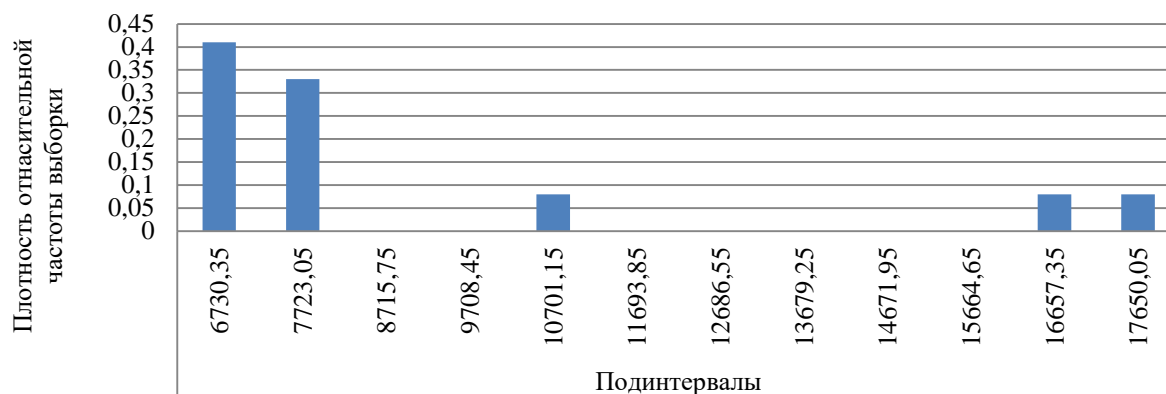


Рисунок 3 – Гистограмма выборки

По эмпирическому закону распределения выборки и значениям таблицы 2 рассчитаем несмещенную оценку генеральной средней совокупности \bar{x}_B , по формуле [5]:

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

Получим $\bar{x}_B = 9129,3$. Данное значение является средним показателем, при наблюдающимся возрастанием количества ЧС в странах ЦА.

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 $D_B = 10141981,2$, исправленную дисперсию $S^2 = 11063979,4$ и среднее квадратичное отклонение $\sigma = 3326,2$.

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

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

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 ЧС в странах ЦА в период с 2010 по 2021 гг. [6].

Из условия $\Phi(t) = 0,95$ находим, что $t = 1,96$. Тогда точность оценки составит $\delta = 1884$

$$7245 < N_{\text{н}} < 11013$$

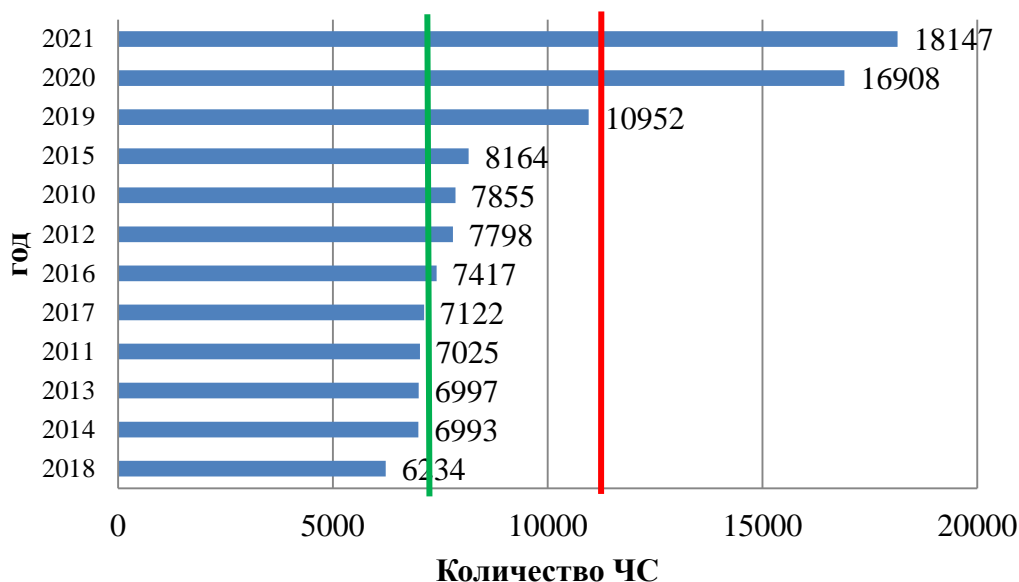


Рисунок 4 – Сравнительный анализ интервальных значений для стран Центральной Азии

Из рисунка 4 видно, что в 2020 и 2021 количество ЧС выходило за пределы правого значения.

