

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

Чеховских Ю.С.¹, Язенок А.В.¹, Ивченко Е.В.¹, Карамуллин М.А.²,
Першко В.А.¹, Кукушкин Р.В.¹

¹ *Федеральное государственное бюджетное военно-образовательное
учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия
имени С.М. Кирова» МО РФ*

194044, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6

² *Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научно-исследовательский испытательный институт
военной медицины» МО РФ*

195043, Россия, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4

Резюме

Введение. В современных условиях расширился спектр угроз, связанных с возникновением очагов санитарных потерь радиационного профиля среди войск и мирного населения. Особенности диагностики острых радиационных поражений, а также отсутствие у большинства врачей опыта работы с пораженными ионизирующими излучениями увеличивают потенциальные риски врачебных ошибок при диагностике и лечении радиационной патологии.

Цель исследования. Оценить диагностическую значимость модифицированного алгоритма первичной диагностики острых радиационных поражений и разработать на его основе систему поддержки принятия врачебных решений при медицинской сортировке на передовых этапах медицинской эвакуации. **Материалы и методы.** В условиях моделирования ситуации медицинской сортировки пораженных радиационного профиля проведена оценка диагностической эффективности модифицированного алгоритма первичной диагностики острых радиационных поражений и разработанного на его основе мобильного приложения системы поддержки принятия врачебных решений. **Результаты проведенного исследования.** На

кафедре военно-полевой терапии Военно-медицинской академии разработан модифицированный алгоритм первичной диагностики острых радиационных поражений, который в условиях моделирования медицинской сортировки массового потока пораженных в рамках тактико-специальных учений медицинской службы продемонстрировал высокие показатели своей диагностической значимости. На основе нового диагностического алгоритма разработано мобильное приложение системы поддержки принятия врачебных решений. **Заключение.** Созданный на основе модифицированного алгоритма первичной диагностики острых радиационных поражений программный продукт представляет собой современную автономную систему поддержки принятия врачебных решений с собственной базой данных, которая способствует оптимизации процесса сбора и анализа диагностической информации при первичном обследовании пораженных и их медицинской сортировке.

Ключевые слова: алгоритм диагностики, диагностическая значимость, этап медицинской эвакуации, острые радиационные поражения, оказание медицинской помощи, медицинская сортировка, синдромальный подход, система поддержки принятия врачебных решений, программное обеспечение, мобильное приложение.

THE RESULTS OF APPROBATION OF THE MODIFIED ALGORITHM FOR DIAGNOSING ACUTE RADIATION INJURIES AT THE INITIAL STAGES OF MILITARY MEDICAL EVACUATION

Chehovskih Yu.S.¹, Yazenok A.V.¹, Ivchenko E.V.¹, Karamullin M.A.²,

Pershko V.A.¹, Kukushkin R.V.¹

¹ *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Military Medical Academy named after S.M. Kirov" Ministry of Defense of the Russian Federation*

194044, Russia, St. Petersburg, st. Academician Lebedeva, 6

² *Federal State Budgetary Educational Institution "State Research and Testing Institute of Military Medicine" Ministry of Defense of the Russian Federation*
195043, Russia, St. Petersburg, st. Lesoparkovaya, 4

Abstract

Introduction. In modern conditions, the range of threats associated with the emergence of foci of sanitary losses of radiation profile among troops and civilians has expanded. The peculiarities of the diagnosis of acute radiation injuries, as well as the lack of experience among most doctors working with affected ionizing radiation, increase the potential risks of medical errors in the diagnosis and treatment of radiation pathology. **The aim of the study** was to evaluate the diagnostic significance of a modified algorithm for the primary diagnosis of acute radiation injuries and to develop a medical decision support system during medical triage at the advanced stages of medical evacuation. **Materials and methods.** Under the conditions of modeling the situation of medical triage, the diagnostic effectiveness of the modified algorithm for the primary diagnosis of acute radiation injuries and the mobile application of the medical decision support system developed on its basis were evaluated. **The results** of the study. The Department of Military Field Therapy of the Military Medical Academy has developed a modified algorithm for the primary diagnosis of acute radiation injuries, which has demonstrated high diagnostic significance in terms of modeling medical triage of the mass flow during tactical and special exercises of the medical service. A mobile application of the medical decision support system has been developed based on a new diagnostic algorithm. **Conclusion.** Created on the basis of a modified algorithm for the primary diagnosis of acute radiation injuries, the software product is a modern autonomous medical decision support system with its own database, which helps to optimize the process of collecting and analyzing diagnostic information during the initial examination of the affected and their medical triage.

