

## Кластерный анализ в оценке территориальных рисков социально-природно-техногенных систем

В. В. Москвичев<sup>1,2</sup>, У. С. Постникова<sup>2,3,\*</sup>, О. В. Тасейко<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Красноярский филиал Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, 660049, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, 660037, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнёва, 660037, Красноярск, Россия

\*Контактный автор: Постникова Ульяна Сергеевна, e-mail: [ulyana-ivanova@inbox.ru](mailto:ulyana-ivanova@inbox.ru)

Поступила 21 февраля 2022 г., принята в печать 05 апреля 2022 г.

Представлена методика оценки уровня комплексного территориального техногенного риска муниципальных образований Сибирского федерального округа. Анализ территорий проводился отдельно по разным видам административно-территориальных единиц: города с населением свыше 70 тыс. человек, города с населением менее 70 тыс. чел. и муниципальные районы. Используются методы многомерной статистики, которые позволяют определять допустимый уровень риска для каждой территориальной группы. В работе предложено использовать метод иерархического кластерного анализа. Он позволяет разбить территории на группы кластеров, выбрать эталонную группу, которая принята для сравнения, и определить приемлемый уровень риска. На основании иерархического кластерного анализа и комплексной оценки техногенного территориального риска проведено ранжирование территорий по уровню техногенной опасности (высокоопасные, повышенной опасности, безопасные). Для каждой группы городов установлены приемлемые уровни рисков. На основе ГИС-технологий построена карта рисков муниципальных образований Сибирского федерального округа.

*Ключевые слова:* социально-природно-техногенная система, территориальный техногенный риск, иерархический кластерный анализ.

*Цитирование:* Москвичев В.В., Постникова У.С., Тасейко О.В. Кластерный анализ в оценке территориальных рисков социально-природно-техногенных систем. Вычислительные технологии. 2022; 27(3):112–124. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.009.

### Введение

Промышленное освоение территориальных образований, рост числа и концентрации опасных производственных объектов оказывают негативное влияние на их экологическую и социальную безопасность, формируя ряд проблем, которые могут отразиться на развитии отдельных регионов и страны в целом. Ключевыми проблемами, требующими

постоянного внимания органов государственной власти и органов местного самоуправления, являются:

- высокая концентрация источников потенциального риска на ограниченных территориях (предприятий ядерного цикла и военно-промышленного комплекса, трубопроводов, нефте- и газохранилищ, гидроэлектростанций, химических и металлургических производств и др.);
- повышенный риск аварийных ситуаций из-за высокой изношенности основных производственных фондов;
- человеческий фактор, связанный с низкой культурой безопасности.

В рамках федерального законодательства о стратегическом планировании [1] для эффективного управления территориальное образование на любом уровне (локальном или объектовом, муниципальном, региональном или федеральном) целесообразно рассматривать в виде социально-природно-техногенной (С-П-Т) системы [2, 3], которая является единым комплексом взаимосвязанных элементов социо-, эко- и техносферы. Управление С-П-Т системой должно основываться на снижении рисков до приемлемых научно обоснованных уровней. Оценка уровня социальных, природных и техногенных рисков создает возможность для разработки экономических механизмов регулирования безопасности территорий. Например, страхование потенциально опасных объектов и населения, проживающего в зонах возможного поражения при чрезвычайных ситуациях (ЧС), что приводит к снижению объемов компенсационных выплат из бюджета органов местного самоуправления. Таким образом, снижение рисков позволяет повысить экономический потенциал и конкурентные (инвестиционные) преимущества рассматриваемой территории. Наибольшую угрозу для жизни и здоровья человека представляют техногенные опасные события, поэтому разработан метод анализа безопасности одного из элементов С-П-Т системы — техносферы.

В области техногенной безопасности разработаны различные методы оценки рисков, которые подразделяются на две группы пространственно распределенных рисков: объектовые и территориальные. Их математические модели классифицируются в зависимости от источника возникновения, объекта воздействия и назначения. В области оценки территориальных рисков имеется ряд методологических проблем и противоречий:

- существующие уровни приемлемого риска не являются научно обоснованными, математический аппарат требует доработок, учитываются только чрезвычайные ситуации, однако для анализа безопасности территориального образования необходимо исследовать весь спектр происшествий, которые возникают на территории и в дальнейшем могут привести к крупным авариям и катастрофам;
- необходимо анализировать территорию с учетом численности населения (при одинаковых аварийных ситуациях, произошедших на территориях с разной численностью населения, получаются абсолютно различные значения риска).

