

Научная статья

УДК 551.577.61, 614.8-052; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-16-34

## **ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНОГО РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПАВОДКОВЫМИ НАВОДНЕНИЯМИ**

✉ Олтян Ирина Юрьевна.

**Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, Россия**

✉ [irenaoltjan@mail.ru](mailto:irenaoltjan@mail.ru)

*Аннотация.* Ежегодно органы управления единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций выполняют заблаговременную подготовку к паводкоопасному периоду. Однако статистика не показывает снижения количества погибших и пострадавших. Такая ситуация обусловлена отсутствием комплексного подхода к системной оценке и учету совокупности взаимосвязанных факторов, определяющих социальный риск гибели в паводковых наводнениях.

Был разработан научно-методический аппарат интегральной оценки социального риска чрезвычайных ситуаций, обусловленных паводковыми наводнениями. Исследование основано на анализе и синтезе результатов теоретических исследований, а также классификации и формализации результатов эмпирических исследований.

Научно-методический аппарат включает основополагающие понятия, метрики социального риска чрезвычайных ситуаций, модели и методы, обеспечивающие системный и многофакторный подход к такой оценке. Описан алгоритм получения интегрального показателя уровня социального риска данных чрезвычайных ситуаций для муниципального образования, включающий три модели: модель среды как цифрового двойника местности, подверженной наводнениям; модель вероятностной оценки опасности наводнений в зависимости от природно-климатических условий региона моделирования, а также цифровую модель населения муниципального образования, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды. В методике учтена вероятность своевременной эвакуации населения при паводковом наводнении. Наконец, определен параметрический закон поражения людей через вероятность потери устойчивости в паводковой воде. Проведенные исследования базировались на использовании методов гидрологии суши, геоинформатики, математического моделирования, описательной и предсказательной статистики, машинного обучения.

Разработанный научно-методический аппарат может быть использован в муниципальных образованиях при решении вопросов местного значения, направленных на защиту населения и территории поселения от чрезвычайных ситуаций, обусловленных паводковыми наводнениями.

*Ключевые слова:* паводковое наводнение, риск гибели в наводнениях, социальный риск чрезвычайных ситуаций, интегральная оценка, интегральный показатель, метрика социального риска чрезвычайных ситуаций, научно-методический аппарат, цифровая модель населения, эвакуация при паводковом наводнении, параметрический закон поражения

**Для цитирования:** Олтян И.Ю. Интегральная оценка социального риска чрезвычайных ситуаций, обусловленных паводковыми наводнениями // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 2 (74). С. 16–34. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-16-34

Scientific article

**INTEGRAL ASSESSMENT OF THE SOCIAL RISK OF EMERGENCY SITUATIONS CAUSED BY FLOODS**✉ **Oltian Irina Yu.****Russian research institute for civil defense and emergencies of EMERCOM of Russia,  
Moscow, Russia**✉ [irenaoltyan@mail.ru](mailto:irenaoltyan@mail.ru)

*Abstract.* Every year, the management bodies of the unified state system for emergency prevention and elimination carry out advance preparations for the flood period. However, statistics do not show a decrease in the number of deaths and injuries in floods. This situation is due to the lack of an integrated approach to the systematic assessment and consideration of a set of interrelated factors that determine the social risk of death in floods.

A scientific and methodological apparatus for the integral assessment of the societal risk caused by floods was developed. The study is based on the analysis and synthesis of the results of theoretical research, as well as the classification and formalization of the results of empirical research.

The scientific and methodological apparatus includes fundamental concepts, metrics of societal risk, models and methods that provide a systematic and multifactorial approach to such an assessment. An algorithm for obtaining an integral indicator of the level of societal risk of such emergencies for a municipality is described, which includes three models: a model of the environment as a digital twin of the area prone to floods; a model of probabilistic assessment of flood hazard depending on the natural and climatic conditions of the modeling region, as well as a digital model of the population of a municipality exposed to the damaging factors of flood water. The algorithm takes into account the probability of timely evacuation of the population during a flood. Finally, the parametric law of human injury through the probability of loss of stability in flood water has been determined. The research was based on the use of hydrology methods, geoinformatics, mathematical modeling, descriptive and predictive statistics, and machine learning.

The developed scientific and methodological apparatus can be used in municipalities when solving issues of local importance aimed at protecting the population and the territory of the settlement from emergencies caused by floods.

*Keywords:* flooding; risk of death in floods, societal risk, integral assessment, integral indicator, metric of societal risk, scientific and methodological apparatus, digital model of the population, evacuation during flooding, parametric law of damage

**For citation:** Oltian I.Yu. Integral assessment of the social risk of emergency situations caused by floods // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 2 (74). P. 16–34. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-16-34.

**Введение**

Ежегодно паводковые наводнения уносят тысячи человеческих жизней. Так, по информации исследовательского центра Университета Лувена (Бельгия), представленной в ежегодном отчете «2024 Disaster in Numbers»<sup>1</sup>, в 2024 г. по количеству погибших в мире наводнения занимали первое место (в 2023 г. – третье место) и четвертое место – в период 2004–2023 гг.

---

<sup>1</sup> 2024 Disasters in Numbers. URL: [https://files.emdat.be/reports/2024\\_EMDAT\\_report.pdf](https://files.emdat.be/reports/2024_EMDAT_report.pdf) (дата обращения: 16.03.2025)

Несмотря на то, что вклад показателей российских чрезвычайных ситуаций (ЧС) в мировую базу данных ЕМ-DAT незначителен [1], в нашей стране наводнения занимают первое место по коэффициенту катастрофичности [2] с учетом количества погибших и пострадавших. Среди всех наводнений наиболее опасными для населения (для человека, для социума) являются ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения [3]. На основании статистических данных о погибших в ЧС построен вариационный ряд и гистограмма распределения случайной (фактической) величины погибших в паводковых наводнениях в Российской Федерации за период 1990–2024 гг. (рис. 1).

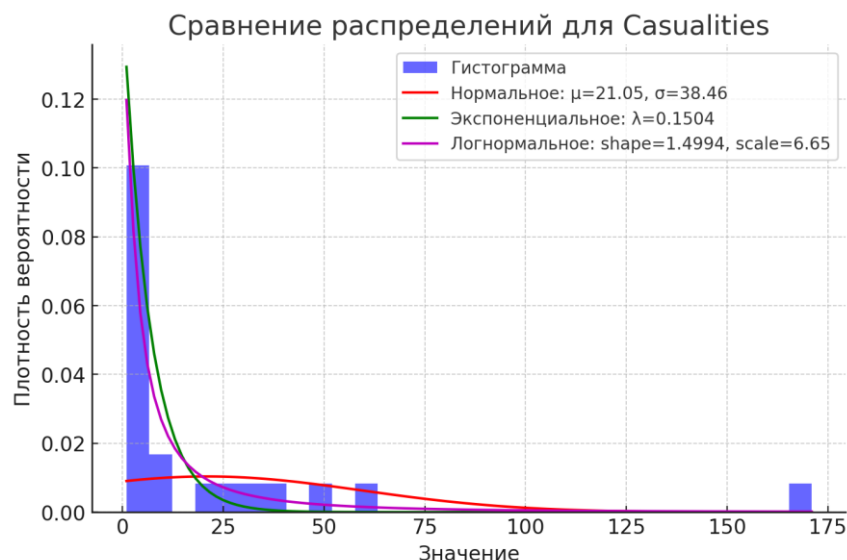


Рис. 1. Сравнение распределений для количества погибших в ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения

Были проведены формальные тесты Колмогорова-Смирнова как для распределений, отображенных на рис. 1, так и для дополнительных распределений (Вейбулла, гамма, бета, Парето) [4]. Результаты тестов показали, что распределение Парето имеет наивысшее  $p$ -value (0,689), что указывает на его лучшее соответствие данным, что было ранее показано другими авторами [5].

