

Природные и техногенные риски Южного Прибайкалья

Тимофеева С.С.,
Хамидуллина Е.А. *,
Дроздова Т.И.,

Иркутский национальный
исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 83

Аннотация

Цель. В последнее десятилетие наблюдается значительный рост природных явлений, приводящих к катастрофическим последствиям. В связи с этим возникает необходимость использования научно обоснованных риск-ориентированных подходов для обеспечения безопасности людей и защиты окружающей среды. Зонирование территорий по уровням риска чрезвычайных ситуаций позволяет эффективно осуществлять процессы обработки и реагирования на риск. В данной работе представлены анализ рисков бедствий природного и техногенного характера на территории Южного Прибайкалья Иркутской области и количественная оценка их уровня на основании современной методологии анализа рисков.

Методы. Использовали ретроспективный статистический анализ и моделирование возможных чрезвычайных ситуаций. Обработка и обобщение статистических данных выполнялись в целом по Слюдянскому району Иркутской области за период 2015—2019 гг. по данным Государственных докладов «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в соответствующие годы.

Результаты. Оценили комплексный показатель риска территории, складывающийся из потенциального территориального риска и показателя коллективного риска, характеризующего уровень ущерба. Расчет среднего индивидуального риска гибели населения в результате совокупного воздействия поражающих факторов чрезвычайных ситуаций показал превышение значения допустимого риска, принятого для Иркутской области, в 4,2 раза. На основании моделирования техногенных аварийных ситуаций с разгерметизацией емкостей с опасными веществами, перевозимыми по железной дороге, и моделирования ущерба при катастрофических землетрясениях, возможных на данной территории, рассчитали и построили кривые социального риска. На основании всех полученных результатов выполнили зонирование территории Южного Прибайкалья по рискам ЧС.

Заключение. На основании выполненных оценок комплексного риска территория Южного Прибайкалья Иркутской области относится к зонам повышенного риска реализации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения.

Ключевые слова: риски чрезвычайных ситуаций; зонирование территорий по уровню риска; индивидуальный риск гибели в ЧС; кривые социального риска.

Для цитирования: Тимофеева С.С., Хамидуллина Е.А., Дроздова Т.И. Природные и техногенные риски Южного Прибайкалья // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. № 3. С. 32—44, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-3-32-44>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Natural and Man-Made Risks of the Southern Baikal Area

Svetlana S. Timofeeva,
Elena A. Khamidullina*,
Tatiana I. Drozdova,
Irkutsk National Research
Technical University,
Lermontova str., 83, Irkutsk,
664074, Russia

Abstract

Objective. In the last decade, there has been a significant increase in natural phenomena, leading to catastrophic consequences. In this regard, there is a need to use science-based risk-oriented approaches to ensure the safety of people and protect the environment. Zoning of territories according to the levels of risk of emergency situations makes it possible to effectively process and respond to risk. This paper presents an analysis of the risks inherent in natural and man-made disasters in the Southern Baikal Area of the Irkutsk Region and a quantitative assessment of their level based on the modern risk analysis methodology.

Methods. We used a retrospective statistical analysis and modeling of possible emergency situations. The processing and synthesis of statistical data was carried out as a whole for the Slyudyansky Municipality of the Irkutsk Region for the period 2015—2019 according to the data of the State Reports “On the State of the Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Natural and Man-made Emergencies” in the relevant years.

Results. We assessed the complex risk indicator of the territory, which consists of the potential territorial risk, and the collective risk indicator, which characterizes the level of damage. We calculated the average individual risk of death of the population as a result of the cumulative impact of the damaging factors of emergency situations. It was shown that it exceeded the values of the acceptable risk adopted for the Irkutsk Region by 4.2 times. Based on the modeling of man-made emergencies with depressurization of containers with hazardous substances transported by rail and modeling of damage during catastrophic earthquakes that are possible in a given area, social risk curves were calculated and built. Based on all the results obtained, the zoning of the territory of the Southern Baikal Area was carried out according to the risks of emergencies.

Conclusion. Based on the assessments of the complex risk, the territory of the Southern Baikal Area of the Irkutsk Region belongs to the zones with increased risk of natural and man-made emergency situations.

Keywords: disaster risks; zoning of territories according risk level; individual risk of death in emergency situations; social risk curves.

For citation: Timofeeva S.S., Khamidullina E.A., Drozdova T.I. Natural and Man-made risks of the Southern Baikal Area // Issues of Risk Analysis. 2022;19(3):32-44, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2022-19-3-32-44>

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение
1. Методы
2. Результаты и их обсуждение
Заключение
Литература

Введение

В последнее десятилетие наблюдается значительный рост природных явлений, приводящих к катастрофическим последствиям. Разрушительная сила водных стихий, таких, например, как наводнение в г. Тулуне Иркутской области в 2019 г., приводит к колоссальным материальным потерям, нарушениям условий жизнедеятельности тысяч людей¹. Происходят климатические изменения в результате ежегодных лесных пожаров [1, с. 71; 2, с. 35]. Землетрясения, сели, оползни — все эти природные явления наносят значительный ущерб территориям. Развитие экономики в современных условиях, рост новых производств, развитие инфраструктуры способствуют возрастанию количества и масштабов последствий техногенных аварий в результате неэффективной антропогенной деятельности. Все эти вызовы современности требуют риск-ориентированного подхода в управлении безопасностью в регионах Российской Федерации, в том числе и в Южном Прибайкалье.

Анализ риска территорий изначально содержит множество неопределенностей, практически бесконечное число причинно-следственных взаимосвязей как между элементами самой системы, так и между элементами других систем (территорий), случайные факторы происходящих событий и т.п. Поэтому территорию следует рассматривать как сложную динамическую слабоструктурированную, нелинейную систему с множеством опасностей.