## **1. Метод многомерной статистики в решении методологических проблем оценки территориального риска**

Оценка территориального техногенного риска реализуется в два этапа (рис. 1). Подготовительный этап включает сбор статистической информации и определение методологии оценки риска. Предлагается использовать комплексную методику, учитывающую весь перечень угроз, источников, форм проявления на рассматриваемой территории и ущербы, связанные с данными угрозами:

$$R_c = \sum_{i=1}^n N_i(Q_i) P_i(Q_i) U_i(N_i, Q_i) \leq [R]. \quad (1)$$

Здесь  $n$  — число видов угроз;  $N_i(Q_i)$  — количество погибших от различных видов угроз;  $P_i(Q_i)$  — вероятность наступления опасного события на рассматриваемой территории;  $U_i(N_i, Q_i)$  — материальный ущерб от источника угроз и числа человеческих жертв;  $[R]$  — допустимый уровень риска.

Существенное значение приобретает проблема оценки материального ущерба. Во-первых, ущерб имеет разную природу (социальный, экологический и материальный, прямой, косвенный и др.), что не позволяет точно определить уровень потерь при реализации опасных техногенных событий. Во-вторых, методики по оценке ущерба разработаны либо для страховых случаев (цена ущерба устанавливается в зависимости от суммы страхования), либо для определения режима ЧС. Однако нельзя отрицать тот факт, что любое техногенное происшествие несет ущерб как материальный (прямой), так и социальный (косвенный). В табл. 1 приведены усредненные значения ущерба, которые определялись с использованием официальной базы данных АИУС РСЧС.

Для оценки социального ущерба необходимо знать статистическую стоимость человеческой жизни. Методологический аппарат оценки стоимости человеческой жизни обширный [4, 5], но официальные статистические данные по техногенным происшествиям не позволяют использовать многие методики, так как при сборе информации не учитываются личные данные пострадавшего/погибшего (пол, возраст, место проживания и др.). В этой ситуации в рамках оценки социального ущерба для определения стоимости жизни предлагается использовать следующую формулу:

$$Y = \text{МРОТ} \cdot 12\gamma,$$

где  $\gamma$  — средняя продолжительность жизни, которая равняется 70 годам. При таком подходе стоимость человеческой жизни будет равняться более 10 млн руб. (10 409 280), что не противоречит научным работам, в которых ущерб от “неестественной смертности” в результате аварии или несчастного случая в России оценивается в 11 млн руб. [5].

Для определения уровней рисков предложено использовать метод иерархического кластерного анализа, который позволяет разбить территории на группы кластеров, выбрать эталонную группу для установления приемлемого уровня риска [6, 7]. Суть ме-



Рис. 1. Блок-схема оценки территориального техногенного риска

Fig. 1. Flowchart for assessing the territorial technogenic risk

Т а б л и ц а 1. Количественные значения ущерба от разных видов техногенных событий по Сибирскому федеральному округу, млн руб.

Table 1. Quantitative values of damage from different types for technogenic events in Siberian Federal District, million rubbles

Вид техногенного события	Максимальные значения ущерба от реализованных событий	Усредненные значения ущерба	
		от происшествий	от ЧС
Аварии с выбросом химически опасных веществ (ХОВ)	9000	0.035	402.76
Аварии на воздушном транспорте	30 000	0.83	1802.87
Аварии на железнодорожном транспорте	8300	0.48	605
Аварии на промышленном объекте	10 165	0.064	779.9
Аварии на водном транспорте	12 375	0.026	390
Аварии на магистральном нефтегазопроводе	1500	0.006	265
Аварии с выбросом радиоактивных веществ (РВ)	0	0	0
Взрыв бытовой	15 000	0.186	743.52
Взрыв промышленный	6210.5	0.012	337.21
Крупные ДТП	4800	0.053	153.64
Нарушение систем жизнеобеспечения	3500	0.017	285.44
Обнаружение РВ/ХОВ	0.052	0.001	0.052
Обрушение бытовое	1990	0.027	260.8
Обрушение на промышленном объекте	100	0.016	10
Падение крана	1.74	0.082	1.5
Пожар бытовой	4300	0.8	282.14
Пожар на объектах с массовым пребыванием людей	11 653	0.878	325.96
Пожар промышленный	15 000	0.91	551.24

года заключается в том, что на первом шаге каждый объект выборки рассматривается как отдельный кластер. Процесс объединения кластеров происходит последовательно: объединяются наиболее близкие объекты. В каждый кластер должны попасть объекты, имеющие сходные характеристики. Сходство или различие между классифицируемыми объектами устанавливается в зависимости от расстояния между ними, т. е. каждый объект описывается  $k$  признаками и представляется как точка в  $k$ -мерном пространстве, а сходство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние (метрика) между двумя точками на координатных осях  $x$  и  $y$ . Это евклидово расстояние, квадрат евклидова расстояния, расстояние городских кварталов (манхэттенское) и расстояние Чебышёва.

