

**ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И ИСТОРИЯ МЕДИЦИНЫ/PUBLIC HEALTH AND HEALTHCARE ORGANIZATION, SOCIOLOGY AND HISTORY OF MEDICINE**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95> EDN: AVQVOD**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ РЕАГИРОВАНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Научная статья

Костылев А.Н.^{1,*}, Линченко С.Н.², Костылев К.А.³, Онбыш Т.Е.⁴, Костылева Е.А.⁵¹ ORCID : 0000-0003-2353-2467;² ORCID : 0000-0001-8345-0645;³ ORCID : 0009-0002-7079-139X;⁵ ORCID : 0009-0006-6734-4782;^{1, 2, 3, 4, 5} Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mdkostylev[at]yandex.ru)

Предложена: 20.05.2026; Принята: 11.06.2026; Опубликовано: 17.06.2026

Аннотация

В настоящей работе исследована возможность внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений и байесовских вероятностных сетей для координации мероприятий по устранению последствий чрезвычайных ситуаций, включая пандемию COVID-19.

Цель. Исследование заключается в интеграции рекомендательного алгоритма, реализованного на основе нейросетевых методов, в практическую деятельность по защите населения при угрозе или возникновении чрезвычайных ситуаций. Учтён опыт ликвидации техногенных катастроф на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-Дайичи», а также уроки противодействия распространению коронавирусной инфекции.

Материалы и методы. Построение модели прогнозирования временных зависимостей с применением GeNIe Academic, функционирующего на базе байесовских сетей. Проведён анализ существующих систем поддержки принятия решений (RODOS, NEWMS, ЭСПЛА-ПРО). Разработан диагностический алгоритм для оценки вероятностных исходов в различные интервалы времени на основании официальных статистических данных по динамике заболеваемости SARS-CoV-2, ОРВИ и гриппом в Краснодарском крае.

Результаты. Исследования демонстрируют универсальный вычислительный сценарий, адаптируемый к различным нейросетевым архитектурам. Формула Байеса обеспечивает вычисление вероятностей событий с учётом их статистической зависимости во временных интервалах, позволяя корректировать прогнозы по мере поступления новых сведений.

Закключение. Разработанный алгоритм подчёркивает научную новизну предложенного подхода: использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений не только для предсказания вариантов реагирования при ЧС, но и для оценки их последствий, включая обоснование методов экстренной защиты населения и распределения ресурсов по регионам. Особое внимание уделено необходимости заблаговременного оснащения амбулаторно-поликлинических и стационарных подразделений медицинским оборудованием, лекарственными средствами и квалифицированным персоналом в связи с возможным массовым поступлением пострадавших.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, нейросетевые технологии, байесовские сети, сценарии прогнозирования, пандемия COVID-19.

OPTIMISATION OF EMERGENCY RESPONSE STRATEGIES USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

Research article

Kostilev A.N.^{1,*}, Linchenko S.N.², Kostylev K.A.³, Onbish T.Y.⁴, Kostyleva E.A.⁵¹ ORCID : 0000-0003-2353-2467;² ORCID : 0000-0001-8345-0645;³ ORCID : 0009-0002-7079-139X;⁵ ORCID : 0009-0006-6734-4782;^{1, 2, 3, 4, 5} Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (mdkostylev[at]yandex.ru)

Suggested: 20.05.2026; Accepted: 11.06.2026; Published: 17.06.2026

Abstract

This work examines the potential for implementing intelligent decision-support systems and Bayesian probabilistic networks to coordinate measures aimed at mitigating the consequences of emergencies, including the COVID-19 pandemic.

Objective. The study aims to integrate a recommendation algorithm, based on neural network methods, into practical activities for the protection of the population in the event of a threat or the occurrence of emergencies. The experience of dealing with man-made disasters at the Chernobyl and 'Fukushima Daiichi' nuclear power plants has been taken into account, as well as lessons learned from efforts to combat the spread of coronavirus infection.

Materials and methods. A model for forecasting temporal dependencies was constructed using GeNIe Academic, a software package based on Bayesian networks. An analysis was conducted of existing decision support systems (RODOS, NEWMS, ESPLA-PRO). A diagnostic algorithm was developed to estimate probabilistic outcomes over various time intervals based on official statistical data on the incidence trends of SARS-CoV-2, ARVI and influenza in Krasnodar Krai.

