

УДК 338.1

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.32.1.028](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.32.1.028)

## Модель и алгоритм минимизации геодинамических рисков при размещении объектов на территории нефтегазовых комплексов

Т.Р. Ахметшин

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Уфа, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье изложены особенности построения и реализации модели и алгоритма оптимального размещения объектов на территории нефтегазовых комплексов (НГК). Модель и алгоритм базируются на формализованном представлении геодинамических рисков в виде нечетких отношений и методе блочной риск-классификации объектов. Такой подход позволяет оценивать рисковую устойчивость объектов НГК, ранжировать природные, техногенные и антропогенные процессы по степени их воздействия на указанные объекты, а также оценивать интегральные риски для объектов НГК от названных процессов. Показано, что численный метод решения задач поддержки управления геодинамическими рисками эффективен при разработке планировочных решений и оценке их эффективности при управлении развитием территорий, содержащих НГК. Модель и алгоритм размещения объектов на территории НГК с целью минимизации рисков нацелены на решение актуальной научно-технической задачи – обеспечение безопасности от возможных проявлений геодинамических угроз. Представлено решение задачи, осуществляемое в четыре этапа: оценка значений риска для каждого из объектов НГК от конкретного источника воздействия; ранжирование природных, техногенных и антропогенных процессов по степени их воздействия на конкретные объекты НГК; ранжирование различных зон территории НГК по уровню безопасности и оценка их риск-состояния; оптимизация размещения объектов нефтегазового комплекса с учетом геодинамических рисков.

**Ключевые слова:** моделирование, алгоритм, оптимизация, размещение, строительный объект, нефтегазовое месторождение, нечеткие отношения, кластеризация, геодинамическая угроза, управление рисками.

**Для цитирования:** Ахметшин Т.Р. Модель и алгоритм минимизации геодинамических рисков при размещении объектов на территории нефтегазовых комплексов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2021;9(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=964> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.028

## Model and algorithm for allocation of objects on oil and gas areas taking into account geodynamic risks minimization

T.R. Akhmetshin

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa,  
Russian Federation*

**Abstract:** The article describes the features of constructing and implementing a model and algorithm for optimal allocation of objects on the territory of oil and gas areas (OGA). The model and algorithm are based on the formalized representation of geodynamic risks of fuzzy relations and block method of objects risk classification. This approach gives a sense of risk stability of OGA objects, to rank natural, technogenic, and anthropogenic processes according to the degree of their impact on these objects, as well as to quantify integral risks for OGA objects from these processes. It is shown that the numerical

method for solving tasks of geodynamic risk management support is powerful in developing planning solutions and evaluating their effectiveness in managing the progress of territories containing OGA. The model and algorithm for allocation objects on the territory of the OGA to minimize risks are aimed at solving an urgent scientific and technical problem - ensuring security from the possible occurrence of geodynamic threats. Solution of the task presented in four stages: assessment of the risk values for each of the OGA objects from a specific source of impact – ranking of natural, technogenic, and anthropogenic processes by the degree of their effect on specific OGA objects; ranking of various zones of the OGA territory by the level of safety and assessment of their risk status – optimization of the placement of oil and gas complex objects taking into account geodynamic risks.

**Keywords:** modeling, algorithm, optimization, allocation, construction object, oil and gas field, fuzzy relations, clustering, geodynamic threat, risk management.

**For citation:** Akhmetshin T.R. Model and algorithm for allocation of object on the territory of oil and gas complexes taking into account geodynamic risks minimization. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=964> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.028 (In Russ).

## Введение

Задачи управления геодинамическими рисками на территориях нефтегазовых комплексов (НГК) приобретают всё большую значимость в настоящее время, когда количество аварий и катастроф, связанных с природно-техногенными процессами геодинамического происхождения, с каждым годом только возрастает. Сложность решения указанных задач состоит в том, что непосредственно управлять геодинамическими рисками невозможно. Их можно только оценить, а затем предпринять конкретные меры по смягчению последствий опасных геодинамических процессов, вызывающих эти риски.

Смоделировать геодинамический риск натурно – тоже нерешаемая задача, именно поэтому всё более актуализируется математический подход к моделированию геодинамических рисков. К сегодняшнему дню разработан достаточно широкий спектр математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств, позволяющих моделировать геодинамические риски. Полученные результаты связаны как с решением глобальных задач моделирования геодинамического риска, в частности, его количественной оценки на различных по геологическому строению территориях [1-8], так и задач моделирования геодинамических рисков в строительстве [9-13] оценки геодинамической безопасности территорий [14-17]. В ряде работ затронуты вопросы управления геодинамическими рисками [18-20].

Однако представленные в указанных работах математические модели, методы и алгоритмы оценки геодинамических рисков не позволяют в полной мере решать задачи управления геодинамическими рисками на территориях НГК. В частности, они не могут быть использованы при решении таких задач, как оценка риска повреждения или разрушения промысловых и иных промышленно-хозяйственных объектов НГК, сетей инженерных и транспортных коммуникаций, относящихся к инфраструктуре НГК, оценка риска неверного решения по территориальной привязке районов нефтегазового промысла, оптимальному размещению объектов НГК, а также для решения многих других задач управления, возникающих при развитии территорий НГК.

Настоящая статья посвящена решению актуальной научной задачи – разработке современных математических моделей, методов и алгоритмов размещения объектов на территории НГК с учетом минимизации геодинамических рисков.

Задача решается в четыре этапа:

- 1) Выполняется оценка ожидаемых значений риска для каждого из объектов НГК от конкретного природного, техногенного или антропогенного источника воздействия.
- 2) Осуществляется ранжирование природных, техногенных и антропогенных процессов по степени их воздействия на конкретные объекты НГК, а также оцениваются интегральные риски для них и интегральные риски от указанных процессов.
- 3) Ранжируются по уровню безопасности различные зоны территории НГК и оценивается их риск-состояние.
- 4) Производится оптимизация размещения объектов нефтегазового комплекса с учётом геодинамических рисков.

Рассмотрим более подробно, каким образом практически реализуются указанные этапы.

### **Представление геодинамических рисков на основе нечётких отношений**

Оценка риска неверного принятия решения по территориальному размещению объектов НГК, возникающего без учёта пространственного распределения зон геодинамических аномалий и зон возможного развития опасных процессов геодинамического происхождения, является одной из важнейших задач оценивания безопасности в нефтегазовой отрасли.

Автором предлагается решать указанную задачу на основе системного представления пространственно организованных и взаимосвязанных материальных элементов, формирующих среду жизнедеятельности на территориях разного масштабного уровня, а именно – освоенных территорий, зданий и сооружений, дорог и инженерных коммуникаций, совместно с природными компонентами.

Рассмотрим метод формализации взаимодействия природных, техногенных и антропогенных процессов в среде НГК. С этой целью определим множества  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , отражающие совокупности факторов, способов и объектов природной, техногенной и антропогенной составляющих НГК.

Элементами множества  $X$  (факторы воздействия на объекты НГК) определим следующие:  $x_1$  – «землетрясения»;  $x_2$  – «вертикальные и горизонтальные смещения на дневной поверхности»;  $x_3$  – «криповые подвижки»;  $x_4$  – «карстово-деформационные процессы»;  $x_5$  – «неоднородности геологической среды»;  $x_6$  – «неоднородности ландшафта»;  $x_7$  – «статическая нагрузка от зданий и сооружений»;  $x_8$  – «тектонические разломные нарушения»;  $x_9$  – «природные физические поля»;  $x_{10}$  – «технические воздействия»;  $x_{11}$  – «гидрологическая и гидрогеологическая сети»;  $x_{12}$  – «атмосферное влияние»;  $x_{13}$  – «организационно-правовое поле»;  $x_{14}$  – «социокультурное поле».

Элементами множества  $Y$  (способы воздействия на объекты НГК) являются:  $y_1$  – «механические волны (колебания)»;  $y_2$  – «геодинамические напряжения и деформации»;  $y_3$  – «опускания и поднятия»;  $y_4$  – «оползни»;  $y_5$  – «микросмещения по бортам разломов»;  $y_6$  – «подтопления, заболачивания»;  $y_7$  – «провалы»;  $y_8$  – «электромагнитные волны»;  $y_9$  – «акустические волны»;  $y_{10}$  – «температурное поле»;  $y_{11}$  – «инфразвуковое давление»;  $y_{12}$  – «трещиноватость геологической среды»;  $y_{13}$  – «поле биоактивного диапазона»;  $y_{14}$  – «пейзажное разнообразие»;  $y_{15}$  – «нормативные документы»;  $y_{16}$  – «общественное мнение»;  $y_{17}$  – «средства массовой информации»;  $y_{18}$  – «реклама».

К элементам множества  $Z$  (объекты НГК) отнесём следующие:  $z_1$  – «жилой дом, гостиница, общежитие»;  $z_2$  – «предприятие торгово-бытовой сферы»;  $z_3$  – «медицинское учреждение»;  $z_4$  – «управляющий комплекс»;  $z_5$  – «административное здание»;  $z_6$  – «дожимная насосная станция»;  $z_7$  – «складское помещение (склад, ангар)»;  $z_8$  –

«энергетическая станция»;  $z_9$  – «кустовая насосная станция»;  $z_{10}$  – «транспортные магистрали»;  $z_{11}$  – «инженерные сети и коммуникации»;  $z_{12}$  – «внутрипромысловый трубопровод»;  $z_{13}$  – «геологическая среда»;  $z_{14}$  – «природный ландшафт».