Для кластеризации (вычисления расстояний между кластерами) выбран метод Варда (Уорда) (Ward's method), который предполагает, что на первом шаге каждый кластер состоит из одного объекта. Первоначально объединяются два ближайших кластера. Для них определяются средние значения каждого признака и рассчитывается сумма квадратов отклонения. В одну группу кластеров объединяются кластеры, которые дают наименьший прирост общей суммы дистанций. Для объектов, имеющих "размытую" структуру с нечетко выраженными "сгущениями", наилучшим образом подходит метод Варда. В результате применения данного метода формируются небольшие по размеру и очень компактные кластеры. Этот метод отличается тем, что в нем используются методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами [6, 7].

Для определения количества кластеров иерархического дерева в работе использован метод  $k$ -means. Он позволяет задавать количество кластеров (2, 3, 4 и т. д.) и последовательно проверять деление иерархического дерева. Далее необходимо проанализировать объединенные кластеры и выбрать эталонную группу (значение риска в данной группе будет минимальное). Для определения приемлемого уровня риска строится доверительный интервал по значениям риска в эталонной группе.

На этапе реализации предлагаемого подхода в качестве пилотной территории рассматривались административно-территориальные единицы Сибирского федерального округа (СФО). Исходные данные, на основании которых проводился анализ, включают вероятность возникновения опасного события, вероятность гибели при определенном опасном событии и вероятность возникновения ЧС.

## 2. Оценка комплексного техногенного риска на примере территорий СФО

Нарушения технологических, управленческих и организационных процессов в промышленной и административной деятельности приводят к возникновению на территориях СФО такого спектра угроз, как:

- аварии на транспорте;
- взрывы и крупные пожары;
- обрушения технологических конструкций;
- аварии с выбросом аварийно-химически опасных и радиационно-опасных веществ;
- разрушения магистральных трубопроводов;
- аварии на системах жизнеобеспечения (электроэнергетических и коммунальных системах, тепловых сетях).

Территориальные образования в зависимости от численности населения подразделяются на 10 групп [8]. В работе предложено проводить анализ территорий СФО по трем укрупненным группам: города с численностью населения свыше 70 тыс. чел., средние и малые города (менее 70 тыс. чел.) и муниципальные районы. На основе предложенного метода с использованием программного обеспечения STATISTICA рассматриваются источники и факторы риска техногенных аварий и катастроф на примере крупных городов Сибирского федерального округа с целью оценки уровня их опасности. Для анализа выбран 31 город с численностью более 70 тыс. человек. На рис. 2 представлены дендрограммы распределения городов по группам кластеров с использованием разных расстояний (евклидово, манхэттенское и Чебышёва). Однотипное распределение кластеров, полученное с использованием разных методов определения расстояния, подтверждает обоснованность выбранного метода классификации. Для определения числа кластеров использовался метод  $k$ -means, который позволил выделить пять однородных групп (рис. 3).

Для каждого кластера проанализированы виды опасных техногенных событий (17 различных видов аварий), средние значения которых приведены в табл. 2. В каждой группе кластеров прослеживаются свои доминирующие негативные факторы. Наибольшее количество техногенных происшествий наблюдается в кластере V, что связано с высокой плотностью населения и развитой промышленностью. По каждому городу получены количественные значения комплексного территориального техногенного риска (табл. 3), который рассчитывался по формуле (1) и на основе официальных статистических данных.