Results. The research demonstrates a universal computational framework that can be adapted to various neural network architectures. Bayes' formula provides a method for calculating the probabilities of events whilst taking into account their statistical dependence across time intervals, thereby enabling forecasts to be adjusted as new information becomes available.

Conclusion. The developed algorithm highlights the scientific novelty of the suggested approach: the use of intelligent decision-support systems not only to predict response options in the event of an emergency, but also to evaluate their consequences, including the substantiation of methods for the emergency protection of the population and the allocation of resources across regions. Particular attention is paid to the need to equip outpatient clinics and hospital wards in advance with medical equipment, medicines and qualified staff in anticipation of a possible mass influx of casualties.

Keywords: emergency situations, neural network technologies, Bayesian networks, forecasting scenarios, COVID-19 pandemic.

Введение

Эксперты Совета по мониторингу глобальной готовности (GPMВ), действующего при Всемирной организации здравоохранения, охарактеризовали текущее положение человечества как «перед пропастью», о чём свидетельствует доклад «Мир на грани: приоритеты для устойчивого к пандемиям будущего». В документе акцентируется возрастающий риск глобальной эпидемии, причём возникновение инфекций чаще всего связано с зоонозными вирусами. Вероятность появления нового «вируса X» не исключается ввиду циркуляции значительных групп опасных патогенов. Пандемия COVID-19 продемонстрировала масштабные медицинские, социальные и экономические последствия, квалифицируемые как чрезвычайная ситуация (ЧС). Сложность определения экстренных мер защиты населения обусловлена необходимостью обработки больших объемов данных, оценки критических факторов распространения инфекции, выбора оптимальной стратегии реагирования, планирования ресурсного обеспечения по регионам, а также долгосрочного прогнозирования отдалённых осложнений.

Мировой опыт применения искусственного интеллекта (ИИ) включает системы поддержки принятия решений (СППР): европейскую RODOS, американскую NEWMS и российскую разработку ЭСПЛА-ПРО [1], [2], [3]. Тем не менее существующие системы недостаточно полно реализуют функции моделирования событий и долгосрочного планирования [4], [5]. Ликвидация последствий Чернобыльской катастрофы выявила отсутствие эффективных стратегических механизмов [6]. В Японии внедрение систем с усовершенствованными алгоритмами и байесовскими сетями позволило ускорить мобилизацию медицинских служб и сил гражданской обороны, упростить процесс принятия решений, проводить многоканальный анализ данных [7]. Пандемия COVID-19 обнажила системные проблемы, связанные с межрегиональным характером распространения инфекции и дефицитом ресурсов.

Принципиальное значение имеет возраст и половое различие пострадавших с сопутствующей патологией. Наличие гипертонической болезни, диабета, дислипидемии и избыточной массы тела являются факторами риска острой коронарной патологии на фоне стресса [8], [9]. По данным многоцентровых исследований РЕЗОНАНС и ЭССЕ-РФ-2, распространённость артериальной гипертензии в России достигает 44%, что обуславливает высокий риск сердечно-сосудистых заболеваний и смертности [10]. Таким образом, разработка алгоритмов диагностики и стратегической тактики с применением нейросетевых технологий открывает перспективы динамического реагирования и минимизации последствий в условиях ЧС.

Цель исследования. Программное обеспечение с использованием нейросетевых технологий позволит интегрировать рекомендательную систему (алгоритм) в практику защиты населения в ЧС, учитывая уроки по ликвидации последствий на примере техногенных аварий на атомном комплексе в Чернобыле и «Фукусима-Дайичи», а также пандемии COVID-19.

Материалы и методы

Построение модели прогнозирования временных рядов выполнено с применением GeNIe Academic на основе байесовских сетей. Проведён анализ систем поддержки принятия решений, включающих RODOS, NEWMS, ЭСПЛА-ПРО. Разработан диагностический алгоритм вероятностных событий в разные временные интервалы по данным Росстата о распространении SARS-CoV-2, ОРВИ и гриппа в Краснодарском крае.

