



СЕМАНТИКА ПРОГНОЗА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ, ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ ЗДОРОВЬЮ

О.А. МЕЛЬНИКОВ, С.А. КРАЕВОЙ, В.Н. БОЛЕХАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, ул. Погодинская, д. 10, с. 1, Москва, 119121, Россия

Аннотация. Деятельность Федерального медико-биологического агентства направлена на максимально возможное снижение и ликвидацию радиационных, химических и биологических угроз жизни и здоровью граждан, связанных с функционированием критически важных отраслей российской промышленности. Прогнозирование является важнейшей составляющей мониторинга угроз, встроенного в систему принятия управленческих решений ФМБА России. **Цель исследования** – анализ и систематизация методов и алгоритмов прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью контингента ФМБА России. **Материалы и методы исследования.** Информационной основой исследования послужила база данных «Методы научного прогнозирования», а также различные виды источников научной литературы – научные труды (статьи, монографии, доклады на научно-практических конференциях), отражающие результаты научных исследований, а также знания и опыт ведущих российских и зарубежных ученых, экспертов и практиков в различных областях фундаментальных и прикладных наук. При проведении исследования использовались методы наблюдения, описания, сравнения, метод научной коммуникации, а также информационно-аналитические методы анализа, категорирования, классификации, структурирования, систематизации и обобщения данных. **Результаты и их обсуждение.** В статье обсуждаются семантика прогнозов и методы прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью контингента ФМБА России. Дана характеристика и определение угрозы здоровью. Проанализирована типология прогнозов и факторы, обеспечивающие реализацию прогностического процесса. Уточнены характерные для ФМБА России задачи и направления исследований прогнозирования. Осуществлено распределение методов прогнозирования по 4 признакам: по степени формализации, широте спектра применения, воздействию угроз на качество здоровья, степени использования искусственного интеллекта. Продемонстрированы примеры применения эвристических, логических, математических, монопрофильных, субституциональных, нейросетевых методов прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью. Обращено внимание на важность разработки и применения инновационных методов прогнозирования с использованием искусственного интеллекта (искусственных нейронных сетей, методов сочетанного воздействия) и комбинированной методики прогнозирования. **Заключение.** Понимание сущности и структуры процесса прогнозирования, глубокое систематизированное знание прогностических методов, классифицированных по различным признакам, является важной, неотъемлемой частью исследовательской работы, связанной с составлением прогнозов в любой научной области и сфере практической аналитической деятельности, включая прогнозирование радиационных, химических и биологических угроз здоровью контингента ФМБА России.

Ключевые слова: радиационные, химические и биологические угрозы здоровью; типология прогнозов; методы прогнозирования; классификация методов; искусственные нейронные сети.

SEMANTICS OF FORECASTING AND CLASSIFICATION OF METHODS FOR PREDICTING RADIATION, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL HEALTH THREATS

O.A. MELNIKOV, S.A. KRAEVOI, V.N. BOLEKHAN

Federal State Budgetary Institution "Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks" of the Federal Medical-Biological Agency, 10 Pogodinskaya St., Bldg. 1, Moscow, 119121, Russia

Abstract. The activities of the Federal Medical-Biological Agency are aimed at minimizing and eliminating radiation, chemical, and biological threats to the life and health of the citizens associated with the functioning of critical sectors of Russian industry. Forecasting is a crucial component of threat monitoring integrated into the decision-making system of the FMBA of Russia. **Purpose of the study** is to analyze and systematize the methods and algorithms for forecasting radiation, chemical, and biological threats to the health of the FMBA of Russia's contingent. **Materials and Methods.** The information basis for the study was the "Methods of Scientific Forecasting" database, as well as various types of scientific literature sources, including scientific works (such as

articles, monographs, reports at scientific-practical conferences) that reflect the results of scientific research and the knowledge and experience of leading Russian and foreign scientists, experts, and practitioners in various fields of fundamental and applied sciences. The research utilized methods of observation, description, comparison, scientific communication, as well as information-analytical methods of analysis, categorization, classification, structuring, systematization, and data generalization. **Results and Discussion.** The article discusses the semantics of forecasts and forecasting methods for radiation, chemical, and biological threats to the health of the FMBA of Russia's contingent. It provides a characterization and definition of health threats. The typology of forecasts and the factors ensuring the implementation of the forecasting process are analyzed. The typical tasks and research directions of forecasting for the FMBA of Russia are specified. Forecasting methods are categorized based on four criteria: degree of formalization, range of application, impact of threats on health quality, and degree of artificial intelligence use. Examples of applying heuristic, logical, mathematical, monoprofile, substitutional, and neural network methods for forecasting radiation, chemical, and biological threats to health are demonstrated. Attention is drawn to the importance of developing and applying innovative forecasting methods using artificial intelligence (represented by artificial neural networks, methods of combined influence) and combined forecasting techniques. **Conclusion.** Understanding the essence and structure of the forecasting process, along with deep, systematized knowledge of forecasting methods classified by various criteria, is an essential, integral part of research work related to making forecasts in any scientific field and area of practical analytical activity, including forecasting radiation, chemical, and biological threats to the health of the FMBA of Russia's contingent.

Keywords: radiation, chemical, and biological health threats; forecast typology; forecasting methods; method classification; artificial neural networks.

Введение. Сфера ответственности Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации включает охрану здоровья работников более 700 организаций с особо опасными условиями труда [10], рисками радиационного, химического и биологического поражения. Сегодня ФМБА осуществляет медико-санитарное обеспечение более 3 млн человек, проживающих в 20 *закрытых административно-территориальных образованиях* (ЗАО), на 45 отдельных территориях (в том числе в городах-спутниках, наукоградах), расположенных в 56 субъектах Российской Федерации [16].