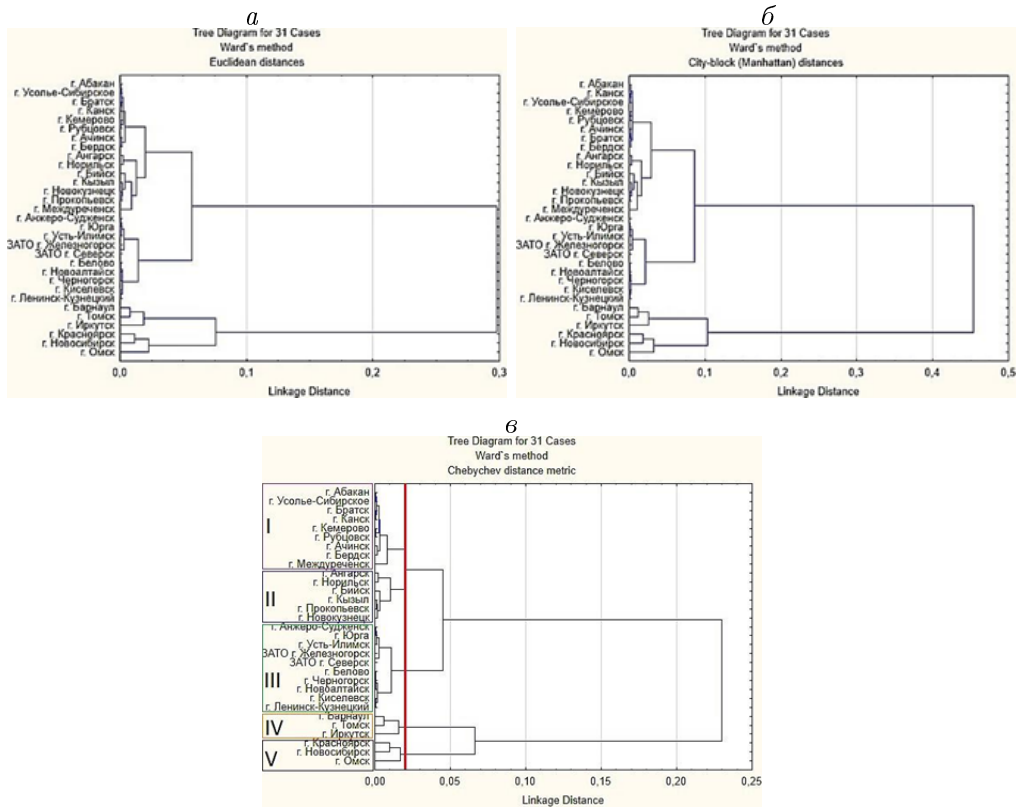


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации крупных городов Сибири методом Варда: а — евклидово расстояние; б — манхэттенское; в — Чебышёва  
 Fig. 2. Dendrogram of clustering of large cities of Siberia by the Ward's method: а — Euclidean distance; б — Manhattan; в — Chebyshev

Members of Cluster Number 9 and Distances from Respective Cluster contains 9 cases		Members of Cluster Number 6 and Distances from Respective Cluster contains 6 c		Members of Cluste and Distances from Cluster contains 3 i	
	Distance		Distance		Distance
г. Абакан	0,001190	г. Ангарск	0,001413	г. Барнаул	0,001120
г. Ачинск	0,000586	г. Бийск	0,001378	г. Иркутск	0,006150
г. Бердск	0,001325	г. Кызыл	0,001084	г. Томск	0,005312
г. Братск	0,000310	г. Новокузнецк	0,001591		
г. Канск	0,000686	г. Норильск	0,002710		
г. Кемерово	0,000619	г. Прокопьевск	0,001345		
г. Междуреченск	0,003386				
г. Рубцовск	0,000552				
г. Усолье-Сибирское	0,000852				

Members of Cluster Number 1 and Distances from f Cluster contains 10 c		Members of Cluster Number 5 i and Distances from Respective Cluster contains 3 cases	
	Distance		Distance
г. Анжеро-Судженск	0,000955	г. Красноярск	0,007206
г. Белово	0,001230	г. Новосибирск	0,000574
г. Киселевск	0,000790	г. Омск	0,007586
г. Ленинск-Кузнецкий	0,000759		
г. Новоалтайск	0,001533		
г. Усть-Илимск	0,000431		
г. Черногорск	0,001264		
г. Юрга	0,000901		
ЗАТО г. Железногорск	0,001586		
ЗАТО г. Северск	0,001672		

Рис. 3. Деление на группы кластеров методом k-means  
 Fig. 3. Division into groups of clusters using the k-means method

Наименьшие значения риска были получены для третьей группы. Этот кластер является эталоном, а доверительный интервал по данной группе — допустимым уровнем риска. Значение зоны повышенного риска определялось аналогично (доверительный интервал по всей выборке). Таким образом, установлены три зоны для анализа риска крупных городов СФО: приемлемый уровень  $R \leq 2.1$ ; повышенный уровень  $R \in (2.1, 27]$ ; высокий уровень  $R > 27$ . В зоне приемлемого уровня риска находятся 11 городов, в зоне повышенного — 14 и в зоне высокого риска — шесть городов. Наибольшая техногенная опасность сконцентрирована в Красноярске, Новосибирске, Омске.

