

УДК 614.8

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАВОДКООПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД С 2013 ПО 2023 ГОД

Королев Денис Сергеевич<sup>1</sup>, Вытовтов Алексей Владимирович<sup>1,2</sup>,  
Рябущенко Алексей Сергеевич<sup>3</sup>, Русских Дмитрий Викторович<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж, Россия

<sup>3</sup>ООО ПНР «Система – Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Академия Государственной противопожарной службы, г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

В статье поднимается актуальный вопрос необходимости обеспечения защиты людей, имущества и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Авторами отмечается, что не менее опасным природным катаклизмом на планете, наряду с природными пожарами, землетрясениями и т. д., является весеннее половодье, способствующее быстрому затоплению и подтоплению зданий, сооружений, строений, промышленных коммуникаций, приусадебных участков, а в некоторых случаях вызывающее смерть людей. Кроме того, оказывается существенное влияние на нарастание социально-экономической напряженности, что обусловлено бессилием человека перед природными катастрофами. Однако, рассмотрев основные причины возникновения затоплений (подтоплений), отмечается непосредственное участие человека, например, в случаях застройки поймы реки и т. д. Поэтому в работе определяется цель – проведение расширенного статистического анализа паводкоопасной обстановки на территории Воронежской области для аналитической оценки степени опасности. По результатам проведенной работы было установлено, что складывающаяся обстановка на территории области остается в пределах допустимых рисков. Наряду с этим были построены и рассчитаны аппроксимирующие функции для некоторых показателей, которые в дальнейшем были использованы для прогнозирования обстановки в 2024 г. Достоверность полученных данных находится в пределах от 63 до 83 %, при этом коэффициент корреляции характеризует тесноту полученных связей, что является хорошим показателем.

**Ключевые слова:** безопасность, прогнозирование, угроза жизни, анализ, статистические данные

## ANALYSIS OF INDICATORS OF THE FLOOD HAZARD SITUATION IN THE TERRITORY OF THE VORONEZH REGION FOR THE PERIOD FROM 2013 TO 2023

Denis S. Korolev<sup>1</sup>, Alexey V. Vytovtov<sup>1,2</sup>, Alexey S. Ryabuschenko<sup>3</sup>, Dmitry V. Russkikh<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh Institute for Advanced Training of Employees of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Voronezh, Russian Federation

<sup>3</sup>LLC PNR «System – Service», St. Petersburg, Russian Federation

<sup>4</sup>Academy of the State Fire Service, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

The article raises the urgent issue of the need to ensure the protection of people, property and territories from natural and man-made emergencies. The author notes that no less dangerous natural cataclysm on the planet, along with wildfires, earthquakes, etc., is the spring flood, which contributes to the rapid flooding and flooding of buildings, structures, buildings, industrial communications, homesteads, and in some cases cause the death of people. In addition, there is a significant impact on the increase in socio-economic tension, which is due to human impotence in the face of natural disasters. However, having considered the main causes of flooding (flooding), direct human involvement is noted, for example, in cases of floodplain development, etc. Therefore, the purpose of the work is to conduct an extended statistical analysis of the flood-prone situation on the territory of the Voronezh region, for an analytical assessment of the degree of danger. According to the results of the work carried out, it was found that the current situation in the region remains within acceptable risks. Along with this, approximating functions were constructed and calculated for some indicators, which were later used to predict the situation for the period 2024. The reliability of the data obtained is in the range from 63 to 83%, while the correlation coefficient characterizes the closeness of the obtained connections, which is a good indicator.

**Keywords:** security, forecasting, threat to life, analysis, statistical data

## Введение

В основе концепции обеспечения национальной безопасности Российской Федерации заложен принцип решения наиболее значимых приоритетных задач, направленных на обеспечение государственной и общественной безопасности [1]:

- проведение оперативного мониторинга и разработка превентивных мероприятий, направленных на предупреждение и развитие чрезвычайных ситуаций различного характера;

- минимизация размера ущерба и экономических потерь от чрезвычайной ситуации;

- оперативная ликвидация деструктивных ситуаций.