Таким образом, при оценке, анализе и прогнозировании ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения, следует применять теорию риска ЧС.

Методы прикладной науки о рисках в достаточной степени формализованы: утверждены международные и национальные стандарты по терминологии и методам оценки риска (риска ЧС) (ГОСТ Р 55059–2012, ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011, ГОСТ Р 22.2.02–2015). Опубликовано значительное количество результатов исследований, направленных на применение существующих и развитие новых методов оценки риска ЧС, источниками которых являются наводнения. Так, использование байесовского анализа и сети Байеса применительно к прогнозу риска наводнений рассмотрено в работах [6, 7]. Обзор методов оценки экономического ущерба при наводнениях приведен в работе [8]. Моделирование методом Монте-Карло для генерации большого количества возможных сценариев наводнений и использование результатов в анализе риска описано в работах [9, 10]. Применение метода графического представления вероятности событий, вызывающих уровень опасных воздействий для определенной группы лиц описано в работах [9, 11]. Результаты исследования применения метода анализа видов и последствий отказов опубликованы в работах [12, 13]. Индексы природной опасности наводнений получены в работах [14, 15].

Подходы к оценке индивидуального и социального риска ЧС, источниками которых являются наводнения, нашли свое отражение в работах [12, 16, 17], а также Методике

комплексной оценки индивидуального риска ЧС природного и техногенного характера<sup>2</sup> (Методика).

Несмотря на значительное количество работ по оценке риска ЧС, выявлено отсутствие комплексного подхода к системной оценке и учету совокупности взаимосвязанных факторов, определяющих уровень социального риска ЧС, обусловленных наводнениями: природно-климатических, характеризующих опасность местности, организационных и инженерно-технических, характеризующих потенциал противодействия опасности, а также социально-демографических, характеризующие типологию населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды.

Целью работы является разработка научно-методического аппарата оценки социального риска ЧС, источником которых являются паводковые наводнения. Под научно-методическим аппаратом подразумевается совокупность понятийного аппарата, моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих системный и обоснованный подход к анализу, прогнозированию последствий воздействия на население поражающих факторов ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения, количественной оценки социального риска таких ЧС.

### Модели и методы исследования

Общая методология анализа риска ЧС [18], а также разработанные ранее модели и методы оценки параметров поражающих факторов наводнений, картографирования затоплений территорий в условиях наличия, недостаточности и отсутствия данных гидрометрических наблюдений [19, 20, 21] и модели оценки физической опасности наводнений для индивида вне здания (сооружения) [3] позволили разработать научно-методический аппарат оценки социального риска ЧС, источником которых являются наводнения (НМА).

В разработанном НМА применена многофакторная модель оценки опасности паводковых наводнений, в которую включены следующие факторы [22]:

- опасность территории, включая природно-климатические условия, такие как рельеф местности [23], физико-географическое районирование [12];
- недостаточный потенциал противодействия опасности, включая недостатки в организации оповещения и информирования населения, а также отсутствие эвакуации населения или несоблюдение установленных сроков экстренной эвакуации населения<sup>3</sup>;
- социально-демографические факторы, характеризующие типологию населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды [24].

Основополагающим понятием в разработанном НМА является понятие «риск чрезвычайной ситуации» (риск ЧС), под которым понимается «мера опасности чрезвычайной ситуации, сочетающая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации и ее последствия» (ГОСТ Р 55059–2012 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения»). Основным показателем риска ЧС, который используется в разработанном НМА, является социальный риск (гибели в) ЧС, определяемый как вероятность гибели не менее  $N$  чел. при возникновении ЧС с определенной частотой [25].

---

<sup>2</sup> Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. Прошла экспертизу Межведомственного координационного научного совета по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (МВКНС) (протокол от 25 июня 2002 г. № 2 (13) и аттестована Межведомственной комиссией по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (МВК) (протокол от 29 окт. 2002 г. № 4)

<sup>3</sup> Анализ действий органов управления, сил и средств МЧС России, эффективности применяемых технологий предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, произошедшей в Краснодарском крае в июле 2012 года: отчет (неопubl.). М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012

Установлены две метрики (количественных показателя) социального риска ЧС, возникающих в результате паводковых наводнений, существенно отличающиеся от принятых в действующих в нормативно-технических документах (ГОСТ Р 55059, ГОСТ Р 22.10.02) либо разработанные впервые, учитывающие вероятностный характер возникновения ЧС, вероятность превышения прогнозируемого уровня воды над всей совокупностью всех возможных его значений, а также последствия таких ЧС, выражаемые в количестве погибших людей:

– F-N диаграмма (Frequency-Number diagram, диаграмма частоты – количества жертв) – зависимость количества потерь (гибели) группы населения от частоты реализации различных сценариев ЧС за заданное время [9, 25];

– интегральный показатель уровня социального риска ЧС [26];

– F-N диаграмма определяется по зависимости (1) и представляет собой ступенчатую функцию:

$$F(N) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k E_{N_i \geq N}, \quad (1)$$

где  $T$  – период наблюдений, лет;  $k$  – общее количество событий с гибелью населения;  $N_i$  – число погибших в  $i$ -м событии, чел.;  $E_{N_i \geq N}$  – количество событий с гибелью населения, в которых погибло не менее  $N$  чел., ед.

Интегральный показатель уровня социального риска ЧС определяется по зависимости (2) [26] и представляет собой площадь под F-N диаграммой:

$$R_s = \int_1^{\max N} F(N) dN = \int_1^{\max N} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k E_{N_i \geq N} dN, \quad (2)$$

где  $\max N$  – максимально возможное количество погибших при возникновении события  $E$ ;  $T$  – период наблюдений (лет);  $E$  – событие с гибелью населения;  $k$  – общее количество событий с гибелью населения;  $N_i$  – число погибших в  $i$ -м событии.

В общем виде математическое ожидание количества погибших  $N$  при реализации события  $E$  (паводкового наводнения), приводящего к ЧС, определяется по зависимости, в которую, в отличие от принятых ранее подходов (Методика, а также публикации [18, 27], включена переменная  $P_{evac}$ , характеризующая потенциал противодействия опасности:

$$N = P_{evac} \cdot \iint_S \int_{DF_{min}}^{DF_{max}} P(DF) \cdot f(x, y, DF) \cdot \psi(x, y) dDF dx dy, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь муниципального образования;  $DF$  – поражающий фактор;  $DF_{min}$ ,  $DF_{max}$  – соответственно минимально и максимально возможное значение поражающего фактора для рассматриваемой ЧС на рассматриваемой территории;  $\psi(x, y)$  – функция распределения населения в пределах рассматриваемой территории  $S$ ;  $P(DF)$  – параметрический закон поражения людей;  $f(x, y, DF)$  – функции плотности распределения интенсивности поражающего фактора в пределах рассматриваемой территории;  $P_{evac}$  – вероятность своевременной эвакуации,  $P_{evac} \in [0; 1]$ .

Геоинформационная система (ГИС) выступает в качестве интеграционной платформы НМА и включает в себя цифровые модели рельефа, тематические (географические) базы данных, модели пространственных данных, алгоритмы пространственного анализа, обработки данных, а также модели и алгоритмы визуализации результатов.

Структура разработанного НМА представлена на рис. 2.

