



## Комплексный показатель для оценки санитарно-эпидемиологического благополучия как индикатор потенциальных рисков для здоровья населения

С.В. Клейн, А.А. Клячин, М.Р. Камалтдинов

ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

### Резюме

**Введение.** Традиционные подходы оценки санитарно-эпидемиологического состояния, основанные на дискретном анализе разнородных факторов среды обитания, в недостаточной мере учитывают комплексный характер их воздействия в условиях неопределенности данных, вариабельности и комбинированного влияния. Это закономерно создает системное ограничение, снижающее точность прогнозирования рисков для здоровья населения, эффективность и результативность профилактических мер санитарно-эпидемиологического характера. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования инструментов оценки санитарно-эпидемиологического благополучия в условиях динамических изменений экономических и социально-демографических факторов.

**Цель исследования:** разработка методики комплексной оценки потенциального риска здоровью населения на основе интеграции гетерогенных данных о качестве среды обитания, характеризующих санитарно-эпидемиологическое благополучие, с применением аппарата теории нечетких множеств.

**Материалы и методы.** Использованы методы системного и гигиенического анализа, математического моделирования (теория нечетких множеств), концепция оценки риска здоровью. Выполнен ретроспективный анализ данных официальной ведомственной статистики Роспотребнадзора: 65 критериальных показателей, характеризующих санитарно-эпидемиологическое состояние основных сред (атмосферный воздух, питьевая вода, почва, условия труда и др.) за 2014–2023 гг.

**Результаты.** Разработаны методические подходы к расчету комплексного показателя совокупного потенциального риска ( $R$ ) здоровью в результате нарушения санитарно-эпидемиологического благополучия, позволяющего классифицировать территории по пяти категориям: от пренебрежимо малого до очень высокого риска. Применение теории нечетких множеств обеспечило формализацию и учет неопределенности данных и вариабельности факторов, достоверность и репрезентативность оценки. Апробация методики на примере трех регионов (Тамбовская область ( $R = 0,34$ ), Красноярский край ( $R = 0,57$ ), Пермский край ( $R = 0,43$ )) подтвердила согласованность расчетных данных с фактическим уровнем загрязнения среды, что подтверждает надежность методики.

**Заключение.** Разработанная методология представляет собой новый этап развития традиционного гигиенического мониторинга, обеспечивая его трансформацию в прогнозную систему с возможностью адаптации к динамическим изменениям факторов среды обитания и превентивному управлению рисками.

**Ключевые слова:** санитарно-эпидемиологическое благополучие, гигиенический анализ, комплексный показатель, теория нечетких множеств, среда обитания, оценка риска здоровью, здоровье населения, классификация рисков.

**Для цитирования:** Клейн С.В., Клячин А.А., Камалтдинов М.Р. Комплексный показатель для оценки санитарно-эпидемиологического благополучия как индикатор потенциальных рисков для здоровья населения // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 12. С. 7–16. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16

## A Comprehensive Metric for Assessing Sanitary and Epidemiological Well-Being as an Indicator of Potential Human Health Risks

Svetlana V. Kleyn, Aleksei A. Klyachin, Marat R. Kamaltdinov

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,  
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

### Summary

**Introduction:** Conventional approaches to assessing the sanitary and epidemiological status based on discrete analysis of heterogeneous environmental factors fail to fully consider a complex nature of their impact given uncertainty of available data, variability, and combined exposures. This logically creates a systemic limitation that reduces the accuracy of predicting human health risks as well as effectiveness and efficiency of preventive measures. The relevance of the study is attributed to the necessity of improving instruments for assessing sanitary and epidemiological well-being under dynamic changes in economic and sociodemographic factors.

**Objective:** To develop a methodology for a comprehensive assessment of potential human health risks based on integrated heterogeneous environmental health data using the apparatus of fuzzy set theory.

**Materials and Methods:** Within this study, we performed systemic and hygienic analyses, employed mathematical modeling (the fuzzy set theory) and health risk assessment. We conducted a retrospective study of data retrieved from Rospotrebnadzor's official reports covering 65 benchmark indicators describing quality and safety of environmental media (ambient air, drinking water, and soils), occupational conditions, etc., for 2014–2023.

**Results:** We developed methodical approaches to calculating a comprehensive metric of total potential health risk ( $R$ ) from violations of sanitary and epidemiological well-being, which allow grouping of areas by five risk categories, from negligible to very high. Application of the fuzzy set theory made it possible to formalize and consider data uncertainty and variability of factors and ensured reliable and representative assessment. Methodology testing in three Russian regions (Tambov Region ( $R = 0.34$ ), Krasnoyarsk Krai ( $R = 0.57$ ), and Perm Krai ( $R = 0.43$ )) proved the consistency of estimates with observed levels of environmental pollution, thus confirming its validity.

**Conclusions:** The developed methodology is a new stage in updating the conventional hygienic monitoring ensuring its transformation into a prognostic system able to adapt to dynamic changes in environmental factors and preventive risk management.

**Keywords:** sanitary and epidemiological well-being, hygienic analysis, comprehensive metric, fuzzy set theory, environment, health risk assessment, human health, risk classification.

**Cite as:** Kleyn SV, Klyachin AA, Kamaltdinov MR. A comprehensive metric for assessing sanitary and epidemiological well-being as an indicator of potential human health risks. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(12):7–16. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16

**Введение.** Благополучие и здоровье населения напрямую зависят от санитарно-эпидемиологического состояния территории проживания, которое сталкивается с новыми вызовами: изменением климата, урбанизацией и глобальными, в том числе биологическими, угрозами. Решение этих задач – важное условие для обеспечения устойчивого развития страны [1]. Для защиты здоровья населения недостаточно только внедрение мер профилактики – необходим анализ их реализации, оценка их достаточности и того, насколько они эффективны на практике. Однако существующие традиционные подходы к оценке эффективности мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия зачастую сталкиваются с рядом ограничений, включая недостаточный учет комплексности влияния факторов среды обитания на здоровье, долгосрочные последствия, отсутствие унифицированных критериев их оценки [2–4].