Key words: diagnostic algorithm, diagnostic significance, medical evacuation, acute radiation injury, medical care, medical triage, syndromic approach, medical decision support system, software, mobile application.

Введение

Наличие современных и обладающих высокой боевой готовностью стратегических ядерных сил делает прямое использование ядерного оружия в вооруженном противостоянии с Российской Федерацией (РФ) маловероятным. Поэтому в условиях современных военных конфликтов, в том числе в так называемой «гибридной» войне, актуальным представляется сценарий с формированием санитарных потерь среди войск и мирного населения в результате непреднамеренного, либо преднамеренного разрушения радиационно-опасных объектов, а также актов ядерного и радиологического терроризма [1, 2, 3, 4].

Именно такие риски несут в себе обстрелы Запорожской атомной электростанции (АЭС), а также атаки беспилотными летательными аппаратами и диверсии на системе электроснабжения Курской АЭС [5, 6].

В этих условиях особенно возрастают требования к профессиональным компетенциям врачей первичного звена военного и гражданского здравоохранения, осуществляющих на передовых этапах медицинской эвакуации диагностику острых радиационных поражений (ОРП) и оказание медицинской помощи пораженным.

Диагностика радиационной патологии вне специализированных медицинских центров, без использования высокотехнологичных методов, позволяющих с высокой достоверностью определить величину поглощенной дозы ионизирующего излучения, установить степень тяжести и прогноз острого радиационного поражения, представляет собой достаточно сложную задачу.

Подавляющее большинство врачей в своей профессиональной деятельности не сталкиваются с последствиями неконтролируемого облучения. Их знания в этой области, как правило, ограничиваются представлениями о клиническом течении острой лучевой болезни (ОЛБ), которые были сформированы в течение ограниченного количества учебных часов в системе додипломной подготовки [7]. Данное обстоятельство усугубляется тем, что при реализации неблагоприятных сценариев с формированием очагов санитарных

потерь радиационного профиля в рамках «гибридных» военных действий врачи могут столкнуться со всем многообразием клинических форм ОРП, среди которых ОЛБ будет занимать далеко не первое место [8].

Очевидно, что совокупность этих факторов будет способствовать кратному увеличению рисков диагностических ошибок, влияющих на сортировочно-эвакуационное решение, тактику оказания медицинской помощи и, в конечном итоге, на прогноз ОРП у конкретных пораженных.

С целью повышения качества диагностического процесса и эффективности медицинской сортировки пораженных на передовых этапах медицинской эвакуации, сотрудниками кафедры военно-полевой терапии ВМедА был разработан модифицированный алгоритм первичной диагностики (МАД) ОРП [3, 13, 14, 15]. В отличие от стандартного алгоритма первичной диагностики (САД) ОЛБ, основанном на определении её степени тяжести в соответствии с классическими критериями выраженности первичной реакции на облучение (ПРО) [3, 14], МАД базируется на принципе синдромального подхода к верификации степени тяжести ОЛБ, рекомендованном международными экспертами для врачей первого контакта при радиационных инцидентах мирного времени (MeTrePol, 2001) [16].

Одним из достоинств данного диагностического инструмента является то, что благодаря своей структуре, предполагающей чёткую последовательность диагностических действий со стороны врача и градацию степени выраженности каждого входящего в его состав клинического проявления ПРО, он удобен для цифровизации [14]. Поэтому было принято решение создать на его основе программный продукт, представляющий из себя систему поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [9, 10, 11].

В соответствии с государственным стандартом «Системы поддержки принятия врачебных решений с применением искусственного интеллекта. Основные положения», СППВР это программное обеспечение (ПО), позволяющее путем интерпретации собираемой информации поддерживать принятие врачом решения на всех этапах лечебно-диагностического процесса с

целью снижения ошибок и повышения качества оказываемой медицинской помощи [12].

Цель исследования

Оценить диагностическую значимость модифицированного алгоритма первичной диагностики острых радиационных поражений и разработать на его основе систему поддержки принятия врачебных решений при медицинской сортировке на передовых этапах медицинской эвакуации.