В соответствии с государственной политикой Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций деятельность ФМБА России направлена на максимально возможное снижение и ликвидацию угроз жизни и здоровью граждан, работающих и проживающих на территориях, обслуживаемых ФМБА России (далее – контингент ФМБА). Деятельность указанного контингента прямо или косвенно связана с функционированием критически важных отраслей российской промышленности (энергетики, химической отрасли, биотехнологиями). Эти обстоятельства обуславливают значимость процессов мониторинга, выявления, классификации и прогнозирования *радиационных, химических и биологических угроз* (РХБУ) здоровью контингента, являющихся неотъемлемой составляющей обеспечения национальной безопасности России [11].

Прогнозирование позволяет своевременно выявлять и идентифицировать РХБУ, заблаговременно оценивать риски здоровью, планировать и управлять процессами упреждающего характера в ходе принятия решений. Методологическую основу составления прогнозов формируют совокупность разнообразных методов и моделей прогнозирования РХБ угроз.

Цель исследования – анализ и систематизация методов и алгоритмов прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью контингента ФМБА России.

Материалы и методы исследования. Информационной основой исследования послужила база данных «Методы научного прогнозирования» [14], созданная ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, а также различные виды источников научной литературы – научные труды (статьи, монографии, доклады на научно-практических конференциях), отражающие результаты научных исследований, а также знания и опыт ведущих российских и зарубежных ученых, экспертов и практиков в различных областях фундаментальных и прикладных наук [8; 13]. При проведении исследования использовались методы наблюдения, описания, сравнения, метод научной коммуникации, а также информационно-аналитические методы анализа, категорирования, классификации, структурирования и обобщения данных.

Результаты и их обсуждение. *Характеристика радиационных, химических и биологических угроз.* В соответствии с Федеральным законом от 30.12.2020 №492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации» [18] под биологической угрозой (опасностью) понимается наличие потенциально опасных биологических объектов, а также наличие внутренних (находящихся на территории Российской Федерации) и внешних (за пределами территории РФ) опасных биологических факторов, способных привести к возникновению и (или) распространению заболеваний с развитием эпидемий, эпизоотий, эпифитотий, массовых отравлений, превышению допустимого уровня биологического риска.

Понятие химической угрозы сформулировано в проекте Федерального закона «О химической безопасности в Российской Федерации», которая определяется как наличие опасных химических факто-

ров, способных привести к превышению допустимого уровня химического риска и (или) возникновению чрезвычайной ситуации. Под химическим риском понимается вероятность причинения вреда (с учетом его тяжести) здоровью человека и (или) окружающей среде в результате воздействия опасных химических факторов. В «Руководстве по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (Р 2.1.10.3968-23) [12] опасность – это совокупность свойств фактора среды обитания человека (или конкретной ситуации), определяющих способность вызывать неблагоприятные для здоровья эффекты при определенных условиях воздействия. Таким образом, под химическими угрозами понимается совокупность факторов, явлений или процессов, способных прямо или косвенно создать условия и реализовать воздействие химически-опасных веществ, ухудшающих состояние химической, экологической и медико-санитарной безопасности.

Радиационная безопасность населения формулируется в Федеральном законе от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [17] как состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков. Таким образом, радиационная угроза (опасность) определяется как совокупность условий и факторов, создающих предпосылки и возможность отрицательного воздействия радиационных патогенов любого уровня и происхождения на организм человека, в том числе в антропогенной, медико-социальной, технологической, сельскохозяйственной и коммунальной сферах.

Обобщая и конкретизируя указанные формулировки для ФМБА России, определим радиационные, химические и биологические угрозы здоровью как совокупность факторов, явлений и процессов, способных (в отдельности или в обстоятельствах сочетанного действия) прямо или косвенно создать условия для осуществления воздействия на здоровье контингента ФМБА России опасных доз ионизирующего излучения, химических и биологических агентов.

Факторы, обеспечивающие реализацию прогностического процесса. Прогноз в узком смысле представляет собой систему аргументированных представлений о будущем состоянии, свойствах и динамических характеристиках изучаемых РХБУ и их источников.

Проанализируем факторы, которые обеспечивают реализацию прогностического процесса.

Во-первых, это проведение аналитических исследований и получение результативных выводов по вопросам причинно-следственных связей, влияющих на изменение состояния РХБУ во времени или локации; осуществление анализа взаимозависимостей между прогнозируемым состоянием РХБУ и предшествующим их состоянием; выявление возможных закономерностей, сходств, различий, аналогий, формирование других логических заключений, определяющих возможное состояние угроз в прогнозируемый момент времени или период (аналитический фактор) [6].

Во-вторых, использование для прогнозирования полных и точных исходных данных (информационный фактор).

В-третьих, наличие у эксперта, составляющего прогноз, глубоких знаний в исследуемой области (когнитивный фактор).

В-четвертых, правильный выбор и корректное применение методов и моделей прогнозирования (методологический фактор).

В-пятых, применение надежной технологии обработки данных (технологический фактор).

В-шестых, способность эксперта составлять прогнозы с учетом многовариантности решений (ментальный фактор).

В-седьмых, учет вероятностного характера результатов прогнозирования (вероятностный фактор).

В-восьмых, контроль и проверка достоверности и точности результатов прогнозирования (верификационный фактор).

При полном учете всех перечисленных факторов формируется оптимальное исследовательское пространство, обеспечивающее высокое качество результатов прогнозирования РХБУ.