Успешное выполнение которых позволяет достичь основную цель – защитить население и территорию страны от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [2].

Стоит отметить, что одним из катастрофических по масштабу и экономическому ущербу природных катаклизмов, наряду с природными пожарами, является воздействие паводков и половодий на социальную инфраструктуру и населенные пункты, основными причинами которых являются [3, 4]:

- образование заторов льда (способствует резкому повышению уровня воды в реке, при котором она выходит из берегов и затопляет прилегающую местность);

— зарастание рек прибрежно-водной растительностью (уменьшается скорость течения воды, при котором повышается ее уровень с последующим подтоплением местности);

— застройка поймы реки (ограничивают естественный разлив воды);

— глубокое промерзание почвы в совокупности с обильными осадками и активным снеготаянием (способствует локальным затоплениям водами поверхностного стока пониженных участков местности);

— аварии на гидротехнических сооружениях (возможно переполнение водоема, что повлечет разрушение технологической конструкции с образованием волны прорыва).

В связи с этим проблема обеспечения безопасности при паводках и половодьях приобретает особую актуальность, особенно в условиях стремительного социально-экономического развития России.

## Методы и результаты исследований

Влияние социальных и экономических изменений на развитие научного потенциала страны позволили усовершенствовать статистический анализ и возможную оценку последствий от паводков и половодья. Поэтому основной целью работы является проведение расширенного статистического анализа паводкоопасной обстановки за период с 2013–2023гг. Объектом исследования выбрана Воронежская область, а предметом исследования выступит аналитическая оценка, отражающая степень опасности.

В соответствии со статистическими данными МЧС России была сформирована табл. 1, содержащая показатели паводкоопасной обстановки на территории области, ее последствия, являющиеся основополагающими в аналитическом учете [5–7].

**Таблица 1.** Количество случаев половодья (затоплений) и их последствия на территории Воронежской области

**Table 1.**

The number of cases of high water (flooding) and their consequences in the territory of the Voronezh region

Показатель Index	Рассматриваемый период (2013-2023) гг. The period under review is 2013 - 2023										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Количество затоплений, ед Number of floods, units	24	3	5	7	9	107	5	2	8	3	33
Количество погибших, ед Number of dead, units	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Количество затопленных участков, ед Number of flooded areas, units	1704	3	7	15	2	5988	3	2	13	1	65
Количество затопленных мостов, ед Number of flooded bridges, units	18	0	1	2	3	45	0	2	4	2	31

Количество затопленных участков дорог, ед Number of flooded road sections, units	1	0	1	0	0	25	18	2	1	0	0
Количество затопленных зданий, ед Number of flooded buildings, units	72	0	0	0	4	498	0	0	0	0	0
Экономический ущерб, млн руб. Economic damage, million rubles	5,475	0,010	0,035	0,100	2,343	27,250	0,150	1,000	1,500	0,100	1,200

