

УДК 504.332.1

<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-6-22-37>

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2020

# Использование показателей уязвимости и опасности для оценки риска территорий Иркутской области

Бычков И. В.,  
Николайчук О. А.,  
Павлов А. И.,  
Юрин А. Ю.\*

Институт динамики систем  
и теории управления  
им. В. М. Матросова СО РАН,  
664033, Россия, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, д. 134

## Аннотация

Иркутская область в Сибирском регионе отнесена к наиболее опасным субъектам с большим числом опасных промышленных объектов и масштабными зонами поражения. Наиболее значимыми природными опасностями являются наводнения, лесные пожары, землетрясения и заморозки. Целью данной работы является оценка природного, техногенного, экологического и комплексного рисков территорий Иркутской области на основе показателей опасности и уязвимости. Для оценки риска использован экспертный метод, основанный на эвристическом выделении критериев уязвимости и опасности, их экспертной оценке, определении весовых коэффициентов и ранжировании. Для определения ранжирования выделены по пять категорий опасностей на основе статистики интервальных данных. Риск определяется на основе матрицы риска, учитывающей индексы уязвимости и опасности и позволяющей оценивать как опасность, так и уязвимость территории.

В результате решения задач исследования произведен анализ государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области; выделены показатели уязвимости и опасности для территорий региона, произведена их экспертная оценка; построены карты уязвимости территории; определены взвешенные комплексные показатели опасности территории: природной, техногенной и экологической; построены карты опасностей территорий; рассчитаны природный, техногенный, экологический и комплексный риски территорий и построены соответствующие карты; произведено ранжирование территорий по уровням риска.

Полученные карты рисков территорий могут быть использованы при стратегическом планировании и поддержке принятия решений по снижению и предупреждению риска территорий при ограниченных ресурсах. Применение предложенного подхода позволило получить уточненную оценку риска административных образований (районов) Иркутской области.

**Ключевые слова:** опасность, уязвимость, территориальный риск, индексный подход, карты.

**Для цитирования:** Бычков И. В., Николайчук О. А., Павлов А. И., Юрин А. Ю. Использование показателей уязвимости и опасности для оценки риска территорий Иркутской области // Проблемы анализа риска. Т. 17. 2020. № 6. С. 22—37, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-6-22-37>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Using Hazard and Vulnerability Indicators for the Risk Assessment of the Irkutsk Region Territories

Igor V. Bychkov,  
Olga A. Nikolaichuk,  
Aleksandr I. Pavlov,  
Aleksandr Yu. Yurin\*,  
Matrosov Institute for System  
Dynamics and Control Theory  
SB RAS,  
Lermontov str., 134,  
Irkutsk, 664033, Russia

## Abstract

Irkutsk region in the Siberian region is classified as the most hazardous region with a large number of hazardous industrial facilities and large-scale damage zones. The most significant natural hazards are floods, forest fires, earthquakes, and freezing temperatures. The purpose of this paper is to assess the natural, technogenic, ecological, and complex risks of the territories of the Irkutsk region on the basis of hazard and vulnerability indicators. To assess the risk, an expert method is used based on the heuristic identification of vulnerability and hazard criteria, their expert assessment, definition of weight coefficients, and ranking. To determine the ranking, five hazard categories were identified based on "interval data statistics". The risk is determined on the basis of a risk matrix that takes into account the vulnerability and hazard indices and allows one to assess both the hazard and the vulnerability of the territory. The following task has been solved: the analysis of the state reports on the state and environmental protection of the Irkutsk region; the selection of indicators of vulnerability for areas in the region and their expert evaluation; the development of vulnerability maps of the region; the definition of weighted composite indicators of hazard areas: natural, technogenic and ecological; the development of the hazard maps of the region; the calculation of natural, technogenic, ecological and integrated risk of areas and constructing the corresponding maps; making a ranking of the territories by the level of risk.

The resulting risk maps of territories can be used for strategic planning and decision support to reduce and prevent the risk of territories with resource constraints. The application of the proposed approach allowed us to obtain a refined risk assessment of administrative areas (districts) of the Irkutsk region.

**Keywords:** hazard, vulnerability, territorial risk, index approach, maps.

**For citation:** Bychkov I.V., Nikolaichuk O.A., Pavlov A.I., Yurin A.Yu. Using hazard and vulnerability indicators for the risk assessment of the Irkutsk region territories // Issues of Risk Analysis. Vol. 17. 2020. No. 6. P. 22—37, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-6-22-37>

**The authors declare no conflict of interest.**

## Содержание

Введение  
1. Методы  
2. Результаты  
Заключение  
Литература

## Введение

Иркутская область в Сибирском регионе отнесена к наиболее опасным субъектам, где находятся самое большое число опасных промышленных объектов (108 из 360 ед.) и самые масштабные зоны поражения (130 из 560 тыс. кв. км) [1]. Для Иркутской области наиболее значимыми природными опасностями являются наводнения, лесные пожары, землетрясения и заморозки.

Территория Иркутской области характеризуется мощной и разветвленной речной сетью, представленной бассейнами таких крупных рек, как Ангара, Лена, Нижняя Тунгуска, и их многочисленными притоками [2]. На территории области наблюдаются зажорные и заторные наводнения, весенние и летние паводковые явления. При наиболее значительных наводнениях 2001, 2005, 2010 и 2019 гг. отмечалось наибольшее количество пострадавших и максимальный материальный ущерб.

Территория Иркутской области имеет самую высокую лесистость (78%) среди субъектов Российской Федерации. Особенностью лесного фонда Иркутской области является преобладание пожароопасных хвойных насаждений (более 90% от всей площади, покрытой лесом). Лесные пожары обусловлены природно-климатическими условиями, неосторожным обращением с огнем местного населения при сборе ягод и грибов (70—90% лесных пожаров), палами травы и др. [3, 4].