Критерии включения: оценка модели основана на трех составляющих, относящихся к структуре модели: входные данные, выходные данные и валидация результатов группы людей (ретроспективная, проспективная, IT проверка программного обеспечения на соответствие заданным требованиям).

Критерии исключения: индивидуальная (персонализированная) диагностика и лечение больного.

Результаты и обсуждение

Предложен универсальный алгоритм прогнозирования сценариев реагирования при ЧС, допускающий адаптацию к различным нейросетевым архитектурам. Байесовская формула позволяет вычислять вероятности событий, находящихся в статистической зависимости, пересчитывая как имеющуюся информацию, так и вновь поступающую в процентах [11] (рис. 1).

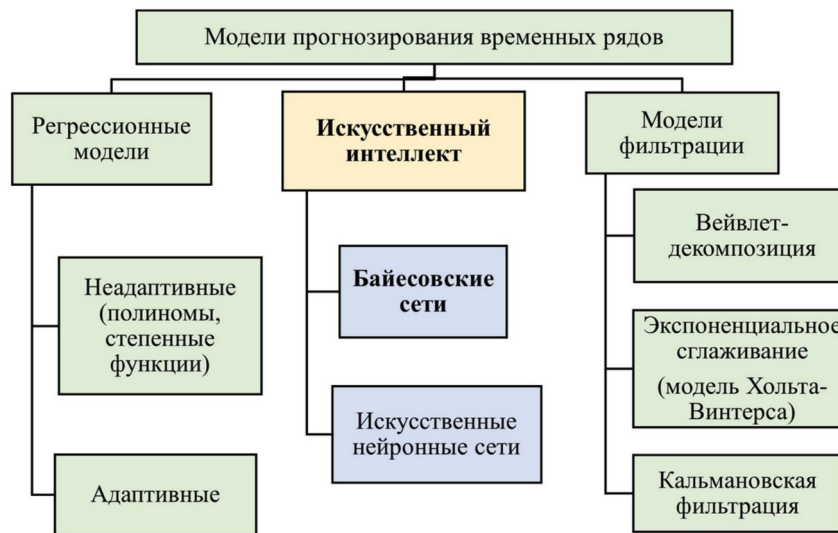


Рисунок 1 - Нейросетевые технологии, включающие байесовские сети
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95.1>

В расчётах вводится гипотеза (A), для которой появляется новое условие (B). Требуется определить вероятность A при условии B ($P(B|A) / P(B)$). Используются статистические данные в процентах (по гипотезе A и результату B), которые рассчитываются по формуле: $P(B) = P(A|B)$. Осуществляется соотнесение каждой случайной величины (число выявленных и госпитализированных больных COVID-19) с ненаблюдаемой случайной величиной (общее число инфицированных), задающей прогнозируемое распределение. Тем самым численно зависит от латентной переменной в конкретный момент, что придаёт марковское свойство; следовательно, определяется только значением (рис. 2).

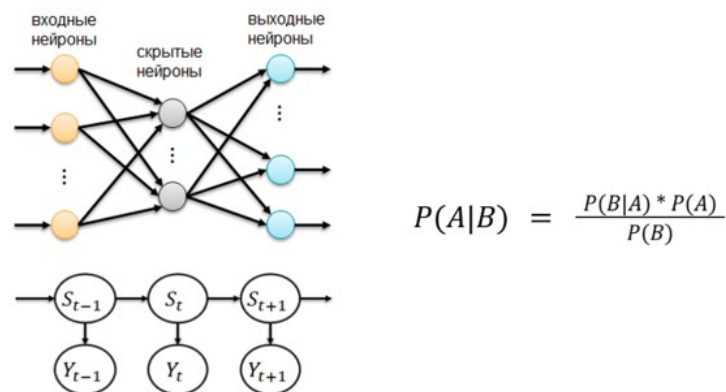


Рисунок 2 - Вероятностная модель нейросетевых технологий с интеграцией формулы Байеса
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95.2>

Манифестация симптомов коронавирусной инфекции, ОРВИ и гриппа верифицирована через процентную частоту повторяемости на основе лабораторно-инструментальных данных и анализа временных рядов по формуле Байеса. Алгоритм с применением ИИ позволяет проводить нозологическую идентификацию как при остром, так и при латентном течении, в том числе у геронтологической когорты. Дифференциальная диагностика даёт возможность динамического прогнозирования сценариев реагирования при COVID-19 в Краснодарском крае с использованием временных вероятностных величин по данным Росстата (рис. 3).