Материалы и методы

При разработке в период 2015-2020 годов МАД ОРП неоднократно проходил оценку своей эффективности в рамках различных тактико-специальных (ТСУ) и исследовательских учений медицинской службы. Одна из самых масштабных его апробаций на войсковом этапе медицинской эвакуации (медицинская рота мотострелковой бригады) проводилась на базе учебного центра Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова в г. Красное Село (ТСУ «Очаг») в условиях моделирования ситуации с разрушением ядерной энергетической установки (ЯЭУ) в ходе военных действий.

Экспертной группой из числа профессорско-преподавательского состава кафедр военно-полевой терапии и военной токсикологии и медицинской защиты были разработаны имитационные талоны, содержащие клинические задачи (и эталоны их решений), отражающие весь спектр ОРП, которые могут развиваться в условиях моделировавшейся ситуации с возникновением двух очагов массовых санитарных потерь радиационного профиля.

С целью изучения эффективности МАД при различных этиопатогенетических вариантах ОРП все виды и степени тяжести поражений были представлены одинаковым количеством случаев (таблица 1).

Таблица 1

Структура входящего потока пораженных на войсковой этап медицинской эвакуации в соответствии с моделировавшейся ситуацией разрушения ЯЭУ в ходе военных действий

Очаг	Клиническая форма ОРП	Степени тяжести ОРП				Всего
		I	II	III	IV	
Зона реактора	Изолированные радиационные поражения от общего равномерного внешнего γ -п облучения	5	5	10	10	30
	Сочетанные радиационные поражения (внешнее дистанционное облучение, контактное облучение, внутреннее облучение за счет поступления РВ внутрь организма)			5	10	15
	Комбинированные радиационно-термические поражения (3 чел. II-III ст. с отравлением СО)	3	2	2	3	10
	Комбинированные радиационно-механо-термические поражения	3	3	2	2	10
	Комбинированные радиационно-механические поражения	4	5	6	5	20
След радиоактивных осадков	Изолированные радиационные поражения от внешнего β - и γ -излучения	5	5			10
	Сочетанные радиационные поражения (общее поражение + поступление РВ внутрь организма и β -ожоги кожи)	4	3	3		10
	Сочетанные радиационные поражения (общее поражение и β -ожоги кожи)	2	3			5
	Сочетанные радиационные поражения (общее поражение и поступление РВ внутрь организма)	4	4	2		10
Итого		30	30	30	30	120

Состав врачебно-сестринских бригад, задействованных на сортировочной площадке медицинской роты бригады, формировался из числа курсантов и слушателей ВМедА, участвовавших в ТСУ. В качестве врачей, с учетом имеющегося опыта службы в войсковом звене, были привлечены слушатели клинической ординатуры 1 года обучения (10 человек), прошедшие предварительную дополнительную подготовку по использованию САД и МАД ОРП. Сформированные 10 врачебно-сестринских сортировочных бригад были случайным образом разделены на две исследовательские группы по 5 бригад в каждой.

В ходе апробации ежедневно, в течение двух дней, каждая из исследовательских групп осуществляла медицинскую сортировку 120

пораженных, поступавших на этап непрерывным потоком в течение 2,5-3 часов, поочередно используя модифицированный и стандартный алгоритмы диагностики ОРП (рисунок 1). Порядок поступления пораженных на этап носил случайный характер и был связан только с их прибытием из конкретного очага (зона разрушения ЯЭУ или зона загрязнения местности на следе радиоактивных осадков).