Территория Иркутской области входит в Монголо-Байкальский пояс активного проявления землетрясений, где фиксируется одно землетрясение каждые три часа. От 3 до 7 тыс. небольших землетрясений ежегодно регистрируют датчики иркутских сейсмических станций<sup>1</sup>. Среднесрочный прогноз сейсмообстановки на территории области свидетельствует о возможном возникновении очагов землетрясения, прежде всего в южной и средней частях оз. Байкал, с интенсивностью колебаний в эпицентре до 10 баллов (по шкале MSK-64). Сейсмическая активность в регионе предполагает поражающий фактор — землетрясение на юге, востоке и северо-востоке области. При этом в зону сильного землетрясения с разрушительными по-

следствиями могут войти города Иркутск, Ангарск, Байкальск, Слюдянка, Шелехов, Усолье-Сибирское; населенные пункты Ангарского, Иркутского, Ольхонского, Слюдянского, Шелеховского районов<sup>2</sup>.

По климатическим условиям территория Иркутской области выделяется среди других регионов страны, лежащих в тех же широтах, но находящихся в Европейской России или на Дальнем Востоке. Здесь более длинная зима, более высокая амплитуда температур воздуха, значительное количество часов солнечного сияния. Удаленность Иркутской области от морей и расположение в центре Азиатского материка придают климату резко континентальный характер. Среднегодовая температура воздуха почти на всей территории Иркутской области отрицательная (в Иркутске  $-1^{\circ}\text{C}$ , в Братске  $-2^{\circ}\text{C}$ , в Бодайбо  $-6^{\circ}\text{C}$ , в Катангском районе  $-9^{\circ}\text{C}$ ). Средняя температура самого холодного месяца года — января — колеблется от  $-18^{\circ}\text{C}$  на юге до  $-35^{\circ}\text{C}$  на севере области. В некоторых северных районах в январе столбик термометра может опускаться ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность зимы на большей части территории Иркутской области около 180 дней, а в северных районах и в горах — до 200. Данные факторы обуславливают чрезвычайные ситуации, связанные с низкими температурами.

Среди техногенных опасностей необходимо выделить бытовые пожары, дорожно-транспортные происшествия (ДТП), техногенные аварии, вызванные взрывами и пожарами, а также радиационные аварии в связи с наличием на территории области пункта хранения радиоактивных отходов филиала ФГУП «РосРАО», ФГУП «Ангарский электролизный химический комбинат», а также последствий ядерных взрывов в Усть-Кутском и Осинском районах.

По классификации МЧС России Иркутская область отнесена к субъектам первой степени опасности. Согласно перечню, на территории Иркутской области 108 потенциально опасных объектов. На территории области расположено 11 химически опасных городов и 3 химически опасных района. Общее количество химически опасных объектов — 60, в том числе первой степени опас-

<sup>1</sup> [http://irkipedia.ru/content/zemletryaseniya\\_v\\_irkutskoy\\_oblasti](http://irkipedia.ru/content/zemletryaseniya_v_irkutskoy_oblasti)

<sup>2</sup> <http://38.mchs.gov.ru/document/3064843>

ности — 6, второй степени опасности — 2, третьей степени опасности — 24, четвертой степени опасности — 28, взрывопожароопасных — 297, биологически опасных — 1, радиационно опасных — 2, гидродинамически опасных — 3 [7]. Наибольшую опасность для населения и территорий представляют производственные аварии с АХОВ на ОАО «АНХК» (г. Ангарск), ОАО «Усолье-Сибирский химфармзавод» (г. Усолье-Сибирское), ОАО «Саянскхимпласт» (Зиминский район), хлорных заводах ЛПК (г. Братск, Усть-Илимск). При авариях с наивысшими показателями поражающих факторов и при наихудших погодных и метеословиях поражающее воздействие ядовитых паров распространяется практически на всю территорию или большую ее часть в городах Ангарск, Усолье-Сибирское, Братск, Усть-Илимск. Вследствие расположения указанных объектов (за исключением ОАО «Саянскхимпласт») в черте городов даже незначительные аварии с АХОВ на этих объектах представляют опасность для населения<sup>3</sup>.

Для поддержки принятия стратегических решений [5] по снижению и предупреждению риска территорий при ограничениях на ресурсы возможно использование районирования территории по уровню риска чрезвычайных ситуаций [6—19]. Данный метод позволяет провести сравнительный анализ, ранжирование рисков, расстановку приоритетов, оценку стоимости предполагаемых мероприятий, направленных на снижение рисков и их профилактику, с учетом экономических, технических или технологических возможностей.

Применение предложенного подхода позволит получить уточненную оценку риска административных образований (районов) Иркутской области.

Таким образом, целью данной работы является построение карт опасностей, природного, техногенного, экологического и комплексного рисков чрезвычайных ситуаций для территории Иркутской области в показателях опасности и уязвимости территории, а также ранжирование территории области по уровням опасности, уязвимости и риска природного и техногенного характера.

## 1. Методы

Для оценки безопасности территорий используются статистические, вероятностные и экспертные методы [7, 8, 12—15, 18, 19]. Последние методы основаны на использовании экспертного оценивания в сочетании с теорией нечетких множеств, его применение обусловлено низкой точностью исходных данных, особенно на региональном уровне, что затрудняет использование других методов.

В соответствии с данным методом [7, 10, 13, 14] определены следующие основные этапы исследования:

- определение количественных показателей интенсивности проявления опасностей на основе анализа имеющейся статистической информации, выделение 5 категорий опасностей на основе статистики интервальных данных;
- определение количественных показателей уязвимости территории, их весовых коэффициентов, построение карт уязвимости территории;
- определение весовых коэффициентов рассматриваемых опасностей с точки зрения их весомости/важности при определении риска территории в зависимости от видов ущерба, социального, материального и экологического;
- определение взвешенных комплексных показателей опасности территории: природной, техногенной и экологической;
- построение карт опасностей территории;
- определение природного, техногенного, экологического и комплексного рисков территории и построение соответствующих карт. Риск определяется на основе матрицы риска, учитывающей индексы уязвимости и опасности и позволяющей оценивать как опасность, так и уязвимость территории;
- ранжирование территорий по уровням риска.