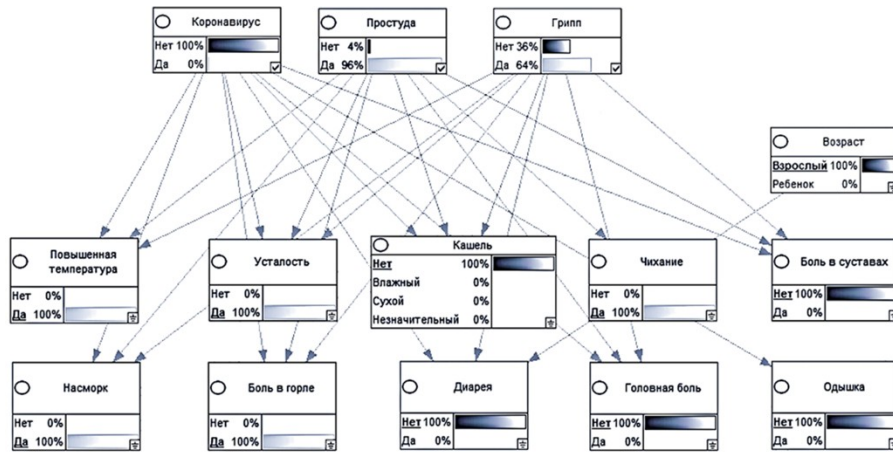


Рисунок 3 - Алгоритм временных вероятностных величин соотношения заболеваний коронавирусом, ОРВИ и гриппом с применением байесовских сетей.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95.3>

Стандартное программное обеспечение выявило сходные проблемы при ликвидации аварии на Фукусиме и во время пандемии: сложное взаимодействие разнородных факторов, запаздывание оповещения, трудности распределения людских (Фукусима) и медицинских (COVID-19) ресурсов (табл. 1).

Таблица 1 - Сходство проблем в организации ликвидации последствий аварии на Фукусиме и во время пандемии COVID-19

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95.4>

Общие проблемы	Фукусима	Пандемия COVID-19
Сложные взаимодействия различных факторов	Сложные взаимодействия между несколькими ядерными реакторами и восстановительными работами	Сложные взаимодействия между пандемическим статусом во многих регионах и ограничениями на поведение
Задержка реагирования	Задержка восстановительной деятельности	Задержка реагирования на пандемии
Трудности в распределении ограниченных ресурсов	Трудности в распределении ограниченных людских ресурсов между несколькими реакторными установками	Трудности в распределении ограниченных медицинских ресурсов по нескольким регионам страны

Приоритетное значение отводится руководителям здравоохранения. Концентрация ресурсов в одном регионе снижает их доступность в соседних, что требует систематического анализа распространения пандемии для динамического прогнозирования сценариев с использованием СППР, моделирующих распространение носителей SARS-CoV-2 и ответные действия медицинских служб (рис. 4).



Рисунок 4 - Алгоритм экспертной оценки ЧС с использованием системы поддержки принятия решений
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.168.95.5>

Разработка алгоритма (модели) связана с существующими стандартами диагностики и лечения на базе доказательной медицины. Конечные результаты процесса моделирования указывают на предположения и ограничения модели, учитывая, что полученные результаты касаются структуры причинно-следственных связей и значений параметров, которые будут сравниваться с имеющимися данными (результаты доказательной медицины, утвержденных методических рекомендаций).

Модель является логической математической основой, которая позволяет объединить качественные и количественные данные и соединить их с результатами, представляющими интерес для лиц, принимающих решения в области здравоохранения. Ценность модели заключается не только в результатах, но и в ее способности выявлять логические связи между входными и выходными параметрами.

