

УДК 614.84
МРНТИ 81.92.01

Н. Ж. Байжиенов, К. Ж. Раимбеков, Е. К. Саменов, А. Г. Мусайбеков

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЖАРОВ В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТРОЙНОГО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ХОЛЬТА-ВИНТЕРСА

Аннотация. В данной работе представлен комплексный анализ динамики возникновения пожаров на территории Северо-Казахстанской области. На основе верифицированных данных Департамента по чрезвычайным ситуациям Северо-Казахстанской области за 2020–2025 гг. авторами была имплементирована модель тройного экспоненциального сглаживания. Исследование направлено на верификацию сезонных флуктуаций и разработку предиктивной базы для совершенствования стратегии профилактического контроля в пожароопасные периоды.

Ключевые слова: пожарная опасность, динамика пожаров, Северо-Казахстанская область, временные ряды, сезонность, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание, модель Хольта–Винтерса (ETS), оценка рисков.

Введение

Северо-Казахстанская область (СКО) характеризуется специфическими природно-климатическими условиями, которые детерминируют уровень пожарных рисков региона. Резко континентальный климат с суровыми зимами и жарким засушливым летом обуславливает ярко выраженную сезонность пожаров. В зимний период основная нагрузка приходится на жилой сектор из-за эксплуатации печного отопления, в то время как весенне-летний период характеризуется интенсификацией горения в экосистемах и агропромышленном комплексе [1, 2].

Для повышения эффективности оперативного управления силами и средствами органов гражданской защиты СКО критически важным является переход от констатации фактов к математическому прогнозированию рисков.

Исходные данные

В качестве информационной базы исследования были использованы статистические данные Департамента по чрезвычайным ситуациям (ДЧС) СКО за период с 2020 по 2025 гг. Данные представлены в ежемесячном разрезе (чистые значения), что позволяет учесть сезонные колебания.

За анализируемый период (2020–2025 гг.) общее количество пожаров изменилось с 733 до 509 случаев (таблица 1).

Таблица 1 – Статистика пожаров в СКО по месяцам (2020–2025 гг.)

Месяц	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	2	3	4	5	6	7
Январь	26	60	32	40	36	40
Февраль	47	68	59	41	54	48
Март	30	38	37	28	33	31
Апрель	78	43	85	42	21	46
Май	61	100	99	91	28	48
Июнь	51	58	50	70	40	37
Июль	54	55	38	42	17	22
Август	54	50	44	55	27	31
Сентябрь	78	56	64	13	31	35
Октябрь	68	68	51	60	68	62
Ноябрь	66	57	44	50	25	53
Декабрь	120	78	92	73	67	56
Итого	733	731	695	605	447	509

Представленный массив данных характеризуется наличием как выраженной сезонности, так и стохастических отклонений, что делает невозможным применение линейной аппроксимации и требует использования адаптивных методов, например, таких как модель Хольта-Винтерса.

Методология исследования

Визуальный анализ представленных данных (таблица 1) показывает наличие волнообразной динамики. Однако высокая вариативность значений делает использование простых методов среднего значения неэффективным. В связи с этим, для построения качественного прогноза на 2026–2027 гг. был выбран метод экспоненциального сглаживания ETS (модель Хольта-Винтерса), который позволяет одновременно учитывать текущий уровень, тренд и сезонную компоненту. Причем для прогнозирования была выбрана аддитивная форма модели Хольта – Винтерса, так как амплитуда колебаний пожаров в СКО остается относительно стабильной на протяжении рассматриваемого шестилетнего периода.

Модель Хольта-Винтерса описывается системой следующих трех уравнений (сглаженного уровня, сглаживания тренда и сглаживания сезонности) [3]:

$$L_t = \alpha (Y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

$$S_t = \gamma (Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-m} \quad (3)$$

Прогнозное значение находится по формуле:

$$Y_{t+p} = L_t + pT_t + S_{t-m+p} \quad (4)$$

Здесь: Y_t - фактическое количество пожаров в текущий период; L_t - показатель уровня (базовое значение); T_t - значение тренда; S_t - коэффициент сезонности; m - период сезонности (в нашем случае $m = 12$); α, β, γ - коэффициенты сглаживания (параметры модели).