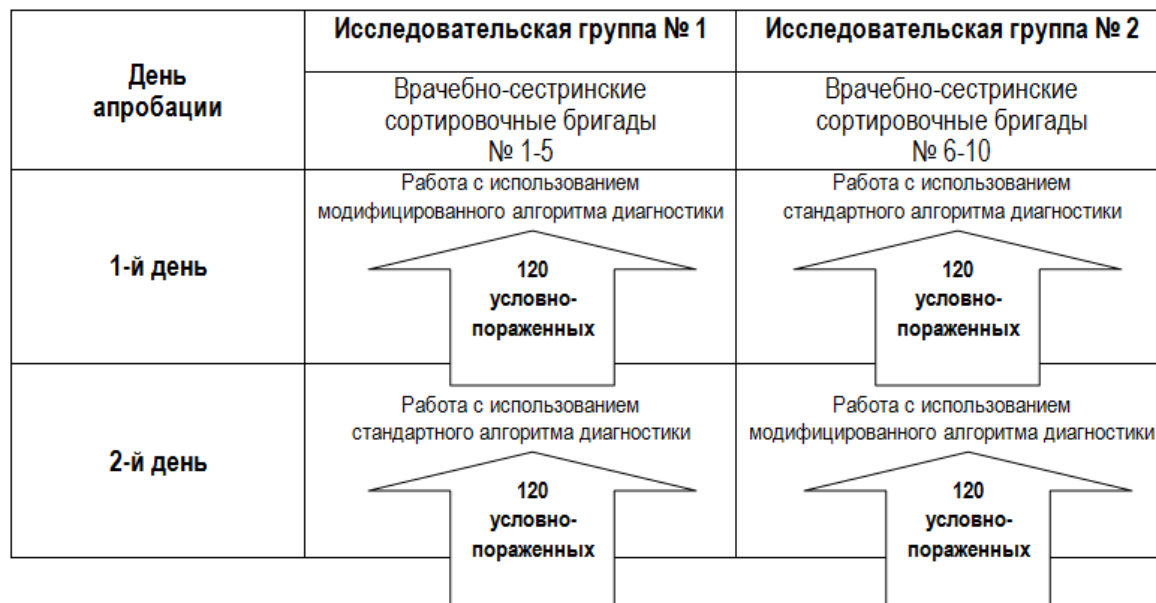


Рисунок 1. Дизайн апробации модифицированного алгоритма диагностики ОРП

В ходе своей работы с входящим массовым потоком пораженных каждый врач осуществлял диагностику ОРП, оценивая клиническую картину, представленную в имитационном талоне, используя САД или МАД с последующей формулировкой диагноза по нозологическому или синдромному принципу соответственно. На основе установленного диагноза проводилась медицинская сортировка пораженных, прежде всего, выделение лиц нуждающихся в оказании медицинской помощи в первую очередь (по неотложным показаниям).

Сравнение результатов распределения всех пораженных на две принципиально важных категории (ОРП I-II и III-IV степеней тяжести) с помощью двух разных алгоритмов первичной диагностики ОРП легло в основу расчёта для каждого из них соответствующих операционных показателей: диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС),

диагностическая эффективность (ДЭ), прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) и прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР).

Порядок расчёта операционных показателей диагностической значимости МАД и САД представлены в таблице 2.

Таблица 2

Порядок расчёта операционных показателей диагностической значимости МАД и САД

Результаты медицинской сортировки	Эталон решения клинических задач	
	нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП III-IV)	не нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП I-II)
Оказание МП в 1-ю очередь (ОРП III-IV)	a	b
Примечание	Совпадение с эталоном и утяжеление ОРП III (истинно положительный результат)	Утяжеление ОРП II (ложноположительный результат)
Оказание МП во 2-ю очередь (ОРП I-II)	c	d
Примечание	Недооценка ОРП III (ложноотрицательный результат)	Совпадение с эталоном и недооценка ОРП II (истинно отрицательный результат)

При этом сам расчёт проводился по формулам:

$$\text{ДЧ} = a/(a+c) \quad (1)$$

$$\text{ДС} = d/(d+b) \quad (2)$$

$$\text{ДЭ} = (\text{ДЧ} + \text{ДС})/2 \quad (3)$$

$$\text{ПЦПР} = a/(a+b) \quad (4)$$

$$\text{ПЦОР} = d/(c+d) \quad (5)$$

Где: a – истинно положительный результат, b – ложноположительный результат, c – ложноотрицательный результат, d – истинно отрицательный результат (табл.2).

Для сравнения диагностической значимости МАД и САД и выявления статистических различий был применён тест χ^2 Пирсона, для показателей ДЧ и ДС с помощью метода Вальда дополнительно были определены 95% доверительный интервалы.

Для разработки ПО был выбран высокоуровневый язык программирования Python, широко используемый для создания научных и медицинских приложений. К его ключевым преимуществам относятся:

- богатая экосистема библиотек для построения графических интерфейсов и работы с данными;
- кроссплатформенность, позволяющая запускать приложение на операционных системах Windows, Linux и macOS;
- высокая скорость разработки, что критически важно для создания функциональных прототипов и специализированного ПО.

Ядро ПО представляет собой систему правил (*****rule-based system*****), где диагностические критерии и алгоритмы формализованы в виде структур данных Python.

Вся исходная информация, касающаяся процесса первичной диагностики ОРП и схем медицинских вмешательств (терапии первичной реакции на облучение) на передовых этапах медицинской эвакуации, была упакована и хранилась в иерархических структурах — словарях (dict). Это обеспечивает их легкую модификацию и расширение без изменения исходного кода.