В литературе можно найти разные подходы для оценки территориального риска, включающие специфику стран и отдельных территорий [3, с. 69; 4, с. 16; 5, с. 165; 6, с. 10]. Как правило, для оценивания состояния безопасности преимущественно используются три основных подхода. Вероятностный подход позволяет рассчитывать риск возникновения чрезвычайной ситуации с помощью математических моделей, связывающих предпосылки с вероятностью их проявления. Методы данного типа используются для расчета индивидуального, коллективного и социального рисков и ориентированы, как правило, на конкретный производственный объект. Применение этих методов к территории требует совершенствования нормативной базы и серьезной адаптации расчетных моделей.

Статистический подход позволяет формировать количественную оценку на основе анализа данных за определенный период наблюдения. Преимуществом методов данного типа является их объективность, возможность исследовать динамику изменений наблюдаемых параметров и формировать сводные показатели. Однако такие методы с оговорками могут быть применены для редко наблюдаемых событий и не позволяют получать оперативные оценки текущего состояния.

Эвристический подход позволяет формировать качественные оценки, когда формальные методы слишком сложны, а исходная база данных недостаточна для получения однозначного аналитического решения. Однако применение методов данного типа без аналитической поддержки ведет к ошибкам субъективного характера.

В данной работе представлены анализ рисков чрезвычайных ситуаций (бедствий — в соответствии с международной терминологией, в данной работе оба термина будут использоваться как равнозначные понятия) природного и техногенного характера на территории Южного Прибайкалья в Иркутской области и количественная оценка их уровня на основании современной методологии анализа рисков. Данная работа является продолжением наших исследований [7, с. 75; 8, с. 2] по количественной оценке риска чрезвычайных ситуаций в Иркутской области применительно к отдельно взятому региону — Южному Прибайкалью. В то время как предыдущая работа [8, с. 2] была основана исключительно на ретроспективном анализе чрезвычайных ситуаций, в данном исследовании в дополнение к ретроспективному анализу авторы выполнили моделирование возможных техногенных аварий с высвобождением опасного вещества и на результатах этого моделирования построили количественный прогноз возможных чрезвычайных ситуаций на рассматриваемой территории.

1. Методы

Использованы ретроспективный статистический анализ и моделирование возможных чрезвычайных ситуаций. Обработка и обобщение статистических данных выполнялись в целом по Слюдянскому району Иркутской области за период 2015—2019 гг. на основании данных Государственных докладов

¹ <https://ircity.ru/review/38458/>

«О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» в соответствующие годы, также использовались данные Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области и информация официального сайта Главного управления МЧС России по Иркутской области.

При расчетах комплексного индивидуального риска делалось допущение о независимости событий — поражения людей при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. При оценке комплексного индивидуального риска учитывалось то, что поражение людей зависит как от уровня поражающих факторов, так и от ряда других случайных событий, в частности, от вероятности размещения людей в зоне риска, плотности расселения в пределах населенных пунктов, времени реализации опасного события. Принималось, что значения индивидуального риска в основном определяются частотой реализации опасности и уровнем поражающего фактора. В качестве поражающего фактора при расчете последствий ЧС принимался фактор, вызывающий основные разрушения и поражения.

Моделирование возможных техногенных аварий осуществляли с использованием программного комплекса ТОКСИ+Risk (ЗАО НТЦ ПБ) для ситуаций перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом. Моделировали аварии с полной и частичной разгерметизацией емкостей с опасным веществом и последующим возникновением соответствующих поражающих факторов. Расчет выполнили для наиболее неблагоприятных метеоусловий: скорость ветра — 1 м/с, стратификация атмосферы — F. Температура окружающей среды — 20 °С, температура в оборудовании равна температуре окружающей среды. Разлив происходит на бетон, тип разлива — свободный. Время ликвидации аварии равно времени истечения жидкой фазы и составляет 3600 секунд. В качестве опасных веществ рассмотрели хлор, дизельное топливо и СУГ. Условия перевозки приняли стандартными для железнодорожных перевозок — в цистернах для соответствующих веществ и описанными ранее [9, с. 104; 10, с. 75]. В качестве наиболее опасного сценария (наиболее опасно-

го по тяжести последствий) приняли техногенную аварию с полной разгерметизацией цистерны с хлором и последующим рассеиванием облака токсического вещества как наиболее вероятный сценарий (частота реализации выше, но последствия существенно менее тяжелые), рассмотрели аварию с частичной разгерметизацией цистерны с дизельным топливом и последующим возникновением пожара пролива. Частоты разрушения цистерн и появления отверстий разгерметизации приняли по документу².

F/N диаграммы строили на основе результатов моделирования событий (техногенных и природных бедствий) с групповой гибелью людей. Для каждого такого события определили возможную частоту реализации, события ранжировали, начиная с события с наиболее серьезными последствиями и далее по уменьшению степени серьезности последствий. По оси ординат отложена кумулятивная частота событий с гибелью не менее N человек. По оси абсцисс — возможное число человек, погибших одновременно при моделируемых событиях. В контексте данной статьи социальный риск ассоциировали с рисками от высвобождающихся при аварии химических веществ и обусловленными ими поражающими факторами, а также от возможных в данном регионе катастрофических землетрясений. Ключевым фактором при оценке социального риска является количество населения, попадающего в зону бедствия, его плотность в заданной точке пространства.