Результаты исследования

В результате работы алгоритма была построена модель со следующими характеристиками: коэффициент сглаживания уровня $\alpha = 0,25$. Относительно низкое значение α указывает на то, что модель придает большое значение динамике за прошлые годы (обеспечение стабильности прогноза). Коэффициент сглаживания тренда ($\beta = 0$) свидетельствует об отсутствии устойчивого линейного роста или падения (динамика носит циклический характер). Коэффициент сглаживания сезонности ($\gamma = 0$) означает, что амплитуда колебаний по месяцам стабильна из года в год и не претерпевает значительных изменений в структуре [4].

Средняя абсолютная масштабированная ошибка равна 0,67 (получено путем отношения средней абсолютной ошибки модели (15,5) к ошибке произвольного предположения (23)). Тот факт, что итоговый коэффициент значительно ниже единицы, подтверждает статистическое преимущество предложенного алгоритма над тривиальными методами экстраполяции [5].

На рисунке 1 представлена визуализация совмещенного графика фактических данных и расчетного прогноза до декабря 2027 года.



Рисунок 1 - Прогноз динамики пожаров в СКО на 2026-2027 гг.

Детальные прогнозные показатели в количественном выражении представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прогноз количества пожаров в СКО на 2026-2027 гг.

месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ИТОГО
2026 г.	23	35	14	36	77	28	24	24	40	37	31	71	440
2027 г.	19	31	10	33	73	24	20	20	36	33	27	68	394

Интерпретация прогнозных значений, представленных в таблице 2, указывает на сохранение устойчивого циклического характера пожарной опасности в СКО [6, 7].

Выводы

- Проведенные исследования показали, что в весенне-летний период прогнозируется экстремальный пик активности в мае 2026 и 2027 годов (до 77 случаев). Это значение значительно превышает средние показатели за прошлые два года, что может быть связано с климатической аномалией, зафиксированной моделью.

- Зимний период: декабрь остается вторым критическим пиком (до 71 случая), что подтверждает влияние отопительного сезона на статистику ЧС.

- Минимумы: март (10-14 случаев) идентифицирован как период «оперативной передышки», оптимальный для профилактического планирования.

На основании полученного прогноза предлагаются следующие меры для профилактики:

Март – апрель: Использовать периоды минимальной оперативной нагрузки для проведения масштабных агитационных кампаний перед началом пожароопасного сезона.

Май – июнь: Перевод подразделений на усиленный вариант несения службы в соответствии с прогнозным пиком (77 случаев).

Декабрь – январь: Фокусировка профилактической работы на частном жилом секторе с печным отоплением.

Заключение:

В ходе проведенного исследования была разработана прогностическая модель динамики пожаров в СКО на период до 2027 года с использованием алгоритма экспоненциального сглаживания ETS (метод Хольта-Винтерса). Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Адекватность модели. Средняя абсолютная масштабированная ошибка равна 0,67 ($0,67 < 1$), это подтверждает высокую статистическую значимость и надежность прогноза. Модель успешно идентифицировала внутренние закономерности временного ряда, несмотря на высокую стохастичность процессов.

2. Прогнозные экстремумы. Выявлено, что наиболее напряженными периодами в долгосрочной перспективе станут – май (77 случаев в 2026 г.) и пик отопительного сезона (декабрь 2027 г. – 68 случаев). Установлено, что разрыв между максимальными и минимальными (март 2027 г. – 10 случаев) значениями составляет более 7 раз, что требует гибкого подхода к планированию дежурных смен.

3. Практическая значимость. Полученные результаты позволяют органам гражданской защиты СКО заблаговременно прогнозировать периоды повышенного риска. Снижение минимальных прогнозных значений к 2027 году свидетельствует о потенциальной эффективности превентивных мер, однако сохраняющиеся летние и зимние пики указывают на необходимость усиления профилактической работы в частном жилом секторе и лесостепных массивах.

Список литературы

1. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан [Электронный ресурс] // Официальный сайт [сайт]. Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=ru> (дата обращения 11.09.2025 г.).
2. Кусаинов А.Б., Раимбеков К.Ж., Ералина С.Е., Қайыргельді Н.Қ. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с помощью искусственных нейронных сетей // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 4 (60) – С. 37-44.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
4. Моськин К.Д. Методические рекомендации по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2024. – 30 с.
5. Хайндман, Р.Дж., Атанасопулос Г. Прогнозирование: принципы и практика / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2019. – 384 с.
6. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 320 с.
7. Светлов И.П. Прогнозирование социально-экономических процессов. – М.: ИНФРА-М, 2022. – 250 с.