Решим задачу оценки воздействия элементов множества  $X$  на элементы множества  $Z$ . Из экспертных источников применительно к конкретному территориальному полигону в Арктической зоне РФ, содержащему НГК, получены оценки степени воздействия элементов множества  $X$  через элементы множества  $Y$  (нечёткое отношение  $P$  на множествах  $X$  и  $Y$ ), а также степени воздействия элементов множества  $Y$  на элементы множества  $Z$  (нечёткое отношение  $Q$  на множествах  $Y$  и  $Z$ ). Матрицы нечётких отношений, соответственно, представлены в Таблицах 1 и 2 в виде значений функций принадлежности (ФП)  $u_P(x_i, y_i)$  и  $u_Q(y_i, z_i)$ ; максимальные степени воздействия соответствуют единице.

Воздействие факторов через способы воздействия формально определяется в виде бинарного нечёткого отношения  $P = \{\langle x_i, y_i \rangle, u_P(\langle x_i, y_i \rangle)\}$ , заданного на декартовом произведении множеств  $X \times Y$ , а воздействие способов на объекты НГК формально определяется в виде бинарного нечёткого отношения  $Q = \{\langle y_i, z_i \rangle, u_Q(\langle y_i, z_i \rangle)\}$ , заданного на декартовом произведении множеств  $Y \times Z$ .

Определим композицию бинарных нечётких отношений  $P \otimes Q$ , функция принадлежности которой описывается следующим выражением [21, 22]:

$$u_{P \otimes Q}(\langle x_i, z_i \rangle) = \max_{y_i \in Y} \left\{ \min \left\{ u_P(\langle x_i, y_i \rangle), u_Q(\langle y_i, z_i \rangle) \right\} \right\}, \forall \langle x_i, z_i \rangle \in X \times Z \quad (1)$$

Результат операции нечёткой композиции отношений  $P$  и  $Q$ , согласно (1), представлен в виде матрицы результирующего нечёткого отношения, приведенной в Таблице 3.

Над отношениями  $P$  и  $Q$  также выполнена операция max-prod – композиции, функция принадлежности которой определяется выражением [2, 74 – 77, 200, 204]:

$$\tilde{u}_{P \otimes Q}(\langle x_i, z_i \rangle) = \max_{y_i \in Y} \left\{ u_P(\langle x_i, y_i \rangle) \cdot u_Q(\langle y_i, z_i \rangle) \right\}, \forall \langle x_i, z_i \rangle \in X \times Z. \quad (2)$$

Результат операции нечёткой композиции отношений  $P$  и  $Q$  согласно формуле (2) представлен в виде матрицы результирующего нечёткого отношения, приведенной в Таблице 4. В подобной интерпретации функции принадлежности нечёткого отношения  $P \otimes Q$ , приведённые в Таблицах 3 и 4, отражают собой степень принадлежности множеству  $R = \{r_i | r_i \in [0;1]\}$  значений воздействий внешних природных, техногенных и антропогенных факторов на объекты НГК. По существу, величины  $r_i$  представляют предполагаемые значения риска для каждого из объектов НГК от конкретного природного, техногенного или антропогенного источника воздействия.

### Анализ результатов оценки рисков

На Рисунках 1-3 приведены значения предполагаемого риска для таких объектов НГК как жилой дом, гостиница, общежитие, энергетическая станция, инженерная сеть и коммуникация. Анализ диаграмм, представленных на Рисунках 1-3, позволяет заключить, что наиболее опасными факторами (более 0.7) для жилых домов, гостиниц, общежитий являются землетрясения, вертикальные и горизонтальные движения на поверхности, криповые подвижки, а также техногенные физические поля и гидро- и гидрогеологическая сеть. Если говорить об энергетических станциях, то наиболее

опасными (более 0.7) выступают такие факторы как землетрясения, вертикальные и горизонтальные движения на поверхности. А вот для инженерных сетей и коммуникаций наиболее опасными (более 0.7) факторами являются вертикальные и горизонтальные движения на поверхности, карстово-деформационные процессы, гидро- и гидрогеологическая сеть, а также атмосферное влияние (т. е. климатические факторы). Такого рода графики могут быть построены для любого объекта НГК.

Рассмотрим, как распределяются риски от конкретных факторов природного, техногенного и антропогенного происхождения (Рисунки 4-6). Вертикальные и горизонтальные движения на поверхности являются самыми рисковыми практически для всех объектов НГК (исключение составляют, пожалуй, складские помещения, хотя и для них риск весьма значителен). А вот риски от техногенных воздействий представляют наибольшую опасность для таких объектов НГК, в которых наблюдается наибольшее сосредоточение людей. Кроме того, техногенные воздействия наиболее опасны для природных ландшафтов и непосредственно для самой геологической среды, на что указывается в работах [3, 4].

Таблица 1 – Нечёткое отношение  $P$  степени воздействия на объекты НГК  
Table 1 – Fuzzy ratio  $P$  of the degree of impact on oil and gas facilities

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$y_9$
$x_1$	0.80	0.06	0.14	0.05	0.00	0.00	0.93	0.19	0.00
$x_2$	0.10	0.90	0.95	0.93	0.77	0.54	0.47	0.27	0.02
$x_3$	0.10	0.72	0.27	0.18	0.95	0.03	0.03	0.27	0.02
$x_4$	0.20	0.66	0.41	0.63	0.04	0.12	0.40	0.19	0.02
$x_5$	0.00	0.90	0.32	0.13	0.04	0.09	0.22	0.08	0.08
$x_6$	0.00	0.90	0.35	0.13	0.02	0.60	0.25	0.04	0.00
$x_7$	0.10	0.90	0.05	0.05	0.02	0.03	0.22	0.19	0.00
$x_8$	0.00	0.06	0.03	0.13	0.33	0.03	0.16	0.04	0.02
$x_9$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.38
$x_{10}$	0.70	0.90	0.00	0.05	0.02	0.00	0.16	0.95	0.95
$x_{11}$	0.00	0.00	0.16	0.13	0.00	0.93	0.16	0.38	0.02
$x_{12}$	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.60	0.09	0.57	0.04
$x_{13}$	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.03	0.03	0.04	0.02
$x_{14}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.53
	$y_{10}$	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$y_{15}$	$y_{16}$	$y_{17}$	$y_{18}$
$x_1$	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.45
$x_2$	0.00	0.75	0.90	0.72	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_3$	0.00	0.35	0.05	0.92	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_4$	0.00	0.25	1.00	0.60	0.35	0.37	0.25	0.24	0.00
$x_5$	0.76	0.25	0.75	0.40	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_6$	0.38	0.05	0.50	0.04	0.95	0.19	0.00	0.00	0.90
$x_7$	0.00	0.05	0.25	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.09
$x_8$	0.00	0.05	0.25	0.40	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_9$	0.38	0.75	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_{10}$	0.57	1.00	0.50	0.00	0.00	0.74	0.50	0.93	0.30
$x_{11}$	0.38	0.00	0.65	0.88	0.70	0.37	0.00	0.00	0.00
$x_{12}$	0.95	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$x_{13}$	0.00	0.00	0.15	0.00	0.11	0.93	0.75	0.96	0.96
$x_{14}$	0.38	0.50	0.00	0.00	0.00	0.74	1.00	0.72	0.30

Таблица 2 – Нечеткое отношение  $Q$  степени воздействия на объекты НГК

Table 2 – Fuzzy ratio  $Q$  of the degree of impact on oil and gas facilities

	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$
$y_1$	0.93	0.93	0.93	0.82	0.79	0.23	0.15	0.90	0.50	0.25	0.20	0.00	0.00	0.00
$y_2$	0.71	0.73	0.72	0.45	0.56	0.12	0.12	0.70	0.55	0.47	0.50	0.00	0.90	0.00
$y_3$	0.95	0.95	0.95	0.81	0.83	0.95	0.25	0.95	0.90	0.75	0.57	0.95	0.50	0.80
$y_4$	0.97	0.97	0.97	0.84	0.85	0.93	0.75	0.97	0.90	0.80	0.70	0.97	0.75	0.90
$y_5$	0.43	0.42	0.43	0.25	0.23	0.05	0.05	0.40	0.30	0.05	0.10	0.05	0.25	0.10
$y_6$	0.45	0.63	0.50	0.15	0.17	0.96	0.15	0.20	0.20	0.05	0.75	0.98	0.10	0.90
$y_7$	0.92	0.90	0.92	0.73	0.81	0.92	0.50	0.93	0.90	0.90	0.70	0.95	0.50	0.80
$y_8$	0.25	0.10	0.70	0.12	0.22	0.25	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
$y_9$	0.70	0.20	0.80	0.32	0.47	0.70	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$y_{10}$	0.20	0.20	0.30	0.12	0.15	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.85	0.50	0.25	0.10
$y_{11}$	0.95	0.95	0.98	0.81	0.85	0.95	0.25	0.00	0.95	0.70	0.00	0.10	0.00	0.00
$y_{12}$	0.75	0.75	0.75	0.53	0.55	0.10	0.05	0.70	0.55	0.25	0.90	0.10	0.75	0.00
$y_{13}$	0.95	0.95	1.00	0.91	0.92	0.95	0.30	0.00	0.95	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50
$y_{14}$	0.75	0.74	0.80	0.70	0.70	0.70	0.05	0.00	0.00	0.30	0.20	0.10	0.75	0.00
$y_{15}$	0.50	0.50	0.50	0.75	0.15	0.50	0.25	0.10	0.10	0.00	0.50	0.75	0.10	0.50
$y_{16}$	0.00	0.25	0.25	0.72	0.11	0.75	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00
$y_{17}$	0.00	0.05	0.30	0.50	0.12	0.50	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.50	0.00	0.25
$y_{18}$	0.00	0.25	0.10	0.50	0.14	0.70	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	0.50	0.00	0.75