2. Результаты и их обсуждение

Южное Прибайкалье занимает особое место на территории Байкальского региона, включающего территории трех субъектов Российской Федерации: Иркутскую область, Республику Бурятия и Забайкальский край. Структурно Байкальская Сибирь, как еще неофициально называют Байкальский регион, состоит из двух частей — Предбайкалья (Иркутская область) и Забайкалья (Республика Буря-

² Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности “Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах”»
<https://docs.cntd.ru/document/1200133801>

тия, Забайкальский край) и занимает территорию 1561 тыс. км² с населением по последней переписи свыше 4779 тыс. человек.

Южное Прибайкалье расположено на юге Иркутской области и представлено территорией муниципального образования (МО) Слюдянский район, в состав которого входит восемь муниципальных образований, в том числе три городских поселения и пять сельских поселений. Площадь Слюдянского района составляет 630,1 тыс. га, или 0,8% территории Иркутской области. Численность населения Слюдянского района — 39 097 чел., плотность населения 6,2 чел. на 1 км². Производственная сфера Слюдянского района представлена в основном предприятиями малого и среднего бизнеса, а также предприятиями жизнеобеспечения.

Характерными для Слюдянского района являются следующие природные опасности: геофизические явления и процессы (землетрясения, обвалы и осыпи); гидрологические явления и процессы (селевая и паводковая опасность); природные (лесные) пожары; метеорологические опасности.

Особую опасность представляют землетрясения, т.к. Южное Прибайкалье относится к наиболее сейсмоактивным районам Байкальской рифтовой зоны. За период с начала освоения данной территории в XVII в. и до наших дней здесь зарегистрировано более 600 землетрясений. Магнитуда сильнейших землетрясений достигала 8,0 и более. В настоящее время территория южной оконечности озера переживает период сейсмической активности, наличие глубинных разломов определяют участки с повышенной сейсмической опасностью. Часто эпицентры сильных сейсмических событий связаны с крупными глубинными разломами, что подтверждается землетрясениями интенсивностью 7—10 баллов. Анализ каталогов исторических землетрясений и инструментального мониторинга сейсмических событий показывает, что в регионе сильные землетрясения возникают с периодичностью 50—60 лет. В среднемголетнем плане сейсмическая активность района Байкальской рифтовой зоны характеризуется 100—300 событиями в год. Частота землетрясений во времени может меняться довольно значительно — от 10—15 до 30—40 событий в месяц. Подавляющая часть землетрясений региона имеет энергетический класс от 9,5 до 14—15. Большая ча-

стота относительно слабых землетрясений препятствует накоплению значительных упругих напряжений в земной коре, предшествующих сильным землетрясениям [11, с. 67].

Оценка средней частоты сильных землетрясений на современном уровне знаний дает лишь ориентировочные цифры. Так, для районов Южного Прибайкалья повторение землетрясений с $M = 9,0$ составляет 1000 лет, с $M > 9$ составляет 5000 лет.

Другой опасностью для большей части территории являются обвалы и осыпи. В Южном Прибайкалье развитие и распространение обвалов находятся в прямой зависимости от совокупного сочетания геологического, сеймотектонического, климатического и техногенного факторов. Техногенные факторы, выявленные в результате анализа нагрузки на геологическую среду при создании горных выработок, в большинстве случаев становятся лишь спусковым механизмом, способствующим ускорению всех типов экзогенных и даже эндогенных процессов, формирующихся на природной основе.

Для Южного Прибайкалья опасность представляют и гидрологические явления, такие как паводки и сели, формирование которых происходит в весенне-летний период в результате интенсивного таяния снежного покрова и выпадения осадков. На территории Слюдянского МО наиболее селе- и паводкоопасными водными объектами являются реки Слюдянка, Похабиха и суходол Сухой Лог. Основные факторы, влияющие на формирование речного стока, — климатические, орографические и гидрогеологические условия территории.

В бассейнах рек Южного Прибайкалья имеются условия для формирования водокаменных и водогрязекаменных селевых потоков. В связи с этим Южное Прибайкалье относится к числу селеопасных регионов России, где проявление селей и паводков чревато социально-экономическим ущербом для инфраструктуры Слюдянского района. Территория развивается в сложной природно-ландшафтной обстановке, где решающее значение имеют как постоянно действующие геолого-геоморфологические, так и периодически действующие сеймотектонические, гидрометеорологические и техногенные факторы.

Особую опасность для территории как Иркутской области в целом, так и Слюдянского МО

в частности представляют лесные пожары. Лесопожароопасный период начинается практически ежегодно во второй половине апреля — начале мая, и высокая опасность лесных пожаров сохраняется до конца сентября, принося значительный ущерб особенно в заповедных зонах Южного Прибайкалья.

Следует отметить и потенциальные техногенные угрозы, вызванные авариями на транспорте. По территории Слюдянского района вдоль озера Байкал проходят федеральная автодорога Р-258 «Байкал» и Восточно-Сибирская железная дорога (участок Транссибирской магистрали). Эти объекты инфраструктуры представляют серьезную опасность как для жителей Южного Прибайкалья, так и для озера Байкал в связи с перевозом опасных грузов, углеводородных топлив, токсического химического сырья. Не являются исключением риски вследствие происшествий на автомобильном транспорте на федеральной трассе Р-258 «Байкал», имеющей ряд опасных участков с крутыми поворотами, спусками и подъемами.

Повышенная сейсмичность в Слюдянском МО и другие природные опасности (обвалы, наводнения, оползни, лесные пожары), а также техногенные опасности создают постоянную угрозу не только для жителей и инфраструктуры территории, но и для окружающей среды и непосредственно для озера Байкал. В связи с этим возникает необходимость использования научно обоснованных риск-ориентированных подходов для обеспечения безопасности людей и защиты окружающей среды.