В соответствии с данным подходом оценка территориального риска ЧС  $R(S)$  осуществляется на основе показателей опасности и уязвимости территории в виде выражения:

$$R(S) = H(S) \cdot V(S),$$

где  $H(S)$  — индекс опасности территории в баллах,  $V(S)$  — индекс уязвимости территории в баллах. Индексы являются качественными характеристиками и определяются по балльной шкале, в частности

<sup>3</sup> <https://znanija.com/task/8895818>

индексы опасности и уязвимости — по шкале от 1 до 5, индекс риска — по шкале от 1 до 25.

Индексы опасности и уязвимости оцениваются на основе показателей, характеризующих рассматриваемую территорию.

### 1.1. Показатели оценки уязвимости

Согласно классификации [6, 7, 10], последствия чрезвычайных ситуаций подразделяются на социальные, экологические и экономические. Предлагается классификация показателей уязвимости для описания территорий в трех аспектах: социальном, экологическом и экономическом. Социальный аспект — уязвимость населения, экологический — уязвимость окружающей среды, экономический — уязвимость территории с точки зрения финансовой состоятельности.

На основе введенной классификации уязвимости и ограниченных статистических данных, описывающих территорию на уровне районов, предлагается следующий набор показателей уязвимости (табл. 1).

### 1.2. Показатели оценки опасности

Опасные объекты классифицируются:

- по видам опасностей (химические, взрывопожароопасные и т.д.);
- по протяженности объекта: точечные и линейные, к последним относятся, например, трубопроводы;
- по характеру воздействия: систематизированные/штатные опасности (постоянные и контролируемые, предусмотренные регламентом технологического процесса, т.е. опасные факторы оказывают воздействие через хозяйственную деятельность долгосрочного характера и малой интенсивности) и несистематизированные/нештатные опасности (аварии, в данном случае опасные факторы оказывают воздействие на окружающую среду в результате внезапно начинающихся, интенсивных и непродолжительных процессов).

На основе введенной классификации предлагается следующий перечень показателей опасности (табл. 2).

## 2. Результаты

### 2.1. Оценка уязвимости

Для получения интегрированной оценки уязвимости территории выполнено ранжирование представленных показателей на основе методов экспертного оценивания (табл. 3).

Уязвимость территории Иркутской области рассчитана для каждого показателя, а затем интегрирована в комплексный индекс уязвимости (табл. 4, рис. 1).

### 2.2. Оценка опасности

Для получения интегрированной оценки опасности территории выполнено ранжирование показателей опасности на основе методов экспертного оценивания (табл. 5).

Опасность территории Иркутской области рассчитывается для каждого показателя, а затем интегрируется в комплексный индекс опасности (табл. 6, рис. 2).

## Заключение

Иркутская область в Сибирском регионе отнесена к наиболее опасным субъектам, где находятся самое большое число опасных промышленных объектов и самые масштабные зоны поражения. Для поддержки принятия стратегических решений по снижению и предупреждению риска территорий при ограничениях на ресурсы возможно использование районирования территории по уровню риска.

В данной работе произведено построение карт опасностей, природного, техногенного, экологического и комплексного рисков чрезвычайных ситуаций для территории Иркутской области в показателях опасности и уязвимости территории, а также проведено ранжирование территории области по уровням опасности, уязвимости и риска.

Применение предложенного подхода позволило получить уточненную оценку риска административных образований (районов) Иркутской области (рис. 3).

Таблица 1. Показатели уязвимости

Table 1. Indicators of vulnerability

Основные составляющие уязвимости	Показатели уязвимости
<b>Социальная уязвимость</b>	
Плотность населения	Количество населения на 1 кв. км
Обеспеченность населения врачами	Количество врачей на 10 000 чел.
Обеспеченность населения средним медицинским персоналом	Количество среднего медицинского персонала на 10 000 чел.
Обеспеченность населения больничными койками	Количество коек на 10 000 чел.
Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием	Километры дорог на 1000 кв. км территории
<b>Экономическая уязвимость</b>	
Обеспеченность финансовыми средствами для возможного использования для предотвращения и ликвидации последствий ЧС	Дефицит, профицит/ Численность населения

Таблица 2. Показатели оценки природных, техногенных и экологических опасностей Иркутской области

Table 2. Indicators for assessing natural, technogenic and ecological hazards in the Irkutsk region

Основные составляющие опасности	Показатели опасности
<b>Природная опасность</b>	
Наводнения	Количество наводнений за год
Лесные пожары	Количество пожаров на 1000 кв. км
Землетрясения	Количество землетрясений по шкале MSK-64, балл
Сильные морозы	Число дней со среднесуточной температурой ниже –30 °С
<b>Техногенная опасность</b>	
Транспортные аварии	Количество погибших в результате транспортных аварий на 10 000 чел./год
Бытовые пожары	Количество погибших в результате бытовых пожаров на 10 000 чел./год
Индустриальная опасность	Количество опасных химических и взрывоопасных объектов на 1 кв. км
Радиационная опасность	Расстояние от радиационно опасного объекта, км
<b>Экологическая опасность</b>	
Выбросы загрязняющих веществ	Количество выброшенных загрязняющих веществ, т/кв. км
Качество питьевой воды	Доля проб воды централизованных и нецентрализованных систем водоснабжения с превышением гигиенических нормативов