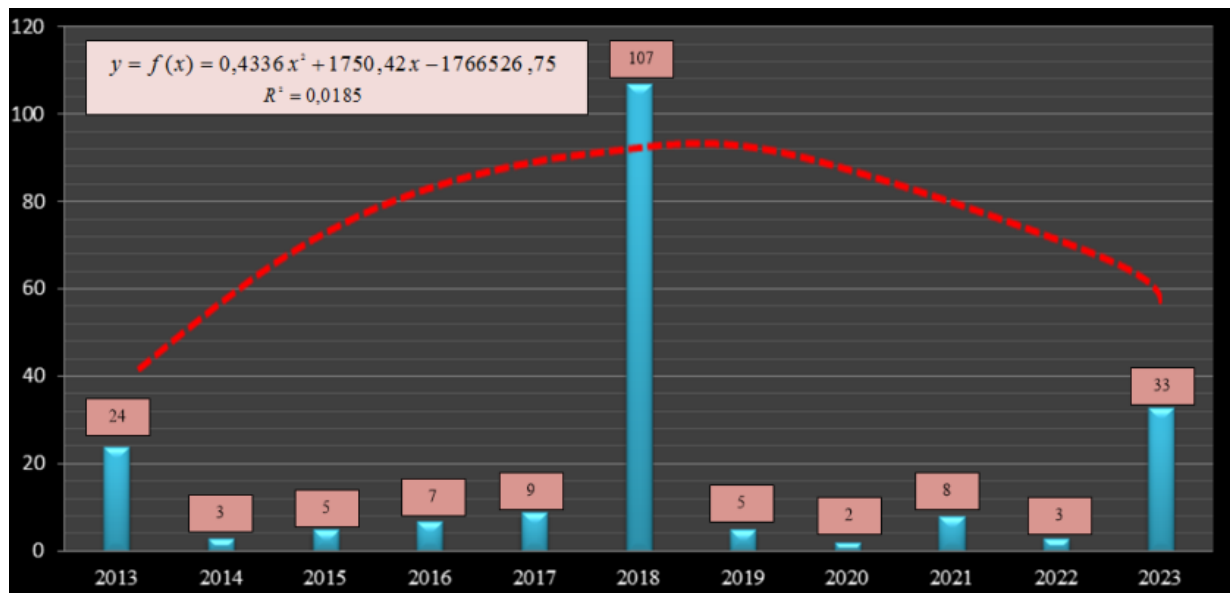
Изучение сведений, представленных в табл. 1, позволило установить, что наибольшее число негативных последствий было зарегистрировано в период весеннего половодья 2017–2018 гг.: число погибших составило 2 человека, а максимальный материальный ущерб превысил 27 миллионов рублей. При этом 2013–2016 гг. и 2019–2023 гг. отмечаются отсутствием несчастных случаев и незначительным ущербом в сравнении с 2018 г. Кроме того, аналитическая оценка показала, что самым массовым местом затоплений являлись объекты жилого сектора сельской местности (около 90 % случаев), включая низководные мосты и приусадебные участки. Таким образом, динамические показатели за 2013–2023 гг., убеждают нас в том, что половодье обладает существенным фактором риска, а вероятность серьезных социально-экономических последствий достаточно высокая.

Воспользуемся методом наименьших квадратов для построения аппроксимирующей функции распределения случайных величин (количество затоплений, количество затопленных приусадебных участков, материальный ущерб) по отчетным годам [8, 9]. Это позволит рассчитать сумму квадратов отклонений между эмпирическими и теоретическими значениями. Чем больше отклонение будет стремиться к минимуму, тем точнее должен быть прогноз.

Рассмотрим динамику зарегистрированных случаев затоплений (половодий) на территории Воронежской области. Здесь отчетливо прослеживается тенденция резкого увеличения количества деструктивных событий в период с 2013 по 2018 гг., а затем происходит постепенное снижение (рис. 1). В результате аппроксимации данных получены следующие коэффициенты:  $a_2 = 0,4336$ ;  $a_1 = 1750,42$ ;  $a_0 = 1766526,75$ , а уравнение примет вид (1):

$$y = f(x) = 0,4336x^2 + 1750,42x - 1766526,75, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,0185$$



**Рис. 1.** Динамика подтоплений на территории Воронежской области

**Fig. 1.** Dynamics of flooding in the territory of the Voronezh region

Схожая ситуация прослеживается по количеству зарегистрированных случаев затопления (подтопления) приусадебных участков, т. е. с течением времени происходит увеличение, а затем спад деструктивных ситуаций. Однако существует некоторая особенность, обусловленная циклическостью периодов. Так, например, в 2013 г. зафиксировано 1704 единицы затопленных участков, затем в 2018 г. этот показатель достиг 5988, а в 2023 г. учтено

$$y = f(x) = -39,03x^2 + 157468,87x - 158809685,78, \quad 2) \\ R^2 = 0,05$$

Ранее отмечалось, что половодье характеризуется высокой угрозой для жизни людей, особенно для маломобильных групп населения, проживающих в сельской местности, но и несет в себе большой прямой ущерб. Опыт предыдущих лет (2013 г., 2018 г.) позволил своевременно разрабатывать и применять организационные и инженерно-технические

$$y = f(x) = -0,23x^2 + 951,49x - 959901,34, \quad (3) \\ R^2 = 0,07$$

65 случаев, что в сравнении с предыдущим периодом 2019–2022 гг. (суммарно 19 затопленных участков) является значимой величиной (рис. 2). В результате аппроксимации данных, получены следующие коэффициенты:  $a_2 = -39,03$ ;  $a_1 = 157468,87$ ;  $a_0 = 158809685,78$ , а уравнение примет вид (2):