В этой связи формирование научно-методической платформы, ориентированной на системный анализ гигиенических условий и факторов, влияющих на здоровье, приобретает первостепенное значение. Методология теории нечетких множеств находит широкое применение в отечественных гигиенических исследованиях, в частности, при комплексной оценке эффективности митигации вреда здоровью при планировании воздухоохраных мероприятий<sup>1</sup>; оценке воздействия объектов накопленного вреда на окружающую среду и здоровье граждан по критериям риска<sup>2</sup> (ОВОС); анализе мероприятий по повышению качества питьевой воды<sup>3</sup>, что подтверждает ее эффективность для работы с неопределенностью и разнородными данными [5–7].

Полноценные гигиенические исследования должны включать не только выявление загрязняющих веществ и определение их концентраций, но и оценку их воздействия на здоровье населения, с анализом патогенетических механизмов формирования нарушений здоровья. Перспективным направлением является реализация комплексных исследований, включающих углубленное изучение состояния объектов среды обитания, уровень осведомленности населения о рисках и мерах профилактики, а также мониторинг динамики дополнительных, ассоциированных с влиянием этих факторов, нарушений здоровья [8].

**Цель исследования:** разработка методики комплексной оценки потенциального риска здоровью населения на основе интеграции гетерогенных данных о качестве среды обитания, характеризующих санитарно-эпидемиологическое благополучие на популяционном уровне, с применением аппарата теории нечетких множеств.

Разрабатываемые методы оценки потенциального риска основываются на научно обоснованных принципах и подходах, учитывающих многофак-

торный характер влияния условий среды обитания на состояние здоровья человека. Конечной целью исследования является практическое применение разработанной методики для оценки комплексного влияния качества среды обитания на формирование совокупного потенциального риска здоровью населения, и последующим анализом полученных результатов для совершенствования риск-ориентированной модели системы санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) с возможностью стратификации территорий по уровню и структуре формируемого риска здоровью, обоснования адресных управленческих решений, направленных на снижение рисков здоровью населения и профилактики заболеваний, ассоциированных с неблагоприятным комплексным воздействием факторов среды обитания.

**Материалы и методы.** Комплексная нагрузка на здоровье человека, обусловленная факторами среды обитания, формируется в результате воздействия многокомпонентных показателей, характеризующих степень и интенсивность воздействия различных факторов среды обитания на организм. К основным факторам, формирующим комплексную нагрузку, относятся химическое, физическое и биологическое загрязнение воздушной среды, питьевой воды, почвенного покрова, а также продовольственных и непродовольственных товаров. Количественная оценка степени воздействия каждого из указанных факторов осуществлялась посредством анализа многопозиционных показателей, совокупность которых формирует интегральную характеристику комплексной нагрузки среды обитания на здоровье человека, позволяющую адекватно оценить потенциальные риски для здоровья населения.

В основу исследования положены данные федерального фонда государственной статистики; формы федерального статистического наблюдения (Форма № 18 Роспотребнадзора), включающие 65 критериальных показателей, характеризующих санитарно-эпидемиологическое благополучие. Отбор параметров осуществлялся с учетом принципа минимизации дублирования информации и охватывал следующие группы:

– 4 параметра состояния атмосферного воздуха (доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в городских поселениях (%); доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в сельских поселениях (%) и пр.);

– 16 параметров безопасности питьевого водоснабжения (доля проб воды в источниках централизованного водоснабжения; доля проб воды из распределительной сети, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям (%); аналогичные показатели по микробиологическим; паразитологическим параметрам; доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой в городских поселениях (%) и пр.);

<sup>1</sup> МУ 2.1.10.3675–20 Оценка достаточности и эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух для митигации рисков и вреда здоровью населения: Методические указания. М., 2020. 64 с.

<sup>2</sup> Методика осуществления оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 57 с.

<sup>3</sup> Комплексная оценка эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения: Методические рекомендации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 40 с.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16>  
Original Research Article

– 6 параметров санитарно-эпидемиологического состояния продовольственного сырья, пищевых продуктов и непродовольственных товаров (доля проб продуктов и продовольственного сырья, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим показателям (%); аналогичные показатели по микробиологическим; паразитологическим параметрам, содержанию антибиотиков и пр.);

– 3 параметра безопасности почвы населенных мест (доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (%); аналогичные показатели по микробиологическим; паразитологическим параметрам);

– 9 параметров условий труда (доля рабочих мест, не соответствующих санитарным нормам на промышленных предприятиях по шуму (%); аналогичные показатели по вибрации (%); ионизирующим излучениям (%), микроклимату (%), электромагнитным полям (%) и пр.);

– 14 параметров по физическим факторам среды обитания человека (доля уровня шума, не соответствующего гигиеническим нормативам на территории жилой застройки (%); доля уровня электромагнитных излучений, не соответствующих санитарным нормам на территории жилой застройки (%) и пр.);

– 13 параметров, описывающих иные факторы среды обитания человека (доля проб воздуха, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим показателям (перинатальные центры), доля проб воздуха, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по микробиологическим показателям хирургические (стационары (отделения)), доля персонала, выделяющего стафилококк (в родовспомогательных учреждениях) удельный вес общей площади, оборудованной канализацией, в общей площади всего жилищного фонда (%) и пр.

Использование «селекции» параметров обеспечило репрезентативность, объективность и комплексность санитарно-эпидемиологической характеристики территории, основанной на оценке различных аспектов среды обитания населения.