Таблица 3. Показатели оценки уязвимости Иркутской области

Table 3. Vulnerability assessment indicators for the Irkutsk region

Уязвимость	Класс уязвимости					Важность
	очень низкая	низкая	средняя	высокая	очень высокая	
Социальная уязвимость						
Плотность населения	< 6,63	6,63—13,23	13,23—19,83	19,83—26,43	> 33,03	40
Число больничных коек (число больничных коек на 10 000 чел., коек)	< 58,4	58,4—83,6	83,6—108,8	108,8—133,6	> 133,6	5
Численность врачей (численность врачей всех специальностей (без стоматолог.) на 10 000 чел., чел.)	< 9,86	9,86—16,89	16,89—23,52	23,52—30,6	> 30,6	15
Численность среднего медицинского персонала (численность среднего медицинского персонала на 10 000 чел., чел.)	< 55,82	55,82—76,28	76,28—96,75	96,75—117,22	> 117,22	10
Протяженность дорог (общая протяженность улиц, проездов, набережных на 1000 кв. км, км)	< 46,66	46,66—92,59	92,59—138,52	138,52—184,45	> 184,45	20
Экономическая уязвимость						
Дефицит (-), профицит бюджета муниципального образования, млн руб.	< 91,5	91,5—183	183—274,5	274,5—266	> 266	10

Таблица 4. Оценка уязвимости территорий Иркутской области

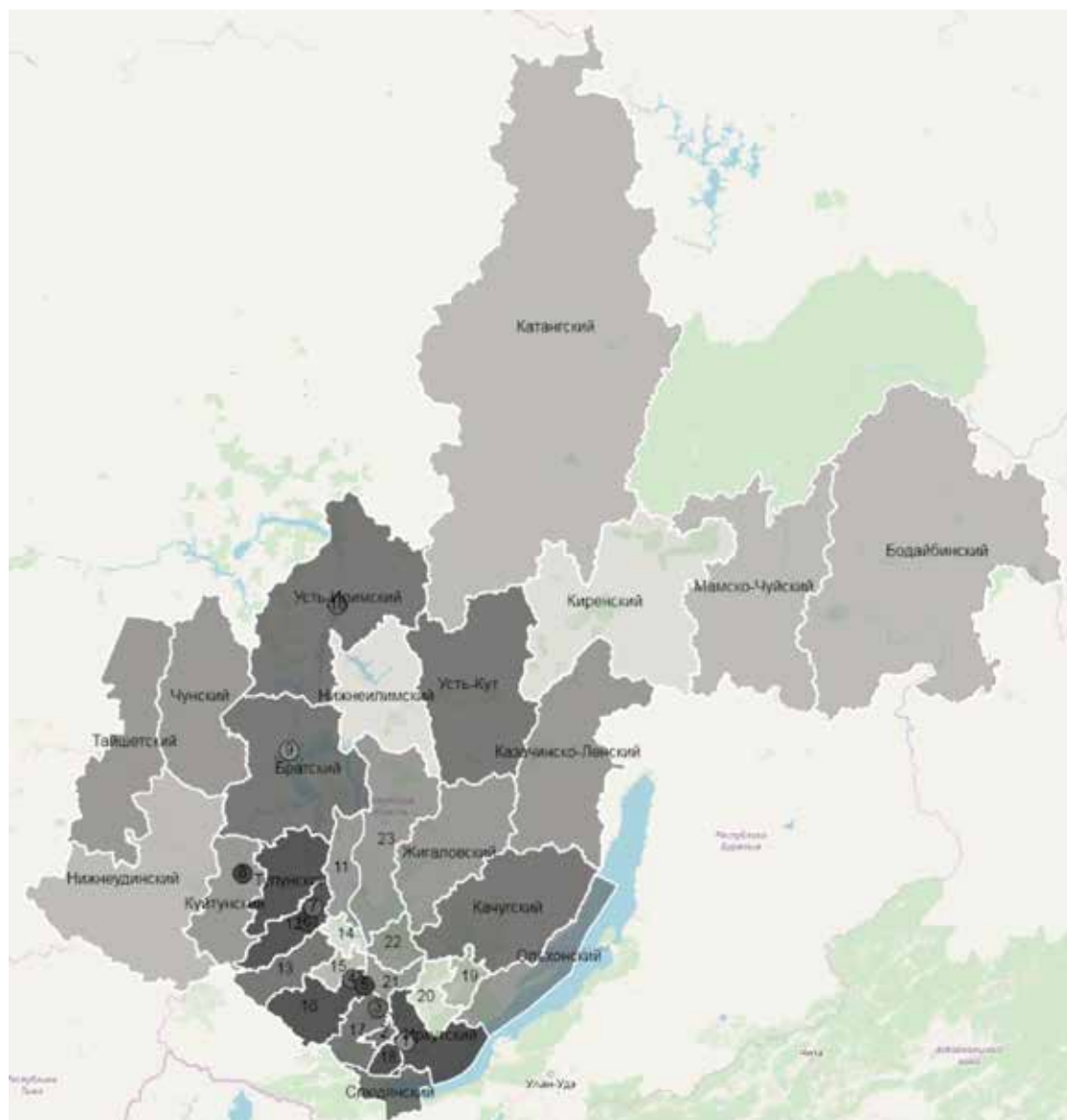
Table 4. Assessing the vulnerability of the Irkutsk region territories

Муниципальные образования	Классы уязвимостей						итоговый класс
	социальные					экономические	
	число больничных коек	численность врачей	численность среднего медперсонала	протяженность дорог	плотность населения	дефицит (-), профицит	
Балаганский район	3	4	3	5	1	5	3
Бодайбинский район	3	3	3	5	1	1	2
Братский район	5	4	4	5	1	5	4
Жигаловский район	4	3	2	5	1	5	3
Заларинский район	5	4	4	5	1	5	4
Зиминский район	5	5	5	5	1	5	5
Иркутский район	3	4	5	4	2	5	5
Казачинско-Ленский район	4	3	3	5	1	4	3
Катангский район	2	1	3	5	1	5	2