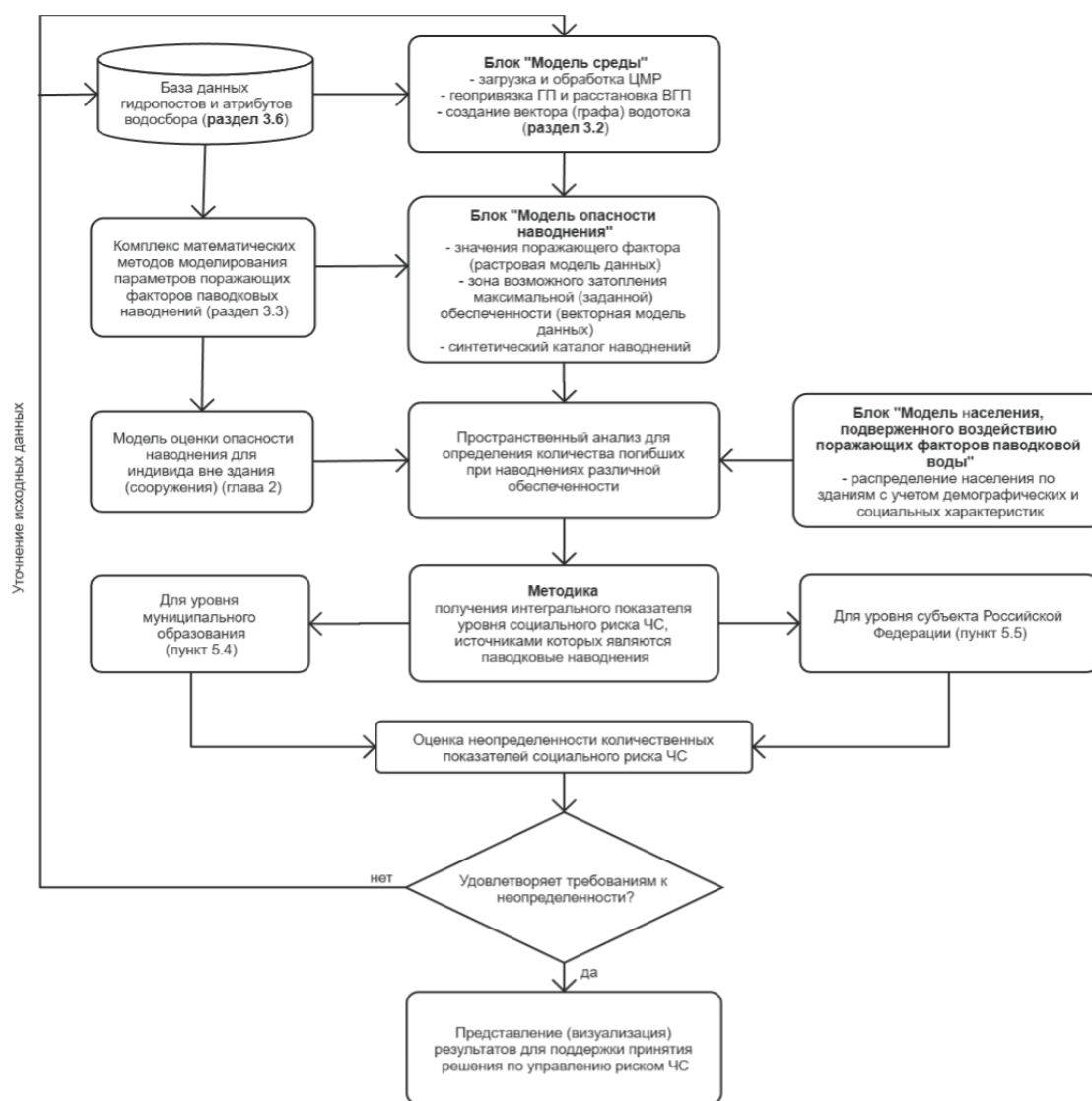


Рис. 2. Структура научно-методического аппарата количественной оценки социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения:  
ЦМР – цифровая модель рельефа; ГП – гидропост; ВГП – виртуальный гидропост

В функциональном блоке «Модель среды» (рис. 2) создается цифровой двойник местности, подверженной наводнениям. При моделировании в этом блоке происходит подготовка ЦМР, моделирование гидрографической сети (построение ориентированного графа водотока), а также расстановка виртуальных гидропостов. Создание «Модели среды» описано в работе автора [28].

Функциональный блок «Модель опасности наводнения» (рис. 2) предназначен для моделирования значений поражающих факторов паводковых наводнений. Моделирование выполняется для предопределенного набора сценариев ЧС. В НМА сделано допущение, что частота реализации различных сценариев  $F$  представляет собой дискретную величину и задается через обеспеченность гидрологической характеристики (как правило, моделирование выполняется для обеспеченности 0,5 %, 1 %, 5 %, 10 %, 20 %).

Далее для созданной ранее «Модели среды» выбранное цифровое географическое пространство с помощью регулярной сетки разбивается на элементарные площадки, совпадающие с матрицей ЦМР. Для каждой элементарной площадки и предопределенного набора сценариев определяются значения поражающего фактора паводковой воды, численно равного произведению глубины потока и скорости потока паводковой воды [3]. Разработаны, описаны в публикациях [19, 20, 21] и применяются модели вероятностного моделирования

параметров поражающих факторов и картографирования паводковых наводнений на изученных, малоизученных и неизученных в гидрологическом плане территориях. Модели учитывают физико-географическое районирование территории, рельеф местности.

В результате вероятностного моделирования параметров поражающих факторов и картографирования паводковых создаются:

– векторная модель данных, описывающая геометрию зоны возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности;

– для каждого сценария – растровая модель данных, содержащая в каждой ячейке растра расчетные значения глубины затопления:

$$(h)_{ij} \in R_{m \times n}, \quad (4)$$

– для каждого сценария – растровая модель данных, содержащая в каждой ячейке расчетные значения поражающего фактора наводнения (произведения  $hv$ ):

$$(hv)_{ij} \in R_{m \times n}, \quad (5)$$

где  $v$  – скорость паводковой воды, м/с;  $h$  – глубина затопления, м;  $m \times n$  – размерность рассматриваемой расчетной сетки территории муниципального образования.

Для эффективного преобразования такой растровой модели в формализованную систему зон опасности наводнений используется метод кластерного анализа KMeans [4].

Выходными данными функционального блока «Модель опасности наводнения» являются следующие результаты кластерного зонирования:

– для каждого сценария – растровая модель данных (карта кластерного зонирования территории муниципального образования по значению поражающего фактора);

– для каждого класса – центроид кластера, диапазон значений  $[\min, \max]$  и стандартное отклонение  $\sigma$ .

Функциональный блок «Модель населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды» (рис. 2) предназначен для создания соответствующей цифровой модели населения муниципального образования.

Прежде всего, на основе полученных в работе [3] детерминированных критериев поражения человека в паводковой воде вне здания (сооружения) выполнена кластеризация населения по предельно допустимому уровню значения поражающих факторов паводковой воды, при превышении которого человек теряет устойчивость и может погибнуть. Кластеризация выполнена с учетом возраста индивида, а также отнесения к уязвимой группе населения [29] (табл. 1).

Таблица 1

**Кластеризация населения муниципального образования по предельно допустимому уровню значения поражающих факторов паводковой волны MPL**

Кластер населения		Для лиц мужского пола		Для лиц женского пола	
Номер	Характеристика	MPL, м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$\sigma$ [45]	MPL, м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$\sigma$ [45]
1	Ребенок 0–1 лет	0	0,27	0	0,28
2	Ребенок 2–11 лет	1,17		1,07	
3	Подросток 12–17 лет	1,31		1,21	
4	Взрослый 18–75 лет	1,54		1,38	
5	Уязвимая группа населения (старше 75 лет и маломобильные граждане) [46]	1,17		1,07	

В табл. 1 приняты следующие обозначения:  $\sigma$  – стандартное отклонение; MPL – предельно допустимый уровень значения поражающих факторов паводковой волны, численно равный произведению  $hv$  [3].