Таблица 3 – Результаты нечеткой максиминной композиции отношений  $P$  и  $Q$

Table 3 – Results of fuzzy maximin composition of  $P$  and  $Q$  ratios

	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$
$x_1$	0.92	0.90	0.92	0.80	0.81	0.92	0.50	0.93	0.90	0.90	0.70	0.93	0.50	0.80
$x_2$	0.95	0.95	0.95	0.84	0.85	0.95	0.75	0.95	0.90	0.80	0.90	0.95	0.90	0.90
$x_3$	0.92	0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.30	0.70	0.92	0.47	0.50	0.50	0.72	0.50
$x_4$	0.75	0.75	0.75	0.63	0.63	0.63	0.63	0.70	0.63	0.63	0.90	0.63	0.75	0.63
$x_5$	0.75	0.75	0.75	0.53	0.56	0.53	0.30	0.70	0.55	0.47	0.76	0.50	0.90	0.40
$x_6$	0.75	0.74	0.80	0.70	0.70	0.70	0.25	0.70	0.55	0.47	0.60	0.60	0.90	0.75
$x_7$	0.71	0.73	0.72	0.45	0.56	0.37	0.25	0.70	0.55	0.47	0.50	0.37	0.90	0.37
$x_8$	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	0.33	0.40	0.25	0.25	0.40	0.25	0.40
$x_9$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.10	0.75	0.70	0.38	0.38	0.25	0.10
$x_{10}$	0.95	0.95	0.98	0.81	0.85	0.95	0.50	0.70	0.95	0.70	0.57	0.74	0.90	0.50
$x_{11}$	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.93	0.30	0.65	0.88	0.30	0.75	0.93	0.70	0.90
$x_{12}$	0.45	0.60	0.57	0.25	0.25	0.60	0.25	0.20	0.25	0.25	0.85	0.60	0.25	0.60
$x_{13}$	0.50	0.50	0.50	0.75	0.15	0.75	0.50	0.15	0.15	0.50	0.50	0.75	0.15	0.75
$x_{14}$	0.53	0.50	0.53	0.74	0.50	0.75	0.50	0.10	0.50	0.50	0.50	0.74	0.25	0.50

Таблица 4 – Результаты нечеткой max-prod-композиции отношений  $P$  и  $Q$

Table 4 – Results of fuzzy max-prod-composition of  $P$  and  $Q$  relations

	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	$z_8$	$z_9$	$z_{10}$	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$
$x_1$	0.86	0.84	0.86	0.68	0.75	0.86	0.47	0.86	0.84	0.84	0.65	0.88	0.47	0.74
$x_2$	0.90	0.90	0.90	0.78	0.79	0.90	0.70	0.90	0.85	0.74	0.81	0.90	0.81	0.84
$x_3$	0.87	0.87	0.92	0.84	0.85	0.87	0.28	0.50	0.87	0.34	0.36	0.46	0.65	0.46
$x_4$	0.75	0.75	0.75	0.55	0.55	0.59	0.47	0.70	0.57	0.50	0.90	0.61	0.75	0.57
$x_5$	0.64	0.66	0.65	0.41	0.50	0.38	0.12	0.63	0.50	0.42	0.68	0.38	0.81	0.26
$x_6$	0.71	0.70	0.76	0.66	0.66	0.66	0.13	0.63	0.50	0.42	0.45	0.59	0.81	0.68

$x_7$	0.64	0.66	0.65	0.41	0.50	0.20	0.11	0.63	0.50	0.42	0.45	0.28	0.81	0.19
$x_8$	0.38	0.38	0.40	0.36	0.37	0.38	0.12	0.17	0.38	0.14	0.23	0.20	0.19	0.20
$x_9$	0.71	0.71	0.73	0.61	0.64	0.71	0.19	0.04	0.71	0.52	0.32	0.19	0.10	0.04
$x_{10}$	0.95	0.95	0.98	0.81	0.85	0.95	0.47	0.63	0.95	0.70	0.48	0.55	0.81	0.37
$x_{11}$	0.84	0.84	0.88	0.80	0.81	0.89	0.26	0.45	0.84	0.21	0.70	0.91	0.52	0.84
$x_{12}$	0.27	0.38	0.40	0.20	0.21	0.58	0.10	0.12	0.24	0.17	0.81	0.59	0.24	0.54
$x_{13}$	0.47	0.47	0.47	0.70	0.14	0.67	0.48	0.13	0.12	0.38	0.47	0.70	0.11	0.72
$x_{14}$	0.47	0.47	0.49	0.72	0.42	0.75	0.50	0.07	0.47	0.50	0.37	0.55	0.10	0.37

Риски от гидро- и гидрогеологической сети представляют большую опасность практически для всех объектов НГК, кроме складских помещений и транспортных магистралей (не более 0.3). На Рисунках 7-8 приведены интегральные риски в убывающем порядке для объектов НГК и интегральные риски от природных, техногенных и антропогенных процессов, соответственно. Так, наибольшему риску подвержены медицинские учреждения, предприятия торгово-бытовой сферы и жилые здания (гостиницы, общежития) (0.7 и более), наименьшему риску – энергетические станции, транспортные магистрали и складские помещения (0.5 и менее). Наиболее опасными для объектов НГК являются вертикальные и горизонтальные движения на поверхности, землетрясения, техногенные воздействия, гидро- и гидрогеологическая сеть (более 0.7), наименее опасными – атмосферное влияние и тектонические разломные нарушения геологической среды (менее 0.4).

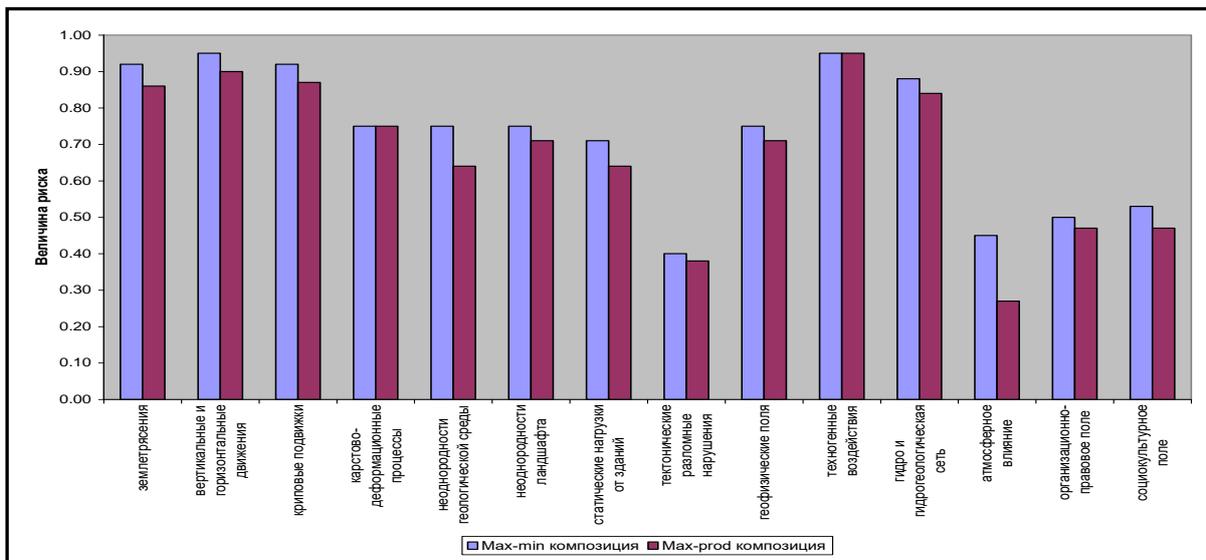


Рисунок 1 – Риски для жилых домов, гостиниц, общежитий  
Figure 1 – Risks for residential buildings, hotels, hostels