Задачи и направления исследований прогнозирования РХБУ. Для ФМБА России главной задачей прогнозирования РХБУ является обеспечение соответствующей прогнозной информацией лиц, принимающих решения (ЛПР). К ним относятся руководство и ответственные сотрудники:

- ФМБА и подразделений, участвующих в выработке управленческих решений, включая оперативное и стратегическое планирование и управление Агентством и подведомственными организациями;
- медицинских и санитарно-эпидемиологических организаций ФМБА России, осуществляющих медико-санитарное обеспечение, санитарно-эпидемиологический контроль (надзор), научное обеспечение деятельности Агентства.

Прогнозирование РХБУ включает следующие направления исследований:

- определение изменения состояния ранее выявленных источников РХБУ;
- выявление факта и процесса формирования реальных РХБУ (из числа потенциальных угроз);
- выявление фактов и тенденций формирования новых источников, видов и форм опасностей и

РХБУ;

– предсказание динамики развития РХБУ, описание тенденций и сценариев развития ситуаций.

Типология прогнозов. Одной из важнейших проблем прогнозирования, с точки зрения науки, является построение типологии прогнозов. Она может строиться в зависимости от различных критериев – целей, задач, объектов, алгоритмов и методов организации прогнозирования и т.д. К числу наиболее важных из них относятся:

- а) масштаб прогнозирования (в рамках объекта, региона, отрасли, страны, мира)
- б) время упреждения (оперативные, краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные, дальнесрочные);
- в) характер угрозы (внешняя–внутренняя; функциональность: радиационная, химическая, биологическая; умышленная–случайная; антропогенная–природная и т.п.);
- г) назначение прогноза (для обеспечения здоровья граждан, для функционирования ведомства, отрасли, для принятия управленческих решений).

Перечисленные типы прогнозов отличаются друг от друга также по своему содержанию и характеру оценок исследуемых процессов. Например, оперативные прогнозы в различных областях знаний и сферах деятельности, как правило, основаны на предположении о том, что в прогнозируемом периоде не произойдет существенных изменений в исследуемом объекте, как количественных, так и качественных. В них все же преобладают количественные оценки ожидаемых событий.

Краткосрочные прогнозы предполагают только количественные изменения. Оценка событий, соответственно, дается количественная. Средне- и долгосрочные прогнозы исходят как из количественных, так и качественных изменений в исследуемом объекте, причем в среднесрочных прогнозах количественные изменения доминируют над качественными. В среднесрочных прогнозах оценка дается количественно-качественная, в долгосрочных – качественно-количественная. Дальнесрочные прогнозы исходят только из качественных изменений, при этом преимущественно имеются ввиду общие закономерности развития исследуемого явления, объекта или фактора. В этом случае на первое место выходит качественная оценка.

Прогнозирование РХБУ здоровью контингента ФМБА России должно осуществляться с учетом множества факторов, влияющих на состояние угроз (опасностей) и динамику процесса их преобразования, включая социальные, политические, военные, экономические, демографические, научно-технические, экологические и др. аспекты [8]. Результаты этих исследований должны учитываться при формировании прогнозных суждений и последующих предложений для оптимального решения рассматриваемой проблемы.

Метод прогнозирования. Важнейшей составляющей в многоаспектном исследовательском процессе выработки прогнозов является правильный выбор и корректное применение метода прогнозирования. Это, в свою очередь, основывается на базовых знаниях исследователя о существующих методах прогнозирования [14], которые насчитывают в настоящее время около 400 различных видов.

В основе составления прогноза лежит анализ существующих или предполагаемых взаимосвязей, взаимозависимостей между последующим и предшествующим состоянием объекта исследования, поиск и установление возможных закономерностей, аналогий, сходств, дифференцированных различий. Взаимозависимости, на основе которых эксперт делает предположение о вероятном состоянии объекта исследования в прогнозируемый период, определяются на основе глубокого анализа параметров и характеристик объекта или его моделей и закладываются в основу метода прогнозирования при его разработке.

Термин «метод» (в переводе с греческого «путь», «способ действий, порядок исследования») означает способ достижения конкретных результатов в познании и практике. Метод обеспечивает реализацию поставленной цели посредством определенной последовательности действий. Что касается метода прогнозирования, то он представляет собой способ (алгоритм) определения будущего состояния объекта исследования с последующим описанием результатов прогноза – расчетов, научных предсказаний, трендов, будущих сценариев, тенденций и т. п.

Классификация методов прогнозирования РХБУ. Как уже отмечалось, важнейшим методологическим фактором, обеспечивающим реализацию процесса прогнозирования РХБУ, является правильный выбор и корректное применение методов прогнозирования. Из многочисленной совокупности общих и частных методов прогнозирования далеко не все можно применять к прогнозированию РХБУ угроз, а часть из них как раз, наоборот, имеют узконаправленный характер, применимый только в сфере радиационной, химической и биологической безопасности.

Выбор метода должен базироваться на научных знаниях, подходах, методах, моделях и алгоритмах, на изучении и классификации лучших и наиболее адекватных исследовательских методик [6].

Для выявления сходных признаков и свойств методов прогнозирования РХБУ, определения закономерных связей и видовых различий между ними была сделана попытка классификации, категорирования и структурирования существующих прогностических методов.

Классификация методов прогнозирования РХБУ проведена по следующим признакам: по степени

формализации, степени использования искусственного интеллекта, широте спектра применения, воздействию угроз на качество здоровья (табл.).

Таблица

Классификация методов прогнозирования РХБУ

Классификационный признак	Классы методов прогнозирования		
Степень формализации	Эвристические методы	Формализованные методы	-
Степень использования искусственного интеллекта	Классические методы	Инновационные методы искусственного интеллекта	-
Спектр применения	Моноприменимые (монопрофильные)	Многоприменимые (многопрофильные)	Субституциональные
Воздействие РХБУ на качество здоровья	Методы «реакции на одну угрозу»	Методы сочетанного воздействия	Методы прогноза формирования психологических угроз

По степени формализации, то есть по уровню отображения результатов мышления в точных понятиях или утверждениях, методы прогнозирования разделяются на эвристические и формализованные (см. табл.).