Зонирование территорий по уровням риска чрезвычайных ситуаций позволяет эффективно осуществлять процессы обработки и реагирования на риск. В соответствии с положениями Сендайской конференции 2015 г. прогнозирование риска бедствий, планирование на случай бедствий и снижение риска бедствий имеют колоссальное значение для более эффективной защиты людей, общин и стран, а также их источников средств к существованию, здоровья, объектов культурного наследия, социально-экономических активов и экосистем как условия укрепления их потенциала противодействия³.

Существуют различные методологии анализа риска, среди которых не принято называть более «хорошие» или «плохие», речь может идти лишь о более подходящих в данных конкретных условиях и ситуации. Как правило, комплексная оценка риска территории имеет две составляющие — оценку частоты возникновения природного бедствия и последствий его воздействия на человеческие и материальные ресурсы и, с другой стороны, оценку техногенного риска, обусловленного промышленными авариями, также с точки зрения вероятности возникновения техногенной аварии и тяжести последствий от ее воздействия на уязвимые ресурсы. Таким образом, осуществляется гибридный подход [12, с. 2612; 13, с. 311], при котором регионы получают оценки территориальной безопасности с учетом особенностей взаимного влияния факторов риска и их ранжирования в расчете на единицу площади территории или жителя региона.

В России в качестве показателей риска бедствий (как природного, так и техногенного характера) приняты показатели индивидуального и социального риска, нормативные значения которых предложены в документе⁴. Следует отметить, что указанные нормативные значения рассчитаны на основе статистических данных о гибели людей в чрезвычайных ситуациях, произошедших на территории субъектов РФ за 23-летний период — с 1991 по 2014 г.

Исходя из вышеназванного подхода, провели количественную оценку риска ЧС на территории Южного Прибайкалья по числу чрезвычайных ситуаций и количеству погибших в них за период 2015—2019 гг. Результаты представлены в табл. 1, где числитель дроби показывает количество чрезвычайных ситуаций, включая пожары, а знаменатель — количество погибших. Индивидуальный риск гибели рассчитывался на основе вероятностного подхода как отношение количества человек, погибших в результате воздействия опасного фактора, к общему количеству человек, потенциально подвергшихся воздействию опасного фактора.

³ Sendai Framework on Disaster Risk Reduction 2015—2030.

⁴ ГОСТ Р 22.10.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска ЧС. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций».

Таблица 1. Количественные показатели ЧС Южного Прибайкалья в период 2015—2019 гг.

Table 1. Quantitative indicators of emergencies in the Southern Baikal Area in the period 2015—2019

Тип ЧС	2015	2016	2017	2018	2019
ДТП, случаи/чел.	0/0	1/3	0/0	0/0	0/0
Пожары, случаи/чел.	48/2	51/0	74/1	81/5	177/5
Индивидуальный риск гибели в ЧС, 1/год	$2,51 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-5}$	$2,53 \times 10^{-5}$	$1,79 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-4}$

Таблица 2. Среднестатистические показатели для расчета уровня риска

Table 2. Average statistical indicators for calculating complex risk

Всего лет	ЧС всех видов		Техногенные ЧС		Пожары		Природные ЧС	
	F, 1/год	H, чел.	F, 1/год	H, чел.	F, 1/год	H, чел.	F, 1/год	H, чел.
5	86,4	9,4	0,2	4	86,2	5,4	0	0

Таким образом рассчитали средний индивидуальный риск гибели населения в результате совокупного воздействия поражающих факторов чрезвычайных ситуаций в Слюдянском районе, он составил $8,6 \times 10^{-5}$ 1/чел., что превышает значения допустимого риска, принятого для Иркутской области ($2,05 \times 10^{-5}$), в 4,2 раза. Однако рассчитанные значения не позволяют отнести уровень индивидуального риска к неприемлемому, т.к. тот же нормативный документ указывает, что риск считается неприемлемым, если он в 10 раз превышает установленный допустимый риск. Таким образом, по ретроспективным оценкам уровень риска для населения Южного Прибайкалья следует считать повышенным.

Вероятность возникновения чрезвычайной ситуации показывает только одну сторону риска, в то время как комплексный показатель включает, помимо вероятности реализации опасности, также возможные масштабы социального и материального ущерба. В этом случае риск представляет собой сочетание вероятности нежелательного события и тяжести его последствий. Для чрезвычайной ситуации на территории этот комплексный показатель складывается из потенциального территориального риска, характеризующего повторяемость появления поражающих факторов в данной точке пространства, и показателя коллективного риска, характеризующего уровень ущерба.

В табл. 2 показана среднестатистическая повторяемость чрезвычайных ситуаций (F, 1/год) на территории Южного Прибайкалья и среднестатистическое количество пострадавших в этих ЧС за год (H, чел.), показатели были рассчитаны за период 2015—2019 гг. При расчете количества пострадавших учитывали суммарно погибших, а также людей, здоровью и имуществу которых был причинен ущерб. Определение степени приемлемости уровня риска ЧС заключалось в сравнении полученных значений среднестатистической частоты возникновения ЧС каждого вида за год и среднестатистического количества пострадавших в ЧС за год с нормативами приемлемого риска. Отнесение рассматриваемой территории к зоне риска ЧС выполнили на основании матрицы, представленной в табл. 3.