Данные о заболеваемости населения Российской Федерации, ассоциированной с факторами среды обитания, получены в рамках специального исследования по моделированию причинно-следственных связей, выполненного на основе изучения закономерностей формирования нарушений здоровья, обусловленных санитарно-эпидемиологической ситуацией в регионах РФ, в соответствии с методологией, изложенной в МР 5.1.0095–14<sup>4</sup>, за период 2010–2024 гг. (всего получено более 135 множественных регрессионных моделей). Использование расчетных данных о заболеваемости, ассоциированной с исследуемыми параметрами среды обитания, позволило увеличить точность и достоверность оценки совокупного потенциального риска для здоровья населения. Критерием тяжести нарушений здоровья служили

данные о средневзвешенной тяжести заболеваний, ассоциированных с изучаемыми факторами [9].

В ходе работы использованы санитарно-эпидемиологические, статистические методы исследования, методы гигиенического и системного анализа, математический анализ с использованием теории нечетких множеств, методология оценки риска здоровью населения.

**Результаты.** Комплексную оценку совокупного потенциального риска здоровью населения при комплексном и/или комбинированном воздействии факторов среды обитания проводили на основе гигиенического анализа с использованием алгоритмов теории нечетких множеств. Данный методологический подход обеспечил возможность формализации многокритериальной задачи оценки полиморфных негативных ответов со стороны критических органов и систем-мишеней, формирующихся при многокомпонентном негативном воздействии. Применение математического аппарата теории нечетких множеств позволило учесть неопределенности, связанные со стохастической вариабельностью и неполнотой исходных данных, гетерогенностью информационных массивов, а также субъективной компонентой экспертных оценок [10].

Для количественной оценки показателей среды обитания человека, формирующих санитарно-эпидемиологическое состояние территории, введены диапазоны значений риска с нечеткими границами. Каждому показателю присвоен индивидуальный диапазон с уникальными значениями границ риска, что обеспечивает дифференцированный подход к оценке. Фрагмент системы шкалирования параметров среды обитания с дифференциацией по уровням потенциального риска для здоровья приведен в таблице 1.

Для каждого фактора среды обитания, влияющего на санитарно-эпидемиологическое благополучие и потенциальный риск для здоровья населения, установлен дифференцированный атрибутивный диапазон значений, представляющий собой трапециевидное нечеткое число. Данное нечеткое число характеризуется функцией принадлежности, определяющей степень соответствия конкретного значения фактора определенному интервалу шкалы риска, что позволило классифицировать уровень опасности воздействия фактора для здоровья человека.

В процессе анализа фактические значения каждого показателя сопоставлялись с градуированными диапазонами значений, соответствующими различным уровням риска для здоровья согласно унифицированной шкале.

Функция принадлежности  $\mu(x)$  определялась как:

- $\mu(x) = 0$  для  $x < a_1$  и  $x > a_4$
- $\mu(x) = (x - a_1)/(a_2 - a_1)$  для  $a_1 \leq x < a_2$
- $\mu(x) = 1$  для  $a_2 \leq x \leq a_3$
- $\mu(x) = (x - a_4)/(a_3 - a_4)$  для  $a_3 < x \leq a_4$

где  $x$  – значение показателя,  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – «размытые» значения границ (таблица 1), при этом

<sup>4</sup> МР 5.1.0095–14 Расчет фактических и предотвращенных в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания. Москва: Роспотребнадзор, 2015. 59 с.

**Таблица 1. Выкопировка из классификационной матрицы градации показателей качества среды обитания по категориям риска для здоровья****Table 1. Extract from the matrix of gradation of environmental quality indicators by health risk categories**

Показатель шкалы / Scale indicator	Категории риска здоровью / Health risk categories				
	Пренебрежимо малый / Negligible	Низкий / Low	Средний / Moderate	Высокий / High	Очень высокий / Very high
Атмосферный воздух / Ambient air					
Доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в городских поселениях, % / Proportion of non-compliant ambient air samples in urban settlements, %	[0]	(0; 0,5]	(0,5; 1,2]	(1,2; 5,0]	(> 5,0)
Доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в сельских поселениях, % / Proportion of non-compliant ambient air samples in rural settlements, %					
Питьевая вода / Drinking water					
Доля проб воды в источниках централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям, % / Proportion of non-compliant water samples from centralized water supply sources (chemistry), %	[0]	(0; 5,0]	(5,0; 15,0]	(15,0; 30,0]	(> 30,0)
Доля водопроводов, не отвечающих санитарным нормам и правилам по санитарно-химическим показателям, % / Proportion of non-compliant water pipes (chemistry), %	[0]	(0; 5,0]	(5,0; 15,0]	(15,0; 23,0]	(> 23,0)
Доля проб воды из распределительной сети, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям, % / Proportion of non-compliant tap water samples (chemistry), %	[0]	(0; 8,0]	(8,0; 12,0]	(12,0; 20,0]	(> 20,0)
Доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой в городских поселениях, % / Proportion of the urban population provided with high-quality drinking water, %	(≤ 95)	[95,0; 90,0)	[90,0; 79,0)	[79,0; 67,0)	(> 67,0)
Показатели, характеризующие санитарно-эпидемиологическое состояние продовольственного сырья, продуктов питания и непродовольственных товаров / Indicators characterizing quality and safety of food raw materials, foodstuffs and non-food products					
Доля проб продуктов и продовольственного сырья, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям по санитарно-химическим показателям, % / Proportion of non-compliant food and food raw samples (chemistry), %	(< 0,1]	(0,1; 0,35]	(0,35; 0,6]	(0,6; 2,0]	(> 2,0)

$\alpha_1, \alpha_2$  определяют нижнюю границу диапазона, а  $\alpha_3, \alpha_4$  – верхнюю, в данной работе использовано размытие границы на  $\pm 20\%$ , что позволяет учитывать неопределенность в оценках риска и приводит к частичному пересечению значений соседних диапазонов шкалы.

В процессе анализа фактические значения каждого показателя сопоставлялись с градуированными диапазонами значений, соответствующими различным уровням риска для здоровья согласно унифицированной шкале. Это позволило точнее и реалистичнее оценить степень принадлежности значения показателя к определенной категории риска, учитывая возможные погрешности измерений и естественную вариабельность факторов среды обитания.