Эвристические методы представляют собой систему принципов и правил, которые задают наиболее вероятностные стратегии и тактики деятельности эксперта, стимулирующие его интуитивное мышление в процессе прогнозирования, генерирование новых идей и на этой основе существенно повышающие эффективность решения определенного вида творческих задач.

Теоретическое осмысление и обоснование значимости эвристических методов прогнозирования химических и биологических угроз получили свое практическое применение в том числе в ходе участия ФМБА России в разработке (2019 г.) и актуализации (2024 г.) «Основ государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [15], утверждаемых Президентом РФ, в которых представлены основные химические и биологические угрозы.

Разработка предложений к «Основам...» осуществлялась с использованием метода экспертных оценок (подгруппы индивидуальных методов), методов мозгового штурма и Дельфи (подгруппа коллективных методов) группы экспертных методов и информационно-аналитических методов, относящихся к классу эвристических методов. Прогнозирование угроз проводилось с учетом факторов развития геополитической, военно-политической, научно-технической, социально-экономической и медико-биологической обстановки в России и мире [7]. Изучались экспертные оценки состояния и динамики развития различных тенденций, связанных вопросами химической и биологической безопасности [9; 22].

Что касается формализованных методов, то они основаны на строгом соблюдении заранее заданных правил, алгоритмов. К ним относятся математические методы, методы искусственного интеллекта, методы моделирования и логические методы.

В теории и практике эпидемиологии активно применяются все перечисленные методы, включая логические, где формулируются гипотезы о факторах риска, обеспечивших выявленное конкретное распределение заболеваемости. К ним относятся:

1. метод дифференцирования (выявление достоверных различий в частоте заболеваний);
2. метод «сходства-различий» (заболеваемость в двух различных группах связывают с общим для этих групп фактором);
3. метод сопутствующих изменений (анализ фактора, частота и сила которого меняется параллельно с заболеваемостью);
4. метод согласования (сопоставление результатов различных типов исследований);
5. метод аналогий (применение ранее установленных эпидемиологических принципов и положений к сходным по природе и проявлениям ситуациям).

Одним из примеров применения формализованного логического метода является разработка российских исследователей, использовавших *прецедентный метод (Case-Based Reasoning)* для прогнозирования будущих значений основных параметров эпидемии коронавирусной инфекции в России. Данная технология позволяет строить краткосрочные прогнозы на основе аналогов динамики

процентного прироста в других странах. Оценивается продолжительность переходного процесса процентного прироста между заданными уровнями, учитывая информацию о динамике эпидемических процессов в странах цепочки распространения. Исследователями разработаны алгоритмы для построения траекторий прогнозируемых показателей эпидемии, реализующие предложенный подход.

По степени использования искусственного интеллекта методы прогнозирования РХБУ делятся на классические и инновационные (см. табл.).

К классическим методам относятся такие, в которых не используется искусственный интеллект. В них алгоритм и стратегию формирования результатов прогнозирования разработали люди. Эти методы не исключают компьютерную обработку данных с использованием автоматизированных информационных систем, однако технологию обработки данных задает человек.

К инновационным методам *искусственного интеллекта* (ИИ) относят методы, обрабатывающие информацию с использованием систем и технологий ИИ (самообучающиеся системы, технологии обработки больших данных (*Big Data*) на базе искусственных нейросетей и т. п.). Искусственный интеллект определяется как набор математических алгоритмов и вычислительных инструментов, позволяющих имитировать в общем виде ряд функциональных возможностей человеческого мозга в динамической цифровой среде [4]. Из класса инновационных методов ИИ выделим две группы, связанные с машинным обучением и имеющие самое непосредственное отношение к прогнозированию:

- методы обычного машинного обучения;
- методы глубокого машинного обучения с использованием искусственных нейронных сетей.

Методология машинного обучения в целом применяется для построения прогнозных моделей, которые группируют, классифицируют значимые признаки объектов исследования, определяют относительную релевантность признаков (их вес, значимость для решения конкретной поставленной задачи), выявляют связи и взаимозависимости между признаками, соотносят их с заложенными в модель вариантами решения аналогичных задач, характеризующихся определенными наборами «взвешенных» признаков и связей между ними. На этой основе модель прогнозирует результаты, выстраивая прогнозы решений или оценок по новой поставленной задаче с той или иной степенью точности.

Методы искусственного интеллекта хорошо подходят для интеграции и обработки больших объемов разнообразных данных современной токсикологии – науки, изучающей токсические свойства химических веществ и их воздействие на живые организмы и экосистемы. Именно, ИИ позволил ученым провести исследования в области прогностической токсикологии, достигнув сбалансированную точность в 87%, для тестов на аэробное биоразложение нелетучих и растворимых веществ, превосходя воспроизводимость тестов на животных [21]. Способность ИИ обрабатывать большие данные и предоставлять выходные данные с высокой степенью точности облегчает вероятностную оценку рисков.

С момента активного внедрения технологии нейросетей в практику прогнозирования радиационных угроз специалисты сравнивали характеристики процессов, а также показатели достоверности и точности результатов прогнозов с использованием классических и инновационных методов. Южнокорейские специалисты для прогностической оценки мощности дозы гамма-излучения провели сравнение двух статистических классических методов прогнозирования (с применением математических моделей экспоненциального скользящего среднего и сезонного экспоненциального сглаживания) и инновационных методов, использующих искусственные нейронные сети [20]. Исследования проводились на основе 7-летней выборки исходных данных. Модели искусственных нейронных сетей продемонстрировали наилучшие возможности прогнозирования, поскольку использовали способности к нелинейной аппроксимации. С другой стороны, модели скользящего среднего и сезонного экспоненциального сглаживания проще в разработке, анализе и интерпретации результатов, поэтому эти модели также активно применяются.