Выполненные расчеты показывают, что в целом по чрезвычайным ситуациям любого происхождения Южное Прибайкалье следует относить к зоне повышенного риска ЧС, т.к. среднестатистическая повторяемость за рассмотренные 5 лет составляет более 86 случаев в год при среднестатистическом количестве пострадавших до 10 чел. Здесь следует отметить, что при расчете среднестатистических показателей для ЧС всех видов учитывали происшествие, официально отнесенные к чрезвычайным ситуациям (дорожно-транспортное происшествие в 2016 г. с количеством пострадавших 20 человек),

Таблица 3. Матрица отнесения территорий к зонам риска ЧС [14, с. 67]

Table 3. Matrix assigning territories to emergency risk zones

Среднестатистическая повторяемость ЧС за год, 1/год	Коллективный риск (среднестатистическое количество пострадавших в год), чел.			
	1-я степень (до 10 чел.)	2-я степень (до 50 чел.)	3-я степень (до 500 чел.)	4-я степень (свыше 500 чел.)
От 1 и более	*, ***			
Менее 1 до 0,3	**			
Менее 0,3 до 0,1				
Менее 0,1 до 0,03				
Менее 0,03 до 0,01				
Менее 0,01				

Обозначения

	зона высокого риска	*	— ЧС любого происхождения
	зона повышенного риска	**	— техногенные ЧС
	зона приемлемого риска	***	— пожары

а также пожары, официально учитываемые отдельной строкой. Хотя, справедливости ради, нужно отметить, что даже без учета пожаров уровень риска ЧС на рассматриваемой территории является повышенным. В табл. 3 отмечены результаты расчетов среднестатистических показателей отдельно для техногенных чрезвычайных ситуаций (к которым относятся дорожно-транспортные происшествия) и пожаров.

В практике анализа риска часто используют подход, основанный на оценке социального риска, т. е. на изучении зависимости между частотой возникновения нежелательного события и уровнем последствий не менее определенной величины. В разных странах социальный риск используется для оценки риска территорий и последующих ограничений опасных видов деятельности, что описано в работах [15, с. 93; 16, с. 1; 17, с. 1].

В данной работе графическое представление социального риска (в двойном логарифмическом масштабе) рассчитано как функция частоты событий (F) с гибелью не менее N человек от числа N.

Для расчета и построения кривых социального риска выполнили моделирование техногенных аварийных ситуаций с разгерметизацией емкостей с опасными веществами, перевозимыми по железной дороге, и моделирование ущерба при

катастрофических землетрясениях, возможных на данной территории.

Моделирование было выполнено по пяти муниципальным образованиям, входящим в Южное Прибайкалье (Утуликское, Новоснежинское, Быстринское, Маритуйское и Портбайкальское МО). При этом учли особенности территорий, а именно то, что Транссибирская железная дорога проходит по территории только Утуликского и Новоснежинского муниципальных образований, поэтому аварию с опасными веществами на железной дороге моделировали только для этих территорий. Федеральная автомобильная дорога с большой интенсивностью движения и существенным грузопотоком проходит по Утуликскому, Новоснежинскому и Быстринскому муниципальным образованиям, поэтому для них учитывали возможные автокатастрофы с пассажирским автотранспортом (среднестатистические частоты ДТП на территории Южного Прибайкалья с количеством потерпевших более 5). По территории Портбайкальского и Маритуйского муниципальных образований проходит только Кругобайкальская железная дорога (КБЖД) с низкой интенсивностью движения и отсутствием опасных грузов, а также имеются автомобильные дороги только местного значения, поэтому при

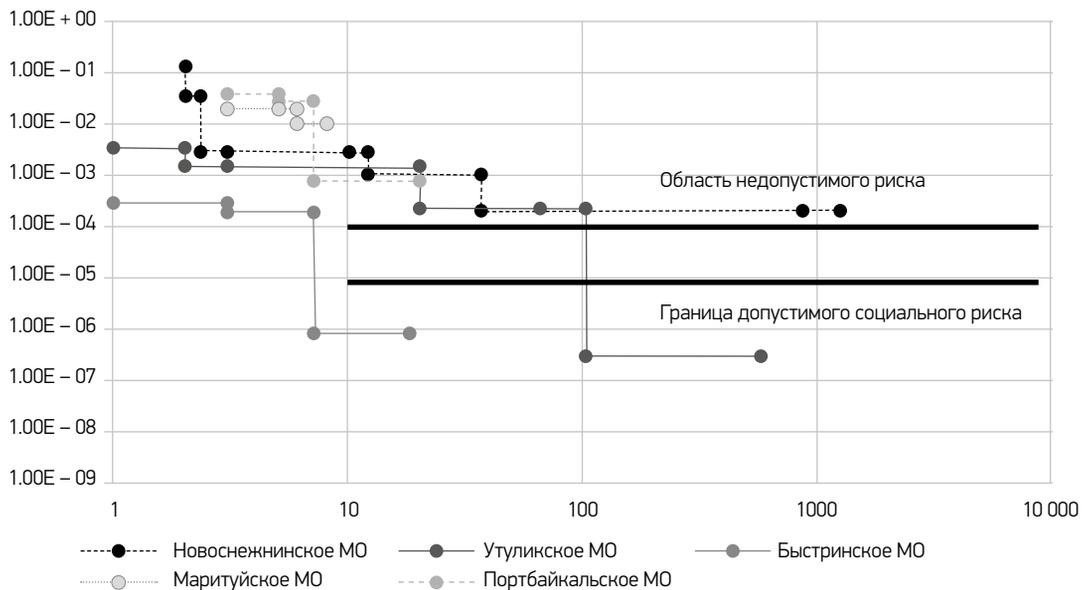


Рис. 1. Социальный риск (F/N диаграмма) гибели людей в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников ЧС (наиболее опасный сценарий) в муниципальных образованиях Южного Прибайкалья

Figure 1. Social risk (F/N diagram) of death as a result of possible exposure to all exposure factors of emergencies sources (the most dangerous scenario) in municipalities of the Southern Baikal Area

моделировании учитывали случаи камнепадов на КБЖД, способные привести к авариям с травмированием людей. Также Портбайкальское МО не имеет автомобильного сообщения с областным центром, поэтому в летнее время используется водный транспорт; следовательно, учли возможные аварии на водном транспорте (частоту рассчитали на основании ретроспективных данных за последние 30 лет).