Определение доли показателя, относящегося к определенной категории потенциального риска, от общего количества параметров в группе выполнялось по формуле:

$$W_{ki} = G_i \times \mu_{ki}, \quad (2)$$

где  $W_{ki}$  – доля  $i$ -го показателя, относящегося к определенной,  $k$ -й категории потенциального риска, от общего количества показателей в группе;  $G_i$  – вес  $i$ -го параметра, участвующего в формировании совокупного негативного ответа в виде нарушения здоровья;  $\mu_{ki}$  – значение функции принадлежности  $i$ -го показателя качества объектов среды обитания, формирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие  $k$ -му шкалированному диапазону риска и его ранту.

Весовой коэффициент  $i$ -го параметра, участвующего в формировании совокупного негативного ответа в виде нарушения здоровья, определялся по формуле:

$$G_i = \frac{\sum_l (G_{il} \times S_{il})}{\sum_l S_{il}}, \quad (3)$$

где  $S_{il}$  – заболеваемость, ассоциированная с влиянием  $i$ -го фактора среды обитания по  $l$ -й нозологической группе;  $G_i$  – тяжесть заболеваний в соответствии с установленными коэффициентами.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16>  
Original Research Article

Расчет потенциального риска здоровью от каждого параметра в группе, относящегося к определенной категории риска, от общего количества параметров в группе осуществлялся по формуле:

$$R_i = \sum_k W_{ki} \times \bar{R}_k, \quad (4)$$

где  $R_i$  – величина потенциального риска здоровью от  $i$ -го параметра в группе;  $\bar{R}_k$  – вес категории потенциального риска (таблица 2).

Диапазон шкалы потенциального риска, соответствующий степеням опасности, и их среднее значения приведены в таблице 2.

Расчет величины риска для каждой группы параметров с учетом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа осуществлялся по формуле:

$$R_j = \sum_i (R_i \times H_i), \quad (5)$$

где  $R_j$  – величина потенциального риска здоровью от  $j$ -й группы параметров;  $R_i$  – величина потенциального риска здоровью от  $i$ -го параметра в группе;  $H_i$  – весовой вклад  $i$ -го параметра группы.

Для количественной оценки степени влияния показателей качества объектов среды обитания, систематизированных в рамках семи основных групп, на потенциальный риск нарушения здоровья населения использовалась система специализированных шкал. Данные шкалы позволили градировать уровень потенциального риска с учетом весовых коэффициентов  $H_i$ , которые определены методом экспертных оценок и отражают вклад отдельных показателей и соответствующей группы в целом (компонентные риски показателей и категории) в совокупный потенциальный риск здоровью населения.

Совокупный потенциальный риск здоровью ( $R$ ) представляет собой основной количественный параметр, применяемый в целях категорирования и ранжирования исследуемой территории. Данная величина рассчитывалась посредством суммирования произведений компонентных потенциальных рисков, идентифицированных в рамках каждой группы показателей, на соответствующие им весовые коэффициенты, отражающие вклад отдельных компонентов в потенциальную тяжесть нарушений здоровья, реализующихся на уровне критических органов и систем организма.

Совокупный потенциальный риск здоровью ( $R$ ) по всем группам параметров рассчитывают по формуле:

$$R = \sum_j R_j \times V_j, \quad (6)$$

где  $R_j$  – значение величины потенциального риска для  $j$ -й группы параметров с учетом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа;  $V_j$  – весовой вклад  $j$ -й группы в совокупный потенциальный риск.

Весовой вклад группы показателей ( $V$ ), характеризующих качество объектов среды обитания, формирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие населения, в совокупный потенциальный риск здоровью, определяется в соответствии с таблицей 3.

Оценку совокупного потенциального риска ( $R$ ) и категорирование территорий по всем группам параметров проводили на основании определения значения функции принадлежности величины риска ( $\mu(R)$ ) к диапазонам значений шкалы в таблице 4.

**Таблица 2. Диапазон шкалы категорий потенциального риска здоровью**

**Table 2. Range of the scale of potential health risk categories**

Показатель шкалы / Scale indicator	Категории потенциального риска здоровью / Potential health risk categories				
	Пренебрежимо малый / Negligible	Низкий / Low	Средний / Moderate	Высокий / High	Очень высокий / Very high
Диапазон / Range	[0; 0,25]	[0,15; 0,45]	[0,35; 0,65]	[0,55; 0,85]	[0,75; 1,0]
Среднее значение по диапазону ( $R_k$ ) / Range mean ( $R_k$ )	0,125	0,3	0,5	0,7	0,875

**Таблица 3. Весовой вклад показателей качества объектов среды обитания, формирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие**

**Table 3. Weight contribution of environmental quality indicators that determine sanitary and epidemiological well-being**

Показатели / Indicators	Весовой вклад, $V$ / Weight contribution, $V$
Атмосферный воздух / Ambient air	0,2
Питьевая вода / Drinking water	0,2
Санитарно-эпидемиологическое состояние продовольственного сырья, продуктов питания и непродовольственных товаров / Quality and safety of food raw materials, foodstuffs and non-food products	0,15
Санитарно-эпидемиологическая безопасность почвы населенных мест / Quality and safety of soil in populated areas	0,1
Физические факторы среды обитания / Physical environmental factors	0,1
Показатели условий труда / Occupational factors	0,15
Иные факторы, характеризующие среду обитания человека / Other factors characterizing the human environment	0,1

Территории присваивалась категория, соответствующая максимальному значению функции принадлежности: пренебрежимо малый, низкий, средний, высокий и очень высокий риск здоровью населения.

Расчет единого комплексного показателя ( $R$ ) позволяет провести скрининговую оценку территории и выявить основные источники опасности для здоровья населения. Результаты такого исследования дают четкую картину: определяют наиболее значимые факторы риска, позволяют категоризовать и ранжировать территории по уровню опасности и выделять приоритетные объекты для контроля, мониторинга планирования и реализации мероприятий по критериям воздействия на население.

