

УДК 614.841

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ УХУДШЕНИЯ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ

**Неверов Евгений Николаевич, Бесперстов Дмитрий Александрович,
Яковлев Иван Владимирович, Семенов Никита Владимирович**

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

АННОТАЦИЯ

Исследование рассматривает возможные риски и угрозы, которые могут возникнуть в случае изменения окружающей среды и нарушения инфраструктуры. В работе проанализировано влияние факторов, таких как изменение климата, природных катастроф, техногенных аварий и других ситуаций, которые могут оказать косвенное, но глобальное воздействие на пожарную безопасность. Особое внимание уделяется разработке и совершенствованию мер и средств защиты, которые способны минимизировать риски возникновения и распространения пожаров в условиях повышенной опасности при невозможном своевременном прибытии федеральной службы пожарной охраны.

Исследование включает в себя анализ методов и технологий для прогнозирования паводков, а также предлагает рекомендации по улучшению системы обеспечения пожарной безопасности в условиях неблагоприятной паводковой обстановки.

Особое внимание уделено вопросам адаптации инфраструктуры к негативным условиям, включая модернизацию противопожарных систем в зданиях, а также внедрение современных технологий, таких как системы раннего обнаружения пожаров с использованием дронов и спутников. Также проанализированы социальные и экономические аспекты, связанные с возможным повреждением имущества, эвакуацией населения и восстановительными работами после пожаров.

Данная работа представляет комплексный подход к решению проблем пожарной безопасности в условиях ухудшающейся экологической ситуации и разрушения инфраструктуры, предлагаются как краткосрочные, так и долгосрочные меры по уменьшению рисков и защите населения.

Ключевые слова: пожарная безопасность, паводки, чрезвычайные ситуации, аварийно-спасательные работы, природные и техносферные опасности, безопасность населения, последствия от чрезвычайных ситуаций, стихийные бедствия

PECULIARITIES OF ENSURING TECHNOSPHERIC SAFETY OF OBJECTS AND SETTLEMENTS IN CONDITIONS OF WORSE FLOOD SITUATION

Evgeny N. Neverov, Dmitry A. Besperstov, Ivan V. Yakovlev, Nikita V. Semenov

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

ABSTRACT

The study examines potential risks and threats that may arise from environmental changes and infrastructure disruptions. The paper analyzes the impact of factors such as climate change, natural disasters, man-made accidents and other situations that can have an indirect but global impact on fire safety. Particular attention is paid to the development and improvement of measures and means of protection that can minimize the risks of the outbreak and spread of fires in high-risk conditions, when the timely arrival of the federal fire service is impossible.

The study includes an analysis of methods and technologies for flood forecasting and offers recommendations for improving the fire safety system in unfavorable flood conditions.

Particular attention is paid to the issues of adapting infrastructure to adverse conditions, including the modernization of fire protection systems in buildings, as well as the introduction of modern technologies, such as early fire detection systems using drones and satellites. Social and economic aspects related to possible damage to property, evacuation of the population and restoration work after fires are also analyzed.

This paper presents a comprehensive approach to solving fire safety problems in the context of a deteriorating environmental situation and infrastructure destruction, and it proposes both short-term and long-term measures to reduce risks and protect the population.

Key words: fire safety, floods, emergency situations, emergency rescue operations, natural and man-made hazards, public safety, consequences of emergency situations, natural disasters.

Актуальность

В последние годы наблюдается тенденция к учащению и ухудшению паводковых ситуаций, что создает серьезные проблемы по обеспечению пожарной безопасности, как бы это парадоксально ни звучало, для территорий, «отстраненных» водной стихией. Повышенные риски возгораний, затруднение к доступу и эвакуации требуют разработки специальных мер по защите населенных пунктов и объектов инфраструктуры [1].

Наводнения являются одними из самых разрушительных стихийных бедствий, с которыми сталкивается Россия и многие другие страны по всему миру. Основными причинами таких наводнений являются таяние снежных масс, ливневые дожди, а также разрушение или повреждение гидротехнических сооружений: таких как плотин, дамб и водохранилищ.

Так, серьезное наводнение произошло в Таиланде в 2011 г., когда из-за продолжительных муссонных дождей уровень воды в крупнейших реках страны, Чаупхрае и Меконге, поднялся до критических значений. Были сильно повреждены автомобильные и железные дороги, затоплены сельскохозяйственные угодья [2].

Прорыв дамбы на водосбросе плотины Оровилль в Калифорнии в 2017 г. был чрезвычайно серьезным и опасным событием. Этот инцидент произошел из-за трещины в желобе водосброса, вызванной внутренней эрозией почвы, что привело к значительному наводнению и угрозе жизням и имуществу людей вниз по реке.

В результате прорыва дамбы на плотине Оровилль были эвакуированы тысячи людей, нанесен значительный материальный ущерб и крупномасштабно по-

страдала экосистема в окрестностях реки. Этот случай стал катастрофическим напоминанием о важности надлежащего управления водными ресурсами и инфраструктурой для обеспечения безопасности и благополучия общества [3].

Такие события подчеркивают необходимость строгой проверки и обслуживания инфраструктуры плотин и водохранилищ для обеспечения их безопасности и предотвращения подобных происшествий в будущем.

Одним из крупнейших наводнений стало наводнение в Европе в 2021 г., когда сильные ливни вызвали резкий подъем уровня воды во многих реках, включая Рейн, Маас и их притоки. В некоторых регионах Германии, Бельгии и Нидерландов были затоплены целые населенные пункты [4].