Окончание табл. 4

Муниципальные образования	Классы уязвимостей						
	социальные					экономические	итоговый класс
	число больничных коек	численность врачей	численность среднего медперсонала	протяженность дорог	плотность населения	дефицит (-), профицит	
Качугский район	4	4	3	5	1	5	4
Киренский район	1	2	2	5	1	1	1
Куйтунский район	3	4	3	5	1	5	3
Мамско-Чуйский район	2	2	1	5	1	5	2
Нижнеилимский район	3	2	2	5	1	1	1
Нижнеудинский район	1	3	1	5	1	5	2
Ольхонский район	2	3	4	5	1	5	3
Слюдянский район	5	2	4	4	2	5	4
Тайшетский район	3	3	2	5	1	5	3
Тулунский район	3	5	5	5	1	5	5
Усольский район	5	5	5	4	2	1	4
Усть-Илимский район	5	5	5	5	1	3	4
Усть-Кутский район	5	3	4	5	1	5	4
Усть-Удинский район	4	3	4	5	1	5	3
Черемховский район	5	5	5	5	1	5	5
Чунский район	4	3	2	5	1	5	3
Шелеховский район	3	2	5	1	5	4	5
Аларский район	2	3	2	3	2	5	2
Баяндаевский район	3	2	2	4	1	5	2
Боханский район	1	3	3	4	2	5	3
Нукутский район	4	3	2	3	1	5	1
Осинский район	4	2	3	1	3	5	3
Эхирит-Булагатский район	1	1	2	4	1	5	1
Город Иркутск	1	1	3	1	5	1	3
Ангарское городское МО	3	1	2	1	5	3	4
МО города Братска	3	2	2	1	5	1	3
Зиминское городское МО	4	2	1	1	5	5	5
Город Саянск	3	1	1	1	5	5	4
Город Тулун	1	3	1	1	5	5	5
Город Усолье-Сибирское	3	1	2	1	5	5	4
Город Усть-Илимск	3	1	2	1	5	5	4
Город Черемхово	1	1	1	1	5	5	4
Город Свирск	4	4	3	1	5	3	5





5-й класс

4-й класс

3-й класс

2-й класс

1-й класс

Цифрами на карте обозначены:

- |                           |                       |                      |                            |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. Город Иркутск          | 7. Город Саянск       | 13. Заларинский р-н  | 19. Баяндаевский р-н       |
| 2. Ангарское городское МО | 8. Город Тулун        | 14. Нунутский р-н    | 20. Эхирит-Булагатский р-н |
| 3. Город Усолье-Сибирское | 9. Город Братск       | 15. Аларский р-н     | 21. Боханский р-н          |
| 4. Город Черемхово        | 10. Город Усть-Илимск | 16. Черемховский р-н | 22. Осинский р-н           |
| 5. Город Свирск           | 11. Балаганский р-н   | 17. Усольский р-н    | 23. Усть-Удинский р-н      |
| 6. Зиминское городское МО | 12. Зиминский р-н     | 18. Шелеховский р-н  |                            |

Рис. 1. Уязвимость территорий Иркутской области

Figure 1. Vulnerability of the Irkutsk region territories

Таблица 5. Показатели оценки природных, техногенных и экологических опасностей Иркутской области

Table 5. Indicators for assessing natural, technogenic and ecological hazards in the Irkutsk region

Опасности	Класс опасности					Важность
	очень низкая	низкая	средняя	высокая	очень высокая	
Природные опасности						
Наводнения (усредненный показатель интенсивности наводнений)	< 28,34	28,34—56,68	56,68— 85,02	85,02— 113,36	> 113,36	13,29
Лесные пожары (усредненный показатель количества пожаров на 1000 кв. км)	< 1	1—3	3—6	6—9	> 9	13,3
Землетрясения (интенсивность возможных землетрясений по шкале MSK–64, балл)	< 2	2—5	5—7	7—9	> 9	7,26
Сильные морозы (число дней со среднесуточной температурой ниже –30 °C)	15—33	34—52	53—71	72—90	91—110	5,84
Техногенные опасности						
Транспортные аварии (количество погибших в результате транспортных аварий на 10 000 чел./год)	< 1,25	1,25—2,5	2,5—3,75	3,75—5,01	> 5,01	16,98
Бытовые пожары (количество погибших в результате бытовых пожаров на 10 000 чел./год)	< 0,8	0,8—1,6	1,6—2,4	2,4—3,2	> 3,2	17,35
Индустриальная опасность (количество опасных химических и взрывоопасных объектов на кв. км)	< 0,015161087	0,015161087—0,030322	0,030322—0,04548326	0,04548326—0,060644346	> 0,060644346	6,09
Радиационная опасность (расстояние от радиационно опасного объекта, км)	>300		> 30 и < 300		< 30	8,98
Экологические опасности						
Выбросы загрязняющих веществ (количество выброшенных загрязняющих веществ, тонны на кв. км)	< 23,77	23,77—47,56	47,56—71,34	95,12—118,9	> 118,9	5,54
Качество питьевой воды (доля проб воды централизованных и нецентрализованных систем водоснабжения с превышением гигиенических нормативов)	< 43	43—86	86—129	129—172	> 172	5,54