Аналогичный расчет проведен для малых и средних городов с численностью менее 70 тыс. чел. и определены уровни риска (табл. 4): приемлемый уровень  $R \leq 0.03$ , повышенный  $R \in (0.03, 0.35]$  и высокий  $R > 0.35$ . В результате анализа установлено, что допустимый уровень риска наблюдается в 26 городах, повышенный — в 13 и высокий — в семи городах (Саяногорск, Минусинск, Черемхово, Искитим, Тулун, Калачинск и Зима).

Для муниципальных районов определены следующие уровни риска: допустимый  $R \leq 0.07$ , повышенный  $R \in (0.07; 1.1]$  и высокий  $R > 1.1$ . Из 268 муниципальных районов 121 имеет приемлемый уровень риска, 113 районов находятся в зоне повышенного риска и 34 района имеют высокий уровень. Наибольшие значения комплексного территориального техногенного риска получены для Емельяновского, Братского, Томского, Иркутского и Новосибирского районов (рис. 4). Анализ техногенной безопасности сибирских городов показал, что в зоне высокого риска находится 51 территориальное образование, в которых необходимо проводить мероприятия по предупреждению и минимизации риска.

Т а б л и ц а 2. Средние значения опасных событий по группам кластеров  
Table 2. Average hazardous events by groups of cluster values

Фактор	I	II	III	IV	V
Аварии на системах жизнеобеспечения	7	10	2	39	77
Аварии на воздушном транспорте	2	3	0	14	28
Аварии с выбросом АХОВ	2	2	0	8	11
Взрыв промышленный	1	2	0	2	4
Взрыв бытовой	1	3	0	5	8
Крупные ДТП	3	5	1	7	41
Падение крана	0	0	0	2	5
Пожар на объектах с массовым пребыванием людей	5	18	1	28	82
Пожар промышленный	5	7	1	23	45
Пожар бытовой	37	50	17	145	264
Обнаружение РВ/ХОВ	1	1	0	7	12
Обрушение конструкций	2	4	1	6	12
Аварии на магистральном нефтегазопроводе	0	0	0	0	2
Аварии на пром. объекте	2	7	3	1	2
Аварии на ж/д транспорте	0	1	0	1	2
Аварии на водном транспорте	1	1	0	2	4
Аварии с выбросом РВ	0	0	0	1	5

Т а б л и ц а 3. Комплексный территориальный техногенный риск для городов Сибири численностью более 70 тыс. чел

Table 3. Complex territorial technogenic risk for Siberian cities with a population of more than 70 thousands of people

Номер кластера	Город	Риск	Интервальные значения риска по кластерам	Уровень риска	
				допустимый	повышенный
I	Бердск	1	[1 – 8.2]	[0 – 2.1]	(2.1 – 27]
	Ачинск	2.6			
	Усолье-Сибирское	3.3			
	Абакан	3.4			
	Междуреченск	3.4			
	Канск	4.5			
	Братск	4.6			
	Рубцовск	5.2			
	Кемерово	8.2			
II	Норильск	3.4	[3.4 – 19.9]	[0 – 2.1]	(2.1 – 27]
	Кызыл	5.7			
	Прокопьевск	8.9			
	Новокузнецк	9.01			
	Ангарск	10.3			
	Бийск	19.9			
III	ЗАТО* Северск	0	[0 – 2.1]	[0 – 2.1]	(2.1 – 27]
	ЗАТО* Железногорск	0.0002			
	Юрга	0.04			
	Анжеро-Судженск	0.1			
	Усть-Илимск	0.3			
	Ленинск-Кузнецкий	0.7			
	Киселевск	1.3			
	Белово	1.6			
	Черногорск	1.7			
	Новоалтайск	2.1			
IV	Томск	69.5	[69.5 – 169.8]	[0 – 2.1]	(2.1 – 27]
	Барнаул	115			
	Иркутск	169.8			
V	Красноярск	280.5	[69.5 – 169.8]	[0 – 2.1]	(2.1 – 27]
	Новосибирск	776.8			
	Омск	16 268			

\*Закрытое административно-территориальное образование.