Далее, наводнение, вызванное штормом «Даниэль», в Ливии 10 сентября 2023 г. принесло страшные последствия для местного населения. Разрушения инфраструктуры и потеря жизней в различных населенных пунктах, включая Бенгази и другие города, поразили всю страну. Прорыв плотин и разрушение зданий только усугубили катастрофу, сделав ее еще более разрушительной. Инфраструктура страны, такая как мосты, дороги, и электрические сети, пострадала от стихии, причинив дополнительный ущерб и затрудняя проведение спасательных работ и восстановление после бедствия [5].

Наводнения актуальны и для Российской Федерации (далее — РФ), так, масштабное происшествие произошло в

2019 г. в Иркутской области, вызванное сильными ливневыми дождями. Тысячи домов были затоплены, а некоторые населенные пункты оказались полностью отрезаны от внешнего мира из-за размытых дорог и разрушенных мостов. Спасательные службы столкнулись с трудностями доставки помощи пострадавшим районам, т. к. многие объекты стали недоступны для спасательной и пожарной техники [6].

В Краснодарском крае 19 октября 2019 г. возле поселка Щетинкино возникла авария в районе работ артели «Сисим», когда верхняя каскада из трех дамб, установленных на реке Сейбе, была прорвана водой. Последствие повлиало на катастрофическое разрушение остальных дамб. Селевой вал высотой от 4 до 5 метров пронесся по руслу реки, уничтожив поселок рабочих, расположенный ниже по руслу реки [7].

В 2024 г. в Оренбургской области произошел серьезный прорыв дамбы, который вызвал масштабное наводнение и затопление значительных территорий. Последствия этой катастрофы стали тяжелым испытанием для местных жителей и органов экстренного реагирования [8].

Таким образом, наводнения и паводки происходят часто и во всех частях мира, приводя не только к материальным потерям, но и жертвам.

На рис. 1 приведено количество зарегистрированных наводнений за все периоды наблюдений в различных странах с 2009 до 2023 гг. включительно.

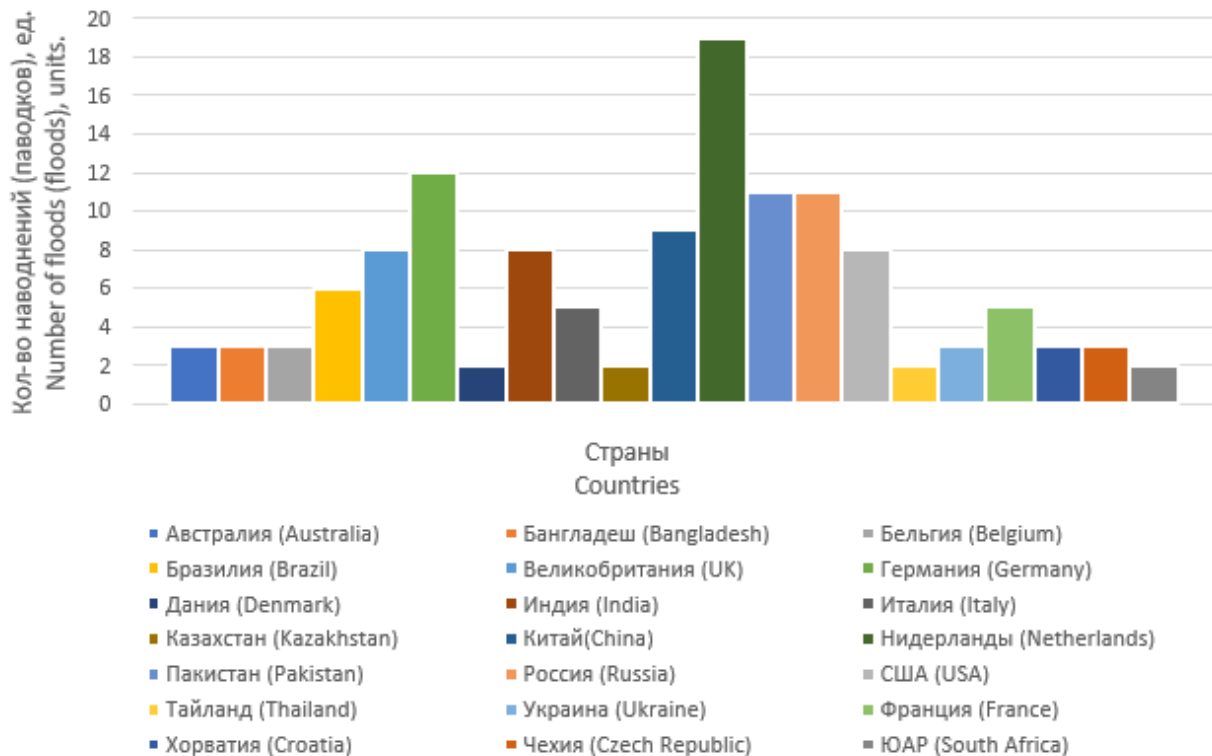


Рис. 1. Диаграмма зарегистрированных наводнений (паводков)

Fig. 1. Chart of registered floods

В соответствии с данным графиком наибольшая численность наводнений отмечена в таких странах, как Нидерланды, Германия, Пакистан, Россия наименьшая — в Таиланде, ЮАР, Дании и Казахстане.