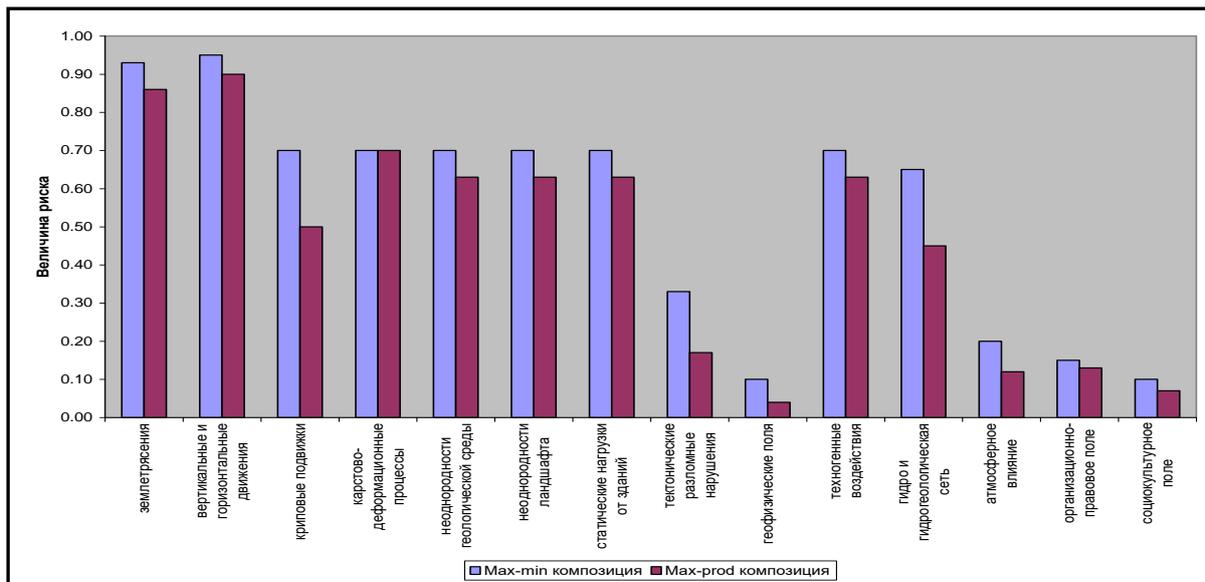


Рисунок 2 – Риски для энергетических станций  
Figure 2 – Risks for power plants

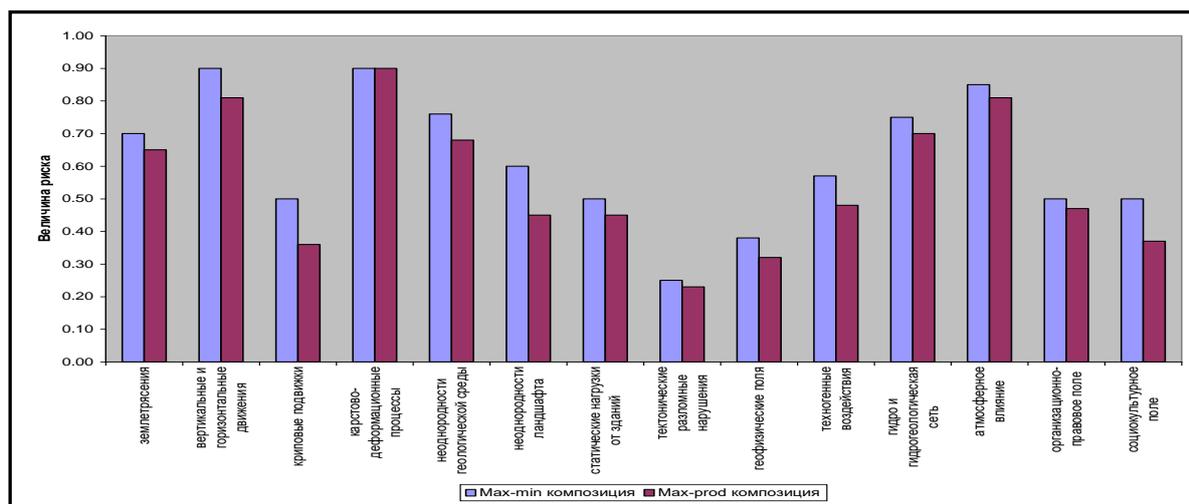


Рисунок 3 – Риски для инженерных сетей и коммуникаций  
Figure 3 – Risks for engineering networks and communications

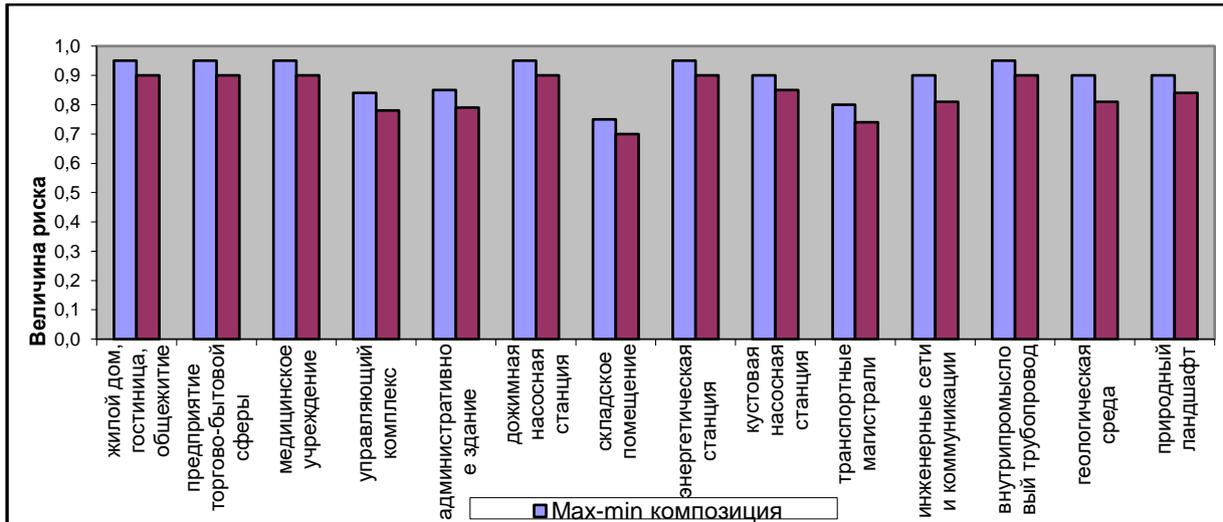


Рисунок 4 – Риски от вертикальных и горизонтальных движений на поверхности  
Figure 4 – Risks from vertical and horizontal movements on the surface

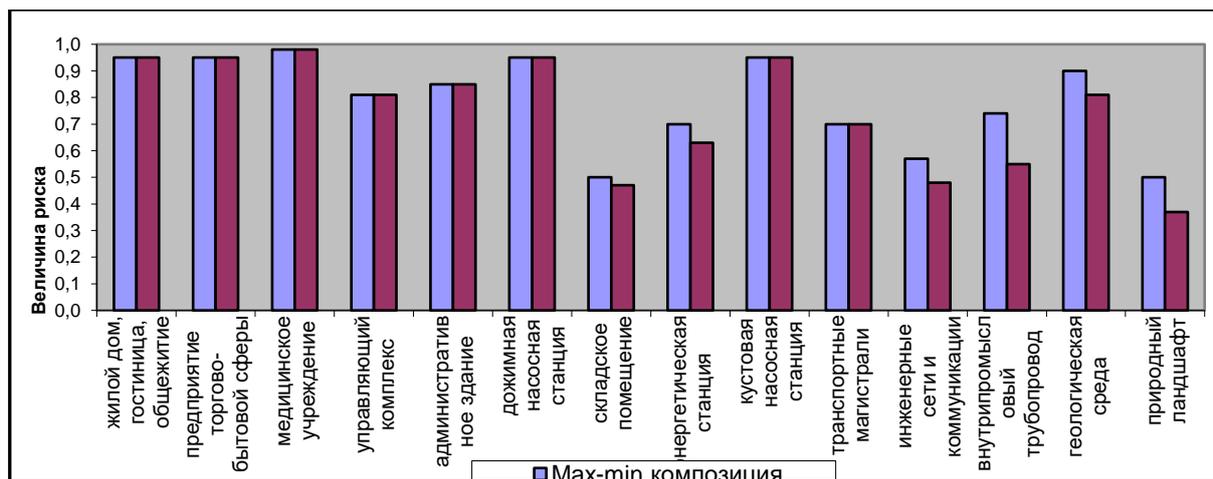


Рисунок 5 – Риски от техногенных воздействий  
Figure 5 – Risks from technogenic impacts

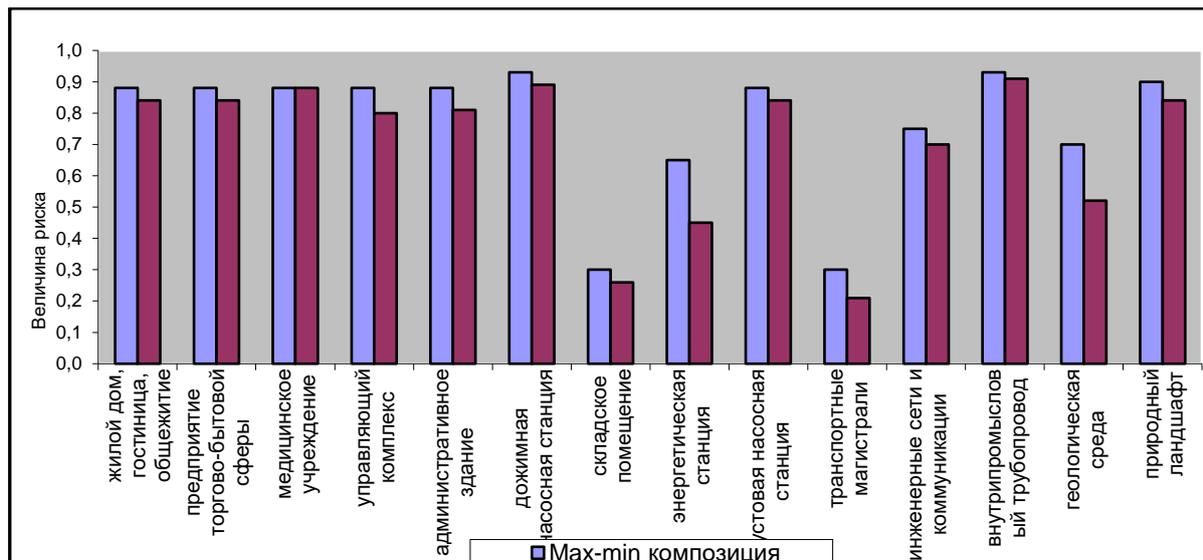


Рисунок 6 – Риски от гидро- и гидрогеологической сети  
Figure 6 – Risks from the hydro and hydrogeological network

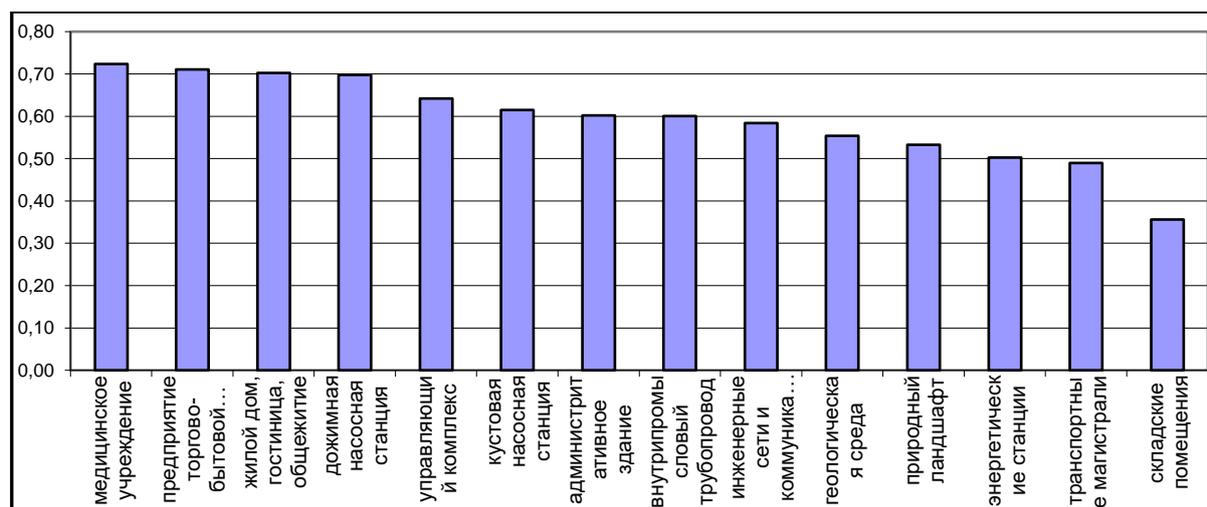


Рисунок 7 – Интегральный риск для объектов НГК  
Figure 7 – Integral risk for oil and gas facilities