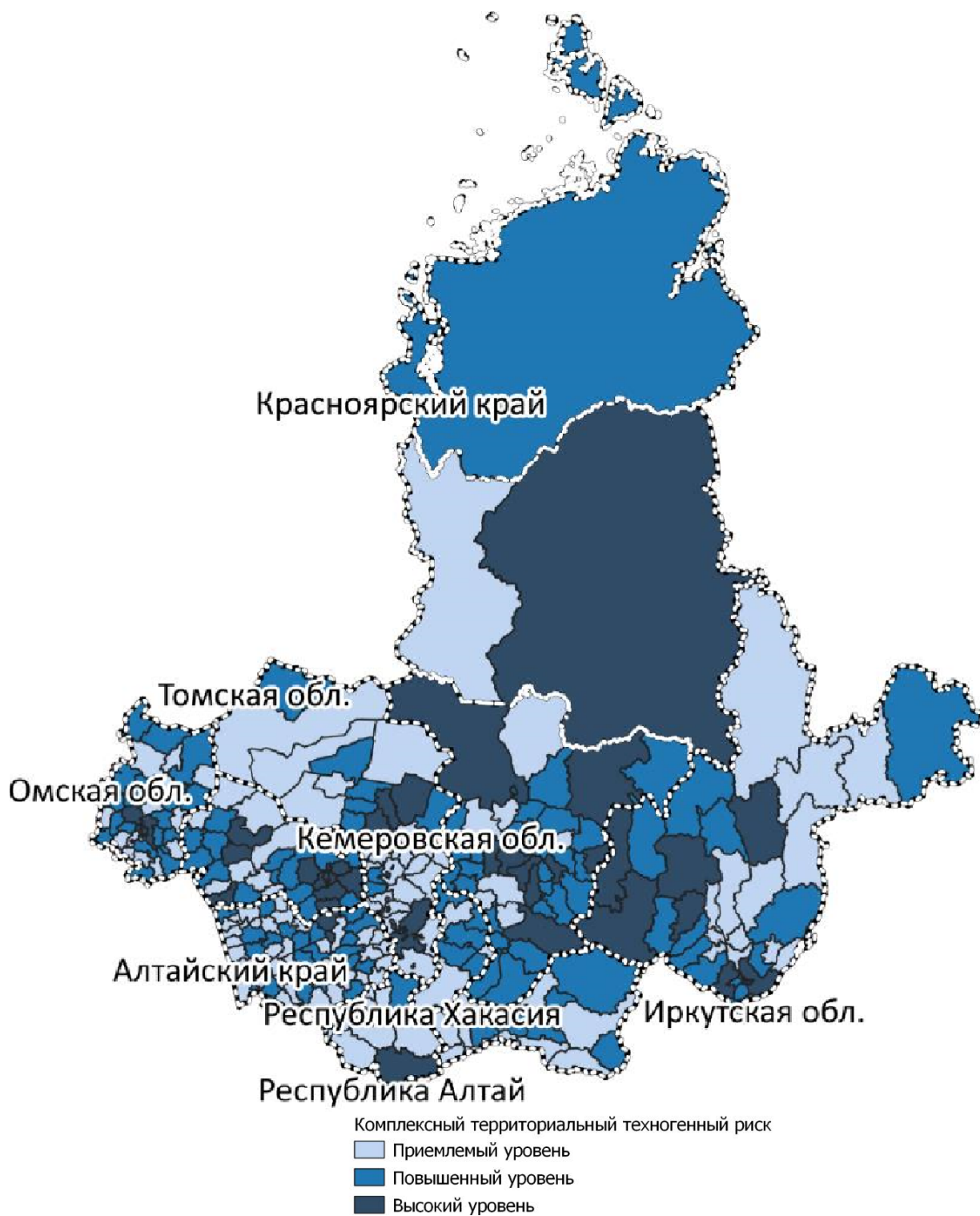


Рис. 4. Карта пространственного распределения комплексного территориального техногенного риска для Сибирского федерального округа

Fig. 4. Spatial distribution map of the complex territorial technogenic risk for the Siberian Federal District

Т а б л и ц а 4. Комплексный риск для средних и малых городов Сибири  
 Table 4. Comprehensive risk for medium and small towns in Siberia