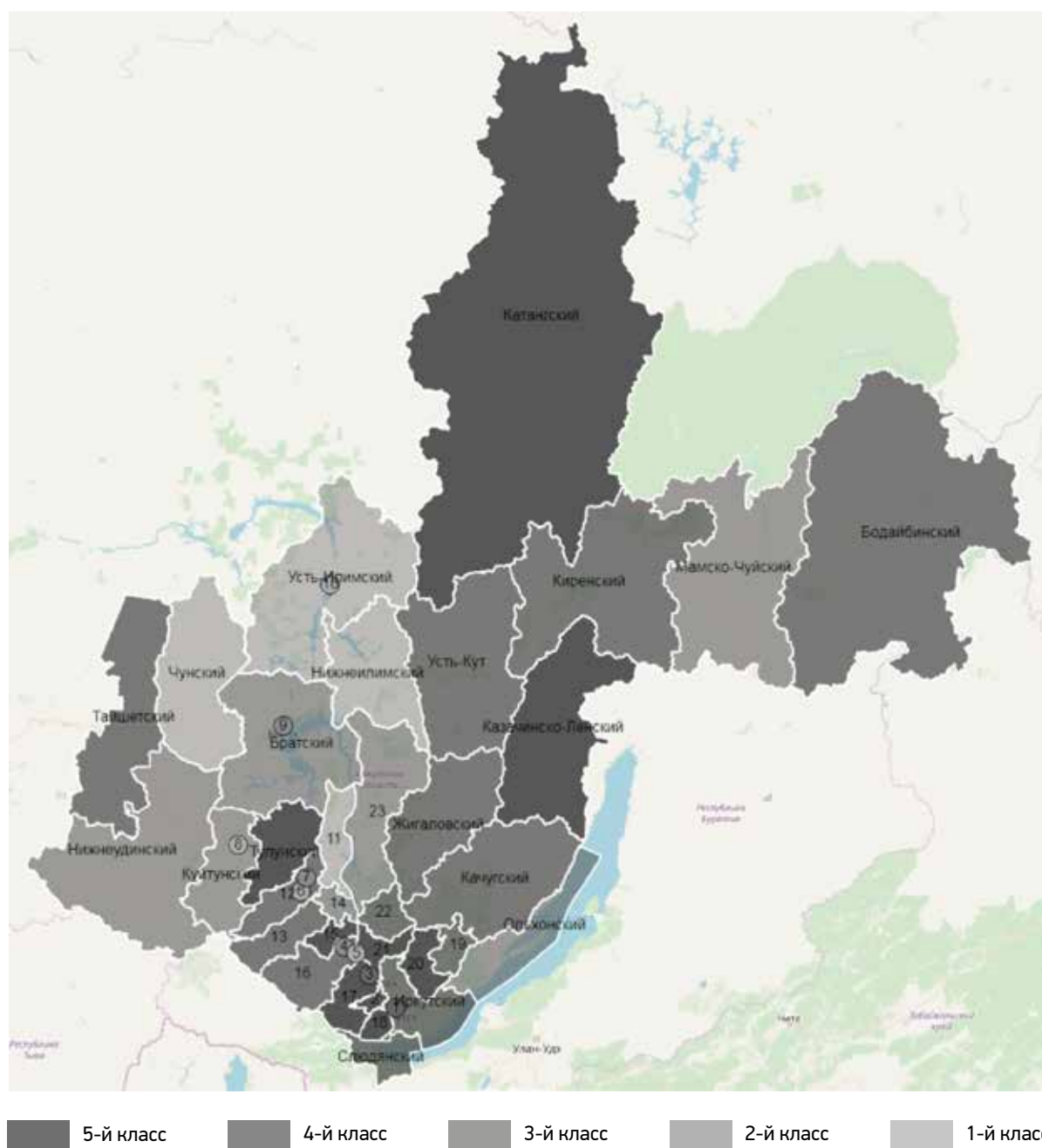
Таблица 6. Оценка опасности территорий Иркутской области

Table 6. Hazard assessment of the Irkutsk region territories

Муниципальные образования	Классы опасностей										
	природные				техногенные				экологические		итоговый класс
	наводнения	лесные пожары	землетрясения	сильные морозы	транспортные аварии	бытовые пожары	индустриальная опасность	радиационная опасность	выбросы загрязняющих веществ	качество питьевой воды	
Балаганский район	1	1	3	1	1	3	1	3	1	1	2
Бодайбинский район	5	1	5	3	3	2	2	1	3	1	4
Братский район	1	3	2	1	1	5	3	1	1	3	3
Жигаловский район	4	2	4	1	4	3	1	3	1	4	4
Заларинский район	2	3	5	1	5	2	1	3	1	2	4
Зиминский район	3	5	4	1	2	4	2	3	1	1	4
Иркутский район	1	5	5	1	2	1	2	5	1	4	4
Казачинско-Ленский район	5	1	5	1	5	3	1	3	1	1	5
Катангский район	4	1	3	3	4	4	1	1	4	4	5
Качугский район	3	3	5	1	3	3	1	3	1	3	4
Киренский район	5	1	4	1	3	2	2	1	1	5	4
Куйтунский район	2	2	4	1	3	2	2	3	1	1	3
Мамско-Чуйский район	3	1	5	1	2	4	1	1	1	2	3
Нижнеилимский район	1	2	3	1	3	2	2	1	1	1	2
Нижнеудинский район	5	1	4	1	4	2	3	1	1	3	3
Ольхонский район	1	1	5	1	4	2	1	3	1	3	3
Слюдянский район	1	1	5	1	5	4	3	3	1	1	4
Тайшетский район	5	2	4	1	4	2	2	1	1	1	4
Тулунский район	5	3	4	1	5	4	2	3	1	1	5
Усольский район	3	5	5	1	3	4	3	5	1	2	5
Усть-Илимский район	1	2	2	1	1	5	1	1	1	1	2
Усть-Кутский район	3	2	4	1	4	1	2	5	5	1	4
Усть-Удинский район	1	2	4	1	4	2	1	3	1	3	3
Черемховский район	3	2	5	1	4	4	1	3	1	2	4
Чунский район	3	2	2	1	2	2	1	1	1	3	2
Шелеховский район	2	5	5	1	5	1	2	5	3	4	5
Аларский район	1	5	4	1	4	5	1	3	1	2	5

Окончание табл. 6

Муниципальные образования	Классы опасностей										
	природные				техногенные				экологические		итоговый класс
	наводнения	лесные пожары	землетрясения	сильные морозы	транспортные аварии	бытовые пожары	индустриальная опасность	радиационная опасность	выбросы загрязняющих веществ	качество питьевой воды	
Баяндаевский район	1	2	4	1	4	4	1	3	1	2	4
Боханский район	1	5	4	1	3	4	1	3	1	5	5
Нунутский район	1	4	3	1	2	4	1	3	1	1	3
Осинский район	1	3	3	1	4	3	1	5	1	4	4
Эхирит-Булагатский район	1	3	4	1	5	4	1	3	1	5	5
Город Иркутск	1	1	5	1	5	2	5	5	1	2	4
Ангарское городское МО	1	5	5	1	4	2	5	5	4	1	5
МО города Братска	1	1	3	1	3	2	5	3	2	2	3
Зиминское городское МО	1	1	4	1	1	2	1	3	1	1	2
Город Саянск	1	1	4	1	2	3	2	3	3	1	3
Город Тулун	1	1	4	1	1	3	2	3	1	1	2
Город Усолье-Сибирское	1	1	5	1	4	3	3	5	2	1	4
Город Усть-Илимск	1	1	2	1	3	2	3	1	1	1	2
Город Черемхово	1	1	5	1	1	4	2	3	1	3	3
Город Свирск	1	1	5	1	1	3	1	3	1	1	2