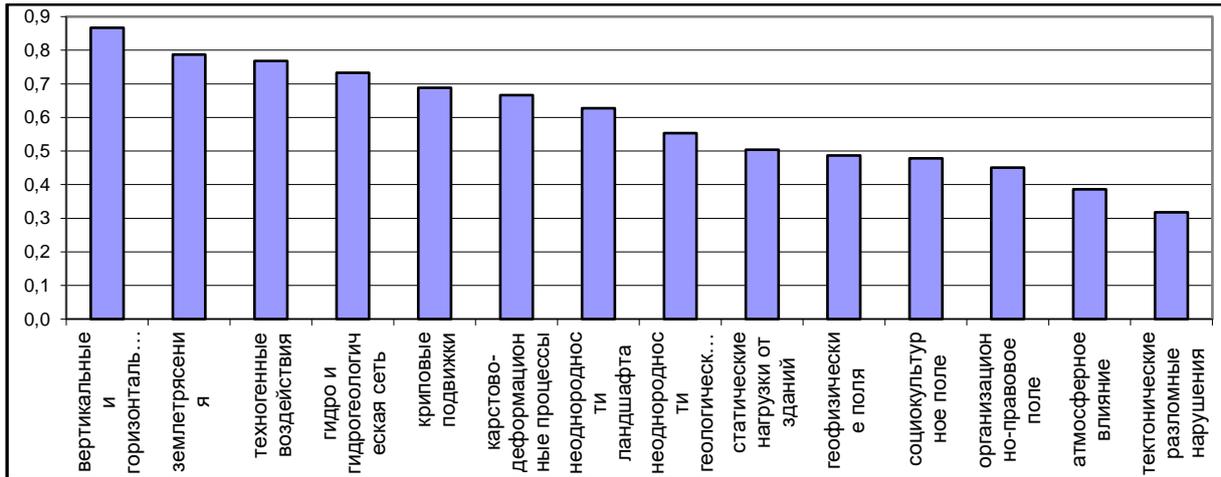


Рисунок 8 – Интегральный риск от природных, техногенных и антропогенных процессов  
Figure 8 – Integral risk from natural, technogenic and anthropogenic processes

На Рисунке 9 представлены осредненные значения рисков от антропогенных воздействий.

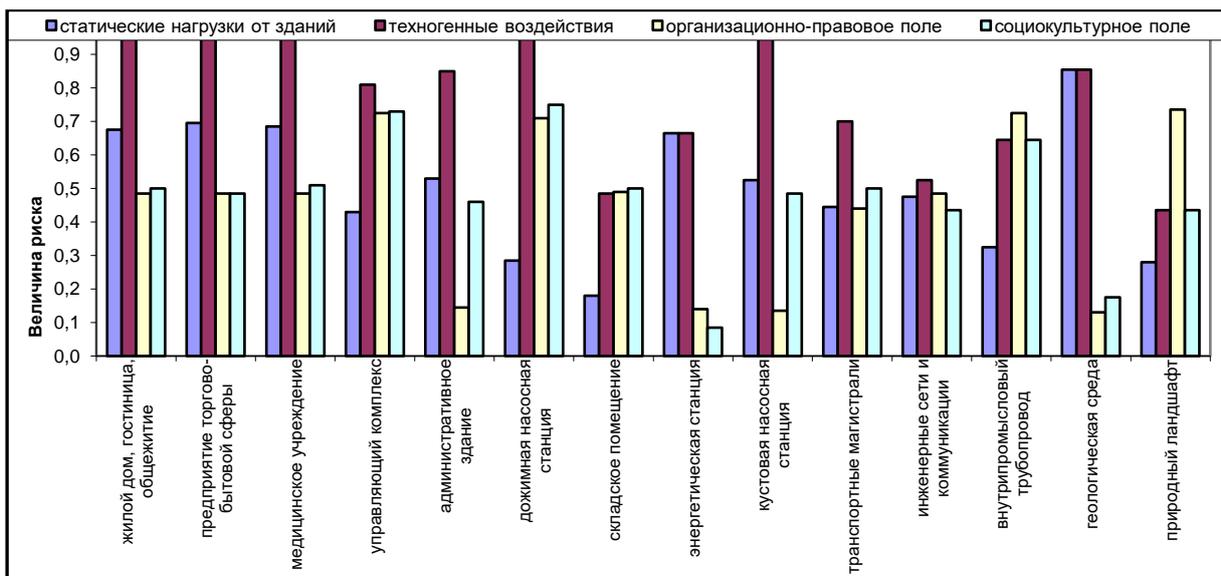


Рисунок 9 – Средние риски от антропогенных воздействий  
Figure 9 – Average risks from anthropogenic impacts

Преобладающими для объектов НГК являются техногенные воздействия (0.45 – 0.95) и статические нагрузки от зданий и сооружений (0.30-0.85). Значения осредненных рисков, исходящих от организационно-правовых факторов, варьируются в пределах 0.15 – 0.70, значения осредненных рисков, исходящих от социокультурного поля – в пределах 0.10 – 0.75 в зависимости от типа и целевого назначения объекта НГК.

Таким образом, предложенный метод формализованного представления рисков геодинамического происхождения для объектов НГК, основанный на нечётких отношениях, позволяет оценить объекты НГК на предмет их рисковей устойчивости, ранжировать природные, техногенные и антропогенные процессы по степени их воздействия на конкретные объекты НГК, а также оценить интегральные риски для них и интегральные риски от указанных процессов.

## Блочная риск-классификация объектов нефтегазовых комплексов

Одним из важных этапов оценки рисков на территории НГК является ранжирование её различных зон по уровню безопасности. В работе [5] построен алгоритм комплексной оценки рисков, включающий определение классов оцениваемых опасностей. Существует метод геодинамического потенциала [8, 10], районирование территории по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов [5], метод морфоструктурного районирования территории [23, 24].

Все эти подходы позволяют оценивать не только интегральный риск для всей территории, но и выполнять «точечно-площадные» оценки. Однако для их использования необходимо обладать достоверной информацией о достаточно большой совокупности характеристик, описывающих исследуемую территорию, например, о гравитационных, магнитных, тепловых, техногенных и других полях, являющихся пространственно распределёнными. Следует также иметь четкое представление о неоднородностях геологической среды, наличии разломов, трещиноватости, знать о состоянии различных строительных сооружений, инженерных сетей, коммуникаций и других объектов, информация о которых, как правило, представляется в виде экспертных оценок.

Поэтому актуальна разработка метода, позволяющего и качественно классифицировать объекты НГК, и выполнять их риск-анализ. Рассмотрим суть такого метода.

Разобьем некоторую исследуемую территорию на множество таксонов-участков  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ . Для определённости будем полагать, что  $n = 4096$ , а сама территория, содержащая НГК, представляется в виде матрицы размерностью  $64 \times 64$ .

Множество признаков, характеризующих риск-состояние каждого элемента  $T$ , представлено на Рисунке 10. При этом учтён комплекс природных, техногенных и антропогенных воздействий, проявляющихся в пределах каждого таксона.

Комплексные параметры определены следующим образом:

- $p_1$  – «природные геологические процессы» (ПП);
- $p_2$  – «особенности ландшафтно-геологического воздействия» (ОЛГВ);
- $p_3$  – «природные физические поля» (ПФП);
- $p_4$  – «техногенное воздействие» (ТВ);
- $p_5$  – «антропогенное воздействие» (АВ).

Параметр  $p_1$  отражает подмножество множества  $X$ , определенного выше, характеризуя:  $x_1$  – «землетрясения»;  $x_2$  – «вертикальные и горизонтальные движения на поверхности»;  $x_3$  – «криповые подвижки»;  $x_4$  – «карстово-деформационные процессы».

Параметр  $p_2$  включает подмножество, включающее показатели:  $x_5$  – «неоднородность геологической среды»;  $x_6$  – «неоднородность ландшафта»;  $x_8$  – «тектонические разломные нарушения»;  $x_{11}$  – «гидро- и гидрогеологические сети».