На основании чего можно сделать вывод, что обстановка с ЧС в странах ЦА в последние годы была выше критического значения.

В целях выработки управленческих решений по минимизации риска ЧС в странах ЦА проведем среднесрочный прогноз ЧС.

Среднесрочный прогноз проведем с помощью вероятностно – статистического метода.

Анализ динамики ЧС, представленный на рисунке 1, показывает, что наблюдаемое в t -м году число ЧС y_t ($t = 1, 2, \dots, N$, где N – число анализируемых лет) изменяется с течением времени с более или менее постоянной абсолютной скоростью, математическим выражением такой тенденции будет являться линейная зависимость вида [7]:

$$\hat{y}_t = a + bt, \quad (6)$$

где: \hat{y}_t – расчетное значение числа ЧС в t -м году;

t – номер года;

a и b – коэффициенты.

Для нахождения неизвестных коэффициентов воспользуемся методом наименьших квадратов, согласно которому, коэффициенты уравнения (6)

вычисляются таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений y_t от расчетных значений \hat{y}_t была минимальной, т.е. отвечала условию:

$$S = \sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для нахождения неизвестных коэффициентов a и b воспользуемся тем, что в точке минимум производная функции равна нулю. В этой связи приравняем к нулю частные производные [7]:

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{t=1}^N [y_t - (a + bt)] = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{t=1}^N [y_t - (a + bt)t] = 0, \quad (9)$$

что даст нам для определения коэффициентов a и b систему линейных уравнений [7]:

$$\begin{cases} an + b \sum_{t=1}^N t = \sum_{t=1}^N y_t, \\ a \sum_{t=1}^N t + b \sum_{t=1}^N t^2 = \sum_{t=1}^N ty_t. \end{cases} \quad (10)$$

Решая эту систему, получаем уравнения для нахождения коэффициентов a и b [7]:

$$b = \frac{N \sum_{t=1}^N ty_t - \sum_{t=1}^N t \sum_{t=1}^N y_t}{N \sum_{t=1}^N t^2 - \left[\sum_{t=1}^N t \right]^2}, \quad (11)$$

$$a = \frac{\sum_{t=1}^N y_t - b \sum_{t=1}^N t}{N}. \quad (12)$$

Зная величины коэффициентов a и b , рассчитаем прогнозную оценку числа ЧС в странах ЦА на соответствующий период.

Для выявления тенденции изменения числа ЧС в странах ЦА используем аналитическое выравнивание временного ряда в виде зависимости (6). Для нахождения коэффициентов a и b воспользуемся формулами (11) и (12), предварительно составив вспомогательную таблицу 3.

Таблица 3 – Вспомогательная таблица для вычисления коэффициентов а и b

t	t ²	y _t	t·y _t
1	1	7855	7855
2	4	7025	14050
3	9	7798	23394
4	16	6997	27988
5	25	6993	34965
6	36	8164	48984
7	49	7417	51919
8	64	7122	56976
9	81	6234	56106
10	100	10952	109520
11	121	16908	185988
12	144	18147	217764
$\sum_{t=1}^N t = 78$	$\sum_{t=1}^N t^2 = 650$	111612	835509

Подставляя числовые значения из итоговой строки таблицы 3 в уравнения (11) и (12), находим значения коэффициентов:

$$b = 769,4$$

$$a = 4300$$

Таким образом, уравнение регрессии принимает вид $y_{13} = 4300 + 769,4 \cdot x$

Используя уравнение (6), определяем ориентировочное прогнозное значение числа ЧС в станах ЦА в 2022, 2023 и 2024 гг. (рисунок 5).