Результаты моделирования в наших исследованиях не следует представлять в виде точечных оценок или в виде безусловных утверждений о действительности, что является ограничением моделирования. В нашей работе существуют и другие ограничения моделирования для выполнения задач СППР, которые могут быть связаны с недостаточной имеющейся информации на фоне отсутствия информационного хранилища, преобладанием количественных оценок целей над качественными, составлением аналитических отчетов в произвольной форме вследствие слабой формализованности алгоритмов решения, снижением возможности персонализированной диагностики и тактики лечения, учитывая математическое и имитационное моделирование.

Новизна подхода состоит в применении интеллектуальных систем поддержки принятия решений как для прогнозирования сценариев реагирования при ЧС, так и для оценки последствий с определением методов защиты населения и ресурсного обеспечения по регионам. Данный тезис продиктован, в первую очередь, массовым поступлением пострадавших в амбулаторно-поликлинические и стационарные сети, которые должны быть заблаговременно обеспечены как медицинским оборудованием и лекарственными средствами, так и квалифицированным медицинским персоналом.

Практическая значимость определяется возможностью оценки наиболее обоснованных аргументов реагирования в больших информационных потоках с использованием нейросетевых технологий на уровне как руководителей здравоохранения, так и практикующих врачей.

Заключение

Управление рисками чрезвычайных ситуаций на всех уровнях системы здравоохранения способствует совершенствованию единого информационного пространства для прогнозирования распространения SARS-CoV-2 и отслеживания динамики в различных регионах. Использование СППР на основе байесовских сетей обеспечивает системный анализ и оперативность реагирования, выработку обоснованных клинических и профилактических стратегий, а также дополнительное выделение кадровых и материальных ресурсов. Прогнозирование с применением ИИ динамического развития сценариев реагирования при ЧС представляет собой обширное поле для внедрения СППР на основе байесовских сетей — как на уровне отдельного специалиста (управление здравоохранением, поддержка врачебной диагностики), так и на уровне групп населения, городов, регионов и государства (расчёт заболеваемости и летальности в период пандемий, оценка потенциального числа пострадавших при различных сценариях).