Для автоматической фиксации временных меток процесса первичной диагностики ОРП использовали встроенную библиотеку `datetime`.

С целью обеспечения высокого уровня надежности программный код был организован в виде класса «Radiation Poisoning App», который инкапсулирует все данные и методы, минимизируя риски ошибок и делая систему более устойчивой.

Валидация ввода данных реализовывалась с помощью выпадающих списков с предустановленными значениями, что полностью исключало ошибки, связанные с неверным или опечатанным вводом данных пользователем.

Все критически важные операции (такие как сохранение файла) обертывались в блоки «try-except» для корректной обработки непредвиденных ошибок и информирования пользователя.

Для сохранения первичного диагноза ОРП и фиксации необходимых медицинских вмешательств был реализован модуль экспорта результатов в текстовые файлы (.txt). Файлы автоматически именуются по шаблону "ОРП_ФИО_Дата_Время.txt" и сохраняются в специализированной папке Results, что обеспечивает структурированное документирование каждого клинического случая.

Апробация мобильного приложения проводилась в ходе специального учения по отработке реагирования медицинской организации на чрезвычайную ситуацию радиационной природы. При этом с помощью имитационных талонов и содержащихся в них клинических задач моделировалась ситуация медицинской сортировки пораженных (групповое поступление 5 человек) радиационного профиля.

В ходе испытания СППВР были задействован только врачебный состав. При этом один из врачей по итогу изучения клинических задач самостоятельно, без предварительной подготовки, работал с мобильным приложением, другой заполнял первичную медицинскую карточку (форму 100).

Результаты работы сравнивались с эталонами решения клинических задач, с оценкой качества принятых врачами диагностических и лечебных решений (совпадения с эталоном), а также времени, потраченного на их принятие.

Кроме того, для изучения удобства работы с мобильным приложением, а также выявления недостатков его функционала и пользовательского интерфейса проводился опрос врачей, участвовавших в испытаниях СППВР, об опыте его использования.

Результаты и обсуждение

По результатам изучения точности (совпадения с эталоном) диагностического заключения врачей о степени тяжести ОРП были получены исходные данные (абсолютное количество и процент правильных решений), характеризующие качество медицинской сортировки пораженных с помощью САД и МАД по критерию их нуждаемости в проведении неотложных

мероприятий медицинской помощи и очередности оказания им медицинской помощи (таблица 3).

Таблица 3

Матрица исходных значений точности диагностики степени тяжести ОРП, а также распределения пораженных по критерию их нуждаемости в проведении неотложных мероприятий медицинской помощи и очередности оказания им медицинской помощи для оценки диагностической значимости САД и МАД

Результаты МС с помощью САД ОРП	Эталон решения клинических задач	
	нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП III-IV)	не нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП I-II)
Оказание МП в 1-ю очередь (ОРП III-IV)	84 (70)	37 (30,8)
Примечание	(истинно положительный результат – а)	(ложноположительный результат – b)
Оказание МП во 2-ю очередь (ОРП I-II)	36 (30)	83 (69,2)
Примечание	(ложноотрицательный результат – с)	(истинно отрицательный результат – d)
Результаты МС с помощью МАД ОРП	Эталон решения клинических задач	
	нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП III-IV)	не нуждаются в неотложных мероприятиях МП (ОРП I-II)
Оказание МП в 1-ю очередь (ОРП III-IV)	111 (92,5)	22 (18,3)
Примечание	(истинно положительный результат – а)	(ложноположительный результат – b)
Оказание МП во 2-ю очередь (ОРП I-II)	9 (7,5)	98 (81,7)
Примечание	(ложноотрицательный результат – с)	(истинно отрицательный результат – d)

МС – медицинская сортировка; МП – медицинская помощь

Сравнение результатов расчёта операционных показателей, характеризующих диагностическую значимость МАД и САД, полученных по результатам работы врачей в сложной медико-тактической обстановке массового поступления пораженных на передовой этап медицинской эвакуации представлено в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение результатов расчёта операционных показателей, характеризующих диагностическую значимость МАД и САД, полученных по итогу II этапа апробации, %