мероприятия, снижающие риски потерь (рис. 3). В результате аппроксимации данных получены следующие коэффициенты:  $a_2 = -0,23$ ;  $a_1 = 951,49$ ;  $a_0 = 959901,34$ , а уравнение примет вид (3):

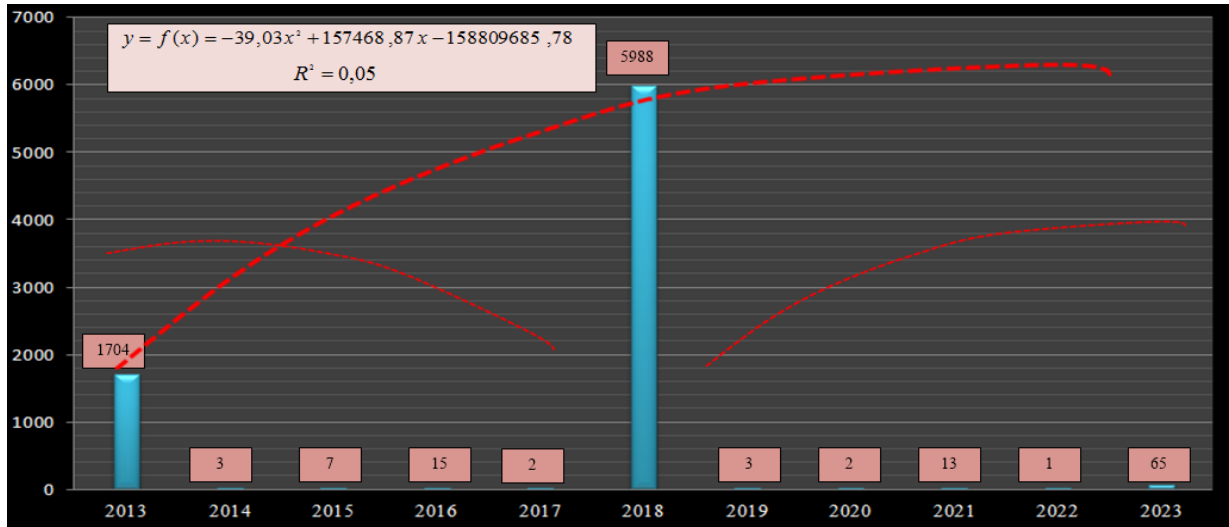


Рис. 2. Динамика затопленных приусадебных участков на территории Воронежской области