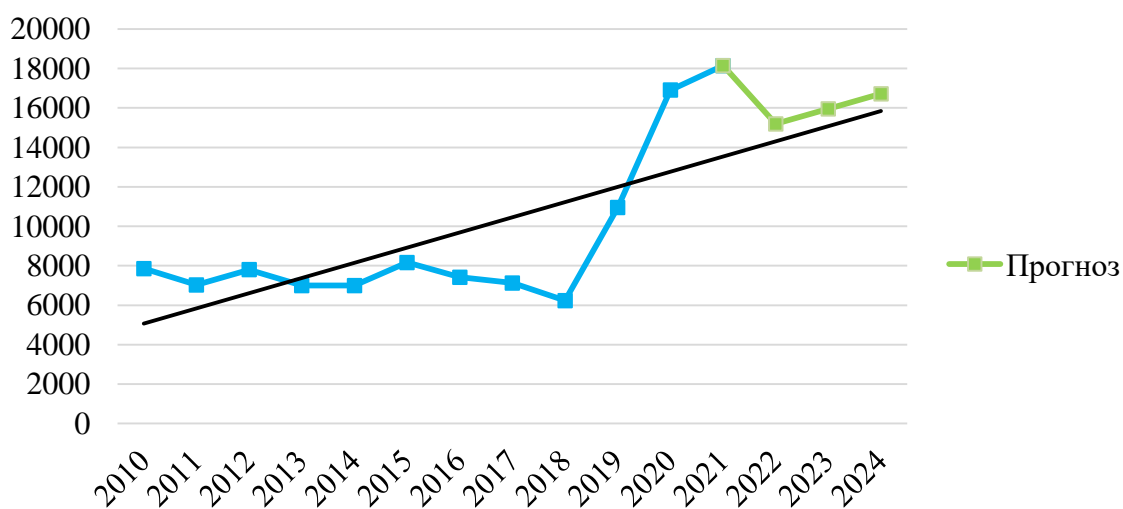


Рисунок 5 – Прогнозные значения чрезвычайных ситуаций в странах Центральной Азии

Для определения точности прогноза ЧС используем формулу средней относительной ошибки [7]:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_{\text{факт},i} - y_{\text{расч},i}|}{y_{\text{факт},i}} \cdot 100\% \quad (13)$$

где $y_{\text{факт},i}$ – фактические значения по годам;

$y_{\text{расч},i}$ – расчетные значения;

n – количество лет.

Расчетное значение, полученное на основе построенной модели, составляет величину $\varepsilon = 4,7\%$, что говорит о высокой точности составленной математической модели.

В целях более точного прогноза ЧС в странах ЦА воспользуемся среднеквадратичным отклонением.

Среднеквадратичное отклонение [8] составляет $\sigma = 4156$.

По полученному среднеквадратичному отклонению, рассчитали интервалы средних квадратичных отклонений прогнозных значений числа ЧС в странах ЦА на 2022, 2023 и 2024 гг. (рисунок 6).