Далее пространственные объекты (жилые здания) в зоне возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности наделяются «демографическими» свойствами через набор атрибутов – количественных признаков, характеризующих демографические характеристики проживающих в них жителей (возраст, пол, уязвимость). В случае отсутствия фактической информации о распределении населения по жилым зданиям присваивание зданию «демографических» свойств производится пропорционально площади и этажности жилого здания с учетом среднестатистической обеспеченности жильем населения регионов России [30], а также среднестатистического распределения по возрасту и полу (например, справочник Росстата «Численность населения по полу и возрасту» или данные органа местного самоуправления). Таким образом, для каждого здания создается виртуальная популяция жителей – каждому «жителю» присваивается возраст, пол и кластер по предельно допустимому уровню значения поражающих факторов паводковой волны MPL.

Выходными данными функционального блока «Модель населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды», является соответствующая цифровая модель населения муниципального образования, представляющая собой таблицу с указанием для каждого жилого здания виртуальной популяции жителей и отнесением их к определенному кластеру по предельно допустимому уровню значения поражающих факторов паводковой волны MPL.

Основным результатом исследования является методика получения интегрального показателя уровня социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения, для муниципального образования (Методика). Общий алгоритм Методики приведен на рис. 3.

Как уже было отмечено ранее (формула (3), своевременная эвакуация населения снижает риск гибели в ЧС. Для определения вероятности эвакуации при наводнении применим известную эмпирическую формулу определения вероятности эвакуации из здания при пожаре<sup>4</sup> (4):

$$P_{\text{evac}} = \begin{cases} 0,999 \times \frac{0,8 \times t_{MPL} - t_C}{t_S}, & \text{если } t_C < 0,8 \times t_{MPL} < t_C + t_S \text{ и } t_C > 0, \\ 0,999, & \text{если } t_C + t_S \leq 0,8 \times t_{MPL}, \\ 0, & \text{если } t_C > 0,8 \times t_{MPL} \end{cases},$$

где  $t_D$  – определенное в Плане действий по предупреждению и ликвидации ЧС на территории муниципального образования<sup>5</sup> время эвакуации людей из зоны вероятного затопления, ч;  $t_S$  – время начала эвакуации (время от получения прогноза до начала эвакуации населения);  $t_{MPL}$  – время от получения прогноза рисков возникновения ЧС и происшествий, связанных с подтоплением населенных пунктов<sup>6</sup>, до наступления предельно допустимого уровня значения поражающих факторов паводковой волны MPL, ч, определяемое по зависимости (5):

$$t_{MPL} = \frac{h_{\text{крит}} - h_0}{v_{\text{rise}}},$$

где  $h_{\text{крит}}$  – уровень воды над нулем гидропоста, при котором достигается предельно допустимый уровень значения поражающих факторов паводковой волны MPL, м;  $h_0$  – уровень воды над нулем гидропоста в момент выхода прогноза рисков возникновения ЧС и происшествий, связанных с подтоплением населенных пунктов<sup>7</sup> и принятия решения на эвакуацию, м;  $v_{\text{rise}}$  – скорость подъема паводковой воды.

<sup>4</sup> Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

<sup>5</sup> ГОСТ Р 22.3.22–2023. План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на территории муниципального образования. Порядок разработки. Требования к содержанию и оформлению. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

<sup>6</sup> Методические рекомендации МЧС России по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М., 2024

<sup>7</sup> Там же



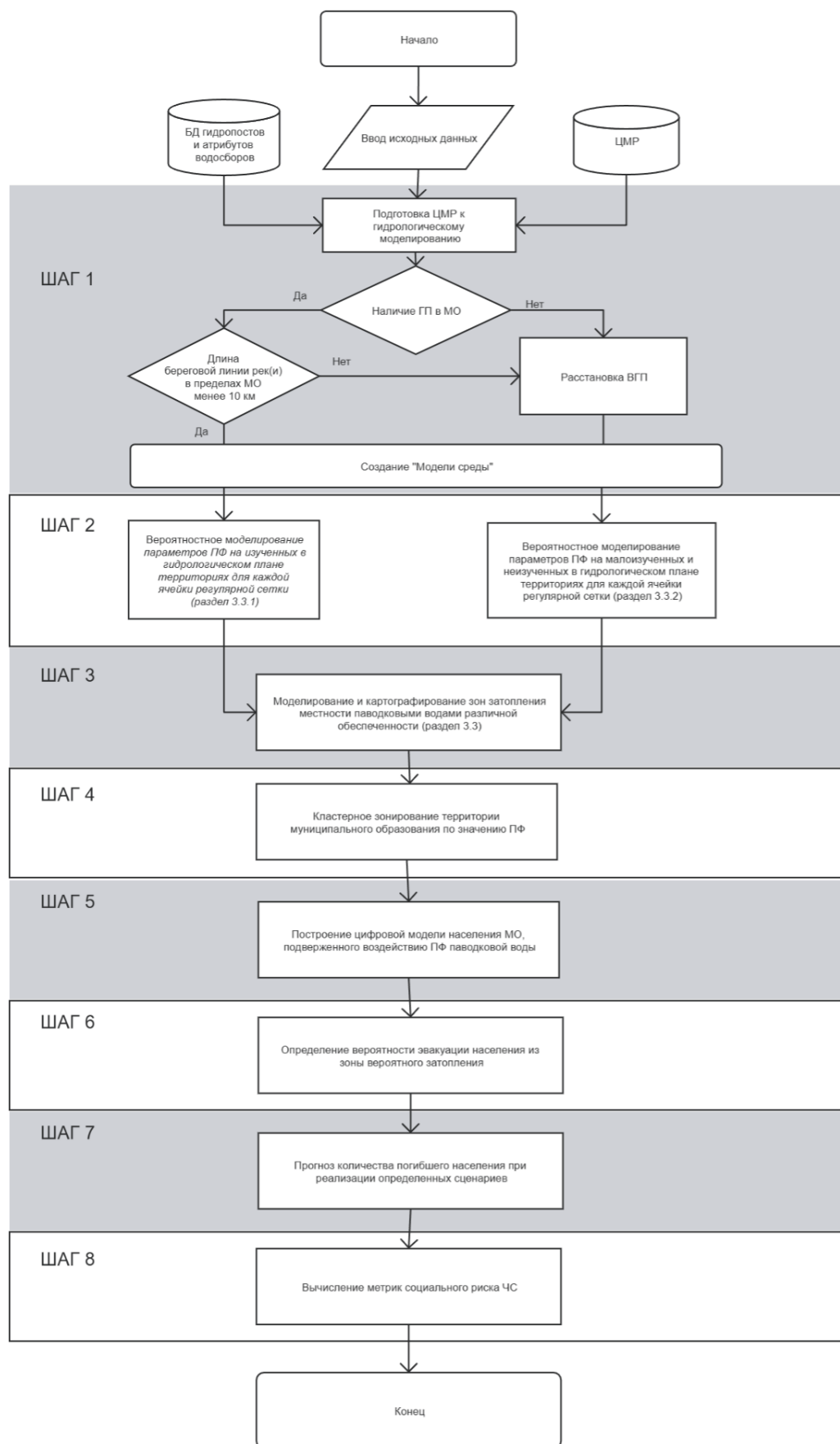


Рис. 3. Общий алгоритм методики получения интегрального показателя уровня социального риска ЧС для уровня муниципального образования: ПФ – поражающий фактор; МО – муниципальное образование

Будем рассматривать индивидуальную устойчивость, а также значение поражающего фактора в кластере как независимые нормально распределенные случайные величины [31]. Тогда параметрический закон поражения людей  $P(DF)$  (3) определяется как вероятность потери устойчивости человека (населения) в потоке воды [31]:

$$P(DF) = \Phi \left( \frac{C^l - MPL^k}{\sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_k^2}} \right),$$

где  $N_{пф}^k$  – количество населения  $k$ -го кластера, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды;  $P_{гиб}$  – вероятность гибели;  $\Phi$  – функция стандартного нормального распределения;  $C^l$  – центроид кластера  $l$ ;  $\sigma_l$  – среднеквадратическое отклонение кластера  $l$ ;  $l \in [1; L]$  – кластеры кластерного зонирования территории муниципального образования по значению поражающего фактора;  $\sigma_k$  – среднеквадратическое отклонение кластера  $k$ ;  $k \in [1; K]$  – кластеры населения.