Особую опасность представляют объекты промышленной среды, т. к. зачастую они влияют на жизнеобеспечение населения (энергетика, топливо, переработка сырья), а также наличие на них взрывоопасных и пожароопасных веществ, участвующих в производственном процессе. Все это несет дополнительные риски для работников предприятий и близ проживающего населения [9].

Одной из серьезных проблем, возникающих во время паводковых наводнений, является недоступность затопленных объектов и населенных пунктов для пожарной техники и службы спасения. Когда водные массы заливают улицы и дороги, пожарные машины и другая специальная техника просто не могут добраться до

зданий, находящихся в зоне затопления, особенно в случае возникновения пожаров, которые могут быть вызваны короткими замыканиями электрических сетей или бытовых приборов, поврежденных водой, а также неосторожности людей при использовании электронагревательных приборов, при наличии открытого огня или в результате нарушений требований по пожарной безопасности [10].

Разрушение гидротехнических сооружений, таких как дамбы, является серьезной проблемой, вызванной различными факторами. Среди основных причин разрушения дамб можно выделить переполнение воды за сооружением, эрозию окружающего грунта и недостаточное техническое обслуживание [11].

Последствия паводковых наводнений или повреждений гидротехнических сооружений могут быть значительными и многообразными, включая в себя.

1. Разрушение производственной и социальной инфраструктуры: повреждение и затопление дорог, мостов и железнодорожных путей, жилых и общественных зданий. В результате упомянутых разрушений происходит нарушение функционирования инфраструктуры, что ведет к экономическим потерям и необходимости восстановления [11].

2. Риск для общественной безопасности: сложности прибытия пожарных и спасательных служб при выполнении их функций, особенно если повреждены дороги и мосты.

3. Экологические последствия: загрязнение воды и почвы, уничтожение мест обитания флоры и фауны. Также в период паводков увеличивается вероятность эрозии почвы на территориях захоронения животных и высвобождения патогенных микроорганизмов, что способствует распространению инфекционных заболеваний.

Проблема обеспечения доступности пожарной техники и служб спасения при паводковых наводнениях или повреждении гидротехнических сооружений представляет серьезное ограничение для оперативного управления чрезвычайными ситуациями (далее — ЧС), что усложняет проведение ряда неотложных мероприятий по спасению людей и предотвращению материальных ущербов.

Подводя итоги резюмируем, что разработка и использование дополнительных мероприятий является вынужденной мерой как один из вариантов решения проблем по защите населения и инфраструктуры регионов страны, возникающих в результате паводков и подтопления территорий.

Целью данной работы является разработка мер для обеспечения пожарной безопасности объектов и населенных пунктов в условиях ухудшения паводковой обстановки.

Задачи, которые необходимо решить в ходе проведения исследования:

1. Исследование текущей ситуации паводковых изменений, определение вероятности увеличения частоты и интенсивности паводков.

2. Разработка модели для прогнозирования паводков и мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения.

3. Разработка дополнительных противопаводковых мероприятий.

Математический анализ ЧС, в том числе гидрологического характера

Для разработки мер по предотвращению и смягчению последствий ЧС необходимо провести анализ и моделирование общего числа ЧС, в том числе гидрологического характера.

Анализ и моделирование ЧС включают в себя сбор и анализ данных о прошлых событиях, а также использование математических моделей для прогнозирования вероятности и потенциального воздействия будущих событий.

Статистика чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации представлена на рис. 2 [12, 13].

На рис. 2 по статистическим данным построен график изменения чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации в период с 2013 по 2023 гг. Анализ данного графика показывает, что распределение количества ЧС за рассматриваемый период носит случайный и труднопрогнозируемый характер. Наибольший пик количества ЧС наблюдается в 2021 г., минимальное количество — в 2015, 2017 и 2022 гг. Также наблюдается тенденция к увеличению показателей.

Используя аппроксимацию функции одной переменной, а именно полином 8-ой степени, приведем функцию изменения количества чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации в период с 2013 по

2023 гг.. Исходные данные представлены в табл. 1

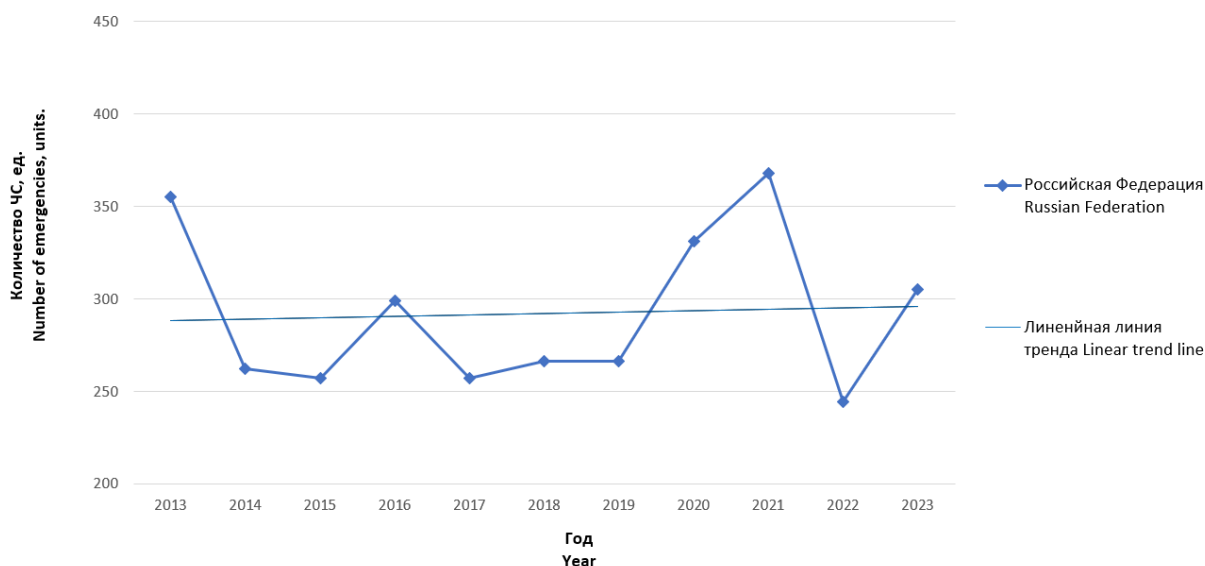


Рис. 2. Количество чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации в период с 2013 по 2023 гг.