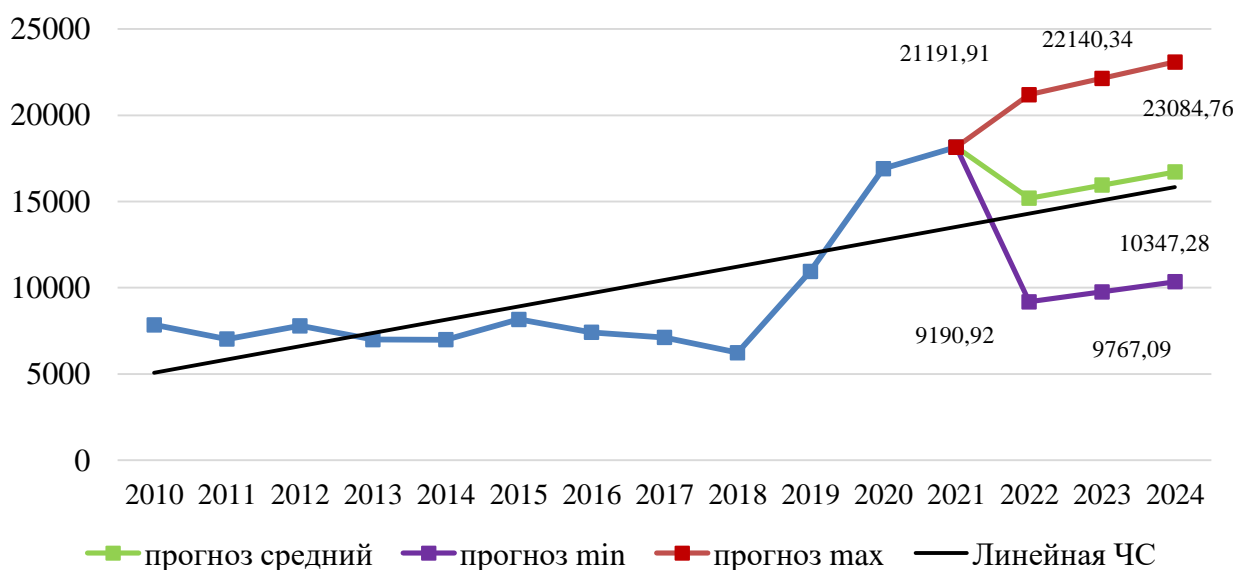


Рисунок 6 – Динамика прогнозного числа чрезвычайных ситуаций по годам, с учетом среднеквадратичных отклонений

Согласно полученным среднеквадратичным отклонениям, проверим точность прогноза ЧС по формуле 13. Относительная ошибка при максимальном прогнозе составит $\varepsilon = 2,4\%$ и минимальном $\varepsilon = 4,4\%$, что показывает о высокой точности построенной модели [9].

По результатам расчетов делаем вывод: несмотря на ежегодные колебания цепных показателей изменчивости временного ряда, в целом в ближайшие годы

количество ЧС в странах ЦА будет находиться в интервале от 10 до 23 тыс. случаев в год. Данное обстоятельство связано с происходящими глобальными климатическими изменениями, которые также затрагивают регион ЦА.

Вывод: Проведенный математико-статистический анализ показал, что в последние годы в странах ЦА количество ЧС выходило за критические значения. Расчет прогнозных значений ЧС в странах ЦА показал на их дальнейшее снижение с максимальной вероятностью 97,6 %.

Список литературы

1. Кусаинов А. Б., Акильжанова Д. Е. Анализ риска чрезвычайных ситуаций в странах Центральной Азии // Наука и образование в гражданской защите – Кокшетау, 2022. – № 1 (45). – С. 29-34.
2. 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.
3. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
4. Статистика пожаров: учебное пособие / С. Н. Масаев, А. Н. Минкин, Д. А. Едимичев [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. – 148 с.
5. Математическая статистика: учебное пособие / Д. К. Агишева, С. А. Зотова, Т. А. Матвеева, В. Б. Светличная; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – 159 с.
6. Борздова Т. В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel: учебное пособие. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. – 75 с.
7. Есина М. Г., Хонгорова О. В. Использование временных рядов в прогнозировании // Пожарная и аварийная безопасность. – 2017. – № 3 (6). – С. 76–85.
8. Коломиец Л. В., Поникарова Н. Ю. Метод наименьших квадратов: методические указания. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с.
9. Прогноз потребностей экономики и общества в измерениях на 2020 – 2025 годы. Минпромторг России, 2019 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vniims.ru/> (дата обращения 23.01.2023).

References

1. Kusainov A. B., Akil'zhanova D. E. Analiz riska chrezvychajnyh situacij v stranah Central'noj Azii // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashchite – Kokshetau, 2022. – № 1 (45). – S. 29-34.
2. 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.
3. Kobzar' A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – M.: FIZMATLIT, 2006. – 816 s.
4. Statistika pozharov: uchebnoe posobie / S. N. Masaev, A. N. Minkin, D. A. Edimichev [i dr.]. – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2019. – 148 s.
5. Matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie / D. K. Agisheva, S. A. Zotova, T. A. Matveeva, V. B. Svetlichnaya; VPI (filial) VolgGTU. – Volgograd, 2010. – 159 s.
6. Borzdova T. V. Osnovy statisticheskogo analiza i obrabotka dannyh s primeneniem Microsoft Ekhsel: uchebnoe posobie. – Minsk: GIUST BGU, 2011. – 75 c.