Цифрами на карте обозначены:

- |                           |                       |                      |                            |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. Город Иркутск          | 7. Город Саянск       | 13. Заларинский р-н  | 19. Баяндаевский р-н       |
| 2. Ангарское городское МО | 8. Город Тулун        | 14. Нукутский р-н    | 20. Эхирит-Булагатский р-н |
| 3. Город Усолье-Сибирское | 9. Город Братск       | 15. Аларский р-н     | 21. Боханский р-н          |
| 4. Город Черемхово        | 10. Город Усть-Илимск | 16. Черемховский р-н | 22. Осинский р-н           |
| 5. Город Свирск           | 11. Балаганский р-н   | 17. Усольский р-н    | 23. Усть-Удинский р-н      |
| 6. Зиминское городское МО | 12. Зиминский р-н     | 18. Шелеховский р-н  |                            |

Рис. 2. Комплексная опасность территорий Иркутской области

Figure 2. Complex hazard of the Irkutsk region territories

	Уязвимость				
	1	2	3	4	5
Опасность	1				
	2	Нижнеилимский район	Балаганский район Чунский район	Усть-Илимский район	Город Тулун Город Свирск
	3	Нукутский район	Мамско-Чуйский район Нижнеудинский район	Куйтунский район Ольхонский район Усть-Удинский район Город Братск Зиминское городское МО	Братский район Город Саянск
	4	Киренский район	Бодайбинский район Баяндаевский район Город Усть-Илимск	Жигаловский район Тайшетский район Осинский район Город Иркутск Город Черемхово	Заларинский район Качугский район Слюдянский район Усть-Кутский район Город Усолье-Сибирское
	5	Эхирит-Булагатский район	Катангский район Аларский район	Казачинско-Ленский район Боханский район	Усольский район Ангарское городское МО
				Тулунский район Шелеховский район	

Рис. 3. Матрица риска административных образований (районов) Иркутской области

Figure 3. Risk matrix for administrative divisions (districts) of the Irkutsk region

## Литература [References]

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера...». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 1) 2011; 299 с. 2) 2012; 315 с. 3) 2013; 341 с. 4) 2014; 344 с. 5) 2015; 350 с. 6) 2016; 351 с. 7) 2017; 360 с. 8) 2018; 376 с. [State report "About the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and technogenic emergencies...". Moscow: EMERCOM of Russia. 1) 2011; 299 p. 2) 2012; 315 p. 3) 2013; 341 p. 4) 2014; 344 p. 5) 2015; 350 p. 6) 2016; 351 p. 7) 2017; 360 p. 8) 2018; 376 p. (In Russ.)]
2. Тимофеева С.С., Морозова О.В. Затонные наводнения в Иркутской области и возможности их ликвидации комбинированными методами. Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4. № 1. С. 38—44. [Timofeeva S.S., Morozova O.V. Ice-Jam Floods in the Irkutsk Region and Possibility of Their Elimination by Combined Methods // Safety in Technosphere. 2015. Vol. 4. № 1. P. 38—44 (In Russ.)] DOI: 10.12737/8228
3. Тимофеева С., Гармышев В. Экологические последствия лесных пожаров на территории Иркутской области. Экология и промышленность России. 2017; 21 (3): 46—49. [Timofeeva S., Garmyshev V. Environmental Impacts of Forest Fires on the Territory of Irkutsk Oblast. Ecology and Industry of Russia. 2017; 21(3):46—49 (In Russ.)] <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-3-46-49>
4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области. Иркутск: 1) ООО Форвард, 2011; 400 с. 2) ООО Форвард; 2012; 400 с. 3) Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013; 337 с. 4) ООО Форвард, 2015; 328 с. 5) ООО Время странствий, 2016; 316 с. 6) ООО Мегап rint, 2017; 274 с. 7) ООО Мегап rint, 2018; 250 с. [State report on the state and environmental protection of the Irkutsk region. Irkutsk: 1) Forward LLC, 2011; 400 p. 2) Forward LLC; 2012; 400 p. 3) V.B. Sochava Institute of geography SB RAS, 2013; 337 p. 4) Forward LLC, 2015; 328 p. 5) travel Time LLC, 2016; 316 p. 6) Megaprint LLC, 2017; 274 p. 7) Megaprint LLC, 2018; 250 p. (In Russ.)]
5. Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Фалеев М.И. Информационное обеспечение мониторинга и рисков развития социально-природно-техногенных систем // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 2. С. 22—33. [Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Potapov V.P., Taseiko O.V., Faleev M.I. Information support of monitoring and development risks for social, natural and technogenic systems // Issues of Risk Analysis. 2018. Vol. 15. № 2. P.