Далее для каждого сценария по формуле (3) определяется прогнозное количество погибшего населения  $N$ , чел.

Результатами применения методики являются F-N диаграмма, характеризующая зависимость количества потерь (гибели) группы населения  $N$  муниципального образования от частоты реализации различных сценариев ЧС (наводнений с заданной обеспеченностью), а также интегральный показатель уровня социального риска ЧС для территории муниципального образования.

### Результаты исследования и их обсуждение

Апробация методики получения интегрального показателя уровня социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения, проведена на примере муниципального образования Иркутской обл. – г. Тулуна. Город Тулун расположен на крупном левобережном притоке р. Ангары – р. Ия. Рассматриваемый регион характеризуется повышенной паводковой опасностью, в последние десятилетия отмечались сильные дождевые паводки, приводившие к огромному ущербу [32, 33].

Исходными данными для получения интегрального показателя уровня социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения, являлись:

- сведения о гидрологических постах на реках, среднесуточные и высшие уровни воды по гидрологическим постам, приведенные в Автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов<sup>8</sup>;

- база данных CAFRA – гидропосты и атрибуты водосборов Иркутской обл. (получено автором);

- картографические материалы: ЦМР STRM (Shuttle radar topographic mission)<sup>9</sup>; растровая карта максимальных модулей дождевого стока рек СССР<sup>10</sup>, вероятностью превышения  $p = 1\%$ ; растровая карта слоя дождевого стока рек СССР<sup>11</sup>, вероятностью превышения  $p = 1\%$ ;

- геоданные NextGIS Data<sup>12</sup> – базовая карта Иркутской обл. (векторная карта, включающая более 30 видов данных о территории: административное деление, дорожная сеть, здания, водоемы и реки, туристические объекты, городская инфраструктура и др.);

<sup>8</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=296> (дата обращения: 19.02.2025)

<sup>9</sup> Описание и получение данных SRTM // Портал GIS-LAB. URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html> (дата обращения: 29.02.2025)

<sup>10</sup> СН 435–72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (прил. 5)

<sup>11</sup> СН 435–72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (прил. 10)

<sup>12</sup> Иркутская область: карта и данные. URL: <https://data.nextgis.com/ru/region/RU-IRK/base/> (дата обращения: 24.02.2025)

– данные численности населения по полу и возрасту в Иркутской обл. на 2024 г.<sup>13</sup>;  
 – данные о численности населения старше 18 лет с ограниченными возможностями здоровья<sup>14</sup>.

Результаты моделирования получены с применением написанных автором программных кодов на языке Python, а также с использованием пространственного анализа и моделирования в QGIS.

Созданы следующие функциональные модели: «Модель среды» (рис. 4), «Модель опасности наводнения» (рис. 5), «Модель населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды» (рис. 6, табл. 2).

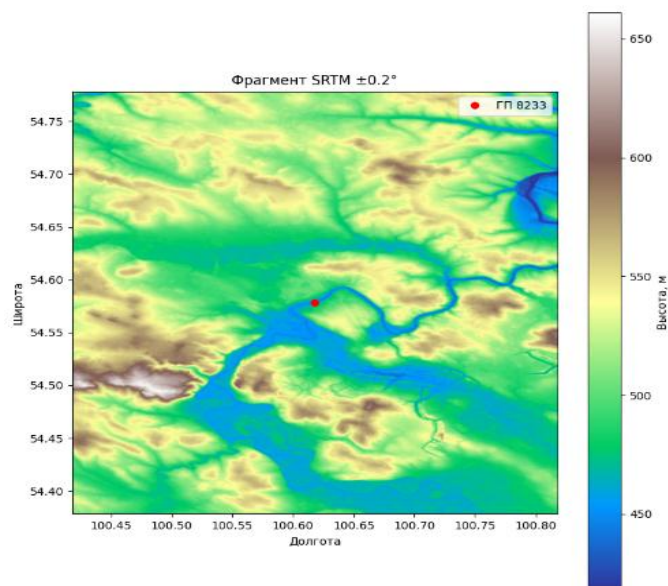


Рис. 4. Цифровая модель рельефа STRM для г. Тулуна (ГП 8233)

Кластерное зонирование территории ГП 8233 (обеспеченность 1%)

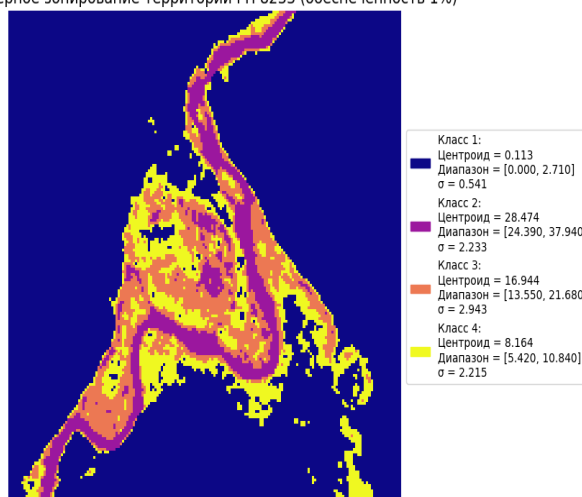


Рис. 5. Растровая модель данных (карта кластерного зонирования территории муниципального образования по значению поражающего фактора)

<sup>13</sup> Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики Иркутской области – Демография. URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/167937> (дата обращения: 07.03.2025)

<sup>14</sup> Территориальные избирательные комиссии Иркутской области. Численность избирателей-инвалидов. URL: <https://tik.ikio38.ru/tulun-r/tulun-r-n/32682-chislennost-izbiratelej-invalidov.html> (дата обращения: 07.03.2025)

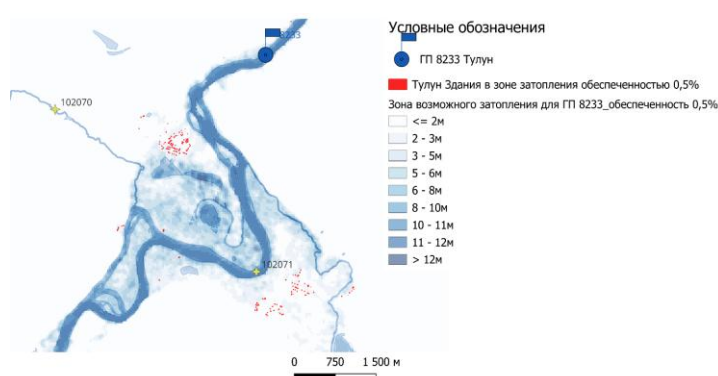


Рис. 9. Карта г. Тулуна с отображением зданий в зоне возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности

Таблица 2

**Цифровая модель населения г. Тулуна, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды (фрагмент)**

Building_id	Age_group	Gender	Cluster	Count
121	2–11	female	2	1
220	2–11	female	2	1
220	18–75	female	4	3
220	18–75	male	4	3
221	18–75	female	4	1
222	0–1	female	1	1
222	18–75	female	4	4
222	18–75	male	4	1
222	уязвимые	female	5	1