Операционный показатель	МАД	95% ДИ	САД	95% ДИ	p
Диагностическая чувствительность	92,5	87,9 – 97,2	70,0	61,8 – 78,2	$\chi^2 = 19,94$ $p = 0,00001$
Диагностическая специфичность	81,7	74,7 – 88,6	69,2	60,9 – 77,4	$\chi^2 = 5,06$ $p = 0,0245$
Диагностическая эффективность	87,1	–	69,5	–	–
Прогностическая ценность положительного результата	83,5	–	69,4	–	–
Прогностическая ценность отрицательного результата	91,6	–	69,7	–	–

Как видно из представленных данных проведенные расчёты и сравнительный анализ операционных показателей, характеризующих диагностическую значимость алгоритмов первичной диагностики ОРП, позволяют констатировать, что МАД в сравнении с САД является более эффективным и надежным инструментом медицинской сортировки пораженных.

Использование врачами МАД привело к значимому снижению частоты случаев недооценки степени тяжести поражения, особенно в наиболее критичной с точки зрения своевременности оказания медицинской помощи и эвакуации категории пораженных с ОРП III-IV степени тяжести.

Еще одним важным достоинством МАД стало снижение частоты случаев утяжеления (гипердиагностики) при ОРП I-II степеней тяжести. Это потенциально может оказывать влияние на повышение нагрузки на передовой этап медицинской эвакуации за счёт неоправданного расхода ограниченного количества сил и средств, а также приводить к нерациональным решениям по очередности эвакуации таких пораженных.

Таким образом, проведенное исследование выявило высокие показатели диагностической значимости МАД ОРП, что предопределило актуальность разработки на его основе СППВР.

На подготовительном этапе разработки ПО существующий диагностический алгоритм был разложен в виде «древа» решений по выявлению критически важных для верификации диагноза и выборе объема медицинского вмешательства элементов:

1. Степень тяжести ОРП по выраженности основных радиационных синдромов в период клинических проявлений первичной реакции на облучение (таблица 5).

Таблица 5

Модифицированные критерии диагностики ОРП в период первичной реакции на облучение (MeTrePol, 2001, с изменениями)

Синдромы и симптомы	Степень тяжести ОРП			
	легкая	средняя	тяжелая	крайне тяжелая
Нейроваскулярный (НВС)	НВС ₁	НВС ₂	НВС ₃	НВС ₄
<i>сознание</i>	ясное	ясное	ясное/оглушение	оглушение/кома
<i>тошнота</i>	легкая	терпимая	интенсивная	мучительная
<i>рвота, частота (время развития после облучения)</i>	однократная рвота (до 4-6 ч)	повторная рвота, 2-4 раза в сут. (до 2 ч)	многократная рвота, 5-10 раз сут. (0,5-1 ч)	неукротимая рвота, более 10 раз в сут. (менее 0,5 ч)
<i>анорексия</i>	может питаться, объем в сутки сохранен	значимо снижен объем питания, но есть может	отказ от самостоятельного питания	невозможность питания через рот
<i>t тела</i>	до 37,5 °С	37,5–37,9 °С	38,0–39,0 °С	более 39,0 °С
<i>головная боль</i>	минимальная	умеренная	интенсивная	нестерпимая
<i>гипотензия</i>	АД более 100/70 мм рт.ст.	транзиторное снижение АД до 90/60 мм рт.ст.	стойкое снижение АД до 90/60 мм рт.ст.	стойкое снижение АД менее 90/60 мм рт.ст.
<i>астения, адинамия</i>	работоспособность сохранена	работоспособность снижена	нарушена способность к самообслуживанию	адинамия
Орофарингеальный (ОФС)	ОФС ₁	ОФС ₂	ОФС ₃	ОФС ₄
<i>изменения слизистой оболочки</i>	—	нет/гиперемия, опалесцирующая	выраженная гиперемия, отечная,	дополнительно: могут появляться мелкие