Fig.2. Dynamics of flooded household plots in the Voronezh region

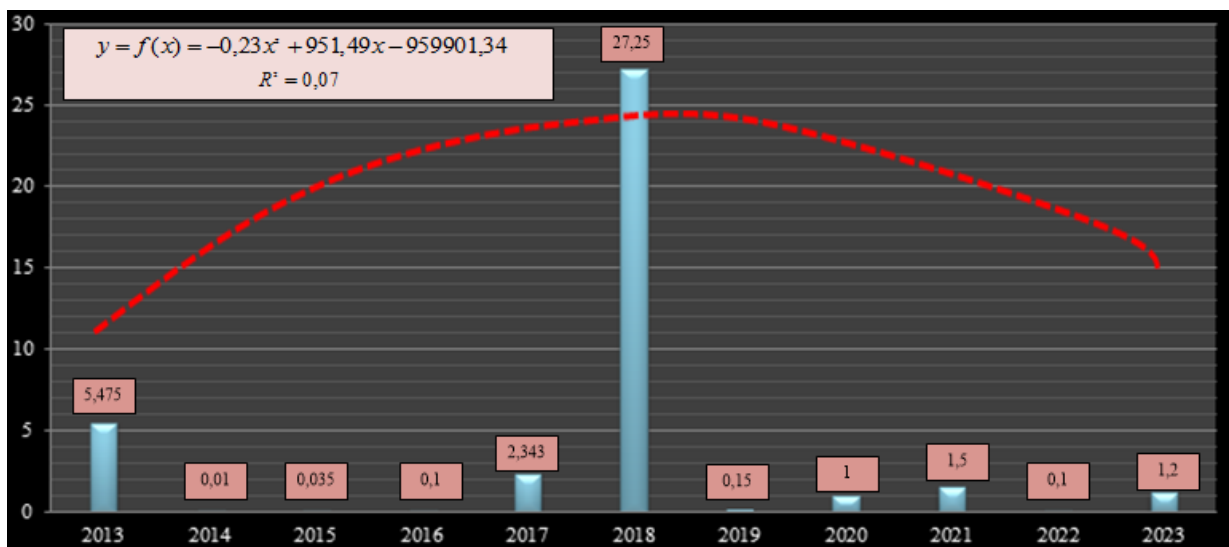


Рис. 3. Динамика прямого ущерба от затоплений (подтоплений)

Fig.3. Dynamics of direct damage from flooding (flooding)

В табл. 2 представлены рассчитанные функции аппроксимации и величины квадратов отклонений между эмпирическими и теоретическими значениями для выборки показателей. Установлено, что самый наименьший квадрат отклонения соответствует квадратичной регрессии,

следовательно, выбор в пользу квадратичной (4) является правильным:

$$y = f(x) = a_2x^2 + a_1x - a_0 \quad (4)$$

**Таблица 2.** Аппроксимирующие функции показателей половодья за период 2013–2023 гг.  
**Table 2.** Summary table of approximating functions of flood indicators for the period 2013–2023

Рассматриваемый показатель Considered indicator	Функция аппроксимации Approximation function	Величина отклонения Deviation amount
Количество затоплений за 2013–2023 гг. The number of floods (floods) for 2013–2023	$y = f(x) = 0.3636x - 715,09$	21674,2
	$y = f(x) = e^{3,8227-0,0008x}$	21431,1
	$y = f(x) = 0,4336x^2 + 1750,42x - 1766526,75$	21425,7
Количество затопленных участков за 2013–2023 гг. Number of flooded areas for 2013–2023	$y = f(x) = -74,63x - 151325,54$	75165100,0
	$y = f(x) = e^{415,48-0,2045x}$	74529768,0
	$y = f(x) = -39,03x^2 + 157468,87x - 158809685,78$	7436148,0
Экономический ущерб за 2013–2023 гг. Economic damage for 2013–2023	$y = f(x) = -0,1547x - 315,6715$	1408,0
	$y = f(x) = e^{-271,34+0,1341x}$	1394,0
	$y = f(x) = -0,23x^2 + 951,49x - 959901,34$	1392,0

Используя коэффициенты функций аппроксимации и исходные параметры, рассчитаем при помощи формулы (5) границы интервала, в котором будет сосредоточено более 95 % возможных прогнозируемых значений при неограниченно большом числе наблюдений для 2024 г. [10-12]:

$$\xi = t_{\text{крит}} \cdot S_y \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\vec{t} - t_p)^2}{\sum (t_i - \vec{t})^2}} \quad (5)$$

$t_p$  – период, для которого проводится прогнозирование (2024 г.);

$S_y$  – стандартная ошибка уравнения;

$t_{\text{крит}}$  – 2,752 (коэффициент Стьюдента) [13, 14, 15];

$n$  – количество исходных данных.

На этапе спецификации был выбран параболический тренд, а параметры прогнозирования определяли с помощью метода наименьших квадратов.

В результате прогноза были получены значения исходных показателей с максимальной достоверностью более 83 % (табл. 3), что является хорошим показателем и свидетельствует о том, что изменение временного периода не существенно влияет на исходные критерии.

При этом коэффициент корреляции (от 0,637 до 0,835) характеризует тесноту нелинейной связи и не влияет на направление, следовательно, полученные признаки должны быть сильными.