При моделировании последствий катастрофического землетрясения учитывали зонирование территории Южного Прибайкалья по возможной интенсивности землетрясения. Для вышеназванных муниципальных образований, за исключением Быстринского, в качестве наиболее опасного сценария природного бедствия приняли землетрясение интенсивностью 9–10 баллов, для Быстринского — 8–9 баллов. В качестве наиболее вероятного сценария приняли 7–8-балльное для Утуликского, Новоснежинского, Маритуйского и Портбайкальского, а также 6–7-балльное — для Быстринского МО. При моделировании учи-

тывали сейсмостойкость зданий и сооружений на территории населенных пунктов, возможные степени разрушения зданий и потери в людях оценили по Методике⁵.

По результатам выполненного моделирования рассчитали прогноз социального риска для рассматриваемой территории, который, в свою очередь, представили в виде кривых социального риска или F/N диаграмм, показанных на рис. 1–3. F/N диаграммы построили для наиболее опасного и наиболее вероятного сценария развития ситуации (техногенные плюс природные) (рис. 1, 2), а также отдельно для последствий моделируемых техногенных аварий (рис. 3).

Как видно из рис. 1, представляющего наиболее опасный сценарий, в область недопустимого риска попадают Утуликское и Новоснежинское муниципальные образования, что, несомненно, обусловлено сочетанием возможных последствий

⁵ Методика прогнозирования последствий землетрясений ВНИИ ГО ЧС (Москва, 2000 г).

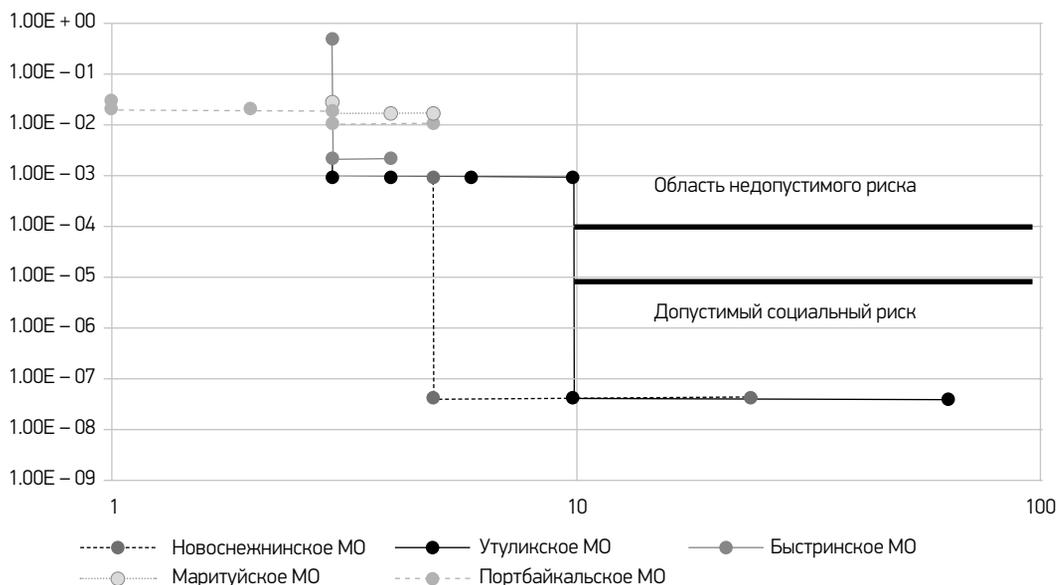


Рис. 2. Социальный риск (F/N диаграмма) гибели людей в результате возможного воздействия всей совокупности поражающих факторов источников ЧС (наиболее вероятный сценарий) в муниципальных образованиях Южного Прибайкалья

Figure 2. Social risk (F/N diagram) of death as a result of possible exposure to all exposure factors of emergencies sources (the most probable scenario) in municipalities of the Southern Baikal Area

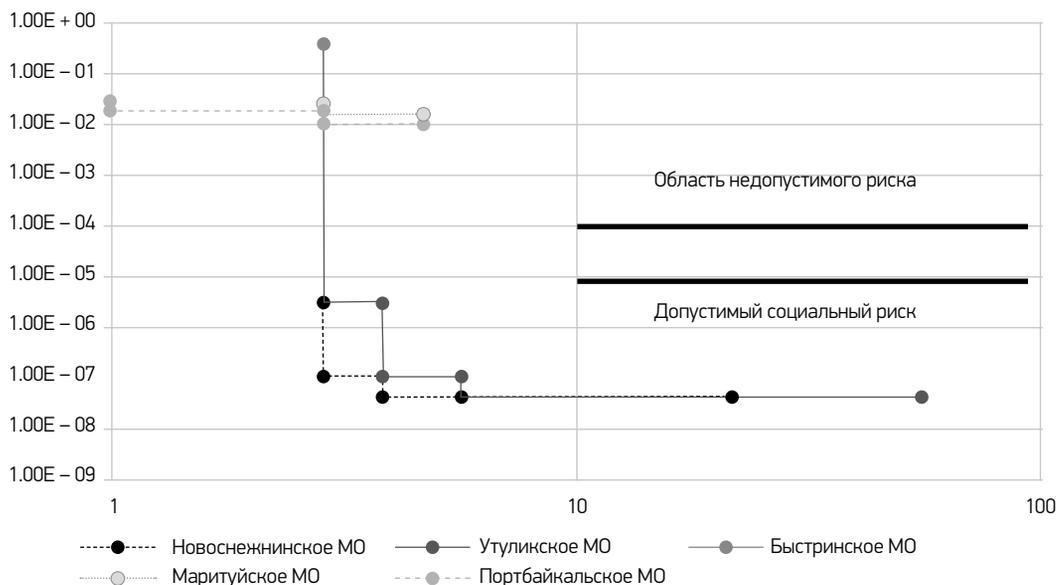


Рис. 3. Социальный риск (F/N диаграмма) гибели людей в результате возможного воздействия техногенных поражающих факторов источников ЧС (наиболее вероятный сценарий) в муниципальных образованиях Южного Прибайкалья