Fig. 2. The number of emergency situations in the Russian Federation from 2013 to 2023

Таблица 1

Исходные данные, описывающие количество ЧС в РФ

Table 1

Initial data describing the number of emergencies in the Russian Federation

х, у/ года year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
х	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РФ (у) Russia (y)	355	262	257	299	257	266	266	331	368	244	305

Исходя из исходных данных таб. 1 получено математическое уравнение с полиномом 8-й степени, принимаемое вид:

$$y = 0,0022x^8 - 0,0858x^7 + 1,3445x^6 - 11,1844x^5 + 56,1164x^4 - 190,2450x^3 + 466,6608x^2 - 732,9972x + 765,6364. \tag{1}$$

Используем (1) для нахождения значений функции с 2013 по 2023 гг. Данные, которые получены в ходе математического расчета, приведены в табл. 2.

Использование полиномиальной функции 8-й степени позволило достаточно приближенно описать сложную функ-

цию, снижая ошибку приближения (средняя ошибка аппроксимации составила $\sum \varepsilon = 2,17\%$).

Общее число природных ЧС (водного характера), произошедших на территории РФ представлены в табл. 3 [12, 13].

Исходя из приведенных данных в рис. 3. табл. 3 строится график, изображенный на

Таблица 2
 Результаты расчета с использованием функции (1)
Table 2
 Calculation results using function (1)

х, у/ года year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
х	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РФ (у) Russia (y)	355	262	257	299	257	266	266	331	368	244	305
Значения функции (у) Function val- ues (y)	355,2	259,9	264,6	283,6	275,7	253,6	267,9	334,6	364,8	245	304,9
Ошибка ап- проксима- ции, % Approximatio n error, %	0,056	0,81	2,87	5,43	6,78	4,89	0,71	1,07	0,87	0,40	0,03
Средняя ошибка ап- проксима- ции, % Average ap- proximation error, %	$\sum \varepsilon = \frac{0,056 + 0,81 + 2,87 + 5,43 + 6,78 + 4,89 + 0,71 + 1,07 + 0,87 + 0,40 + 0,03}{12} \Rightarrow$ $\Rightarrow \sum \varepsilon = 2,17\%$										

Таблица 3
 Число природных чрезвычайных ситуаций (героического характера), произошедших на территории РФ
Table 3
 The number of natural emergencies (heroic nature) that occurred on the territory of the Russian Federation

Год Year	Сильный дождь, снегопад, крупный град Heavy rain, snowfall, large hail	Отрыв прибрежных льдов Coastal ice separation	Опасные гидрологические явления Hazardous hydrological phenomena	Количество погибших в результате природных ЧС, чел. Death toll as a result of natural emergencies	Пострадавшие, чел. Victims, people	Мат. ущерб, млн руб. Mat. damage, million rubles
2013	22	4	16	6	193 706	47 517,63
2014	16	2	7	11	125 584	3 823,28
2015	11	-	4	43	8 989	1 595,667
2016	21	1	15	3	126 082	5 261,137
2017	14	-	13	33	32 224	3 814,2
2018	11	1	12	8	53 637	481,668
2019	9	-	17	34	117 352	8 492,89

2020	6	1	29	4	2 934	4 936,666
2021	10	2	28	24	3	929,096
2022	10	1	9	1	1 679	7 231,854
2023	27	-	17	29	245 990	61 431,869



Рис. 3. График природных ЧС (гидрологического характера), произошедших на территории РФ с 2013 по 2023 гг.

Fig. 3. The schedule of natural emergencies (of hydrological nature) that occurred on the territory of the Russian Federation from 2013 to 2023

Согласно графику, представленному на рис. 3, распределение количества ЧС природного (водного характера) с 2013 по 2023 гг. носит случайный и трудно прогнозируемый характер. Наибольший пик количества ЧС наблюдается в 2015 г., минимальное количество приходится на 2016, 2020 и 2022 гг.

Исходя из данных табл. 3, аппроксимируем функцию одной переменной, а именно полиномы 7-й, 8-й степени, приведем функции изменения количества природных чрезвычайных ситуаций (водного характера), произошедших на территории РФ, после чего уравнения примут вид:

$$y_1 = 0,0018x^7 - 0,07070 x^6 + 1,1401x^5 - 9,3521x^4 + 40,9862x^3 - 92,2829x^2 - 92,0390x - 10,3273; \tag{2}$$

$$y_2 = 0.0004x^7 - 0,0169 x^6 + 0,2840x^5 - 2,4613x^4 + 11,6213x^3 - 28,8820x^2 + 32,3523x - 8,8909; \tag{3}$$

$$y_3 = -0,0007x^8 + 0,0391x^7 - 0,8491x^6 + 9,8211x^5 - 65,4031x^4 + 252,9305x^3 - 542,9203x^2 + 574,3996x - 212. \tag{4}$$

Где уравнение (2) описывает ЧС, вызванные сильным дождем, снегопадом, крупным градом, уравнение (3) описывает

ЧС при отрыве прибрежных льдов, уравнение (4) описывает опасные гидрологические явления.