Для верификации предложенного методологического подхода осуществлена его многоуровневая апробация на трех модельных территориях, репрезентативно отражающих различные аспекты санитарно-эпидемиологического состояния территорий: Тамбовская область (966,25 тыс. чел., Центральный ФО), Красноярский край (2 845,55 тыс. чел., Сибирский ФО) и Пермский край (2 508,35 тыс. чел., Приволжский ФО).

В ходе апробации разработанного методического подхода, предусматривающего системный анализ и расчет комплексного показателя совокупного потенциального риска для здоровья населения, обусловленного нарушениями санитарно-эпидемиологического благополучия, установлена существенная региональная дифференциация. Для Тамбовской области расчетная совокупного потенциального риска составила  $R = 0,34$ , что соответствует низкому уровню согласно принятой классификации и свидетельствует об эффективности существующей системы управления факторами среды обитания и низкой вероятности реализации медико-демографических последствий.

Наибольшее значение зафиксировано в Красноярском крае ( $R = 0,57$ ), что классифицируется как

высокий уровень риска и указывает на существенную вероятность негативного влияния на здоровье населения, требующего разработки и реализации целевых профилактических мероприятий, что и реализуется в настоящее время в рамках реализации национальных и федеральных проектов, региональных программ развития территории.

В Пермском крае установленный уровень ( $R = 0,43$ ) отражает среднюю категорию риска и предполагает значительную вероятность развития неблагоприятных эффектов для здоровья и обуславливает необходимость регулярного мониторинга приоритетных санитарно-эпидемиологических показателей, усиления превентивных мероприятий, а также реализации адресных мероприятий по минимизации риска. В частности, в Пермском крае структура вклада отдельных компонентов среды обитания в совокупный потенциальный риск здоровью отражает доминирование факторов питьевой воды (18,5 %) и условий труда (17,3 %). Значительный вклад продовольственного сырья, продуктов питания и непродовольственных товаров (15,8 %) подтверждает актуальность задач обеспечения продовольственной безопасности и требует внимания со стороны системы надзора за безопасностью как пищевой продукции, так и непродовольственных товаров. Относительно низкий вклад атмосферного воздуха (8,17 %), вероятно, обусловлен эффективностью действующих воздухоохраных мероприятий в промышленных центрах исследуемых регионов. Вклад физических факторов среды обитания в структуру совокупного потенциального риска здоровью составил 11,8 %, группы «иные факторы среды обитания» – 14,8%.

**Обсуждение.** Современные вызовы и тенденции к решению задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия на всех уровнях государственного управления требуют преобразования систем гигиенического мониторинга – от констатирующего наблюдения к комплексной оценке

**Таблица 4.** Шкала диапазонов значений, рангов и категорий совокупного потенциального риска здоровью при воздействии факторов среды обитания, формирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие

**Table 4.** Scale of ranges of values, ranks and categories of total potential health risks posed by exposure to environmental factors that determine sanitary and epidemiological well-being

Категория и ранг риска здоровью ( $R$ ) / Health risk category and rank		Функция принадлежности величины риска к диапазонам значений шкалы / Function of the risk value belonging to the ranges of the scale values		Диапазон значений риска здоровью / Range of health risk values
Пренебрежимо малый / Negligible	1	$\mu_1(R) = \begin{cases} 1, & \text{если / if } 0 \leq R \leq 0,15 \\ 10(0,25 - R), & 0,15 \leq R \leq 0,25 \end{cases}$		[0; 0,25]
Низкий / Low	2	$\mu_2(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,25 - R), & \text{если / if } 0,15 \leq R \leq 0,25 \\ 1, & 0,25 \leq R \leq 0,35 \\ 10(0,45 - R), & 0,35 \leq R \leq 0,45 \end{cases}$		[0,15; 0,45]
Средний / Moderate	3	$\mu_3(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,45 - R), & \text{если / if } 0,35 \leq R \leq 0,45 \\ 1, & 0,45 \leq R \leq 0,55 \\ 10(0,65 - R), & 0,55 \leq R \leq 0,65 \end{cases}$		[0,35; 0,65]
Высокий / High	4	$\mu_4(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,65 - R), & \text{если / if } 0,55 \leq R \leq 0,65 \\ 1, & 0,65 \leq R \leq 0,75 \\ 10(0,85 - R), & 0,75 \leq R \leq 0,85 \end{cases}$		[0,55; 0,85]
Очень высокий / Very high	5	$\mu_5(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,85 - R), & \text{если / if } 0,75 \leq R \leq 0,85 \\ 1, & 0,85 \leq R \leq 1 \end{cases}$		[0,75; 1,0]

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16>  
Original Research Article

воздействия факторов среды обитания на человека [1]. В этом аспекте особое место приобретают методы оценки рисков, позволяющие не только определять последствия воздействия факторов среды обитания, но и прогнозировать развитие различных нарушений здоровья [11].

Анализ современных релевантных научных исследований выявил наличие устойчивых закономерностей влияния факторов среды обитания на организм человека с учетом их иррегулярности, нелинейности, специфичности воздействия, характера изменений, а также индивидуальной чувствительности организма [12–16]. Особую значимость приобретают исследования, фокусирующиеся на популяционных эффектах комбинированного воздействия факторов, где синергетические взаимодействия могут потенцировать негативные последствия [17–22]. Дальнейшее развитие данного направления находит свое продолжение в активном изучении этого взаимодействия на популяционном уровне [17–22].

Актуальной междисциплинарной тенденцией является разработка интегральных индикаторов для оценки сложных мультифакториальных систем. Так, используя инновационные способы обработки и анализа данных, в настоящее время подобные методики, успешно апробированные в высокотехнологичных областях (от ракетно-космической отрасли [23] до системы финансовых услуг [24]), демонстрируют эффективность при решении задач оптимизации управления в условиях неопределенности. Внедрение подобных приемов в практику санитарно-эпидемиологической службы позволит реализовать принципы процессно-ориентированного управления; визуализировать многомерные данные в интерпретируемой форме; значительно ускорить процесс принятия управленческих решений; увеличит доступность и наглядность результатов деятельности службы; будет способствовать рациональному и адресному распределению ресурсов, что в конечном итоге отразится на снижении негативного влияния факторов среды обитания на состояние здоровья населения [25].