Figure 3. Social risk (F/N diagram) of death as a result of possible exposure to man-caused exposure factors of emergencies sources (the most probable scenario) in municipalities of the Southern Baikal Area

аварии при перевозке опасных грузов и катастрофического землетрясения. Сюда же попадает Портбайкальское МО вследствие возможной аварии на водном транспорте, также в сочетании с последствиями землетрясения. Примечательно, что при рассмотрении только техногенных угроз уровень социального риска также для всех рассмотренных территорий не выходит за границы допустимости рисков. Это позволяет предположить, что, если гипотетическая авария и землетрясение не совпадают по времени, последствия не будут катастрофическими, и адекватные меры реагирования на риск помогут избежать человеческих жертв. При реализации вероятного сценария социальный риск для всех рассмотренных территорий не выходит за границы допустимого риска.

Сделанные заключения, в свою очередь, опираются на уровни допустимого социального риска, предложенные в вышеназванном национальном стандарте. Национальный стандарт России предлагает использовать величину 10^{-5} для гибели не менее 10 человек как уровень допустимого социального риска, а величину в 10 раз большую — как критерий недопустимости социального риска. Здесь хочется подчеркнуть толерантность российских законодателей к случаям групповой гибели людей. В других странах используется фактор неприятия риска при определении уровня допустимого социального риска, снижающий уровень допустимого риска для событий с большим числом пострадавших [18, с. 1; 19, с. 2091].

Заключение

Ретроспективный анализ чрезвычайных ситуаций позволяет увидеть основные опасности территорий и оценить частоту их реализации, а также социально-экономические последствия для уязвимых групп. В то же время редко наблюдаемые, но способные нанести серьезный урон события практически не могут быть отслежены путем ретроспективного анализа, если только не учитывать информацию за очень продолжительный период времени (порядка 100 лет), но могут быть оценены методом моделирования этих ситуаций. Моделирование также позволяет оценить возможную частоту реализации и предполагаемые последствия бедствия.

Таким образом, на основании выполненных оценок комплексного риска территория Южного Прибайкалья Иркутской области относится к зонам повышенного риска реализации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения. Моделирование социального риска показало его относительную приемлемость для территории Южного Прибайкалья для редких техногенных и природных катастроф. Тем не менее, как любые вероятностные оценки, данные выводы могут рассматриваться как приближенные, и, следовательно, меры реагирования на риск, планирование и реализация мероприятий по снижению риска должны быть на шаг впереди.

Литература [References]

1. Гармышев В.В., Дубровин Д.В., Тимофеева С.С. Загрязнение атмосферы Прибайкалья в результате горения лесных горючих материалов // Вестник ИрГЦХА. 2018. № 86. С. 71—78 [Garmyshev V.V., Dubrovin D.V., Timofeeva S.S. The pollution of the Baikal Region as a result of combustion of forest combustible materials // Vestnik Irgsha. 2018;(86):71-78, (In Russ.)]
2. Дубровин Д.В., Гармышев В.В., Тимофеева С.С. Загрязнение атмосферы в результате горения лесных горючих материалов в селитебной, ландшафтно-рекреационной, пригородной зонах городов и населенных пунктов Иркутской области // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3. № 2(10). С. 35—43, <http://dx.doi.org/10.21285/2500-1582-2018-2-35-43> [Dubrovin D.V., Garmyshev V.V., Timofeeva S.S. Air pollution as a result of burning of forest combustible materials in residential, landscape and recreation and suburban zones of cities and settlements of Irkutsk Oblats // XXI Century. Technosphere Safety. 2018;3(2(10)):35-43, (In Russ.), <http://dx.doi.org/10.21285/2500-1582-2018-2-35-43>]
3. Senovsky, Pavel & Bernatik, Aleš & Šenovský, Michail & Rehak, David. (2013). Territorial Risk Analysis and Mapping. Chemical Engineering Transactions. 31. 69—74. 10.3303/CET1331014.
4. Пенькова Т.Г., Метус А.М., Ничепорчук В.В. Метод интегрального аналитического оценивания природно-техногенной безопасности территорий (на примере Красноярского края) // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 5. С. 16—25, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-5-16-25> [Penkova T.G., Metus A.M., Nicheporchuk V.V. Method