Номер кластера	Город	Риск	Интервальные значения риска по кластерам	Уровень риска	
				допустимый	повышенный
I	Зеленогорск	0	[0 – 0.03]	[0 – 0.03]	(0.03 – 0.35)
	Полысаево	$3.6 \cdot 10^{-6}$			
	Змеиногорск	0			
	Таштагол	0.001			
	Сорск	0.001			
	Кедровый	0.001			
	Бородино	0.002			
	Абаза	0.005			
	Мариинск	0.005			
	Заринск	0.005			
	Сосновоборск	0.005			
	Мыски	0.005			
	Называевск	0.005			
	Саянск	0.01			
	Топки	0.01			
	Белокуриха	0.01			
	Яровое	0.01			
	Стрежевой	0.013			
	Тайга	0.013			
	Ак-Довурак	0.02			
	Тюкалинск	0.02			
Гурьевск	0.03				
Алейск	0.03				
Березовский	0.03				
Тара	0.03				
II	Шарыпово	0.03	[0.03 – 2.4]	[0 – 0.03]	(0.03 – 0.35)
	Обь	0.04			
	Боготол	0.04			
	Исилькуль	0.1			
	Назарово	0.1			
	Калтан	0.1			
	Дивногорск	0.1			
	Енисейск	0.1			
	Свирск	0.1			
	Камень-на-Оби	0.12			
	Калачинск	0.4			
Саяногорск	2.4				
III	Осинники	0.3	[0.3 – 8.3]	[0 – 0.03]	(0.03 – 0.35)
	Горно-Алтайск	0.3			
	Славгород	0.3			
	Лесосибирск	0.35			
	Тулун	0.4			
	Искитим	0.4			
	Зима	1			
	Черемхово	6.4			
Минусинск	8.3				

## Заключение

Предложенный метод позволяет проводить детальное исследование безопасности субъектов в составе округа, а именно анализировать городские формирования и муниципальные районы, выявлять территории с высоким уровнем риска и, как следствие, осуществлять эффективное планирование бюджетного финансирования на предупреждение аварийных ситуаций и составление программ по минимизации опасностей. Устойчивое развитие территории напрямую связано с анализом, оценкой и минимизацией территориальных техногенных рисков. Оценка и анализ территориального техногенного риска — важные инструменты прогнозного планирования и управления региональной политикой, формирования стратегий и тактик устойчивого развития [1].

При социально-экономическом планировании и разработке программ территориального развития требуются рассмотрение и реализация мероприятий по снижению уровня рисков до нормативных, научно обоснованных значений. С ростом антропогенной нагрузки, рисков для жизни и здоровья граждан необходимо качественное управление, основанное на разработке и практическом применении методов оценки техногенных рисков.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Краевого государственного автономного учреждения “Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности” (грант № 2021101907838).

## Список литературы

- [1] Федеральный закон от 28.06.2014 N 172-ФЗ (ред. от 31.07.2020) “О стратегическом планировании в Российской Федерации”.
  - [2] Махутов Н.А., Кузык Б.Н., Абросимов Н.В. Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технологического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков. М.: ИНЭС; 2011: 137.
  - [3] Москвичёв В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью. Вестник РАН. 2017; 87(8):696–705.
  - [4] Карабчук Т.С., Никитина М.В., Ремезкова В.П., Соболева Н.Э. Как оценить стоимость человеческой жизни. Экономическая социология. 2014; 15(1):89–106.
  - [5] Шмаков Д. Оценка экономического ущерба в результате смертности населения от несчастных случаев, отравлений и травм. Сборник научных трудов Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. М.: МАКС-Пресс; 2003: 377–385.
  - [6] Иванова У.С., Тасейко О.В. Использование метода многомерной статистики для анализа природно-техногенной безопасности территории. VII Всероссийская конференция “Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем”. Кемерово, 2020. Новосибирск: ФИЦ ИВТ; 2020: 166–167.
  - [7] Taseiko O., Ivanova U., Richter E., Pitt A. Using multivariate statistics to solve risk assessment problems for forest ecosystems. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2020: 777–784.
  - [8] Градостроительный кодекс РФ от 7 мая 1998 г. N 73-ФЗ. Принят Государственной Думой 8 апреля 1998 г. 46 с.
-

**Cluster analysis in the assessment of territorial risks for social-natural-technogenic systems**MOSKVICHEV VLADIMIR V.<sup>1,2</sup>, POSTNIKOVA ULYANA S.<sup>2,3,\*</sup>, TASEIKO OLGA V.<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk Branch, 660049, Krasnoyarsk, Russia<sup>2</sup>Siberian Federal University, 660037, Krasnoyarsk, Russia<sup>3</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037, Krasnoyarsk, Russia\*Corresponding author: Postnikova Ulyana S., e-mail: [ulyana-ivanova@inbox.ru](mailto:ulyana-ivanova@inbox.ru)*Received February 21, 2022, accepted April 05, 2022.***Abstract**