Из рис. 2 следует, что распределение количества ЧС природного (водного) характера за определенный период обладает случайным и сложным для прогнозирования характером. А при использовании аппроксимации 8-го полинома (полинома 8-й степени) можно попытаться приблизительно описать это распределение или предсказать его поведение. Средняя погрешность между статистическими данными (таб. 3) и функциями изменения (2), (3), (4) составила:

$$\begin{aligned} \sum E(y_1) &= 10,9\%; \sum E(y_2) = \\ &= 22,6\%; \sum E(y_3) = 4,05\%. \end{aligned}$$

Анализируя статистические данные за период с 2013 по 2023 гг., можно выявить закономерности и тенденции в возникновении наводнений (паводков) на территории РФ, а также оценить эффективность существующих методов защиты.

Рассмотрим влияние последствия наводнений (паводков) на территории РФ. В табл. 4 приведены последствия наводнений (паводков) за период с 2013 по 2023 гг. на территории РФ [13].

Таблица 4

Последствия наводнений (паводков) за период с 2013 по 2023 гг. на территории РФ

Table 4

Consequences of floods for the period from 2013 to 2023 on the territory of the Russian Federation

Дата Date	Территория (Расположение) Territory (Location)	Площадь затопления Flood area	Пострадавшие, чел. Victims, people	Погибшие, чел. Dead, people	Ущерб, млрд рублей. Damage, billion rubles.
2013 г., с мая - по сентябрь 2013 From May to September	Дальневосточный федеральный округ Far Eastern Federal District	366 населенных пунктов, 13 667 жилых домов 366 settlements 13 667 residen- tial buildings	190 тыс. 190 thousand	жертв не было there were no casual- ties	39
В мае 2014 г. In May 2014	Южная Сибирь (республики Алтай, Хакасия и Тува) Southern Siberia (Republics of Altai, Khakassia and Tuva)	свыше 20 тыс. домов, 8 тыс. приуса- дебных участ- ков over 20 thou- sand houses, 8 thousand personal plots	47 тыс. 47 thousand	7	5

2016 г., 31 августа 2016 August 31	Приморский край, тайфун «Лайонрок» Primorsky Krai, Typhoon Lionroc	27 муниципальных районов, 170 населенных пунктов, 15 тыс. домовладений, 21 тыс. земельных участков. 27 municipal districts, 170 settlements, 15 thousand households, 21 thousand land plots.	40 тыс. 40 thousand	1	13
2017 г., 25 мая 2017 May 25	Ставрополь Stavropol	19 населенных пунктов, 1 789 жилых домов 19 settlements, 1,789 residential buildings	20 тыс. 20 thousand	2	6,4
2019 г., 25 июня 2019 June 25	Иркутская области Irkutsk region	135 населенных пунктов, 12 тыс. участков, 56 участков автодорог, 23 автомобильных моста 135 us. points, 12 thousand plots, 56 road sections, 23 road bridges	45 тыс. 45 thousand	30	35,152
2021 г., август 2021 august	Дальний Восток и Крым Far East and Crimea	765 жилых домов 765 residential buildings	6,7 тыс. 6,7 thousand	2	17,2
2022 г., 15 сентября 2022 September 15	Приморский край, тайфун «Хинамор» Primorsky Krai, typhoon «Hinamore»	1 тыс. домов 1 thousand houses	30 тыс. 30 thousand	8	6

2023 г., с 9 по 11 августа 2023 From 9 to 11 August	юг Приморья, тайфуна «Ханун» south of Primorye, typhoon "Hanun"	5 000 домов 5000 houses	44 тыс. 44 thousand	жертв не было there were no casual- ties	7
2023 г., 25 августа 2023 August 25	Приморский край Primorsky Krai	5 тыс. домо- владений 5 thousand households	32 тыс. 32 thousand	6	10

Из табл. 4 наглядно видно влияние паводков (наводнений) на:

1) экономические последствия (ущерб недвижимости и инфраструктуры, потери в сельском хозяйстве);

2) социальные последствия (ущерб здоровью населения).

Анализ этого показывает, что необходимо вводить меры по предотвращению наводнений, созданию систем предупреждения и борьбы с их последствиями, чтобы минимизировать воздействие на человеческие жизни и обеспечить безопасность населения [14, 15].

Проектирование систем защиты требует более глубокой математической модели, чем простое использование линейных или квадратичных уравнений. Полиномы более высоких степеней, такие как полиномы 7-ой и 8-ой степеней, могут предложить более точное моделирование и прогнозирование.

Метод для предотвращения паводков на основе полиномов высокой степени будет состоять из сбора данных. Для создания корректной математической

$$P_7(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6 + a_7x^7; \quad (5)$$

$$P_8(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5 + b_6x^6 + b_7x^7 + b_8x^8, \quad (6)$$

где a_i, b_j — коэффициенты;

x — вектор факторов (например, уровень осадков, влажность почвы, скорость ветра и др.).

модели необходим сбор данных, таких как:

- исторические данные о наводнениях (уровень воды, интенсивность осадков, температура);
- географические и гидрологические данные (рельеф местности, водоразделы, параметры рек и водоемов);
- информация о почве и растительности (водопоглощение, плотность лесов и др.).