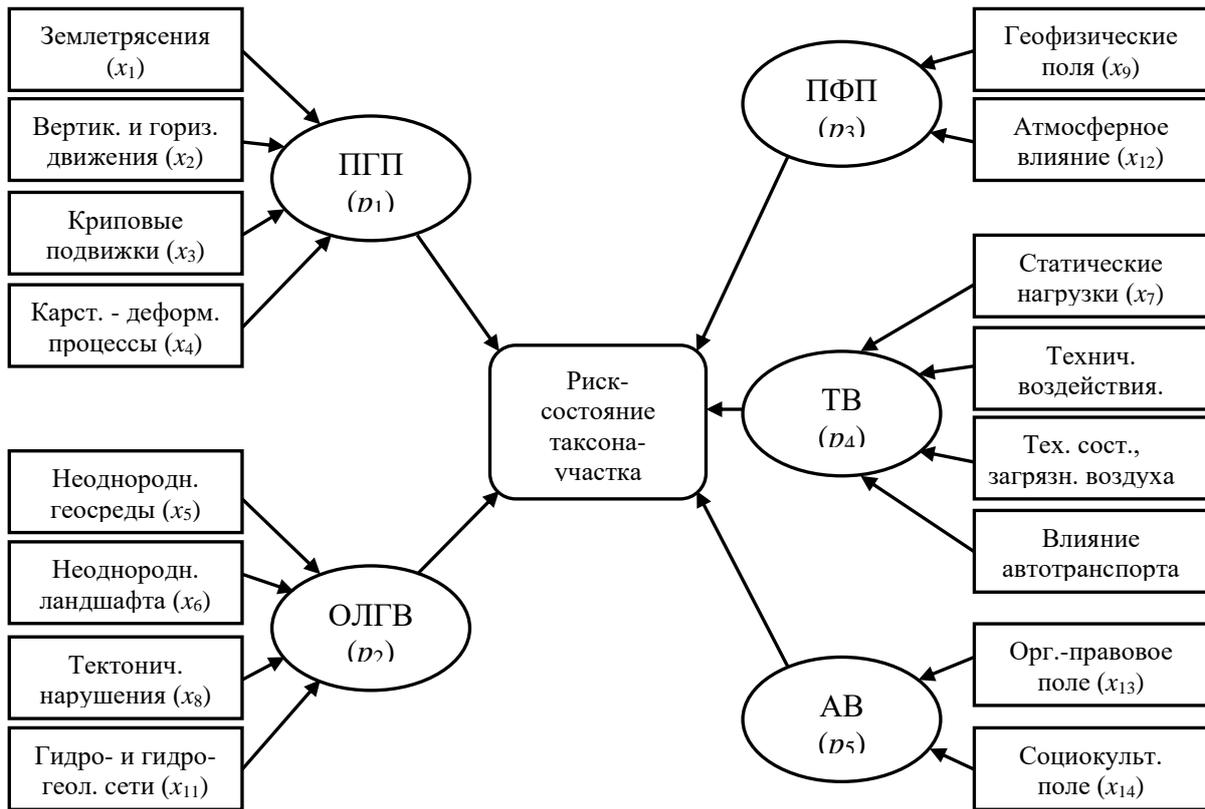


Рисунок 10 – Структура параметров, характеризующих риск-состояние таксонов  
Figure 10 – Structure of parameters characterizing the risk state of taxa

Параметр  $p_3$  – объединяет подмножество, характеризующих:  $x_9$  – «природные физические поля»;  $x_{12}$  – «атмосферное влияние».

Параметр  $p_4$  характеризует подмножество показателей, отражающих:  $x_7$  – «статические нагрузки»;  $x_{10}$  – «технические воздействия». Кроме того, дополнительно учитываются такие показатели, как техническое состояние объектов, загрязнение воздуха и влияние автомобильного транспорта.

Параметр  $p_5$  группирует показатели подмножества, относящиеся к полям гуманитарного характера:  $x_{13}$  – «организационно-правовому полю»;  $x_{14}$  – «социокультурному полю».

Каждый из таксонов-участков отнесён к одному из следующих классов:  $q_1$  – «безопасный таксон» (риск  $r < 0.2$ );  $q_2$  – «слабо опасный таксон» ( $0.2 \leq r < 0.3$ );  $q_3$  – «умеренно опасный таксон» ( $0.30 \leq r < 0.45$ );  $q_4$  – «опасный таксон» ( $0.45 \leq r < 0.60$ );  $q_5$  – «значительно опасный таксон» ( $0.6 \leq r < 0.8$ );  $q_6$  – «чрезвычайно опасный таксон» ( $0.8 \leq r \leq 0.9$ );  $q_7$  – «катастрофически опасный таксон» ( $r > 0.9$ ).

Итак, общая задача заключается в том, чтобы классифицировать таксоны-участки, на которые разбивается исследуемая территория, содержащая НГК, по уровням безопасности (или уровням риска) при учете воздействий на них, исходящих от природной, техногенной и антропогенной составляющих окружающей среды. Рассмотрим более подробно, как осуществляются процедуры оценки комплексных параметров  $p_i$  ( $i = \overline{1,5}$ ). В настоящей статье сделаем это на примере комплексного параметра  $p_4$  – «техногенное воздействие».

При кластеризации находящихся на территории объектов по техногенным воздействиям на их риск-состояние используем оценки статической нагрузки на приповерхностные грунты и технические воздействия, количественно определяемые через такие элементы множества  $Y$  (способы воздействия на объекты НГК), как:  $y_1$  – «механические волны (вибрации)»;  $y_8$  – «электромагнитные волны»;  $y_9$  – «акустические волны»;  $y_{10}$  – «температурное поле»;  $y_{11}$  – «инфразвуковое давление», а также – данные по техническому состоянию объектов, загрязнению воздуха и влиянию автотранспорта.

Указанные способы воздействия на объекты НГК необходимо учитывать во всем их многообразии. Например, вибрации порождаются не только природными явлениями (землетрясениями, провалами, оседаниями), но и техногенными процессами (работой различных технических устройств, оборудования предприятий, движением транспорта). Это в полной мере относится и к другим способам воздействия: электромагнитные волны; акустические волны; температурное поле; инфразвуковое давление.

При этом величины влияний техногенных воздействий объектов на риск-состояние таксона-участка будем условно обозначать как  $V_{(k)}^i$  (где  $i$  – порядковый номер влияния,  $k$  – порядковый номер объекта).

Определим признаки  $F_n^1$  (верхний индекс указывает на вид влияния, нижний – на номер признака):  $F_1^1$  – «статическая нагрузка»;  $F_2^1$  – «вибрация»;  $F_3^1$  – «электромагнитное излучение»;  $F_4^1$  – «акустический шум»;  $F_5^1$  – «тепловое поле»;  $F_6^1$  – «радиационное излучение»;  $F_7^1$  – «инфразвуковое давление»;  $F_8^1$  – «загрязнение воздуха».

Признаки  $F_n^1$  ( $n = \overline{1,8}$ ) определяются и обобщаются экспертами по данным наблюдений и приборных исследований, а затем оцениваются по балльной шкале (в нашем случае – по 100-балльной).

Опыт показал, что из-за совместного использования весьма разнородной информации для единообразия подхода к ее обработке, множество исследуемых объектов целесообразно ограничить четырьмя кластерами.

Для технических воздействий кластеры объектов определим следующим образом (верхний индекс указывает на порядковый номер вида влияния, нижний – на номер кластера):  $C_1^1$  – «слабое воздействие» ( $0.00 \div 0.25$ );  $C_2^1$  – «умеренное воздействие» ( $0.25 \div 0.50$ );  $C_3^1$  – «значительное воздействие» ( $0.50 \div 0.75$ );  $C_4^1$  – «сильное воздействие» ( $0.75 \div 1.00$ ).

В скобках в относительных единицах указаны диапазоны воздействий.

В результате для каждого объекта исследуемой территории получим функции принадлежности, характеризующие степень его принадлежности тому или иному кластеру по техногенному воздействию.

Далее рассмотрим классификацию объектов исследуемой территории по их техническому состоянию. Определим признаки технического состояния объектов  $F_n^2$ :  $F_1^2$  – «состояние фундамента»;  $F_2^2$  – «состояние стен»;  $F_3^2$  – «состояние межэтажных перекрытий»;  $F_4^2$  – «состояние крыши»;  $F_5^2$  – «состояние окон»;  $F_6^2$  – «состояние систем коммуникаций».

Признаки  $F_n^2$  ( $n = \overline{1,6}$ ) также определяются и обобщаются экспертами по данным наблюдений и приборных исследований, а затем оцениваются по 100-балльной шкале.

Кластеры определим следующим образом:  $C_1^2$  – «ветхие здания, не подлежащие восстановлению» ( $> 0.8$ );  $C_2^2$  – «здания, требующие капитального ремонта» ( $0.6 \div 0.8$ );  $C_3^2$  – «здания, требующие текущего ремонта» ( $0.2 \div 0.6$ );  $C_4^2$  – «здания, находящиеся в хорошем состоянии» ( $< 0.2$ ).

Как итог, получим функции принадлежности для объектов исследуемой территории, характеризующие их рисковое состояние в техническом отношении.

Наконец, определим признаки влияния автотранспорта  $V_{(k)}^3$  на риск-состояние таксона-участка:  $F_1^3$  – «вибрации»;  $F_2^3$  – «электромагнитное излучение»;  $F_3^3$  – «акустические шумы»;  $F_4^3$  – «тепловое поле»;  $F_5^3$  – «инфразвуковое давление»;  $F_6^3$  – «загрязнение воздуха».

Кластеры  $C_j^3$  определяются таким же образом, как и кластеры  $C_j^1$ .

Далее предположим, что значения влияний  $V_{(k)}^i$  (где  $i$  – порядковый номер влияния,  $k$  – порядковый номер объекта) объектов на риск-состояние отдельного таксона-участка в пределах каждого из кластеров  $C_j^i$  ( $i = \overline{1,3}; j = \overline{1,4}$ ) распределены по нормальному закону.

При этом в качестве математических ожиданий  $a_j^i$  выступают центры кластеров. Также будем полагать, что радиусы  $\varphi_j^i$  всех кластеров одинаковы.

Далее процедура выполняется в следующей последовательности.

Находим условные координаты  $\lambda_{(k)}^i$  каждого объекта ( $k$  – порядковый номер объекта) в кластерном пространстве:

$$\lambda_{(k)}^i = \sum_{j=1}^m u_{j(k)}^i \cdot a_j^i, \quad (3)$$

где  $u_{j(k)}^i$  – функции принадлежности для  $k$ -го объекта;  $m$  – количество кластеров (в нашем случае  $m = 4$ ).