- 22—33 (In Russ.)) <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-2-22-33>
6. Берман А.Ф., Бычков И.В. Проблемы оценки антропогенных рисков Восточной Сибири. Труды III Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем». Красноярск: ИВМ СО РАН, 2009; 16—21. [Berman A.F., Bychkov I.V. Problems of assessing anthropogenic risks of Eastern Siberia. Proceedings of the III Russian conference "Safety and survivability of technical systems". Krasnoyarsk: ICM SB RAS, 2009; 16—21 (In Russ.)]
  7. Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В. Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем // Вычислительные технологии. 2010. Т. 15. № 1. С. 120—131. [Shokin Yu.I., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V. Technique for estimation of anthropogenous risks for territories and construction of risks cartograms using geoinformation systems // Computation Technologies. 2010. Vol. 15. № 1. P. 120—131 (In Russ.)]
  8. Иванова У.С., Москвичев В.В., Тасейко О.В. Ранжирование территорий Красноярского края с использованием риск-ориентированного подхода // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 4. С. 48—63. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-4-48-63. [Ivanova U.S., Moskvichev V.V., Taseiko O.V. Classifying of Krasnoyarsk territory using a risk-based approach // Issues of Risk Analysis. 2019. Vol. 16. № 4. P. 48—63 (In Russ.)] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-4-48-63>
  9. Зиганшин И.И., Овчаров А.О., Иванов Д.В. Методологические подходы к оценке экологического риска при анализе туристско-рекреационного потенциала территории. Геология, география и глобальная энергия. 2016. № 4 (63). С. 49—57. [Ziganshin I.I., Ovcharov A.O., Ivanov D.V. Methodological approaches to estimate of environmental risk in the analysis of tourist-recreational potential of territories // Geology, Geography, and Global Energy. 2016. № 4 (63). P. 49—57 (In Russ.)]
  10. Берман А.Ф., Москвичев В.В., Николайчук О.А., Павлов А.И., Павлов Н.Ю. Районирование территории Иркутской области по уровню риска на основе индексов опасности и уязвимости // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 1. С. 73—81. [Berman A.F., Moskvichev V.V., Nikolaichuk O.A., Pavlov A.I., Pavlov N.Yu. Division into districts of the Irkutsk region in terms of risk based on danger and vulnerability indexes // Safety and Emergencies Problems. 2012. № 1. P. 73—81 (In Russ.)]
  11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные исследования проблем техногенной безопасности / Под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ Знание, 2013; 576 с. [Safety of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Fundamental research of technogenic safety problems / Ed. by N.A. Makhutov. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2013; 576 p. (In Russ.)]
  12. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности / Под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ Знание, 2015; 936 с. [Safety of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Scientific bases of technogenic safety / Ed. by N.A. Makhutov. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2015; 936 p. (In Russ.)]
  13. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Тридворнов А.В. Оценка и районирование риска чрезвычайных ситуаций для территории Красноярского края // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2007. № 5. С. 124—133. [Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Tridvornov A.V. Estimation and division into districts of extreme situations risk for territory of Krasnoyarsk region // Safety and Emergencies Problems. 2007. № 5. P. 124—133 (In Russ.)]
  14. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Чернякова Н.А., Ничепорчук В.В. Оценка антропогенных рисков нефтегазодобывающих территорий Сибири // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013. № 5. С. 42—52. [Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Tchernyakova N.A., Nicheporchuk V.V. Man-made risk assessment for oil and gas producing areas of Siberya // Safety and Emergencies Problems. 2013. № 5. P. 42—52 (In Russ.)]
  15. Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г. Комплексный анализ факторов территориальных рисков для оценивания и управления природно-техногенной безопасностью // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 4. С. 64—74. [Nicheporchuk V.V., Penkova T.G. Comprehensive analysis of territorial risk factors for estimating and managing the natural and technogenic safety // Issues of Risk Analysis. 2019. Vol. 16. № 4. P. 64—74 (In Russ.)] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-4-64-74>
  16. Любимова А.В., Спиридонова В.В. Комплексное районирование территории Северо-Кавказского экономического района по природным рискам // Геоинформатика. 2012. № 1. С. 42—50. [Lyubimova A.V., Spiridonova V.V. Complex zoning of the Northern Caucasian region

- by natural hazards // *Geoinformatika*. 2012. № 1. P. 42—50 (In Russ.)]
17. Кузьмин С. Б. Районирование Байкальского региона по опасным геоморфологическим процессам для стратегического планирования в Российской Федерации и Республике Монголия // *Проблемы анализа риска*. 2018. Т. 15. № 6. С. 18-35. [Kuzmin S. B. Zoning of Baikal region according to the hazardous geomorphological processes for strategy planning in Russian Federation and Republic of Mongolia // *Issues of Risk Analysis*. 2018. Vol. 15. № 6. P. 18—35 (In Russ.)] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-18-35>
  18. 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 of territories of the Russian Federation by levels of risk of natural and technogenic emergencies // *The Strategy of Civilian Protection: Issues and Research*. 2015. Vol. 5. № 1(8). P. 67—90 (In Russ.)]
  19. 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. [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. Vol. 15. № 5. P. 16—25 (In Russ.)] <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-5-16-25>

## Сведения об авторах

**Бычков Игорь Вячеславович:** академик РАН, доктор наук, профессор, директор Института динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Количество публикаций: 281

Область научных интересов: технологии обработки пространственно-распределенных данных, искусственный интеллект, технологии автоматизации создания программных систем на основе метаописаний

ResearcherID: A-6623-2014

Scopus Author ID: 56308077400

ORCID: 0000-0002-1765-0769

**Николайчук Ольга Анатольевна:** доктор наук, ведущий научный сотрудник, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Количество публикаций: 123

Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, моделирование, системный анализ, экспертные системы, надежность деталей и конструкций, безопасность технических систем, оценка риска

ResearcherID: A-3315-2014

Scopus Author ID: 16309876600

ORCID: 0000-0002-5186-0073

**Павлов Александр Иннокентьевич:** кандидат наук, старший научный сотрудник, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Количество публикаций: 63

Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, агентное и имитационное моделирование, онтологии, системы, основанные на знаниях

ResearcherID: A-6435-2014

Scopus Author ID: 56009950500

**Юрин Александр Юрьевич:** кандидат наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН)

Количество публикаций: 123

Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, экспертные системы, модельно-ориентированный подход, искусственный интеллект, методы исследования природной и техногенной безопасности

ResearcherID: A-4355-2014

Scopus Author ID: 16311168300

Статья поступила в редакцию: 10.11.2020

После доработки: 18.11.2020

Принята к публикации: 07.12.2020

Дата публикации: 28.12.2020

*The paper was submitted: 10.11.2020*

*Received after reworking: 18.11.2020*

*Accepted for publication: 07.12.2020*

*Date of publication: 28.12.2020*