Предварительная обработка данных. Данные необходимо качественно обработать, что подразумевает удаление и/или исправление отсутствующих значений и устранение дублирующих значений. Определение ключевых переменных, которые будут использоваться в анализе или моделировании. Преобразование в единый формат.

Используя полиномы 7-й и 8-й степеней для моделирования зависимости от различных факторов:

Прогнозирования паводковой обстановки в РФ

Для моделирования и прогнозирования паводков выберем язык программирования Python. За основу взята поли-

нома 8-й степени. Данные о прошлых паводках для обработки и прогнозирования используем за основу, из табл. 4.

Пример кода на языке Python прогноза приведен на рис. 4.

Где под условными единицами понимается уровень увеличения высоты воды выше критического значения.

Из рис. 5 видим, что уровень паводка с 2024 по 2026 гг. увеличивается. Это вызвано измерением высоты воды выше критического значения реки, озера или другого водоема, в результате увеличения из-за обильных осадков.

Данная модель прогноза не дает географическую точность образования паводка. Недостаток прогнозирования в географической точности. Это связано с взаимодействием множества переменных и случайных факторов даже при наличии общих прогнозов и исторических данных.

Поэтому даже при наличии общего прогноза важно принимать дополнительные противопаводковые мероприятия, используя прогнозируемые значения, полученные с помощью полиномов высокой степени.

Противопаводковые мероприятия

Пример противопаводковых мероприятий с учетом обеспечения пожарной безопасности на основе прогнозируемых данных — это система временного хранения воды.

Система временного хранения воды — резервуары и водохранилища для временной задержки паводковых вод с последующим контролируемым выпуском.

По центру находится большой резервуар, который заполняется водой во время паводка. Из него ведутся трубопроводы к водохранилищу, расположенному чуть ниже. Устройства каналов и/или подземных дренажных систем для отвода избыточной воды помогают предотвратить затопления городских территорий и сель-

скохозяйственных участков. На резервуаре есть уровень воды, контролируемый уровнемером. Сверху резервуара находятся запорные клапаны, которые управляют выпуском воды в резервуар. Водохранилище, в свою очередь, имеет свои перепускные трубопроводы. В критических местах можно установить насосные станции, которые будут перекачивать воду из зоны затопления в водоемы или водохранилища. Что, в свою очередь, повысит шанс избежать короткого замыкания электрических сетей или бытовых приборов.

В резервуарах с временным хранением паводковой воды можно также предусмотреть запасы для использования при тушении пожаров вдоль территорий с высоким риском пожара, такие как лесные зоны или промышленные районы. Это обеспечит мгновенный доступ к водным ресурсам в случае возгорания.

Система временного хранения воды представлена на рис. 6.

Дополнительные противопожарные меры на подтапливаемой территории:

- пожарный катер (забор воды для тушения с самой воды);
- пожарную машину на воздушной подушке;
- пожарный вертолет;
- дрон для мониторинга очагов возгорания в затопленных районах.

Эти меры позволят повысить уровень пожарной безопасности в зонах подтопления и максимизировать эффективность борьбы с возгораниями.

Необходимо продолжить исследования для обоснования предложенных принципов решения противопаводковой ситуации с целью проверки и подтверждения способности системы. Следовательно, особое внимание следует уделить определению входных и выходных значений системы.