Полученные в ходе исследования результаты подтверждают исходную гипотезу что интегральная оценка параметров санитарно-эпидемиологического благополучия на основе многокритериального подхода позволяет выявлять территориальные различия в уровне совокупного потенциального риска для здоровья населения. Разработанная методика комплексной оценки детерминирующих санитарно-эпидемиологическое благополучие параметров с использованием теории нечетких множеств продемонстрировала согласованность с региональными эпидемиологическими данными. Так, например, присвоение Красноярскому краю категории высокого потенциального риска ( $R = 0,57$ ) объективно отражает интенсивность кумулятивной антропогенной нагрузки, характерной для этого промышленно развитого региона. Выявленная взаимосвязь между расчетным значением комплексного показателя и фактическим уровнем загрязнения окружающей среды свидетельствует

о чувствительности и специфичности предложенной методики.

Основное ограничение исследования связано с зависимостью точности расчета показателя совокупного потенциального риска от полноты и репрезентативности исходных данных. Несмотря на учет 65 показателей, некоторые редкие их комбинации или локальные (региональные) особенности могут быть недооценены, кроме того, метод требует адаптации к уровню экономического развития и демографическим условиям в отдельно взятом регионе. Однако универсальность алгоритма, подтвержденная апробацией в трех федеральных округах, позволяет экстраполировать его использование на другие территории при условии стандартизации и достаточности исходных данных.

Предложенная методология способствует трансформации традиционного гигиенического мониторинга в прогностическую систему, способную адаптироваться к динамичной переменчивости факторов среды обитания и антропогенным вызовам путем формализации неопределенностей, учета синергических эффектов с помощью инструментария нечетких множеств и создания предиктивной модели алгоритмического расчета комплексного показателя для оценки санитарно-эпидемиологического благополучия, который может служить основой для разработки сценарных прогнозов и превентивного планирования контрольно-надзорных мероприятий.

**Заключение.** В результате проведенного исследования разработан методологический подход к интегральной оценке совокупного потенциального риска здоровью населения, формируемого комплексным воздействием факторов среды обитания, характеризующих санитарно-эпидемиологическое благополучие территории. Разработанный алгоритм расчета комплексного показателя позволяет осуществлять скрининговый анализ санитарно-эпидемиологической ситуации, идентифицировать приоритетные факторы риска и научно обосновывать превентивные мероприятия.

Важным преимуществом методики является возможность сравнительного анализа территорий с верификацией зон повышенного риска, что создает научную основу совершенствования социально-гигиенического мониторинга и адресного планирования управленческих решений для задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Кроме того, базовым аспектом методологии выступает учет территориальной специфики и наблюдаемых медико-демографических трендов, обеспечивающих соответствие современным требованиям государственной политики в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия.

Результаты апробации подтверждают эффективность предложенных научных подходов для скрининговой оценки потенциальных рисков, их адаптивность к различным уровням административно-территориального деления Российской Федерации (федеральный, региональный, муниципальный) и соответствию современным требованиям риск-ориентированного надзора.

Перспективы развития методики связаны с ее совершенствованием по мере накопления данных и внедрения передовых аналитических подходов. Реализация предложенных решений в практике санитарно-эпидемиологического надзора позволит существенно повысить эффективность управления рисками для здоровья населения и оптимизировать процесс принятия управленческих решений в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Романов С.В., Диконская О.В. и др. Информационно-аналитическая поддержка управления риском для здоровья населения на основе реализации концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года // *Здоровье населения и среда обитания*. 2019. № 9. С. 4-12. doi: 10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12
2. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения // *Анализ риска здоровью*. 2022. № 3. С. 4-20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01
3. Макоева Ф.К. Гигиеническая оценка комплексного влияния экологических факторов на состояние здоровья населения // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2022. № 1. С. 5-10. doi: 10.47843/2074-9120\_2022\_1\_5
4. Кислицына В.В., Суржигов Д.В., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А. Динамика показателей риска для здоровья населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха промышленного центра // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103. № 4. С. 358-364. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-4-358-364
5. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Май И.В., Алексеев В.Б., Трусов П.В., Хрущева Е.В. и др. Комплексная оценка эффективности митигации вреда здоровью на основе теории нечетких множеств при планировании воздухоохраняющих мероприятий // *Анализ риска здоровью*. 2020. № 1. С. 25-37. doi: 10.21668/health.risk/2020.1.03
6. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Гуськов А.С., Колесникова Н.И., Максимова Е.В. Методические подходы и некоторые результаты оценки объектов накопленного вреда окружающей среды по критериям риска для здоровья населения // *Гигиена и санитария*. 2023. Т. 102. № 5. С. 523-531. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531
7. Богданова В.Д., Аленицкая М.В., Сахарова О.Б. Некоторые методические подходы к оценке риска здоровью, обусловленного качеством питьевой воды централизованных систем водоснабжения // *Здоровье населения и среда обитания*. 2023. Т. 31. № 1. С. 45-52. doi: 10.35627/10.35627/2219-5238/2023-31-1-45-52
8. Клейн С.В., Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Горяев Д.В. и др. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» // *Гигиена и санитария*. 2020. Т. 99. № 11. С. 1196-1202. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202
9. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В. и др. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография: в 2 т. / под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. 738 с.
10. Звягин Л.С. Теория нечетких множеств как инструмент современных прикладных решений // *Мягкие измерения и вычисления*. 2024. Т. 75. № 2-1. С. 31-45. doi: 10.36871/2618-9976.2024.02.004
11. Зайцева Н.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Землянова М.А., Пережогин А.Н., Савиных Д.Ф. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов // *Здоровье населения и среда обитания*. 2021. № 1. С. 4-15. doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15
12. Huang W, Xu H, Wu J, Ren M, Ke Y, Qiao J. Toward cleaner air and better health: Current state, challenges, and priorities. *Science*. 2024;385(6707):386-390. doi: 10.1126/science.adp7832
13. Smalling KL, Romanok KM, Bradley PM, et al. Mixed contaminant exposure in tapwater and the potential implications for human-health in disadvantaged communities in California. *Water Res*. 2024;267:122485. doi: 10.1016/j.watres.2024.122485
14. Носкова Т.В., Грибанова О.Г. Оценка влияния взвешенных веществ и формальдегида в атмосферном воздухе на здоровье населения // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103. № 6. С. 616-623. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-6-616-623
15. Максимов С.А., Шальнова С.А., Драпкина О.М. Обоснование и разработка региональных индексов, определяющих здоровье населения Российской Федерации в 2005-2022 гг. // *Профилактическая медицина*. 2025. Т. 28. № 2. С. 7-12. doi: 10.17116/profmed2025280217
16. Ильина Л.А., Шайхлисламова Э.Р., Бакиров А. Б., Каримова Л.К., Зайдуллин И. И., Маврина Л.Н. и др. Комплексный анализ социально-экономических и медико-демографических показателей отдельных регионов Приволжского федерального округа по данным социально-гигиенического мониторинга // *Медицина труда и экология человека*. 2025. № 2(42). С. 6-26. doi: 10.24412/2411-3794-2025-10201
17. Dhimal M, Neupane T, Lamichhane Dhimal M. Understanding linkages between environmental risk factors and noncommunicable diseases – A review. *FASEB Bioadv*. 2021;3(5):287-294. doi: 10.1096/fba.2020-00119
18. Wang M, Kim RY, Kohonen-Corish MRJ, Chen H, Donovan C, Oliver BG. Particulate matter air pollution as a cause of lung cancer: Epidemiological and experimental evidence. *Br J Cancer*. 2025;132(11):986-996. doi: 10.1038/s41416-025-02999-2
19. Захарова Е.Н., Леонтьева А.В., Ордынская М.Е. Социально-демографические аспекты управления качеством жизни населения // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2024. Т. 32. № S1. С. 601-607. doi: 10.32687/0869-866X-2024-32-s1-601-607
20. Шур П.З., Хасанова А.А., Цинкер М.Ю., Зайцева Н.В. Методические подходы к оценке риска здоровью населения в условиях сочетанного воздействия климатических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферы // *Анализ риска здоровью*. 2023. № 2. С. 58-68. doi: 10.21668/health.risk/2023.2.05
21. Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ //

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-12-7-16>  
Original Research Article

- Анализ риска здоровью. 2023. № 4. С. 33–41. doi: 10.21668/health.risk/2023.4.03
22. Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Современные вызовы и пути совершенствования оценки и управления рисками здоровью населения // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 23–29. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.03
  23. Кемайкин В.К., Кожухин И.В. Формирование барьера безопасности на космическом аппарате при угрозе воздействия космического мусора методами нечеткой логики // Программные продукты и системы. 2019. № 1. С. 124–129. doi: 10.15827/0236-235X.125.124-129
  24. Павлова С.А. Моделирование финансовой устойчивости предприятий с применением теорий нечеткой логики и нейронных сетей // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 2-2. С. 85–88. doi: 10.37882/2223-2966.2022.02.27
  25. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы и перспективы развития методологии анализа риска в условиях современных вызовов безопасности для здоровья населения Российской Федерации // Анализ риска здоровью. 2023. № 4. С. 4–18. doi: 10.21668/health.risk/2023.4.01
- ### REFERENCES
1. Popova AYU, Kuz'min SV, Gurchich VB, et al. Data-driven risk management for public health as supported by the experience of implementation for development concept of the social and hygienic monitoring framework in the Russian Federation up to 2030. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2019;(9(318)):4-12. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12
  2. Zaitseva NV, Onishchenko GG, May IV, Shur PZ. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):4-20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01.eng
  3. Makeeva FK. Hygienic assessment of complex impact of environmental factors on population health. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina*. 2022;(1(82)):5-10. (In Russ.) doi: 10.47843/2074-9120\_2022\_1\_5
  4. Kislitsyna VV, Surzhikov DV, Likontseva YuS, Shtaiger VA. Trend in indices of public health risk caused by air pollution in an industrial center. *Gigiena i Sanitariya*. 2024;103(4):358-364. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-4-358-364
  5. Zaitseva NV, Zemlyanova MA, May IV, et al. Efficiency of health risk mitigation: Complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. *Health Risk Analysis*. 2020;(1):25-37. doi: 10.21668/health.risk/2020.1.03.eng
  6. Zaitseva NV, May IV, Kleyn SV, Guskov AA, Kolesnikova NI, Maksimova EV. Methodological approaches and some results of the assessment of objects of accumulated environmental damage according to public health risk criteria. *Gigiena i Sanitariya*. 2023;102(5):523-531. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531
  7. Bogdanova VD, Alenitskaya MV, Sakharova OB. Some methodological approaches to assessing health risks related to potable water quality in centralized water supply systems. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(1):45-52. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-1-45-52
  8. Kleyn SV, Zaitseva NV, May IV, et al. Working out ambient air quality measuring programs for socio-hygienic monitoring: Practical experience of Federal project "Clean Air" activity. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(11):1196-1202. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202
  9. Onishchenko GG, Zaitseva NV, Popova AYU, et al. [Health Risk Analysis in the Strategy of State Socio-Economic Development: Monograph: in 2 vols.] Onishchenko GG, Zaitseva NV, eds. 2<sup>nd</sup> ed. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekh. un-ta; 2024. (In Russ.)
  10. Zvyagin LS. Fuzzy set theory as a tool for modern applied solutions. *Myagkie Izmereniya i Vychisleniya*. 2024;75(2-1):31-45. (In Russ.) doi: 10.36871/2618-9976.2024.02.004
  11. Zaitseva NV, Zhdanova-Zaplesvichko IG, Zemlyanova MA, Perezhogin AN, Savinykh DF. Experience in organizing and conducting epidemiological studies to detect and prove the causal relationship between ambient air quality and health disorders in the population of industrially contaminated sites. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;(1(334)):4-15. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-334-1-4-15
  12. Huang W, Xu H, Wu J, Ren M, Ke Y, Qiao J. Toward cleaner air and better health: Current state, challenges, and priorities. *Science*. 2024;385(6707):386-390. doi: 10.1126/science.adp7832
  13. Smalling KL, Romanok KM, Bradley PM, et al. Mixed contaminant exposure in tapwater and the potential implications for human-health in disadvantaged communities in California. *Water Res*. 2024;267:122485. doi: 10.1016/j.watres.2024.122485
  14. Noskova TV, Gribanova OG. Assessing the impact of particulate matter and formaldehyde in atmospheric air on public health. *Gigiena i Sanitariya*. 2024;103(6):616-623. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-6-616-623