References

1. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan [Jelektronnyj resurs] // Oficial'nyj sajt [sajt]. Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=ru> (data obrashhenija 11.09.2025 g.).
2. Kusainov A.B., Raimbekov K.Zh., Eralina S.E., Қajyrgel'di N.Қ. Prognozirovanie chrezvychajnyh situacij s pomoshh'ju iskusstvennyh nejronnyh setej // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 4 (60) – S. 37-44.
3. Lukashin Ju.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov. – M.: Finansy i statistika, 2003. – 416 s.
4. Moskin K.D. Metodicheskie rekomendacii po monitoringu i prognozirovaniju chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tehnogennoho haraktera. – M.: VNI IPO MChS Rossii, 2024. – 30 s.
5. Hajndman R. Dzh., Atanasopulos G. Prognozirovanie: principy i praktika. – Per. s angl. – M.: Vil'jams, 2019. – 384 s.
6. Afanas'ev V.N., Juzbashev M.M., Analiz vremennyh rjadov i prognozirovanie. – M.: Finansy i statistika, 2010. – 320 s.
7. Svetlov I.P. Prognozirovanie social'no-jekonomicheskikh processov. – M.: INFRA-M, 2022. – 250 s.

Н. Ж. Байжиенов, К. Ж. Раимбеков, Е. К. Саменов, А. Г. Мусайбеков

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

ХОЛТ–ВИНТЕРСТІҢ ҮШТІК ЭКСПОНЕНЦИАЛДЫ ТЕГІСТЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ӨРТТЕРДІҢ ДИНАМИКАСЫН БОЛЖАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста Солтүстік Қазақстан облысының аумағында өрттердің пайда болу динамикасына кешенді талдау ұсынылған. Солтүстік Қазақстан облысының Төтенше жағдайлар департаментінің 2020-2025 жылдардағы верификацияланған деректері негізінде авторлар үштік экспоненциалды тегістеу моделін енгізді. Зерттеу маусымдық ауытқуларды тексеруге және өрт қаупі бар кезеңдерде профилактикалық бақылау стратегиясын жетілдіру үшін болжамды базаны әзірлеуге бағытталған.

Түйінді сөздер: өрт қаупі, өрт динамикасы, Солтүстік Қазақстан облысы, уақыт қатарлары, маусымдық, болжау, экспоненциалды тегістеу, Холт–Винтерс моделі (ETS), тәуекелдерді бағалау.

N. J. Baizhienov, K. J. Raimbekov, E. K. Samenov, A. G. Musaibekov

*Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

FORECASTING THE DYNAMICS OF FIRES IN THE NORTH KAZAKHSTAN REGION USING THE HOLT-WINTERS TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the dynamics of fires in the North Kazakhstan region. The authors implemented a model of triple exponential smoothing, based on the verified data of the Emergency Situations of North Kazakhstan Region for 2020-2025. The research is aimed at verifying seasonal fluctuations and developing a predictive framework for improving preventive control strategies in fire-prone periods.

Keywords: fire danger, fire dynamics, North Kazakhstan region, time series, seasonality, forecasting, exponential smoothing, Holt-Winters model (ETS), risk assessment.

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

Байжиенов Нурлан Жанайдарович – профессор кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: bai23@bk.ru

Раимбеков Кендебай Жанабилович – кандидат физико-математических наук, асс. профессор (доцент), доцент кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Саменов Ерлан Каирбаевич – заместитель начальника кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: samenov.e@agz.emer.kz

Мусайбеков Асхат Гайнуллаулы – кандидат технических наук, начальник кафедры общетехнических дисциплин информационных систем и технологий Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: lettermus@mail.ru

Nurlan Zh. Baizhienov – professor of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: bai23@bk.ru

Kendebai Zh. Raimbekov – candidate of physico-mathematical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kendebai_63@mail.ru,

Yerlan K. Samenov – master's degree, deputy head of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: samenov.e@agz.emer.kz

Askhat G. Mussaibekov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of General Technical Disciplines of Information Systems and Technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: lettermus@mail.ru