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Пример данных о прошлых паводках
5 years = np.array([2013, 2014, 2016, 2017, 2019, 2021, 2022, 2023, 2023])
6 # Уровень паводка (в условных единицах)
7 flood_levels = np.array([0.89, 0.75, 0.8, 0.65, 1.1, 0.8, 0.65, 0.5, 0.67])
8
9 # Степень полинома (можно менять для экспериментов)
10 degree = 8
11
12 # Вычисление коэффициентов полинома
13 coefficients = np.polyfit(years, flood_levels, degree)
14 # Создание полиномиальной функции
15 polynomial = np.poly1d(coefficients)
16
17 # Прогнозирование паводков на последующие года
18 future_years = np.array([2024, 2025, 2026])
19 predicted_flood_levels = polynomial(future_years)
20
21 # Визуализация данных и полиномиального уравнения
22 plt.scatter(years, flood_levels, color='blue', label='Прошлые данные')
23 plt.plot(years, polynomial(years), color='red', label='Полиномиальная аппроксимация')
24
25 # Визуализация прогнозируемых данных
26 plt.scatter(future_years, predicted_flood_levels, color='green', label='Прогноз')
27
28 plt.xlabel('Год')
29 plt.ylabel('Уровень паводка')
30 plt.title('Полиномиальная аппроксимация и прогноз паводков')
31 plt.legend()
32 plt.grid(True)
33 plt.show()
34
35 # Вывод прогнозов
36 for year, level in zip(future_years, predicted_flood_levels):
37     print(f"Прогноз на {year} год: уровень паводка {level:.2f} условных единиц.")
38
```

Рис. 4. Код на языке Python прогноза паводков

Fig. 4. Python code for flood forecast

Результат прогноза с 2024 по 2026 гг. представлен на рис. 5.

Прогноз на 2024 год: уровень паводка 0.49 условных единиц.
Прогноз на 2025 год: уровень паводка 0.55 условных единиц.
Прогноз на 2026 год: уровень паводка 0.83 условных единиц.

Рис. 5. Результат прогноза с 2024 по 2026 гг.

Fig. 5. Forecast result from 2024 to 2026

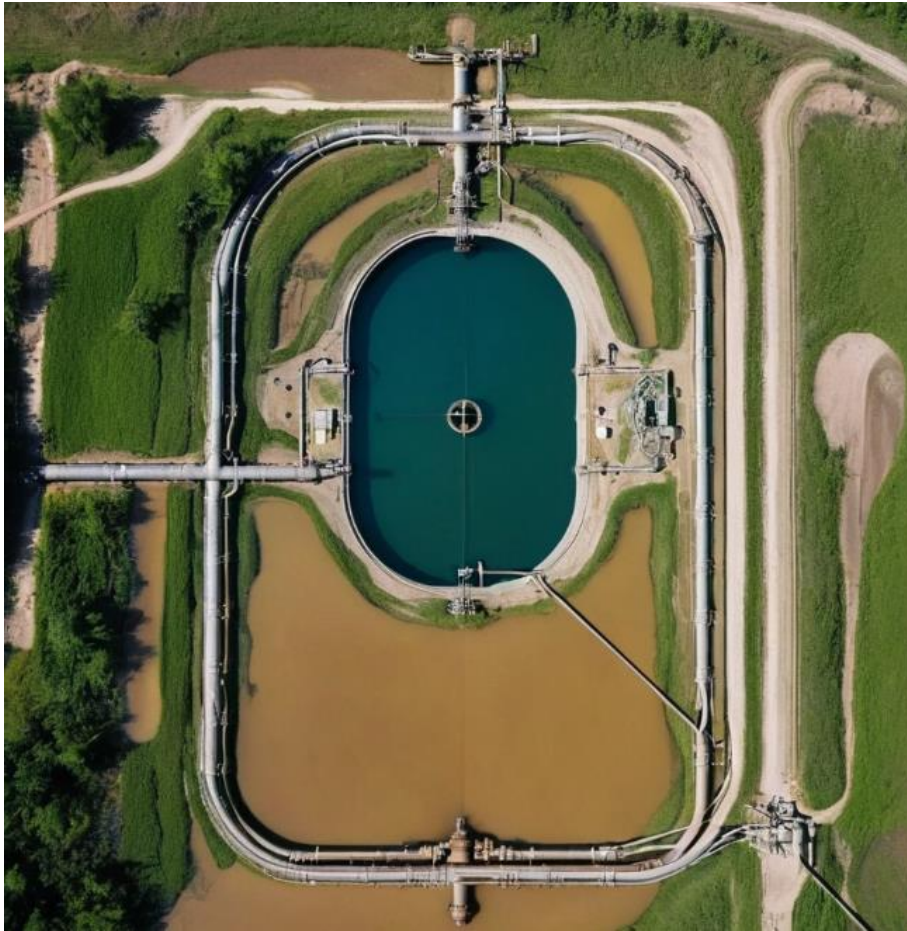


Рис. 6. Система временного хранения воды
Fig. 6. The temporary water storage system

Заключение

В ходе комплексного анализа современного состояния паводковых изменений были выявлены ключевые факторы, влияющие на частоту и интенсивность паводков в исследуемых регионах. Основные факторы включают в себя изменения климатических условий, увеличение объема осадков, антропогенные воздействия и топографические особенности территории. Выводы исследования указывают на тенденцию роста частоты и интенсивности паводков в ближайшее время. Полученные данные будут использованы для улучшения прогностических моделей и разработки более эффективных защитных мер.

Для создания модели прогнозирования паводков использовалась полино-

миальная регрессия, которая учитывает нелинейные зависимости в данных о климатических условиях, влияющих на формирование паводков. Разработанная модель была успешно протестирована на исторических данных, показав результаты прогноза паводков. В дальнейшем планируется проводить обновления модели с использованием большего числа параметров для повышения ее точности и надежности.

В результате разработки дополнительных противопаводковых мероприятий была спроектирована инженерная конструкция защиты от паводков. Создание системы временного хранения паводковых вод в сочетании с инженерными конструкциями для защиты от паводков представляет собой эффективное реше-

ние для минимизации рисков, связанных с паводками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бесперстов Д. А., Неверов Е. Н., Фомин А. И. Оценка и обеспечение безопасности людей при пожарах на производстве и в быту. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2024. 189 с.
2. Gale E. L., Saunders M. A. The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods // Weather. 2013. Т. 68, № 9. С. 233–237.
3. Insights into the cause of the Oroville dam spillway failure, 2017, California / X. Zhang et al. // Environmental Science and Pollution Research. 2024. С. 1–14.
4. Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine–Meuse basins / L. Pfister et al. // River research and applications. 2004. Т. 20, № 3. С. 229–241.
5. Flooding in Libya amid an economic crisis: what went wrong? / M. O. Oduoye et al. // IJS Global Health. 2024. Т. 7, № 1. DOI 10.1097/gh9.000000000000401. – EDN WDYPAC. (дата обращения: 09.09.2024).
6. Дугарова Г. Б. Анализ и оценка последствий наводнений в г. Тулуне (Иркутская область) // ЭКО. 2021. № 1 (559). С. 130–150.
7. Арефьева Е. В., Болгов М. В. Особенности прогнозирования природных наводнений в целях снижения риска чрезвычайных ситуациях на примере Красноярского края // Технологии гражданской безопасности. 2018. № 4 (58). С. 40–47.
8. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Лупян Е. А. Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году // Мониторинг. 2024. Т. 21, № 3. С. 339–347.
9. Разработка методологического принципа обеспечения пожаробезопасности людей / А. И. Фомин [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023. № 4. С. 27–34.
10. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (дата обращения: 21.09.2024).
11. Немитовская Д. В. Подвербный В. А. Проблема проектирования и обеспечения сохранности вод разделительных дамб // Научные дискуссии в эпоху глобализации: материалы XXIII Всероссийской научно-практической конференции, Смоленск, 08 декабря 2022 года. – Смоленск: ООО «Полиграф», 2022. С. 318–321.