  15. Maksimov SA, Shalnova SA, Drapkina OM. Justification and development of regional indices determining the Russian Federation population health in 2005–2022. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2025;28(2):7-12. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed2025280217
  16. Ilyina LA, Shaikhislamova ER, Bakirov AB, et al. Comprehensive analysis of socio-economic and medical-demographic indicators in selected regions of the Volga Federal District based on socio-hygienic monitoring data. *Meditsina Truda i Ekologiya Cheloveka*. 2025;(2(42)):6-26. (In Russ.) doi: 10.24412/2411-3794-2025-10201
  17. Dhimal M, Neupane T, Lamichhane Dhimal M. Understanding linkages between environmental risk factors and noncommunicable diseases – A review. *FASEB Bioadv*. 2021;3(5):287-294. doi: 10.1096/fba.2020-00119
  18. Wang M, Kim RY, Kohonen-Corish MRJ, Chen H, Donovan C, Oliver BG. Particulate matter air pollution as a cause of lung cancer: Epidemiological and experimental evidence. *Br J Cancer*. 2025;132(11):986-996. doi: 10.1038/s41416-025-02999-2
  19. Zakharova EN, Leontieva AV, Ordynskaya ME. Socio-demographic aspects of quality of life management. *Problemy Sotsial'noy Gigieny, Zdravookhraneniya i Istorii Meditsiny*. 2024;32(S1):601-607. (In Russ.) doi: 10.32687/0869-866X-2024-32-s1-601-607
  20. Shur PZ, Khasanova AA, Tsinker MYu, Zaitseva NV. Methodical approaches to assessing public health risks under combined exposure to climatic factors and chemical air pollution caused by them. *Health Risk Analysis*. 2023;(2):58-68. doi: 10.21668/health.risk/2023.2.05.eng
  21. Rakhmanin YuA, Dodina NS, Alekseeva AV. Modern methodological approaches to assessing public health risks due to chemicals exposure. *Health Risk Analysis*. 2023;(4):33-41. doi: 10.21668/health.risk/2023.4.03.eng
  22. Rakitskii VN, Kuz'min SV, Avaliani SL, Shashina TA, Dodina NS, Kislitsin VA. Contemporary challenges and ways to improve health risk assessment and management. *Health Risk Analysis*. 2020;(3):23-28. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.03.eng

23. Kemaykin VK, Kozhukhin IV. Formation of a safety barrier for a spacecraft under space debris impact using fuzzy logic methods. *Programmnye Produkty i Sistemy*. 2019;(1):124-129. (In Russ.) doi: 10.15827/0236-235X.125.124-129
24. Pavlova SA. Modeling of financial stability of enterprises using the theory of fuzzy logic and neural networks. *Sovremennaya Nauka: Aktual'nye Problemy*

*Teorii i Praktiki. Seriya: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki*. 2022;(2-2):85-88. (In Russ.) doi: 10.37882/2223-2966.2022.02.27

25. Onishchenko GG. Development of the risk analysis methodology given the current safety challenges for public health in the Russian Federation: Vital issues and prospects. *Health Risk Analysis*. 2023;(4):4-18. doi: 10.21668/health.risk/2023.4.01.eng

**Сведения об авторах:**

✉ **Клейн** Светлана Владиславовна – д.м.н., профессор РАН, заместитель директора по научной работе; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

**Клячин** Алексей Александрович – научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга; e-mail: klyachin@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4284-4415>.

**Камалтдинов** Марат Решидович – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления; e-mail: kmr@fcrisk.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>.

**Информация о вкладе авторов:** концепция и дизайн исследования: *Клейн С.В.*; анализ и интерпретация результатов: *Клейн С.В., Клячин А.А.*; подготовка рукописи: *Клейн С.В., Клячин А.А., Камалтдинов М.Р.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Соблюдение этических стандартов:** данное исследование не требует представления заключения по биомедицинской этике или иных документов.

**Финансирование:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 25.10.25 / Принята к публикации: 04.12.25 / Опубликовано: 22.12.25

**Author information:**

✉ Svetlana V. **Kleyn**, Dr. Sci. (Med.), RAS Professor, Deputy Director for Research; e-mail: kleyn@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>.

Aleksei A. **Klyachin**, Researcher, Department of Sanitary and Hygienic Analysis and Monitoring Systemic Methods; e-mail: klyachin@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4284-4415>.

Marat R. **Kamaltdinov**, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory; e-mail: kmr@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0969-9252>.

**Author contributions:** study conception and design: *Kleyn S.V.*; analysis and interpretation of the results: *Kleyn S.V., Klyachin A.A.*; draft manuscript preparation: *Kleyn S.V., Klyachin A.A., Kamaltdinov M.R.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Compliance with ethical standards:** Not applicable.

**Funding:** The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

**Conflict of interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: October 25, 2025 / Accepted: December 4, 2025 / Published: December 22, 2025