Затем определяем минимальное отклонение  $\theta_{(k)}^i$  для  $k$ -го объекта в кластерном пространстве от центров кластеров:

$$\theta_{(k)}^i = \min D_{j(k)}^i; \quad D_{j(k)}^i = \left| \lambda_{(k)}^i - a_j^i \right|, \quad (4)$$

что позволяет определить, какому кластеру принадлежит рассматриваемый объект, и задать функции принадлежности  $\mu_{j(k)}^i$  для  $k$ -го объекта конкретному кластеру. по следующим правилам:

$$\begin{aligned} \text{Правило 1: «Если } D_{j(k)}^i < \varphi_j^i, \text{ то } \mu_{j(k)}^1 &= 1 \text{»;} \\ \text{Правило 2: «Если } D_{j(k)}^i = \varphi_j^i, \text{ то } \mu_{j(k)}^1 &= 0.5 \text{»;} \\ \text{Правило 3: «Если } D_{j(k)}^i > \varphi_j^i, \text{ то } \mu_{j(k)}^1 &= 0 \text{»}. \end{aligned} \quad (5)$$

Затем находим интегральный риск для каждого объекта по его техногенному влиянию на риск-состояние отдельного таксона-участка  $V_{(k)}^1$ :

$$V_{(k)}^1 = \sum_{j=1}^4 \lambda_{(k)}^j \mu_{j(k)}^i. \quad (6)$$

Подобным образом оцениваются интегральный риск от технического состояния  $V_{(k)}^2$  объекта и интегральный риск от влияния автотранспорта  $V_{(k)}^3$ .

Суммируя с определенными весовыми коэффициентами интегральные значения всех влияний на риск-состояние таксона-участка, оценим величину техногенного воздействия  $p_4$  для каждого  $k$ -го объекта в относительных единицах:

$$p_4^{(k)} = \sum_{i=1}^3 w_4^i \cdot V_{(k)}^i. \quad (7)$$

Расчёты для всех остальных параметров ( $p_1, p_2, p_3, p_5$ ), определённых выше, выполняются аналогичным образом. Затем выполняется интегральная оценка всей территории и проводится классификация её таксонов-участков по уровню их безопасности.

В итоге блочная риск-классификация территорий, содержащих НГК, основанная на нечёткой кластеризации объектов, дает возможность выполнять их количественный риск-анализ, что важно при разработке стратегии управления территориальными системами, а также при их освоении и преобразовании.

### Оптимизация размещения объектов нефтегазового комплекса с учётом геодинамических рисков

Рассмотрим модель и алгоритм оптимального размещения объектов нефтегазового комплекса с учётом геодинамических рисков, обусловленных воздействием комплекса факторов природного, техногенного и антропогенного происхождения, рассчитанных на основе метода блочной риск-классификации.

Предположим, что на территории НГК планируется размещение некоторого множества объектов  $O = \{o_h \mid h = \overline{1, v}\}$ , и для каждого из таксонов-участков, на которые разбита территория НГК, известна величина его риск-состояния  $S_i (i = \overline{1, n})$ .

Требуется:

1) определить, насколько целесообразно размещение объектов в пределах рассматриваемой территории с точки зрения их безопасности в отношении геодинамических рисков, обусловленных воздействием комплекса факторов природного, техногенного и антропогенного происхождения;

2) если объекты находятся на опасных участках, необходимо перепланировать их размещение с учетом минимизации геодинамических рисков.

Рассмотрим алгоритм решения этой задачи на примере конкретного объекта  $o_h \in O$ . Определим его положение на рассматриваемой территории как  $U(\rho; \eta)$ , где  $\rho$  – условная долгота;  $\eta$  – условная широта. Координаты конкретного объекта обозначим как  $(\rho_i; \eta_i)$ , если он «точечный». В ином случае его координаты задаются в виде матрицы координат.

Упростим задачу, полагая, что объект является «точечным», располагающимся только на одном участке-таксоне. При этом определено риск-состояние  $S_i$  таксона-участка, величина которого равна  $R_h$  для объекта  $o_h \in O$ . Если величина риска  $R_h \leq R_{reas}$  ( $R_{reas}$  – величина допустимого риска; reasonable – «разумный»), то объект

может оставаться на прежнем месте размещения, если  $R_h > R_{reas}$ , то объект  $o_h \in O$  перемещается в другую позицию на рассматриваемой территории. Учетм два обстоятельства:

- на новом месте расположения объекта с координатами  $(\hat{\rho}_i; \hat{\eta}_i)$  должна быть обеспечена его максимальная безопасность;
- перемещение необходимо производить таким образом, чтобы объект оказался бы на наименьшем расстоянии от предыдущего места расположения, т.е. должно быть выполнено условие минимизации пути перемещения:

$$\begin{cases} L_h = \sqrt{(\rho'_i - \rho_i)^2 + (\eta'_i - \eta_i)^2} \rightarrow \min, \\ R_h \leq R_{reas}, \end{cases} \quad (8)$$

где  $L_h$  – расстояние между первоначальным и последующим положениями объекта  $o_h$ .

Сам же алгоритм перемещения единичного «точечного» строительного объекта  $o_h \in O$  представляет собой последовательность следующих действий.

1. Выполняется оценка величин риск-состояний для каждого таксона-участка вдоль взаимно-перпендикулярных профилей, на которые разбивается исследуемая территория.

2. Осуществляется проверка уровня безопасности планируемого места расположения объекта с учетом выполнении второго условия (8). Если это условие выполняется, то объект остается на прежнем месте, если нет, то объект перемещается в другое место на территории.

3. Производится выбор безопасного с точки зрения риск-состояний таксона-участка для нового размещения объекта. Этап реализуется в виде следующей последовательности.

3.1. Из всех таксонов-участков выбирается такой таксон-участок  $T_c$ , что выполняются условия  $R_{T_c} \leq R_{reas}$  и  $R_{y_c} = \min \|R_{reas}\|$  (где  $\|R_{reas}\|$  – матрица таксонов-участков с допустимыми значениями риска).

3.2. Выполняется проверка занятости таксона-участка каким-либо другим объектом.

3.3. Также должна быть свободна от объектов и некоторая область вокруг выбранного таксона-участка. Если это условие не выполняется, то происходит возврат к п. 3.1 и выбирается следующий по возрастанию значения риска таксон-участок, и вновь последовательно выполняем п. 3.2 и п. 3.3 до тех пор, пока указанное условие не будет выполнено.

3.4. Формируется массив  $\|\tilde{T}_n\|$ , в который включаются таксоны-участки, в которые могут быть перемещены объекты.

4. Выполняется анализ массива  $\|\tilde{T}_n\|$  на предмет определения таксона-участка, находящегося на минимальном расстоянии от предыдущего места расположения объекта.

5. Формируется массив таксонов-участков  $\|\hat{T}_m\|$ , занятых перемещенными объектами, и массив их координат.

После исчерпания множества объектов работа алгоритма завершается, и данные записываются в выходной файл в виде координат новых мест размещения объектов, который затем графически представляется в виде карты-схемы, отражающей *модель оптимального размещения объектов на территории с НГК*. Последовательность и

правила практической реализации этой модели, назовем алгоритмом оптимального размещения объектов на территории НГК. Данный алгоритм реализован автором в виде программы «Optimize» на языке программирования Borland Delphi 7.0.

### Выводы

1. Новая модель и алгоритм размещения объектов нефтегазовых комплексов с учетом обеспечения необходимого уровня геодинамической безопасности обеспечили достоверные результаты на практических примерах. Их следует применять не только для разработки проектов планировочных решений, но и для оценки эффективности реализуемых решений при формировании стратегии управления развитием территорий, содержащих нефтегазовые комплексы.

2. Новый метод решения задач поддержки управления геодинамическими рисками на территориях, содержащих нефтегазовые комплексы, позволяет выполнить ранжирование объектов НГК по степени их уязвимости по отношению к проявлению геодинамических опасностей, а также провести ранжирование самих геодинамических процессов по степени их опасности в пределах оцениваемой территории. Подобный подход даёт возможность принимать более качественные управленческие решения по сравнению с традиционными подходами при обеспечении безопасности НГК.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова А.В., Бондарь К.М., Данилов Р.М., В.А. Минаев В.А., Павлова С.А., Попов А.Н., Фаддеев А.О. Моделирование геодинамических рисков в чрезвычайных ситуациях: монография; Под ред. К.М. Бондаря, В.А. Минаева, А.О. Фаддеева. Хабаровск: ДВЮИ МВД России. 2014;124.
2. Абрамова А.В. Математические модели оценки геодинамического риска на территории Армении. *Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал*. 2014;4(56). Доступно по: <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-4>.
3. Ананьин И.В., Фаддеев А.О., Сим Л.А. Тектонические напряжения в земной коре центральной части Восточно-Европейской платформы (по результатам математического моделирования и структурно-геоморфологическим данным). *Проблемы сейсмичности Восточно-Европейской платформы*. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. 2000;3-18.
4. Ананьин И.В., Фаддеев А.О. Численное моделирование напряженного состояния тектонических нарушений в земной коре Центральной части Восточно-Европейской платформы (на примере Московско-Рязано-Саратовского авлакогена). *Материалы Международной конференции «Геодинамика и геоэкология»*. Архангельск: Ин-т экологических проблем Севера УрО РАН. 1999;11-14.
5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Оценки геоэкологических рисков. Моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий. М.: Финансы и статистика, Изд. дом ИНФРА-М. 2009;370.
6. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Абрамова А.В., Павлова С.А. Комплексная математическая модель оценки сейсмических рисков. *Вестник РосНОУ. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2013;4;19-24.
7. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Бондарь К.М., Сычев М.П., Видов С.В., Кираковский В.В., Кузьменко Н.А., Попов А.Н. Математическое моделирование геодинамических рисков: оценки и перспективы; Под ред. В.А. Минаева, А.О. Фаддеева, К.М. Бондаря. Хабаровск: Издательство Дальневосточного юридического института МВД России. 2015;212.

8. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Кузьменко Н.А. Моделирование и оценка геодинамических рисков. М.: РТСофт – Космоскоп. 2017;256.
9. Минаев В.А., Н.Г. Топольский Н.Г., Фаддеев А.О., Бондарь К.М., Мокшанцев А.В. Геодинамические риски и строительство. Математические модели. М.: Академия ГПС МЧС России. 2017;208.
10. Минаев В.А., Н.Г. Топольский Н.Г., Фаддеев А.О., Бондарь К.М., Мокшанцев А.В. Геодинамические риски и строительство. Математические модели. М.: Академия ГПС МЧС России. 2017;208.
11. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Пылькин А.Н., Бондарь К.М., Кираковский В.В. Гибридная ANFIS-сеть как инструмент снижения рисков при разработке проектов застройки территории. *Материалы XXIII международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2014»*. М.: Академия ГПС МЧС РФ. 2014;116-121.
12. Рагозин А.Л. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных природных процессов. *Промышленное и гражданское строительство*. 1992;12;6-7.
13. Рагозин А.Л. Концепция допустимого риска и строительное освоение территорий развития опасных природных и техноприродных процессов. *Проект*. 1993;5-6;20-26.
14. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М. Математическое моделирование и мониторинг безопасности крупномасштабных геодинамических систем. *Материалы XX научно-технической конференции «Системы безопасности – СБ-2011»*. М.: Академия ГПС МЧС РФ. 2011;5-9.
15. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Геоэкологические риски и геоэкологическая территориальная безопасность: модели оценки. *Сборник научных трудов «Управление, вычислительная техника и информатика»*. М.: РосНОУ. 2008;3;59-66.
16. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Медленные катастрофы, здоровье и безопасность населения. *Материалы XXV научно-технической конференции «Системы безопасности – СБ-2006»*. М.: Академия ГПС МЧС РФ. 2006;15-21.
17. Фаддеев А.О., Данилов Р.М. Медленные катастрофы и чрезвычайные ситуации. *Труды Международной научной конференции «Образование, наука и экономика в вузах. Интеграция в международное образовательное пространство»*. Плоцк. 2010. 20-25 сентября. 2010;690-699.
18. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М. Природно-техногенные риски геодинамического характера: особенности управления. *Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал*. 2010;6(34);12 с. Доступно по: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-6.-040900050/0097>.
19. Оценка и управление природными рисками. Тематический том; Под ред. А.Л. Рагозина. М.: Издательская фирма «КРУК». 2002;248.
20. Фаддеев А.О. Геоэкологический аспект функционирования подразделений УИС и управления ими. Рязань: Академия права и управления Минюста России. 2003;190.
21. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика. 2004;320.
22. Choi T.-M., Kim S.Y. Fuzzy Types Clustering for Microarray Data. *Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2005;4;12-15.
23. Гласко М.П., Ранцман Е.Я. Географические аспекты блоковой структуры земной коры. *Изв. АН СССР. Сер. Географическая*. 1991;1;5-19.
24. Гласко М.П., Ранцман Е.Я. Морфоструктурные узлы – места активизации природных процессов. *Доклады Академии наук*. 1996;3(350);397-400.

## REFERENCES

1. Abramova A.V., Bondar' K.M., Danilov R.M., V.A. Minaev V.A., Pavlova S.A., Popov A.N., Faddeev A.O. Modelirovanie geodinamicheskikh riskov v chrezvychajnykh situatsiyah: monografiya; Pod red. K.M. Bondarya, V.A. Minaeva, A.O. Faddeeva. Habarovsk: DVYUI MVD Rossii. 2014;124.
2. Abramova A.V. Matematicheskie modeli ocenki geodinamicheskogo riska na territorii Armenii. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal*. 2014;4(56). Dostupno po: <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-4>.
3. Anan'in I.V., Faddeev A.O., Sim L.A. Tektonicheskie napryazheniya v zemnoj kore central'noj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy (po rezul'tatam matematicheskogo modelirovaniya i strukturno-geomorfologicheskim dannym). *Problemy sejsmichnosti Vostochno-Evropejskoj platformy*. M.: Izd-vo OIFZ RAN. 2000:3-18.
4. Anan'in I.V., Faddeev A.O. CHislennoe modelirovanie napryazhennogo sostoyaniya tektonicheskikh narushenij v zemnoj kore Central'noj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy (na primere Moskovsko-Ryazano-Saratovskogo avlakogena). *Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Geodinamika i geoekologiya»*. Arhangel'sk: *In-t ekologicheskikh problem Severa UrO RAN*. 1999;11-14.
5. Minaev V.A., Faddeev A.O. Ocenki geoekologicheskikh riskov. Modelirovanie bezopasnosti turistsko-rekreacionnykh territorij. M.: Finansy i statistika, Izd. dom INFRA-M. 2009;370.
6. Minaev V.A., Faddeev A.O., Abramova A.V., Pavlova S.A. Kompleksnaya matematicheskaya model' ocenki sejsmicheskikh riskov. *Vestnik RosNOU. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2013;4;19-24.
7. Minaev V.A., Faddeev A.O., Bondar' K.M., Sychev M.P., Vidov S.V., Kirakovskij V.V., Kuz'menko N.A., Popov A.N. Matematicheskoe modelirovanie geodinamicheskikh riskov: ocenki i perspektivy; Pod red. V.A. Minaeva, A.O. Faddeeva, K.M. Bondarya. Habarovsk: Izdatel'stvo Dal'nevostochnogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii. 2015;212.
8. Minaev V.A., Faddeev A.O., Kuz'menko N.A. Modelirovanie i ocenka geodinamicheskikh riskov. M.: RTSOFT – Kosmoskop. 2017;256.
9. Minaev V.A., N.G. Topol'skij N.G., Faddeev A.O., Bondar' K.M., Mokshancev A.V. Geodinamicheskie riski i stroitel'stvo. Matematicheskie modeli. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii. 2017;208.
10. Minaev V.A., N.G. Topol'skij N.G., Faddeev A.O., Bondar' K.M., Mokshancev A.V. Geodinamicheskie riski i stroitel'stvo. Matematicheskie modeli. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii. 2017;208.
11. Minaev V.A., Faddeev A.O., Pyl'kin A.N., Bondar' K.M., Kirakovskij V.V. Gibridnaya ANFIS-set' kak instrument snizheniya riskov pri razrabotke proektov zastrojki territorii. *Materialy XXIII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Sistemy bezopasnosti – 2014»*. M.: Akademiya GPS MCHS RF. 2014;116-121.
12. Ragozin A.L. Inzhenernaya zashchita territorij, zdaniy i sooruzhenij ot opasnykh prirodnykh processov. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 1992;12;6-7.
13. Ragozin A.L. Konceptiya dopustimogo riska i stroitel'noe osvoenie territorij razvitiya opasnykh prirodnykh i tekhnoprirodnykh processov. *Proekt*. 1993;5-6;20-26.
14. Minaev V.A., Faddeev A.O., Danilov R.M. Matematicheskoe modelirovanie i monitoring bezopasnosti krupnomasshtabnykh geodinamicheskikh sistem. *Materialy XX nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Sistemy bezopasnosti – SB-2011»*. M.: Akademiya GPS MCHS RF. 2011;5-9.
15. Minaev V.A., Faddeev A.O. Geoekologicheskije riski i geoekologicheskaya territorial'naya bezopasnost': modeli ocenki. *Sbornik nauchnykh trudov «Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika»*. M.: RosNOU. 2008;3;59-66.

16. Minaev V.A., Faddeev A.O. Medlennye» katastrofy, zdorov'e i bezopasnost' naseleniya. *Materialy XXV nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Sistemy bezopasnosti – SB-2006»*. M.: Akademiya GPS MCHS RF. 2006;15-21.
17. Faddeev A.O., Danilov R.M. Medlennye katastrofy i chrezvychajnye situacii. Trudy *Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Obrazovanie, nauka i ekonomika v vuzah. Integraciya v mezhdunarodnoe obrazovatel'noe prostranstvo»*. Plock. 2010. 20-25 sentyabrya. 2010;690-699.
18. Minaev V.A., Faddeev A.O., Danilov R.M. Prirodno-tekhnogennye riski geodinamicheskogo haraktera: osobennosti upravleniya. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti: Internet-zhurnal*. 2010;6(34);12. Dostupno po: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-6>. – 040900050/0097.
19. Ocenka i upravlenie prirodnyimi riskami. Tematicheskij tom; Pod red. A.L. Ragozina. M.: Izdatel'skaya firma «KRUK». 2002;248.
20. Faddeev A.O. Geoekologicheskij aspekt funkcionirovaniya podrazdelenij UIS i upravleniya imi. Ryazan': Akademiya prava i upravleniya Minyusta Rossii. 2003;190.
21. Yarushkina N.G. Osnovy teorii nechetkih i gibridnyh sistem: Uchebnoe posobie. M.: Finansy i statistika. 2004;320.
22. Choi T.-M., Kim S.Y. Fuzzy Types Clustering for Microarray Data. *Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2005;4;12-15.
23. Glasko M.P., Rancman E.YA. Geograficheskie aspekty blokovoj struktury zemnoj kory. *Izv. AN SSSR. Ser. Geograficheskaya*. 1991;1;5-19.
24. Glasko M.P., Rancman E.YA. Morfostrukturnye uzly – mesta aktivizacii prirodnyh processov. *Doklady Akademii nauk*. 1996;3(350);397-400.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Ахметшин Тагир Рустэмович, Tagir R. Akhmetshin**, lecturer, Ufa State преподаватель, Уфимский государственный Petroleum Technological University, Ufa, нефтяной технический университет, Уфа, Russian Federation. Российская Федерация.  
*e-mail: [atr93@mail.ru](mailto:atr93@mail.ru)*