**Таблица 3.** Результаты прогнозирования  
**Table 3.** forecasting results

Показатель Index	Прогнозирование на 2024 г. Forecasting for 2024	Коэффициент детерминации, $R^2$ Determination coefficient, R2	Коэффициент корреляции, $r_{xy}$ Correlation coefficient, $r_{xy}$	Вероятность, (P), % Probability, P %
Количество затоплений (половодий), шт. Number of floods (floods), pcs.	17±11	0,0185	0,798	≥ 79
Количество затопленных участков, шт. Number of flooded areas, pcs.	173±39	0,0500	0,637	≥ 63
Прямой ущерб, млн руб. Direct damage, million rubles	1±0,5	0,0700	0,835	≥ 83

### Выводы

Проведенный расширенный статистический анализ паводкоопасной обстановки на территории Воронежской области за период 2013–2023 гг. показывает, что ситуация с последствиями весенних половодий остается стабильной и вполне прогнозируемой. Такое положение дел может быть объяснено достаточной и своевременной разработкой инженерно-техниче-

ских мероприятий, способствующих снижению рисков возникновения муниципальных и региональных чрезвычайных ситуаций. Кроме того, в работе построены аппроксимирующие функции основных показателей, наиболее характерных для выбранного природного катаклизма (количество затоплений, затопленные участки и т. д.). В результате получены границы исследований, определяющие наиболее проблемные места.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации : указ Президента РФ от 02.07.2021 N 400 // КонсультантПлюс : сайт. URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 09.06.2023).
2. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : федер. закон Российской Федерации от 21.12.1994 N 68-ФЗ (послед. ред.) // КонсультантПлюс : сайт. URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 09.06.2023).
3. Ромина Л. В. Наводнения в России. Причины и последствия // Жизнь Земли. 2010. Т. 32. С. 284–291.
4. Лисовицкий Н. В. Применение спутниковых данных при изучении причин наводнения // Студенческий вестник. 2021. № 19 (164). Часть 8. С. 64–66.
5. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М., 2003. 352 с.
6. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году : государственный доклад. // МЧС России : офиц. сайт. URL: <https://mchs.gov.ru> (дата обращения: 09.06.2023).
7. Официальная статистика. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области (Воронежстат) : офиц. сайт. URL: <https://36.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 09.06.2023).
8. Голованчиков А. Б., Минь К. Д., Шибитова Н. В. Аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов и методом наименьших относительных квадратов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2019. № 1 (26). С. 42–44.
9. Королев Д. С., Кончаков С. А. Оценка влияния цифровых технологий на пожарную безопасность нефтегазовых объектов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2022. № 1. С. 95–105.
10. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, – 2020. – 52025.
11. Gilbert, S.W. Estimating Smoke Alarm Effectiveness in Homes. Fire Technol 57, 1497–1516 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
12. Kountouris, Y. An Assessment of the Relationship Between Daylight Saving Time, Disruptions in Sleep Patterns and Dwelling Fires. Fire Technol 57, 123–144 (2021). – DOI 10.1007/s10694-020-00983-1.
13. Садовая И. И., Захарова О. А. Анализ достоверных различий агрохимических показателей при расчете коэффициента Стьюдента // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 3. С. 46–57.
14. Кадилова Ш. А., Жабборов Х. Ш., Элдор Эркин угли Ураков Оценка доверительного интервала и доверительной границы погрешности измерений // Приборы. 2019. № 3 (225). С. 44–46.
15. Tashenova L. V., Babkin A. V. Innovative activity of the enterprises in Kazakhstan: economic and statistical analysis // Bulletin of Karaganda University. Economy Series. 2020. Vol. 100. № 4. P. 142–154.

## REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation of July 2, 2021 No 400 “On the National Security Strategy of the Russian Federation”. Collection of Legislation of the Russian Federation. July 5, 2021; 27: 5351. (rus).
2. On the protection of the population and territories from natural and man-made emergencies. Federal Law of December 21, 1994 No 68. Collected Legislation of the Russian Federation. 199; 35: 3648. (rus).
3. Romina L.V. Floods in Russia. Causes and consequences. Life of the Earth. 2010; 32: 284–291. (rus).
4. Lisovitsky N.V. The use of satellite data in the study of the causes of flooding. Student Bulletin. 2021; 19-8 (164): 64–66. (rus).
5. Vorobyov Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Catastrophic floods at the beginning of the 21st century: lessons and conclusions. M: LLC «DEKS-PRESS», 2003; 352. (rus).
6. State report On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2021. M.: EMERCOM of Russia; FGBU VNII GOChS (FTs), 2022; 259. (rus).
7. Official statistics [Electronic resource] - Access mode <https://36.rosstat.gov.ru/ofstatistics>. (rus).

8. Golovanchikov A.B., Min K.D., Shibitova N.V. Approximation of experimental data by the least squares method and the least relative squares method. Energy and resource saving: industry and transport. 2019; 1 (26): 42–44. (rus).
9. Korolev D.S., Konchakov S.A. Assessing the impact of digital technologies on the fire safety of oil and gas facilities. Scientific and analytical journal «Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia». 2022; 1: 95–105. (rus).
10. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. 2020; 52025. (rus).
11. Gilbert, S.W. Estimating Smoke Alarm Effectiveness in Homes. Fire Technol. 2021; 57: 1497–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01072-z>.
12. Kountouris, Y. An Assessment of the Relationship Between Daylight Saving Time, Disruptions in Sleep Patterns and Dwelling Fires. Fire Technol 57, 123–144 (2021). – DOI 10.1007/s10694-020-00983-1.
13. Sadovaya I.I., Zakharova O.A. Analysis of significant differences in agrochemical indicators when calculating the Student's coefficient. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2022; 3: 46–57. (rus).
14. Kadirova Sh.A., Zhabborov Kh.Sh., Eldor Erkin ugli Urakov Estimation of the confidence interval and confidence limit of the measurement error. Instruments. 2019; 3 (225): 44–46. (rus).
15. Tashenova L.V., Babkin A.V. Innovative activity of the enterprises in kazakhstan: economic and statistical analysis. Bulletin of Karaganda University. Economy Series. 2020: 4: 142–154. (rus).

#### Информация об авторах

**Королев Денис Сергеевич**, доцент, кандидат технических наук, Воронежский государственный технический университет, Россия 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84; РИНЦ ID 829407; e-mail: [otrid@rambler.ru](mailto:otrid@rambler.ru)

**Вытовтов Алексей Владимирович**, доцент, кандидат технических наук, Воронежский государственный технический университет, Россия 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84; РИНЦ ID 754850; e-mail: [taft.rvk@yandex.ru](mailto:taft.rvk@yandex.ru)

**Рябущенко Алексей Сергеевич**, технический специалист ООО ПНР «Система – Сервис», Россия 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Арсенальная, д. 66, к. 3, оф. 603

**Русских Дмитрий Викторович**, заместитель начальника учебно-научного комплекса – начальник кафедры учебно-научного комплекса процессов горения и эко-

#### Information about the authors

**Denis S. Korolev**, associate Professor, Ph.D., Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006 Russian Federation; ID RISC 829407; e-mail: [otrid@rambler.ru](mailto:otrid@rambler.ru)

**Alexey V. Vytovtov**, associate Professor, Ph.D., Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006 Russian Federation; ID RISC 754850; e-mail: [taft.rvk@yandex.ru](mailto:taft.rvk@yandex.ru)

**Alexey S. Ryabuschenko**, technical specialist LLC PNR «System – Service», Russia 195009, St. Petersburg, st. Arsenalnaya, 66, building 3, 603

**Dmitry V. Russkikh**, Deputy Head of the Educational and Scientific Complex - Head of the Department (Combustion Processes and Environmental Safety) of the Educa-

логической безопасности, кандидат технических наук, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Россия 129366, г. Москва ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID 175685

tional and Scientific Complex of Combustion Processes and Environmental Safety, Ph.D., Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, st. Boris Galushkin, 4, Moscow, 129366 Russian Federation; ID RSCI 175685