Группа иранских инженеров и ученых разработала модель, основанную на искусственном интеллекте, для прогнозирования годовой эффективной дозы облучения (*AED – annual effective dose*) работников, подвергающихся профессиональному воздействию ионизирующего излучения различного уровня [24]. Модель была разработана для перцептрона с использованием многослойной нейронной сети. В качестве исходных данных параметров прогнозирования исследовались результаты ежегодных анализов крови, собранных у сотрудников, работающих с радиацией, а также информация о характеристиках группы потенциальных факторов, способных повлиять на *AED*. Группа факторов, в свою очередь, формировалась с применением информационно-аналитического метода стратегии выбора признаков на основе фильтрации. В качестве факторов, влияющих на *AED*, были выбраны: уровень базового образования, количество часов специального курса радиационной защиты, количество рабочих часов в месяц, проведенных в помещениях с повышенным уровнем радиации, использование защитных средств и т.д. Нейросетевая модель обеспечила высокую точность прогнозирования значения *AED* и была рекомендована для дальнейшего использования, так как улучшала и облегчала процесс прогнозной оценки дозы. Следует отметить, для сравнения, что классическая регрессионная модель прогнозирования

не могла обеспечить такие же показатели.

В медико-биологической сфере глубокое обучение в связке с большими данными и нейросетями все более активно используется для диагностики заболеваний и разработки методик лечения различных болезней. На основе анализа большого объема данных о пациентах медицинских центров ФМБА России также могут быть получены прогнозы о том, чем конкретный пациент может заболеть в перспективе, к каким заболеваниям предрасположен его организм. Прогнозы, выдаваемые глубокообученными нейросетевыми моделями, позволят своевременно применять профилактические меры и разрабатывать целенаправленное лечение.

Глубокое обучение в многослойных нейросетях в сравнении с малослойным обучением приведет к большей эффективности в прогнозировании заболеваний. Важным аспектом в построении архитектуры глубокого обучения является интеграция разнородных типов данных. От разнородности и многообразия данных, их объема и качества зависит, например, четкость изображения, получаемого с помощью магнитно-резонансной томографии [5], что чрезвычайно важно не только при диагностике и лечении различных тяжелых заболеваний, но и при оценке и расчете прогнозируемых рисков в случае реализации угрозы.

Оптическая когерентная томография является еще одним примером, где методы глубокого обучения показывают хорошие результаты. Традиционная обработка изображений путем ручной разработки сверточных матриц в последние годы дополняется внедрением улучшенных тренировочных наборов для глубокого обучения, что существенно повышает точность в определении или предсказании, например, патологии сетчатки глаза. Другой пример – применение *сверточных нейросетей (CNN)* глубокого обучения для распознавания радужной оболочки глаза. Этот метод является более эффективным, чем использование привычных датчиков: эффективность *CNN* может достигать 99,4 % точности.

По широте спектра применения методов прогнозирования РХБУ они делятся на моноприменимые, многоприменимые и субституциональные (см. табл.).

Моноприменимые или монопрофильные методы относятся к теории и практике прогнозирования конкретного вида угроз (процесса, явления, объекта). Например, к прогнозированию развития эпидемического процесса. Специфической монопрофильной подгруппой формализованных методов, используемых только в области эпидемиологии, являются *SIR*-методы (*Susceptible-Infected-Removed*) и их модификации, относящиеся к группе компартментных методов математического моделирования заболеваний [1]. Они используются для предсказания динамики распространения вирусных инфекций.

Многоприменимые (многопрофильные) методы могут использоваться для прогнозирования каждого из нескольких видов радиационных, химических или биологических угроз (процессов или явлений). Например, статистические методы или методы компьютерного моделирования.

Субституциональные методы (лат. *substitutio* – замена, замещение, подстановка) используют специфические/монопрофильные алгоритмы, применимые ранее только в одной конкретной области, для моделирования и составления прогнозов в другой области.

Международная научная группа специалистов (Бельгия, Великобритания, Индия, Италия, США), занимающаяся разработкой методик, альтернативных экспериментам на животных, исследовала методы прогнозирования опасностей химических веществ в контексте биологических путей как вариантов исходов применения [25]. Цель этой работы состояла в том, чтобы определить, может ли проверка гипотез с использованием *вероятностного моделирования путей неблагоприятного исхода (AoPS)* обеспечить количественные прогнозы химической опасности. Путь неблагоприятного исхода представляет собой структурированное представление биологических событий, приводящих к неблагоприятным последствиям, и считается релевантным для оценки риска. Дополнительно для демонстрации количественного прогнозирования опасности на основе *AoPS* использовалось компьютерное моделирование.

Рассмотрим следующий классификационный признак – *воздействие угроз на качество здоровья*. По этому признаку методы подразделяются на классы: методы «реакции на одну угрозу», методы сочетанного воздействия, методы прогноза формирования психологических угроз (см. табл.).

Методы «реакции на одну угрозу» прогнозируют реакцию (прогнозное состояние) организма при изменении степени и характера воздействия угрозы одного вида. Например, при планировании увеличения количества и продолжительности пребывания работника особо опасного предприятия в радиационной зоне в случае ЧС с изменяющимися параметрами ионизирующего излучения можно заранее просчитать суммарную суточную или ежемесячную дозу, превышающую установленный предел («пороговое» значение), и оценить риски причинения вреда его жизни и здоровью.