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Sanderson M.A. Individual dynamic risk analysis (iDRA): A systematic review and network model development / M.A. Sanderson, N.A. Stanton, K.L. Plant // *Safety Science*. — 2020. — Vol. 128. — DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104769.
2. Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management // RODOS. — 2022. — URL: <http://www.rodos.fzk.de/> (accessed: 15.03.2026).
3. The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA) // The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA). — 2024. — URL: http://www.fema.gov/plan/prevent/fhm/frm_soft.shtm (accessed: 17.03.2026).
4. Кочкарлова Е.В. Искусственный интеллект в медицине и медицинском образовании / Е.В. Кочкарлова // *Материалы XV международной научно-методической конференции «Инновации в образовании»*. — 2025. — № 1. — С. 163–166.
5. Жданова Е.В. Опыт внедрения пилотного проекта «Искусственный интеллект» в работе участкового терапевта на территории Ямало-Ненецкого автономного округа: пилотное одномоментное скрининговое наблюдательное исследование / Е.В. Жданова, Е.В. Рубцова // *Кубанский научный медицинский вестник*. — 2022. — № 29 (4). — С. 14–31.
6. Воронов С.И. Российский национальный доклад. 30 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2016 / С.И. Воронов, А.В. Лутошкин, А.Ю. Попова. — Москва : МЧС России, 2016. — 203 с.
7. Cai Y. Multiunit nuclear power plant accident scenarios and improvements including those based upon interviews with TEPCO engineers concerning the 2011 Fukushima accidents / Y. Cai, M.W. Golay // *Nuclear Engineering and Design* 365. — 2020. — № 1. — DOI: 10.1016/j.nucengdes.2020.110707.
8. Malakar A.K. A review on coronary artery disease, its risk factors, and therapeutics / A.K. Malakar, D. Choudhury, B. Halder // *Journal of cellular physiology*. — 2019. — Vol. 234. — DOI: 10.1002/jcp.28350.
9. Moscucci F. Acute coronary syndrome in women: a new and specific approach is needed / F. Moscucci, F. Lavalle, C. Politi // *European journal of preventive cardiology*. — 2022. — № 29. — P. 305–308. — DOI: 10.1093/eurjpc/zwac143.
10. Averkov O.V. Non-ST-Segment Elevation Acute Coronary Syndrome. Clinical Guidelines 2024 / O.V. Averkov, G.K. Arutyunyan, D.V. Duplyakov // *Russian Journal of Cardiology*. — 2025. — № 30 (5). — DOI: 10.15829/1560-4071-2025-6319.
11. Khairullin R.Z. Application of the Bayesian Networks Method for Establishing Cause-and-Effect Relationships / R.Z. Khairullin // *Proceedings of TulSU. Technical Sciences*. — 2022. — № 3. — С. 214–218. — EDN WYOCRD.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sanderson M.A. Individual dynamic risk analysis (iDRA): A systematic review and network model development / M.A. Sanderson, N.A. Stanton, K.L. Plant // *Safety Science*. — 2020. — Vol. 128. — DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104769.
2. Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management // RODOS. — 2022. — URL: <http://www.rodos.fzk.de/> (accessed: 15.03.2026).
3. The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA) // The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA). — 2024. — URL: http://www.fema.gov/plan/prevent/fhm/frm_soft.shtm (accessed: 17.03.2026).
4. Kochkarova E.V. *Iskusstvennii intellekt v meditsine i meditsinskom obrazovanii* [Artificial Intelligence in Medicine and Medical Education] / E.V. Kochkarova // *Materiali XV mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii "Innovatsii v obrazovanii"* [Materials of the XV International Scientific and Methodological Conference "Innovations in Education"]. — 2025. — № 1. — P. 163–166. [in Russian]
5. Zhdanova Ye.V. *Opit vnedreniya pilotnogo proekta "Iskusstvennii intellekt" v rabote uchastkovogo terapevta na territorii Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga: pilotnoe odnomomentnoe skringingovoe observatsionnoe issledovanie* [Experience in implementing the Artificial Intelligence pilot project in the work of a district therapist in the Yamalo-Nenets Autonomous District: a pilot one-stage screening observational study] / Ye.V. Zhdanova, Ye.V. Rubtsova // *Kubanskii nauchnii meditsinskii vestnik* [Kuban Scientific Medical Bulletin]. — 2022. — № 29 (4). — P. 14–31. [in Russian]
6. Voronov S.I. *Rossiiskii natsionalnii doklad. 30 let chernobilskoi avarii. Itogi i perspektivi preodoleniya yee posledstviy v Rossii 1986–2016* [Russian National Report. 30 Years of the Chernobyl Accident. Results and Prospects of Overcoming Its Consequences in Russia, 1986–2016] / S.I. Voronov, A.V. Lutoshkin, A.Yu. Popova. — Moscow : MChS Rossii, 2016. — 203 p. [in Russian]
7. Cai Y. Multiunit nuclear power plant accident scenarios and improvements including those based upon interviews with TEPCO engineers concerning the 2011 Fukushima accidents / Y. Cai, M.W. Golay // *Nuclear Engineering and Design* 365. — 2020. — № 1. — DOI: 10.1016/j.nucengdes.2020.110707.



8. Malakar A.K. A review on coronary artery disease, its risk factors, and therapeutics / A.K. Malakar, D. Choudhury, B. Halder // *Journal of cellular physiology*. — 2019. — Vol. 234. — DOI: 10.1002/jcp.28350.
9. Moscucci F. Acute coronary syndrome in women: a new and specific approach is needed / F. Moscucci, F. Lavallo, C. Politi // *European journal of preventive cardiology*. — 2022. — № 29. — P. 305–308. — DOI: 10.1093/eurjpc/zwac143.
10. Averkov O.V. Non-ST-Segment Elevation Acute Coronary Syndrome. Clinical Guidelines 2024 / O.V. Averkov, G.K. Arutyunyan, D.V. Duplyakov // *Russian Journal of Cardiology*. — 2025. — № 30 (5). — DOI: 10.15829/1560-4071-2025-6319.
11. Khairullin R.Z. Application of the Bayesian Networks Method for Establishing Cause-and-Effect Relationships / R.Z. Khairullin // *Proceedings of TulsU. Technical Sciences*. — 2022. — № 3. — C. 214–218. — EDN WYOCRD.