Intensive use of natural and technological resources, desire for economic growth without appropriate scientific justification leads to increased risks of development of territorial entities, especially with an increase in the concentration of hazardous industrial production without a proper analysis of their impact on the security of the territory. The paper proposes a methodological approach for determining and assessing the normative level of the complex territorial technogenic risk of municipalities and subjects of the Siberian Federal District (SFD). The analysis of the territories of the SFD should be carried out separately for different types of administrative-territorial units: cities with a population of over 70 thousand people, cities with a population of less than 70 thousand people and municipal districts. A methodical approach based on the methods of multivariate statistics allows determining the acceptable level of risk for each considered territorial group. The paper proposes using the method of hierarchical cluster analysis, which allows dividing the territories of the SFD into groups of clusters, choosing a reference group with which a comparison will be made, followed by determining an acceptable level of risk. Based on the hierarchical cluster analysis and the subsequent comprehensive assessment of the technological territorial risk, the territories of the SFD were ranked according to the level of technological hazard (highly dangerous, increased danger, safe). Acceptable risk levels have been established for each group of cities. Based on GIS technologies, risk map of municipalities of the Siberian Federal District has been built. A comprehensive assessment of the risks of territorial development ensures better management and sustainable development with the minimization of man-made risks in the face of an increase in anthropogenic load, hazards to life and health of the population and reduces the cost of eliminating the consequences of accidents and catastrophes.

*Keywords:* social-natural-technogenic system, territorial technogenic risk, hierarchical cluster analysis.

*Citation:* Moskvichev V.V., Postnikova U.S., Taseiko O.V. Cluster analysis in the assessment of territorial risks for social-natural-technogenic systems. *Computational Technologies*. 2022; 27(3):112–124. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.009. (In Russ.)

**Acknowledgements.** This work was carried out with the financial support of the Krasnoyarsk Regional Fund of Science and Technology within the framework of the project No. 2021101907838.

**References**

1. Federal'nyy zakon ot 28.06.2014 N 172-FZ (red. ot 31.07.2020) "O strategicheskom planirovanii v Rossiyskoy Federatsii" [Federal Law N 172-FZ of June 28, 2014 (as amended on July 31, 2020) "On strategic planning in the Russian Federation"]. (In Russ.)
2. **Makhutov N.A., Kuzyk B.N., Abrosimov N.V.** Nauchnye osnovy prognozirovaniya i prognoznnye pokazateli sotsial'no-ekonomicheskogo i nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossii do 2030 goda s ispol'zovaniem kriteriev strategicheskikh riskov [Scientific bases for forecasting and expected indicators of social-economic and scientific-technological development of Russia till 2030 using the criteria of strategic risks]. Moscow: INES; 2011: 137. (In Russ.)
3. **Moskvichev V.V., Bychkov I.V., Potapov V.P., Taseiko O.V., Shokin Yu.I.** Information system for territorial risk management development and safety. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2017; 87(8):696–705. (In Russ.)
4. **Karabchuk T., Nikitina M., Remezko V., Soboleva N.** How to evaluate the value of human life. Economic Sociology. 2014; 15(1):89–106. (In Russ.)
5. **Shmakov D.** Evaluation of economic damage as a result of mortality from accidents, poisonings and injuries. Collection of Scientific Papers of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences. Moscow: MAKS-Press; 2003: 377–385. (In Russ.)
6. **Ivanova U.S., Taseiko O.V.** Application of the method of multivariate statistics for the analysis of natural and technogenic safety of the territory. VII Vserossiyskaya Konferentsiya "Bezopasnost' i Monitoring Prirodnikh i Tekhnogennykh Sistem". Kemerovo, 2020. Novosibirsk: FITs IVT; 2020: 166–167. (In Russ.)
7. **Taseiko O., Ivanova U., Rihter E., Pitt A.** Using multivariate statistics to solve risk assessment problems for forest ecosystems. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2020: 777–784.
8. Gradostroitel'nyy kodeks RF ot 7 maya 1998 g. N 73-FZ [Town-planning code of the Russian Federation of May 7, 1998 N 73-FZ]. Adopted by the State Duma on April 8, 1998. 46 p. (In Russ.)