<i>ротоглотки</i>		«жемчужным» цветом	опалесцирующая «жемчужным» цветом, на щечной поверхности «отпечатки зубов»	единичные эрозии и кровооточивость
<i>изменения слюнных желез</i>	—	временное (в течение 1-3 сут) увеличение и болезненность при пальпации околоушных слюнных желез	дополнительно: увеличение слюнных желез в области язычка, мягкого нёба, нёбных дужек и подъязычной области	дополнительно: увеличение слюнных желез в области щёк, твёрдого нёба, дёсен, глотки, языка
Желудочно- кишечный (ЖКС)	ЖКС₁	ЖКС₂	ЖКС₃	ЖКС₄
<i>спазмы/ боли в животе</i>	—	нет/возможно, незначительные	переносимые	мучительные/ интенсивные
<i>диарея</i>	—	—	однократная, возможна	повторная, ожидаема
<i>вздутие живота</i>	—	нет/возможно, незначительное	умеренное/ выраженное	выраженное
<i>перистальтика</i>	нормальная	нормальная	ослаблена	«шум плеска»
Поражения кожи и подкожных тканей (СПК)	СПК₁	СПК₂	СПК₃	СПК₄
<i>эритема (S локальных изменений)</i>	нет или незначительная диффузная/ локальная	умеренная диффузная/ локальная (S менее 10%)	выраженная диффузная/ локальная (S от 10 до 40%)	эритродермия/ выраженная локальная (S более 40%)
<i>отёк</i>	—	преходящий/ незначительный/ локальный	выраженный локальный/ снижение подвижности мелких суставов	приводит к нарушению подвижности крупных суставов
<i>чувствительность и кожный зуд</i>	—	незначительная, преходящая болезненность/ зуд	выраженная постоянная болезненность/зуд	изматывающая постоянная боль
Костномозговой (КМС)	КМС₁	КМС₂	КМС₃	КМС₄
<i>лимфоциты в первые 24-48 ч после облучения</i>	более $1,5 \times 10^9/\text{л}$	$(1,5-1,0) \times 10^9/\text{л}$	$(0,9-0,5) \times 10^9/\text{л}$	менее $0,5 \times 10^9/\text{л}$

2. Признаки, указывающие на существующие риски поступления радионуклидов внутрь организма (таблица 6).

Таблица 6

**Признаки, указывающие на существующие риски поступления
радионуклидов внутрь организма**

Категория диагностической информации	Описание признака
Анамнестические данные	– отсутствие или позднее использование средств индивидуальной защиты органов дыхания; – употребление воды и (или) пищи при нахождении на радиоактивно загрязненной местности; – курение при нахождении на радиоактивно загрязненной местности;
Результаты радиодозиметрического обследования	– поверхностное радиоактивное загрязнение головы, лица, шеи, верхней части груди; – радиоактивное загрязнение мазков отпечатков со слизистой оболочки носа;
Косвенные клинические признаки аппликации радионуклидов на слизистые оболочки	– признаки раздражения верхних дыхательных путей (насморк, ощущение першения в горле, чихание, кашель и т.п.); – признаки раздражения слизистой оболочки глаз (покраснение, ощущение «песка» в глазах, слезотечение и резь в глазах и т.п.).

Кроме того, дополнительными элементами, позволяющими уточнить особенности конкретного клинического случая при принятии врачебного решения, включенными в «древо» решений и стали:

1. Информация о проведении санитарной обработки пораженного до его поступления на этап медицинской эвакуации.
2. Информация о самостоятельном приеме пораженным или введении ему до его поступления на этап медицинской эвакуации лекарственных средств, купирующих первичную реакцию на облучение и таким образом модифицирующих её клиническую картину.

Далее, используя клинические рекомендации по этапному лечению ОРП, были описаны основные неотложные мероприятия медицинской помощи с использованием комплектно-табельного медицинского имущества передовых этапов медицинской эвакуации [3, 17, 18]. С помощью этого была создана матрица медицинских вмешательств, которые должны быть выполнены на этапе медицинской эвакуации при диагностике конкретных клинических проявлений первичной реакции на облучение (таблица 7).

Таблица 7

Основные неотложные мероприятия медицинской помощи при первичной реакции на облучение