12. ЕМИСС Государственная статистика : официальный сайт. URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).
13. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : официальный сайт. URL: <https://mchs.gov.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).
14. Эталонная информационная система по математическому управлению безопасностью людей / Е. Н. Неверов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2022. № 4. С. 33–37.
15. Безопасность промышленного производства в Российской Федерации и за рубежом / Е. Н. Неверов [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2023. № 2. С. 6–11.

REFERENCES

1. Besperstov D. A., Neverov E. N., Fomin A. I. Otsenka i obespechenie bezopasnosti liudei pri pozharakh na proizvodstve i v bytu. Kemerovo : Kemerovskii gosudarstvennyi universitet, 2024. 189 p.
2. Gale E. L., Saunders M. A. The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods // Weather. 2013. Т. 68, no 9. S. 233–237. (rus)
3. Insights into the cause of the Oroville dam spillway failure, 2017, California / X. Zhang et al. // Environmental Science and Pollution Research. 2024. S. 1–14.
4. Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine–Meuse basins / L. Pfister et al. // River research and applications. 2004. Т. 20, no 3. S. 229–241.

5. Flooding in Libya amid an economic crisis: what went wrong? / M. O. Oduoye et al. // IJS Global Health. 2024. T. 7, no 1. DOI 10.1097/gh9.0000000000000401. – EDN WDYPAC. (data obrashcheniia: 09.09.2024).
6. Dugarova G. B. Analiz i otsenka posledstviiv navodnenii v g. Tulune (Irkutskaiia oblast') // EKO. 2021. no 1 (559). S. 130-150.
7. Aref'eva E. V., Bolgov M. V. Osobennosti prognozirovaniia prirodnykh navodnenii v tseliakh snizheniia riska chrezvychainykh situatsiiax na primere Krasnoiarskogo kraia // Tekhnologii grazhdanskoii bez-opasnosti. 2018. no 4 (58). S. 40-47. (rus)
8. SHinkarenko S. S., Bartalev S. A., Lupian E. A. Monitoring posledstviiv navodneniia v Oren-burgskoi oblasti pri polovod'e na reke Ural v 2024 godu // Monitoring. 2024. T. 21, no 3. S. 339–347.
9. Razrabotka metodologicheskogo printsipa obespecheniia pozharobezopasnosti liudei / A. I. Fomin [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2023. no 4. S. 27–34. (rus)
10. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossiiskoi Federatsii : postanov-lenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 16 sentiabria 2020 g. no 1479 // Kodeks : elektron. fond pra-vovoi i normativ.-tekhn. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (data obrashcheniia: 21.09.2024). (rus)
11. Nemitovskaia D. V. Podverbnyi V. A. Problema proektirovaniia i obespecheniia sokhrannosti vod razdelitel'nykh damb // Nauchnye diskussii v epokhu globalizatsii: materialy XXIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Smolensk, 08 dekabria 2022 goda. – Smolensk: OOO «Poligraf», 2022. S. 318-321. (rus)
12. EMISS Gosudarstvennaia statistika : ofitsial'nyi sait. URL: <https://www.fedstat.ru/> (data obrashcheniia: 06.12.2024).
13. Ministerstvo Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoii oborony, chrezvychainym si-tuatsiiaim i likvidatsii posledstviiv stikhiinykh bedstviiv : ofitsial'nyi sait. URL: <https://mchs.gov.ru/> (data obrashcheniia: 06.12.2024).
14. Etalonnaia informatsionnaia sistema po matematicheskomu upravleniiu bezopasnost'iu liu-dei / E. N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2022. no 4. S. 33–37. (rus)
15. Bezopasnost' promyshlennogo proizvodstva v Rossiiskoi Federatsii i za rubezhom / E. N. Neverov [i dr.] // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti. 2023. no 2. S. 6–11. (rus)

Информация об авторах

Неверов Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;
e-mail: neverov42@mail.ru

Бесперстов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;
e-mail: gpnbesperstov@yandex.ru

Яковлев Иван Владимирович, аспирант кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Бульвар Строителей, д. 47;

Information about the authors

Evgeny N. Neverov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo State University, Kemerovo. Russia, 650056 Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47;
e-mail: neverov42@mail.ru

Dmitry A. Besperstov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Stroiteley Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian Federation;
e-mail: gpnbesperstov@yandex.ru

Ivan V. Yakovlev, postgraduate student of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Stroiteley Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian Federation;
e-mail: yak0v.iv@yandex.ru

e-mail: yak0v.iv@yandex.ru

Семенов Никита Владимирович,
аспирант кафедры техносферной
безопасности Кемеровского
государственного университета, Россия,
650056, г. Кемерово, ул. Бульвар
Строителей, д. 47;
e-mail: nikitecio@mail.ru

Nikita V. Semenov, postgraduate student
of the Department of Technosphere Safe-
ty, Kemerovo State University, Stroiteley
Boulevard, 47, Kemerovo, 650056, Russian
Federation;
e-mail: nikitecio@mail.ru