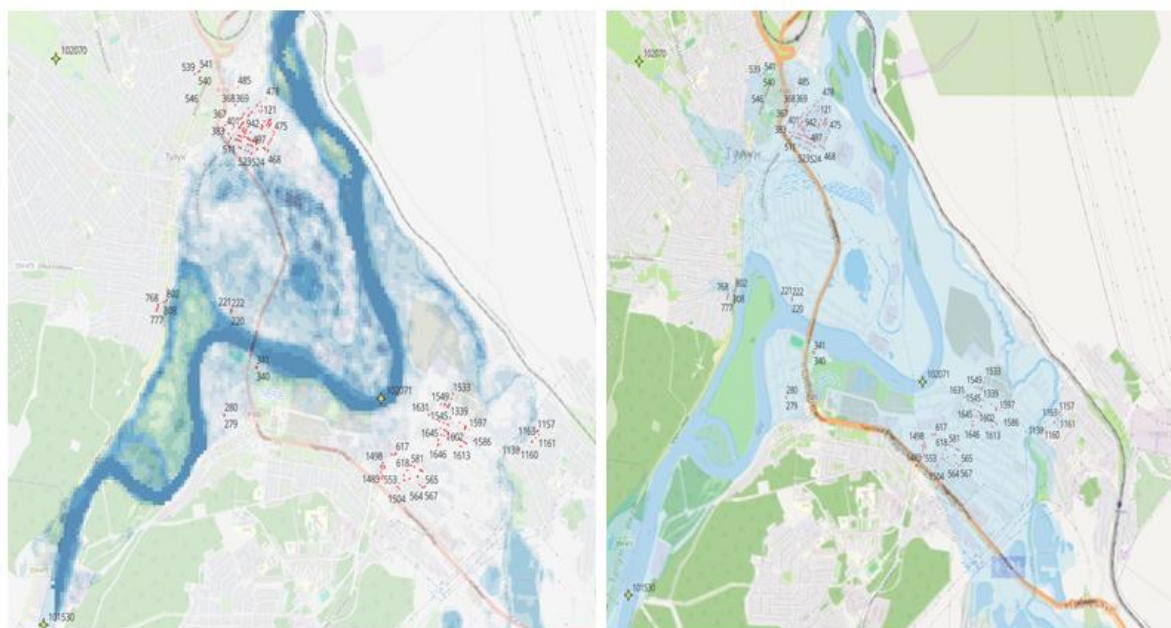
Проведены валидация векторной модели данных, описывающей геометрию зоны возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности, а также валидация расположения зданий в этой зоне (рис. 10). Получена удовлетворительная сходимость результатов.

Получен прогноз последствий реализации сценариев ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения (табл. 3), а также структура потерь населения (рис. 11).

Таблица 3

**Прогноз последствий реализации сценариев ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения**

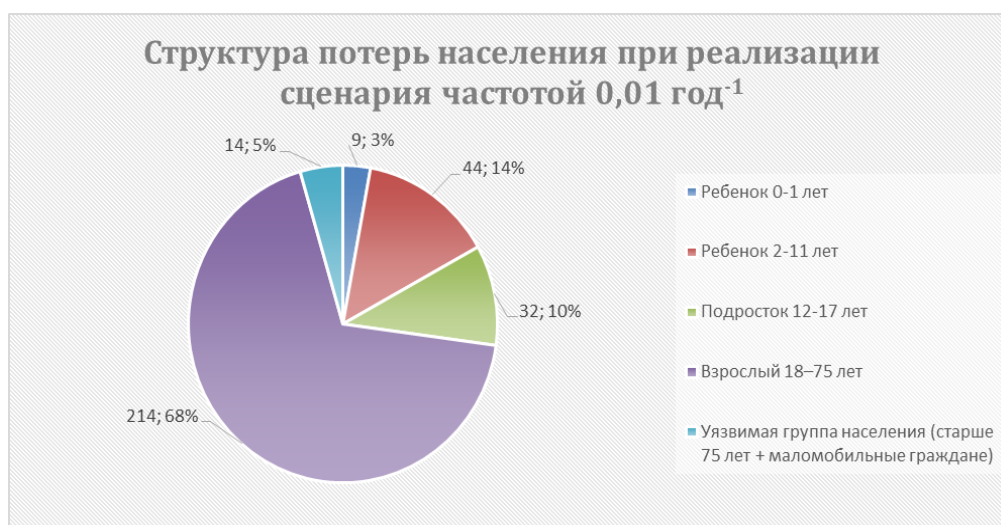
$F$ (частота реализации сценария), 1/год	Сценарий (частота), $F$	Кол-во домов в опасной зоне, ед.	Количество населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды, $N_{\text{пф}}^k$ , чел.	Прогнозное количество погибшего населения, $N$ , чел.
0,01	0,5	186	313	138
0,02	1	78	44	19
0,05	5	3	19	8
0,1	10	3	0	0
0,2	20	0	0	0



**Визуализация зоны возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности**

**Визуализация зоны с особыми условиями использования территорий (зона затопления и подтопления)<sup>15</sup>**

**Рис. 10. Валидация расположения зданий в зоне возможного затопления максимальной (заданной) обеспеченности**



**Рис. 11. Структура потерь населения при реализации наиболее опасного сценария (обеспеченностью 0,5 %)**

Построена F-N диаграмма для г. Тулуна, отражающая зависимость количества потерь группы населения (гибель населения) от частоты реализации различных сценариев ЧС за заданное время, а также интегральный показатель уровня социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения (рис. 12).

<sup>15</sup> Национальная система пространственных данных.

URL: [https://nspd.gov.ru/map?thematic=PKK&zoom=13.386219419183798&coordinate\\_x=11201117.09426784&coordinate\\_y=7275612.772940851&theme\\_id=1&is\\_copy\\_url=true&active\\_layers=37581](https://nspd.gov.ru/map?thematic=PKK&zoom=13.386219419183798&coordinate_x=11201117.09426784&coordinate_y=7275612.772940851&theme_id=1&is_copy_url=true&active_layers=37581) (дата обращения: 20.03.2025).



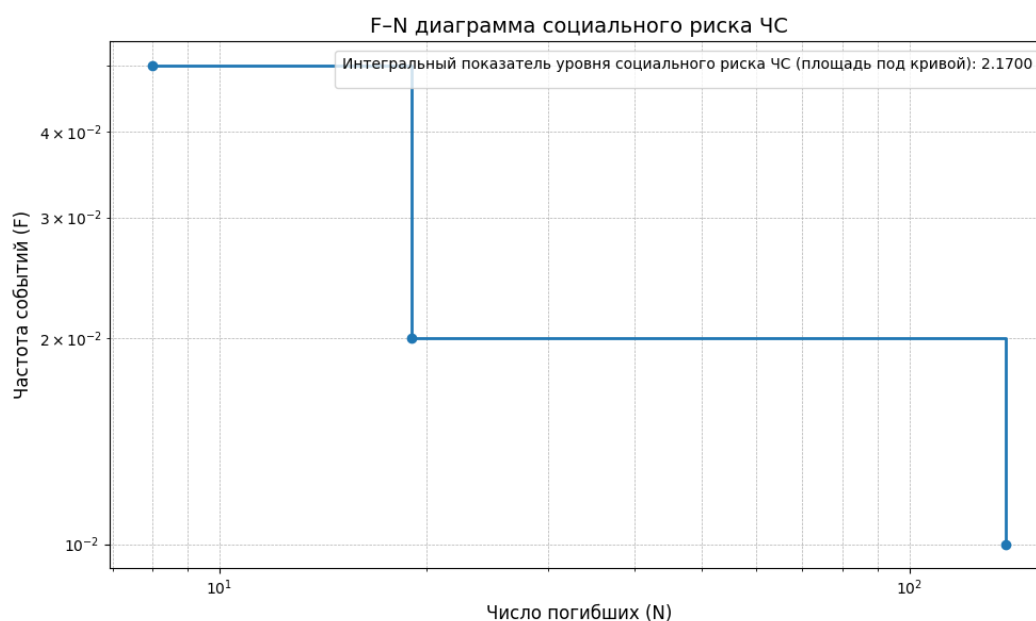


Рис. 12. F-N диаграмма (Frequency–Number diagram, диаграмма частоты – количества жертв) для г. Тулуна

Вычисленные метрики социального риска ЧС (F-N диаграмма, интегральный показатель уровня социального риска ЧС) соответствуют прогнозным значениям социального риска ЧС на момент выполнения прогноза и могут быть использованы при планировании мероприятий градостроительной деятельности, мероприятий по снижению риска ЧС (сравнение метрик социального риска ЧС в муниципальном образовании до и после выполнения мероприятий).