7. Esina M. G., Hongorova O. V. Ispol'zovanie vremennyh ryadov v prognozirovanii // Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'. – 2017. – №3 (6). – S. 76–85.

8. Kolomic L. V., Ponikarova N. YU. Metod naimen'shikh kvadratov: metodicheskie ukazaniya. – Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2017. – 32 s.

9. Prognoz potrebnostej ekonomiki i obshchestva v izmereniyah na 2020 – 2025 gody. Minpromtorg Rossii, 2019 g. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.vniims.ru/> (data obrashcheniya 23.01.2023).

А. Б. Құсайынов¹, Ж. О. Тілеуова², А. Ж. Дулатова¹

¹*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

²*Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан*

МАТЕМАТИКАЛЫҚ СТАТИСТИКАНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОРТАЛЫҚ АЗИЯ ЕЛДЕРІНДЕГІ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Аңдатпа. Табиғи апаттар орасан зор әлеуметтік-экономикалық, экологиялық және өзге де залалдар келтіріп, Орталық Азия елдерінің тұрақты дамуына кедергі келтіреді. Төтенше жағдайлар сөзсіз, бірақ олардың теріс әсерін алдын-алу шараларын алдын-ала жүргізу негізінде, яғни тәуекелдерді басқару әдістемесін қолдану арқылы азайтуға болады.

Төтенше жағдайлар тәуекелдерін басқару табиғи апаттар мен техногендік авариялардың алдын алудың құрамдас бөлігі болып табылады. Тәуекелдерді басқарудың маңызды құрамдас бөлігі оларды талдау және болжау болып табылады. Бұл мақалада 1997 жылдан 2021 жылға дейінгі кезеңдегі Орталық Азия елдеріндегі төтенше жағдайлардың математикалық талдауы және орта мерзімді болжамы жүргізіледі.

Түйінді сөздер: математикалық статистика, төтенше жағдайлар, математикалық талдау және болжау.

A. B. Kusainov¹, J. O. Tleuova², A. J. Dulatova¹

¹*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situation of the
Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan*

²*Kokshetau University named after Abai Myrzakhmetov, Kokshetau, Kazakhstan*

ANALYSIS AND FORECASTING OF EMERGENCY SITUATIONS IN CENTRAL ASIAN COUNTRIES USING MATHEMATICAL STATISTICS

Abstract. Natural disasters cause enormous socio-economic, environmental and other damages, hindering the sustainable development of the countries of Central Asia. Emergencies are inevitable, but their negative impact can be minimized on the basis of early preventive measures, that is, with the use of risk management methodology.

Emergency risk management is an integral part of the prevention of natural disasters and man-made accidents. An important component of risk management is their analysis and forecasting. This article provides a mathematical analysis and a medium-term forecast of emergency situations in Central Asian countries for the period from 1997 to 2021.

Keywords: mathematical statistics, emergencies, mathematical analysis and forecasting.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения обавторах / Information about the authors

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

Жұлдыз Өмірбекқызы Тлеуова – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университетінің экология, тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының оқытушысы. Қазақстан, Көкшетау, Өуезов көшесі, 189.

Асель Жомартқызы Дулатова – Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы кадр саясаты бөлімінің инспекторы. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: dulatova.assel@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

Тлеуова Жұлдуз Омербековна – кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры экология, безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды Кокшетауского университета имени Абая Мырзахметова. Казахстан, Кокшетау, ул. Ауэзова, 189.

Дулатова Асель Жомартовна – инспектор отдела кадровой политики Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана Серэ, 136. E-mail: dulatova.assel@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 Ministry for Emergency Situation of the Respublic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akana Sere str. E-mail: arman_1703@mail.ru

Zhulduz O. Tleuova – Candidate of Agricultural Sciences, lecturer of the Department of Ecology, Life Safety and Environmental Protection of the Abai Myrzakhmetov Kokshetau University. Kazakhstan, Kokshetau, Auezova str., 189.

Asel Zh. Dulatova – Inspector of the Personnel Policy Department of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situation of the Respublic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akana Sere Street. E-mail: dulatova.assel@mail.ru