Методы прогнозирования сочетанного воздействия учитывают возможную реакцию организма на сочетанное одновременное или последовательное воздействие нескольких угроз разного вида. Например, на химическое кожное поражение может дополнительно повлиять солнечный ожог или инфекционное заражение [19].

Методы прогнозирования формирования психологических угроз учитывают тот факт, что при активном информационно-психологическом воздействии на контингент (со стороны СМИ, социальных се-

тей, коллег, «друзей») и других информационных источников) даже в период, предшествующий реализации угрозы, у индивидуумов может развиваться неадекватная психологическая реакция на информацию (от небольших стрессов и паники, до психологических расстройств или психических заболеваний). Этот эффект неоднократно фиксировался специалистами–психологами и медиками в период пандемии COVID-19 [3].

Таким образом, исследователь должен распознать или спрогнозировать формирование угроз иного (чем РХБ) вида, то есть научно обосновать появление новых сущностей (сущностей другого порядка). При этом динамика негативного развития психологического состояния индивидуума может повлиять на состояние его нервной системы, которое, в свою очередь, может воздействовать на «слабые точки» состояния здоровья организма человека, увеличивая прогрессирующее развитие острых и хронических болезней [2].

Заключение. В теории и практике прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью, как было представлено, существует значительное число различных методов, а также подходов к их применению [22]. При разработке и применении новых алгоритмов прогнозирования особое внимание необходимо обратить на инновационные методы искусственного интеллекта с использованием искусственных нейронных сетей [23], а также методы прогнозирования сочетанного воздействия угроз.

Однако, подходы не должны ограничиваться использованием только одного единственного метода. В современной практике прогнозирования РХБУ должен применяться принцип комбинированного применения методов.

Для повышения достоверности и точности прогнозов используется схема сравнения результатов различных методов прогнозирования, подтверждающих и дополняющих друг друга либо демонстрирующих какие-либо расхождения в полученных прогнозных оценках.

Выбор оптимального метода и алгоритма прогнозирования является важной, неотъемлемой частью исследовательской работы, связанной с составлением прогнозов в любой области научного знания и сфере практической аналитической деятельности, включая прогнозирование РХБУ здоровью контингента ФМБА России. Изучение групп методов прогнозирования, разделенных и объединенных по различным классификационным признакам, обеспечивает аналитикам и экспертам возможность более эффективно производить выбор метода прогнозирования, определять порядок его применения, вид и форму отражения прогнозных результатов. Можно констатировать, что классификация методов прогнозирования способствует упорядочиванию и совершенствованию прогностической деятельности и процесса познания в целом.

Литература

1. Акимов В.А., Бедило М.В., Иванова Е.О. Математические модели эпидемий и пандемий как источников чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19, № 3 (73). С. 10-14.
2. Бронский В.И., Толканец С.В., Бронская К.В. Социально-стрессовая проблематика постковидного синдрома // Многопрофильная клиника XXI века. Инновации и передовой опыт: материалы XIII международной научной конференции / под ред. чл.-корр. РАН проф. Алексанина С.С. СПб.: ООО «СатисЪ», 2024. 277с. С. 35-37.
3. Кутырев В.В. «Санитарный щит» - Стратегия опережающего реагирования на биологические угрозы // Доклад на научно-практической конференции «Эпидемиология и инфекционные болезни: связь времен и поколений», 13 октября 2023 г., Москва.
4. Мельникова Е.В. Искусственный интеллект как природоподобная технология и его применение в информационном и библиотечном деле // Научно-техническая информация. Сер. 1. 2024. № 7. С. 14-19.
5. Мельников О.А. Анализ апертур радиочастотной кабины и их влияние на эффективность экранирования при МРТ-исследованиях // Техника и технологии: теория и практика. 2023. № 1 (7). С. 23-32. DOI 10.34286/2712-7419-2023-7-1-23-32.
6. Мельников О.А. Научное прогнозирование: понятие и классификация методов // Наукосфера. – 2023. №11 (2). С. 159–168.
7. Новые вызовы и угрозы безопасности РФ в условиях глобальных и локальных трансформаций : монография / кол. авторов ; под общ. ред. С.В. Устинкина, А.В. Никитина. Москва : РУСАЙНС, 2023 388 с.
8. 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.
9. Орлов С.А. Современные проблемы оценки готовности национальных систем здравоохранения

к биологическим угрозам (литературный обзор) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2024. №1. С. 108-117. DOI: 7. 10.25016/2541-7487-2024-0-1-108-117.

10. Постановление Правительства РФ от 11.04.2005 № 206 (ред. от 28.07.2022) «О Федеральном медико-биологическом агентстве». «Собрание законодательства РФ», 18.04.2005, № 16, ст. 1456. «Российская газета», № 84, 22.04.2005.

11. Прогнозируемые вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации и направления их нейтрализации / под общей ред. А.С. Коржевского. М. : Изд-во РГГУ, 2021 – 562 с. Стр. 497.

12. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания (утв. Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения от 5 сентября 2023 г., дата введения 01.01.2024). С. 5, 215. <https://base.garant.ru>.

13. Рахманин Ю.А. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ // Анализ риска здоровью. 2023. № 4. С. 33–41. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.03.

14. Свидетельство о регистрации базы данных № 2024621983. Методы научного прогнозирования / О.А. Мельников (RU), О.Н. Савостикова, С.М. Юдин, С.А. Краевой, В.Г. Слободян, В.Н. Болехан; правообладатель ФГБУ «ЦСП» ФМБА России. – № 2024621505; заявл. 18.04.2024; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 08.05.2024.

15. Указ Президента РФ от 11.03.2019 № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу». «Собрание законодательства РФ», 18.03.2019, № 11, ст. 1106. Официальный интернет-портал правовой информации <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 02.05.2024).

16. Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России): официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://fmba.gov.ru> (дата обращения: 29.04.2024).

17. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 18.03.2023) «О радиационной безопасности населения». «Собрание законодательства РФ», 15.01.1996, № 3, ст. 141. «Российская газета», № 9, 17.01.1996.

18. Федеральный закон от 30.12.2020 № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации». «Собрание законодательства РФ», 04.01.2021, № 1 (часть I), ст. 31. «Российская газета», № 1, 11.01.2021.

19. Шур П.З. 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, с. 62. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.05.

20. Hartung T. Artificial intelligence as the new frontier in chemical risk assessment. *Front. Artif. Intell.// Sec. Medicine and Public Health*. 2023, Vol. 6: 1269932 / DOI: 10.3389/frai.2023.1269932.

21. Jeong H.J., Hwang W.T. etc. Statistical approaches to forecast gamma dose rates by using measure // *Radiation Protection Dosimetry*. 2008. Vol-131. Is-3. P. 356-364.

22. Laboratory biosafety manual (fourth edition and associated monographs). ISBN 978-92-4-001131-1 (electronic version), ISBN 978-92-4-001132-8 (print version) World Health Organization, 2020.

23. Melnikova E.V. Deep Machine Learning in Optimization of Scientific-Research Activities // *Scientific and Technical Information Processing*. Springer. 2023. Vol. 50, № 1. Pp. 53-58. DOI 10.3103/S0147688223010082.

24. Mortazavi S. M. J., Aminiazad F. An artificial neural network-based model for predicting annual dose in healthcare workers occupationally exposed to different levels of ionizing radiation. // *Radiation Protection Dosimetry*, 2020. Volume 189, Issue 1, March P. 98–105.

25. Perkins E. J., Gayen, K., Shoemaker J. E. Chemical hazard prediction and hypothesis testing using quantitative adverse outcome pathways. *ALTEX // Alternatives to animal experimentation*. 2019. №36(1), p. 91-102. DOI:10.14573/altex.1808241.

References

1. Akimov VA, Bedilo MV, Ivanova EO. Matematicheskie modeli epidemij i pandemij kak istochnikov chrezvychajnyh situacij biologo-social'nogo haraktera [Mathematical models of epidemics and pandemics as sources of emergencies of a biological and social nature]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2022;19(73):10-14. Russian.

2. Bronskij VI, Tolkanec SV, Bronskaya KV. Social'no-stressovaya problematika postkovidnogo sindroma [socio-stress problems of postcovid syndrome] *Mnogoprofil'naya klinika XXI veka. Innovacii i peredovoj opyt: materialy XIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii / pod red. cht.-korr. RAN prof. Aleksanina S.S. SPb.: ООО «Satis»*, 2024. 277s. S. 35-37. Russian.