### Заключение

В результате исследования разработан комплексный научно-методический аппарат интегральной оценки социального риска ЧС, источниками которых являются паводковые наводнения. НМА учитывает совокупность взаимосвязанных факторов, определяющих уровень социального риска гибели в наводнениях: природно-климатических, характеризующих опасность местности, организационных, характеризующих потенциал противодействия угрозе, а также социально-демографических, характеризующих типологию населения, подверженного воздействию поражающих факторов паводковой воды.

Разработанные метрики социального риска ЧС могут стать полезным инструментом для демонстрации эффектов мер по снижению риска. Меры по сокращению числа смертельных случаев (такие как совершенствование систем оповещения, повышение качества зданий, территориальное планирование, другие) сместят линию на F-N диаграмме в горизонтальном направлении вдоль оси X влево. Снижение вероятности затопления, например, за счет укрепления дамб, приведет к смещению линии на F-N диаграмме по оси Y вниз, что в итоге приведет к снижению интегрального показателя уровня социального риска ЧС.

Сравнение интегрального показателя уровня социального риска ЧС между муниципальными образованиями (инструменты бенчмаркинга) могут помочь выявить проблемные места и осуществить целевое фиксирование для снижения социального риска ЧС в конкретном муниципальном образовании.

### Список литературы

1. Евдокимов В.И., Арсланов А.М., Копченков В.Н. Вклад показателей российских чрезвычайных ситуаций в мировую базу данных the emergency Events database (EM-DAT) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 16–25. EDN SBARLF.

2. Акимов В.А., Олтян И.Ю., Иванова Е.О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 4–7. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4. EDN IOGGXC.
3. Олтян И.Ю. О новом подходе к оценке воздействия поражающих факторов паводковых наводнений // Технологии гражданской безопасности. 2025. Т. 22. № 1 (83). С. 7–16. EDN RSFQGN.
4. Брюс П., Брюс Э., Гедек П. Практическая статистика для специалистов Data Science: пер. с англ. 2-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 352 с.
5. Быков А.А. О предсказании поведения «хвостов» распределений и оценке «ожидаемых непредвиденных» потерь при управлении рисками // Проблемы анализа риска. 2017. Т. 14. № 6. С. 50–71. EDN YKUVEN.
6. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город» / В.А. Акимов [и др.]. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2022. 315 с. EDN MGXNYI.
7. Модели и методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера на урбанизированных территориях / В.А. Акимов [и др.]. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2024. 132 с. EDN FJTDXS.
8. Анализ нормативных и методических основ оценки ущерба объектам капитального строительства от затоплений в России: проблемы и перспективы / А.Н. Щеглов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20. № 2 (76). С. 87–94. EDN USVAJF.
9. De Bruijn K.M., Diermanse F.L.M., Beckers J.V.L. An advanced method for flood risk analysis in river deltas, applied to societal flood fatality risk in the Netherlands // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2014. Vol. 14. № 10. P. 2767–2781.
10. Importance sampling for efficient modelling of hydraulic loads in the Rhine–Meuse delta / F.L.M. Diermanse [et al.] // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2015. № 29. P. 637–652.
11. Jonkman S.N. Loss of life estimation in flood risk assessment // Civil engineering faculty. 2007.
12. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / под ред. А.Л. Рагозина. М.: Издательская фирма «КРUK», 2003. 320 с.
13. Шаликовский А.В. Риск наводнений: методы оценки и картографирования // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 68–78. EDN OWYADB.
14. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 29–46. EDN OWYABX.
15. Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. Т. 962. № 4. С. 042053.
16. Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 1999. № 5. С. 417.
17. Рагозин А.Л. Оценка и управление природными рисками: первые итоги XX века // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2001. № 2. С. 183.
18. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Сер.: Естественные науки. 2015. № 1 (58). С. 113–132. EDN T1HHCV.



19. О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций / А.Н. Щеглов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 78–83. EDN MXDHWZ.
20. Simulation modeling and mapping of catastrophic floods in poorly studied areas for emergency risk management / I. Oltyan [et al.] // Reliability: Theory & Applications. 2023. Т. 18. № SI 5 (75). С. 539–551.
21. О результатах применения метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций / А.Н. Щеглов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20. № 1 (75). С. 48–56. EDN CZWUUT.
22. Олтян И.Ю. Гибель людей в наводнениях: причины, факторы, прогноз // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. семинара в рамках Международного форума. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2024. С. 52–56. EDN FPGLUJ.
23. Болгов М.В., Коробкина Е.А. Реконструкция дождевого паводка на реке Адагум на основе математических моделей формирования стока // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 3. С. 87–102. EDN QCKTHT.
24. Рыбаков А.В., Постернак Е.В. Математическая модель обоснования объемов инженерно-технических мероприятий для минимизации ущерба от природных чрезвычайных ситуаций с учетом антропогенных факторов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1. С. 102–117.
25. Олтян И.Ю. О некоторых методических подходах к оценке социального риска чрезвычайных ситуаций // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды XXVII Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2024. С. 500–504. EDN SKETZD.
26. Vrijling J.K., Van Gelder P. Societal risk and the concept of risk aversion / C. Guedes Soares (Ed.) // Advances in Safety and Reliability. 1997. Vol. 1. P. 45–52.
27. Рагозин А.Л. Оценка и управление природными рисками: первые итоги XX века // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2001. № 2. С. 183.
28. Олтян И.Ю. Моделирование наводнений с применением цифровой модели рельефа // Проблемы обеспечения экологической безопасности, мониторинга окружающей среды и прогнозирования чрезвычайных ситуаций: материалы Всерос. науч.-практ. конф. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), 2024. С. 34–40. EDN PQFJJC.
29. Полторанов Д.В., Арефьева Е.В., Прус Ю.В. О формализации процедуры многокритериального выбора и ранжирования уязвимого населения в условиях чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2025. Т. 22. № 1 (83). С. 85–92. EDN WCIBSR.
30. Цыпин А.П., Кабанова Е.Е., Гаджимирзоев Г.И. Статистический анализ обеспеченности жильем населения регионов России // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Экономика. Управление. Право. 2023. Т. 23. № 1. С. 27–34.
31. Lind N., Hartford D., Assaf H. Hydrodynamic models of human stability in a flood 1 // JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2004. Т. 40. № 1. С. 89–96.
32. Об оценках максимального стока реки Ия во время экстремального паводка 2019 года / М.В. Болгов [и др.] // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 53–63. EDN DSJBDX.
33. Парыгина Е.А., Слепнева Е.В., Кичигина Н.В. Зонирование малых городов Иркутской области по степени опасности затопления // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 80–94. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.45.80. EDN CTUMDB.