- of integral analytical estimation of the natural and anthropogenic territory safety (in case of Krasnoyarsk region) // *Issues of Risk Analysis*. 2018;15(5):16-25, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-5-16-25>
5. Castro Correa, Carmen & Sarmiento, Juan & Garuti, Claudio. (2016). Disaster Risk Assessment Developing a Perceived Comprehensive Disaster Risk Index: The Cases of Three Chilean Cities. 10.5772/62994
 6. Territory wide risk assessment 2017: A strategic level analysis of the natural hazards and other emergency risks facing the act // Australian Capital Territory, Canberra 2017. URL: https://esa.act.gov.au/sites/default/files/wp-content/uploads/The-Territory-Wide-Risk-Assessment-2017_building-WEB.pdf
 7. Тимофеева С.С. Техносферная безопасность Байкальского региона: современное состояние и проблемы // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3. № 4 (12). С. 75—90, <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-75-90> [Timofeeva S.S. Technosphere safety of the Baikal Region: current state and problems // XXI Century. Technosphere Safety. 2018;3(4):75-90, (In Russ.), <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-75-90>]
 8. Khamidullina E.A., Drozdova T.I. Modern approaches to analysis of emergency risks in the Irkutsk Region // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 962 (2020) 042014. doi: 10.1088/1757-899X/962/4/042014
 9. Хамидуллина Е.А., Тарасова М.Н. Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. № 1 (5). С. 104—118. [Khamidullina E.A., Tarasova M.N. Risk assessment for effects of emergency depressurization of dangerous chemical storage tanks on the railroad // XXI Century. Technosphere Safety. 2017;2(1(5)):104-118, (In Russ.)]
 10. Хамидуллина Е.А., Дроздова Т.И., Давыдкина О.А., Агапов А.А. Моделирование аварийных процессов с выбросом опасного вещества с использованием программного комплекса TOXI+Risk // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 7. С. 75—79. [Khamidullina E.A., Drozdova T.I., Davydkina O.A., Agapov A.A. Simulation of emergency processes with release of hazardous substance using the software package TOXI+Risk // Occupational Safety in Industry. 2015;(7):75-79, (In Russ.)]
 11. Пономарева Е.И., Ружич В.В., Левина Е.А. Оперативный среднесрочный прогноз землетрясений в Прибайкалье и его возможности // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2014. Т. 8. С. 67—69. [Ponomareva Ye.I., Ruzhich V.V., Levina E.A. The medium-term on-line earthquake forecast in Pribaikalye and it's potentialities // The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences. 2014;18:67-69, (In Russ.)]
 12. Pilone, E., Demichela, M., Baldissone, G. The Multi-Risk Assessment Approach as a Basis for the Territorial Resilience. Sustainability 2019, 11, 2612. <https://doi.org/10.3390/su11092612>
 13. Stephen Tyler & Marcus Moench (2012) A framework for urban climate resilience, Climate and Development, 4:4, 311-326, DOI: 10.1080/17565529.2012.745389
 14. Фалеев М.И., Малышев В.П., Быков А.А., Кондратьев-Фирсов В.М. Методологические подходы к зонированию территорий Российской Федерации по уровням риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2015. Т. 5. № 1(8). С. 67—90. [Faleev M.I., Malyshev V.P., Bykov A.A., Kondratyev-Firsov V.M. Methodological approaches to zoning the territories of the Russian Federation according to the risk levels of natural and man-made emergencies // Civil Protection Strategy: Challenges and Research. 2015;5(1(8)):67-90, (In Russ.)]
 15. Cho, Simjung. A Study of Risk Analysis for Human Casualty of Social Disasters based on F-N Curve // J. Korean Soc. Hazard Mitig. 2018. 18 (2). DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.2.93>
 16. Vasconcelos, Vanderley & Soares, Wellington & Costa, Antonio Carlos. (2015). FN-Curves: Preliminary Estimation Of Severe Accident Risks After Fukushima.
 17. Holicky, Milan. "Risk criteria for road tunnels." (2007).
 18. Pitblado, Robin & Bardy, Mariana & Nalpanis, Philip & Crossthwaite, Philip & Molazemi, Koheila & Bekaert, Maarten & Raghunathan, Vijay. (2012). International Comparison on the Application of Societal Risk Criteria. Process Safety Progress. 31. 10.1002/prs.11525.
 19. Jongejan, R. & Jonkman, S.N. & Maaskant, Bob. (2009). The potential use of individual and societal risk criteria within the Dutch flood safety policy (part 1): Basic principles. 10.1201/9780203859759.ch288.

Сведения об авторах

Тимофеева Светлана Семеновна: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ)

Количество публикаций: более 900, в т.ч. монографии и учебные пособия

Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности, техногенные риски, их оценка и управление; защита в ЧС, охрана труда

ResearcherID: X-4171-2018

Scopus Author ID: 7003434846

ORCID: 0000-0001-8427-3732

Контактная информация:

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
timofeeva@ex.istu.edu

Хамидулина Елена Альбертовна: кандидат химических наук, доцент, доцент Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ)

Количество публикаций: более 100, в т.ч. учебных пособий
Область научных интересов: оценка и управление аварийными и профессиональными рисками, безопасность жизнедеятельности

ResearcherID: AAN-7289-2020

Scopus Author ID: 6507522465

ORCID: 0000-0003-4967-755X

Контактная информация:

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
elena.irk.mail@list.ru

Дроздова Татьяна Ивановна: кандидат химических наук, доцент, доцент Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ)

Количество публикаций: более 140, в т.ч. учебников и учебных пособий, три из которых имеют гриф УМО, включенных в Федеральный список учебных пособий для вузов, 6 авторских свидетельств на изобретения

Область научных интересов: теория горения и взрыва, техногенные и пожарные риски, безопасность жизнедеятельности

ResearcherID: AAI-1162-2020

Scopus Author ID: 7003496537

ORCID: 0000-0002-3329-571X

Контактная информация:

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
drozdova@ex.istu.edu

Статья поступила в редакцию: 26.05.2022

Одобрена после рецензирования: 16.06.2022

Принята к публикации: 17.06.2022

Дата публикации: 30.06.2022

The article was submitted: 26.05.2022

Approved after reviewing: 16.06.2022

Accepted for publication: 17.06.2022

Date of publication: 30.06.2022