3. Kutuyev VV. «Sanitarnyj shchit» - Strategiya operezhayushchego reagirovaniya na biologicheskie ugrozy [Sanitary shield" - A strategy for proactive response to biological threats]. Doklad na nauchno-prakticheskoy konferencii «Epidemiologiya i infekcionnye bolezni: svyaz' vremen i pokolenij», 13 oktyabrya 2023 g., Moskva. Russian.
4. Mel'nikova EV. Iskusstvennyj intellekt kak prirodopodobnaya tekhnologiya i ego primenenie v informacionnom i bibliotechnom dele [Artificial intelligence as a nature-like technology and its application in information and library science]. Nauchno-tekhnicheskaya informaciya. Ser. 1. 2024;7:14-19. Russian.
5. Mel'nikov OA. Analiz apertur radiochastotnoj kabiny i ih vliyanie na effektivnost' ekranirovaniya pri MRT-issledovaniyah [Analysis of radio frequency cabin apertures and their effect on the screening efficiency in MRI studies]. Tekhnika i tekhnologii: teoriya i praktika. 2023;1 (7):23-32. DOI 10.34286/2712-7419-2023-7-1-23-32. Russian.
6. Mel'nikov OA. Nauchnoe prognozirovaniye: ponyatie i klassifikaciya metodov [Scientific forecasting: the concept and classification of methods]. Naukosfera. – 2023;11(2):159–168. Russian.
7. Novye vyzovy i ugrozy bezopasnosti RF v usloviyah global'nyh i lokal'nyh transformacij : monografiya [New challenges and threats to the security of the Russian Federation in the context of global and local transformations] / kol. avtorov ; pod obshch. red. S.V. Ustinkina, A.V. Nikitina. Moskva : RUSAJNS, 2023 388 s. Russian.
8. Onishchenko GG. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya metodologii analiza riska v usloviyah sovremennyh vyzovov bezopasnosti dlya zdorov'ya naseleniya Rossijskoj Federacii [Actual problems and prospects for the development of risk analysis methodology in the context of modern safety challenges for the health of the population of the Russian Federation]. Analiz riska zdorov'yu. 2023;4:4-18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01. Russian.
9. Orlov SA. Sovremennye problemy ocenki gotovnosti nacional'nyh sistem zdavoohraneniya k biologicheskim ugrozam (literaturnyj obzor) [Modern problems of assessing the readiness of national health systems to biological threats (literature review)]. Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvyčajnyh situacijah. 2024;1:108-117. DOI: 7. 10.25016/2541-7487-2024-0-1-108-117. Russian.
10. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.04.2005 № 206 (red. ot 28.07.2022) «O Federal'nom mediko-biologicheskom agentstve» [Decree of the Government of the Russian Federation]. «Sobranie zakonodatel'stva RF», 18.04.2005, № 16, st. 1456. «Rossijskaya gazeta», № 84, 22.04.2005. Russian.
11. Prognozirovaniye vyzovov i ugrozy nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii i na-pravleniya ih nejtralizacii [Projected challenges and threats to the national security of the Russian Federation and directions for their neutralization] / pod obshchej red. A.S. Korzhevskogo. M. : Izd-vo RGGU, 2021 – 562 s. Str. 497. Russian.
12. R 2.1.10.3968-23. Rukovodstvo po ocenke riska zdorov'yu naseleniya pri vozdejstvii himicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchih sredu obitaniya [Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment](utv. Federal'noj sluzhboj po nadzoru v sfere zdavoohraneniya ot 5 sentyabrya 2023 g., data vvedeniya 01.01.2024). S. 5, 215. <https://base.garant.ru>. Russian.
13. Rahmanin YuA. Sovremennye metodicheskie podhody k ocenke riska zdorov'yu naseleniya ot vozdejstviya himicheskikh veshchestv [Modern methodological approaches to assessing the risk to public health from exposure to chemicals]. Analiz riska zdorov'yu. 2023;4:33–41. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.03. Russian.
14. Svidetel'stvo o registracii bazy [Database Registration]dannyh № 2024621983. Metody nauchnogo prognozirovaniya / O.A. Mel'nikov (RU), O.N. Savostikova, S.M. Yudin, S.A. Kraevoj, V.G. Slobodyan, V.N. Bolekhan; pravoobladatel' FGBU «CSP» FMBA Rossii. – № 2024621505; zayavl. 18.04.2024; data gos. registracii v Reestre baz dannyh 08.05.2024. Russian.
15. Ukaz Prezidenta RF ot 11.03.2019 № 97 [Decree of the President of the Russian Federation dated]«Ob Osnovah gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti obespecheniya himicheskij i biologicheskij bezopasnosti na period do 2025 goda i dal'nejshuju perspektivu». «Sobranie zakonodatel'stva RF», 18.03.2019, № 11, st. 1106. Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii <http://www.pravo.gov.ru> (data obrashcheniya: 02.05.2024). Russian.
16. Federal'noe mediko-biologicheskoe agentstvo [Federal Medical and Biological Agency](FMBA Rossii): oficial'nyj sajт. – Moskva. – Obnovlyajetsya v techenie sutok. – URL: <https://fmba.gov.ru> (data obrashcheniya: 29.04.2024). Russian.
17. Federal'nyj zakon ot 09.01.1996 № 3-FZ [Federal Law No. 3-FZ dated 09.01.1996](red. ot 18.03.2023) «O radiacionnoj bezopasnosti naseleniya». «Sobranie zakonodatel'stva RF», 15.01.1996, № 3, st. 141. «Rossijskaya gazeta», № 9, 17.01.1996. Russian.
18. Federal'nyj zakon ot 30.12.2020 № 492-FZ «O biologicheskij bezopasnosti v Rossijskoj Federacii». «Sobranie zakonodatel'stva RF» [Federal Law of 30.12.2020 No. 492-FZ "On Biological safety in the Russian Federation"], 04.01.2021, № 1 (chast' I), st. 31. «Rossijskaya gazeta», № 1, 11.01.2021. Russian.
19. Shur PZ. Metodicheskie podhody k ocenke riska zdorov'yu naseleniya v usloviyah sochetannogo

vozdjstvija klimaticeskikh faktorov i obuslovlennogo imi himicheskogo zagryazneniya atmosfery [Methodological approaches to assessing the health risk of the population under the combined effects of climatic factors and the chemical pollution of the atmosphere caused by them]. Analiz riska zdorov'yu. 2023;2:58–68, s. 62. DOI: 10.21668/health.risk/2023.2.05. Russian.

20. Hartung T. Artificial intelligence as the new frontier in chemical risk assessment. Front. Artif. Intell. Sec. Medicine and Public Health. 2023;6: 1269932 / DOI: 10.3389/frai.2023.1269932.

21. Jeong HJ, Hwang WT etc. Statistical approaches to forecast gamma dose rates by using measure Radiation Protection Dosimetry. 2008;131:356-364.

22. Laboratory biosafety manual (fourth edition and associated monographs). ISBN 978-92-4-001131-1 (electronic version), ISBN 978-92-4-001132-8 (print version) World Health Organization, 2020.

23. Melnikova EV. Deep Machine Learning in Optimization of Scientific-Research Activities. Scientific and Technical Information Processing. Springer. 2023;50(1):53-58. DOI 10.3103/S0147688223010082.

24. Mortazavi S M J, Aminiazad F. An artificial neural network-based model for predicting annual dose in healthcare workers occupationally exposed to different levels of ionizing radiation. Radiation Protection Dosimetry, 2020;189:98–105.

25. Perkins E J, Gayen, K Shoemaker JE. Chemical hazard prediction and hypothesis testing using quantitative adverse outcome pathways. ALTEX Alternatives to animal experimentation. 2019;36(1):91-102. DOI:10.14573/altex.1808241.

Библиографическая ссылка:

Мельников О.А., Краевой С.А., Болехан В.Н. Семантика прогноза и классификация методов прогнозирования радиационных, химических и биологических угроз здоровью // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №1. Публикация 2-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2025-1/2-1.pdf> (дата обращения: 10.01.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-1-2-1. EDN QYSVLV*

Bibliographic reference:

Melnikov OA, Kraevoi SA, Bolekhan VN. Semantika prognoza i klassifikaciya metodov prognozirovaniya radiacionnyh, himicheskikh i biologicheskikh ugroz zdorov'yu [Semantics of forecasting and classification of methods for predicting radiation, chemical, and biological health threats]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2025 [cited 2025 Jun 10];1 [about 11 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2025-1/2-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-1-2-1. EDN QYSVLV

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2025-1/e2025-1.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после выгрузки полной версии журнала в eLIBRARY