## References

1. Evdokimov V.I., Arslanov A.M., Kopchenov V.N. Vklad pokazatelej rossijskih chrezvychajnyh situacij v mirovuyu bazu dannyh the emergency Events database (EM-DAT) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 2 (66). S. 16–25. EDN SBARLF.
2. Akimov V.A., Oltyan I.Yu., Ivanova E.O. Metodika ranzhirovaniya chrezvychajnyh situacij prirodno, tekhnogennogo i biologo-social'nogo haraktera po stepeni ih katastrofichnosti // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2021. T. 18. № 1 (67). S. 4–7. DOI: 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4. EDN IOGGXC.
3. Oltyan I.Yu. O novom podhode k ocenke vozdejstviya porazhayushchih faktorov pavodkovykh navodnenij // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2025. T. 22. № 1 (83). S. 7–16. EDN RSFQGN.
4. Bryus P., Bryus E., Gedek P. Prakticheskaya statistika dlya specialistov Data Science: per. s angl. 2-e izd. pererab. i dop. SPb.: BHV-Peterburg, 2021. 352 s.
5. Bykov A.A. O predskazanii povedeniya «hvtostov» raspredelenij i ocenke «ozhidaemyh nepredvidennyh» poter' pri upravlenii riskami // Problemy analiza riska. 2017. T. 14. № 6. S. 50–71. EDN YKUEVH.
6. Prognoznno-analiticheskie resheniya po prirodnyh, tekhnogennym i biologo-social'nyh ugrozam edinoj sistemy informacionno-analiticheskogo obespecheniya bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti i obshchestvennogo poryadka «Bezopasnyj gorod» / V.A. Akimov [i dr.]. M.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MCHS Rossii, 2022. 315 s. EDN MGXNYI.
7. Modeli i metody prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij prirodno haraktera na urbanizirovannyh territoriyah / V.A. Akimov [i dr.]. M.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MCHS Rossii, 2024. 132 s. EDN FJTDXS.
8. Analiz normativnyh i metodicheskikh osnov ocenki ushcherba ob'ektam kapital'nogo stroitel'stva ot zatopenij v Rossii: problemy i perspektivy / A.N. Shcheglov [i dr.] // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2023. T. 20. № 2 (76). S. 87–94. EDN USVAJF.
9. De Bruijn K.M., Diermanse F.L.M., Beckers J.V.L. An advanced method for flood risk analysis in river deltas, applied to societal flood fatality risk in the Netherlands // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2014. Vol. 14. № 10. P. 2767–2781.
10. Importance sampling for efficient modelling of hydraulic loads in the Rhine–Meuse delta / F.L.M. Diermanse [et al.] // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2015. № 29. P. 637–652.
11. Jonkman S.N. Loss of life estimation in flood risk assessment // Civil engineering faculty. 2007.
12. Ocenka i upravlenie prirodnyimi riskami. Tematicheskij tom / pod red. A.L. Ragozina. M.: Izdatel'skaya firma «KRUK», 2003. 320 s.
13. Shalikovskij A.V. Risk navodnenij: metody ocenki i kartografirovaniya // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2012. № 2. S. 68–78. EDN OWYADB.
14. Gladkevich G.I., Terskij P.N., Frolova N.L. Ocenka opasnosti navodnenij na territorii Rossijskoj Federacii // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2012. № 2. S. 29–46. EDN OWYABX.
15. Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. T. 962. № 4. S. 042053.
16. Ragozin A.L. Obshchie polozheniya ocenki i upravleniya prirodnyim riskom // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 1999. № 5. S. 417.
17. Ragozin A.L. Ocenka i upravlenie prirodnyimi riskami: pervye itogi XX veka // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2001. № 2. S. 183.

18. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Edinaya metodologiya analiza riska chrezvychajnyh situacij tekhnogennogo i prirodnogo haraktera // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Ser.: Estestvennye nauki. 2015. № 1 (58). S. 113–132. EDN TIHHCV.
19. O metode prognozirovaniya parametrov katastroficheskikh navodnenij na neizuchennyh territoriyah v celyah ocenki riska chrezvychajnyh situacij / A.N. Shcheglov [i dr.] // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2022. T. 19. № 3 (73). S. 78–83. EDN MXDHWZ.
20. Simulation modeling and mapping of catastrophic floods in poorly studied areas for emergency risk management / I. Oltyan [et al.] // Reliability: Theory & Applications. 2023. T. 18. № SI 5 (75). S. 539–551.
21. O rezul'tatah primeneniya metoda prognozirovaniya parametrov katastroficheskikh navodnenij na neizuchennyh territoriyah v celyah ocenki riska chrezvychajnyh situacij / A.N. Shcheglov [i dr.] // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2023. T. 20. № 1 (75). S. 48–56. EDN CZWUUT.
22. Oltyan I.Yu. Gibel' lyudej v navodneniyah: prichiny, faktory, prognoz // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. seminarov v ramkah Mezhdunarodnogo foruma. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2024. S. 52–56. EDN FPGLUJ.
23. Bolgov M.V., Korobkina E.A. Rekonstrukciya dozhdevogo pavodka na reke Adagum na osnove matematicheskikh modelej formirovaniya stoka // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2013. № 3. S. 87–102. EDN QCKTXT.
24. Rybakov A.V., Posternak E.V. Matematicheskaya model' obosnovaniya ob'emov inzhenerno-tekhnicheskikh meropriyatij dlya minimizacii ushcherba ot prirodnyh chrezvychajnyh situacij s uchetom antropogennyh faktorov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2025. № 1. S. 102–117.
25. Oltyan I.Yu. O nekotoryh metodicheskikh podhodah k ocenke social'nogo riska chrezvychajnyh situacij // Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti: trudy XXVII Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: Rossijskaya akademiya raketnyh i artillerijskikh nauk, 2024. S. 500–504. EDN CKETZD.
26. Vrijling J.K., Van Gelder P. Societal risk and the concept of risk aversion / C. Guedes Soares (Ed.) // Advances in Safety and Reliability. 1997. Vol. 1. P. 45–52.
27. Ragozin A.L. Ocenka i upravlenie prirodnymi riskami: pervye itogi XX veka // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2001. № 2. S. 183.
28. Oltyan I.Yu. Modelirovanie navodnenij s primeneniem cifrovoj modeli rel'efa // Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti, monitoringa okruzhayushchej sredy i prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. M.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MCHS Rossii (federal'nyj centr nauki i vysokih tekhnologij), 2024. S. 34–40. EDN PQFJJC.
29. Poltoranov D.V., Aref'eva E.V., Prus Yu.V. O formalizacii procedury mnogokriterial'nogo vybora i ranzhirovaniya uyazvimoego naseleniya v usloviyah chrezvychajnyh situacij // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2025. T. 22. № 1 (83). S. 85–92. EDN WCIBSR.
30. Cypin A.P., Kabanova E.E., Gadzhimirzoev G.I. Statisticheskij analiz obespechennosti zhil'em naseleniya regionov Rossii // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Ser.: Ekonomika. Upravlenie. Pravo. 2023. T. 23. № 1. S. 27–34.
31. Lind N., Hartford D., Assaf H. Hydrodynamic models of human stability in a flood 1 // JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 2004. T. 40. № 1. S. 89–96.
32. Ob ocenkah maksimal'nogo stoka reki Iya vo vremya ekstremal'nogo pavodka 2019 goda / M.V. Bolgov [i dr.] // Meteorologiya i gidrologiya. 2020. № 11. S. 53–63. EDN DSJBDX.
33. Parygina E.A., Slepneva E.V., Kichigina N.V. Zonirovanie mal'nyh gorodov Irkutskoj oblasti po stepeni opasnosti zatopeniya // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Nauki o Zemle. 2023. T. 45. S. 80–94. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.45.80. EDN CTUMDB.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 06.04.2025; одобрена после рецензирования: 12.05.2025;  
принята к публикации: 27.05.2025

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 06.04.2025; approved after review: 12.05.2025;  
accepted for publication: 27.05.2025

*Информация об авторах:*

**Олтян Ирина Юрьевна**, ученый секретарь Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7), кандидат технических наук, e-mail: irenaoltyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>, SPIN-код: 3476-5213

*Information about the authors:*

**Oltian Irina Yu.**, scientific secretary of Russian research institute for civil defense and emergencies of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydkovskaya str., 7), candidate of technical sciences, e-mail: irenaoltyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>, SPIN: 3476-5213