Синдромы	Степень тяжести ОРП			
	легкая	средняя	тяжелая	крайне тяжелая
НВС	НВС ₁	НВС ₂	НВС ₃	НВС ₄
<i>тошнота</i>	внутри 1 таблетка (4мг) ондансетрона или 1 таблетку лакоцина (ПРО-19)	внутри 2 таблетки (8 мг) ондансетрона или 1 таблетку лакоцина (ПРО-19)	в/м 2 мл (4 мг) 0,2% раствора ондансетрона	—
<i>рвота</i>	в/м 2 мл (4 мг) 0,2% раствора ондансетрона	в/м 2 мл (4 мг) 0,2% раствора ондансетрона	в/м 4 мл (8 мг) 0,2% раствора ондансетрона	в/м (в/в) до 2 раз × 4 мл 0,2% раствора ондансетрона (каждая инъекция в разные места) при неэффективности: + в/м 2 мл 0,5% раствора метоклопрамида и/или + в/м 1 мл 2,5% раствора хлорпромазина в 5 мл 0,5% раствора прокаина и/или + п/к 1мл 0,1% раствора атропина при неэффективности: в/в до 5 мл (150 мг) преднизолона при необходимости повторно через 3-4 часа При наличии, если не вводился ранее, в качестве первого средства купирования в/м 1 мл резюмина (ПРО-16)
<i>первичная диарея</i>	—	—	внутри 2 капсулы по 2 мг лоперамида (при сохраненном сознании и купированной рвоте) или 1 таблетку лакоцина (ПРО-19) + п/к 1мл 0,1% раствора атропина	
<i>абдоминальные боли</i>	—	—	при спастических абдоминальных болях – п/к введение 1 мл 0,1% раствора атропина (если не вводился ранее)	
<i>нарушение сознания</i>	—	—	Воздуховод, положение на боку, оксигенотерапия в/в 20 мл 25% раствора магния сульфата в/в 20-40 мл 40% раствора декстрозы	

<i>Синдромы</i>	Степень тяжести ОРП			
	легкая	легкая	легкая	легкая
<i>НВС</i>	НВС ₁	НВС ₁	НВС ₁	НВС ₁
<i>судороги</i>	–	–	в/м 2-4 мл 0,5% раствора диазепама + в/в (в/м) 20 мл 25% раствора магния сульфата	
<i>гипотензия</i>	–	п/к 1 мл 20% раствора кофеина-бензоата натрия	в/в капельно 800-1200 мл 0,9% раствора натрия хлорида или 5% раствора декстрозы п/к (в/м) 1 мл 0,1% эпинефрина гидрохлорида или 1 мл 5% раствора эфедрина в/в до 5 мл (150 мг) преднизолона, при необходимости повторно через 3-4 часа (если не вводился ранее) профилактика обезвоживания: в/в капельно 800-1200 мл 0,9% раствора натрия хлорида или 5% раствора декстрозы	
<i>астения, гиподинамия</i>	внутри 1 таблетку лакоцина (ПРО-19)	п/к 1 мл 20% раствора кофеина-бензоата натрия или внутри 1 таблетку лакоцина (ПРО-19)	п/к (в/м) по 1 мл 20% раствора кофеина-бензоата натрия п/к (в/м) по 1 мл 5% раствора эфедрина при наличии, если не вводился ранее, в качестве первого средства купирования адинамии – в/м 1 мл резюмина (ПРО-16)	
<i>ОФС</i>	ОФС ₁	ОФС ₂	ОФС ₃	ОФС ₄
<i>изменения ротоглотки, слюнных желез</i>	–	-	полоскание полости рта 0,05 % раствором хлоргексидина биглюконата – раствор готовится из 20% с последующим орошением слизистой оболочки лидокаин спреем	
<i>СПК</i>	СПК ₁	СПК ₂	СПК ₃	СПК ₄
<i>эритема</i>	–	при кожном зуде – внутри 1 таблетку (0,05 г) дифенгидрамина	при выраженном кожном зуде – внутримышечное введение 1 мл 1% раствора дифенгидрамина при неэффективности: в/в (в/м) 2-3 мл (60-90 мг) преднизолона аппликация 0,5% мази гидрокортизона, наложение перевязочного гидрогелевого средства «Лиоксазин-СП»	

В завершение подготовительного этапа была составлена формализованная паспортная часть будущего мобильного приложения, учитывающая всю информацию, необходимую для медицинского учёта случая сверхнормативного облучения.

На следующем этапе с помощью языка программирования Python был написан исходный код ПО, с помощью которого была реализована принципиальная схема работы мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП» (рисунок 2).

Мобильное приложение создавалось по классической монолитной архитектуре с четким разделением на уровни данных, логики и пользовательского интерфейса. При этом использовался графический пользовательский интерфейс (GUI), который реализовывался с помощью стандартной библиотеки Tkinter, входящей в состав языка программирования Python. Это наиболее распространенный инструмент для создания легковесных и не требующих дополнительных зависимостей десктопных приложений. Для организации сложных форм и элементов управления были использованы виджеты ttk (Themed Tk), обеспечивающие современный и единообразный внешний вид на разных платформах.

В интерфейс приложения включили следующие интерактивные элементы:

- выпадающие списки (Combobox) для стандартизированного ввода симптомов;
- вкладки (Notebook) для логической группировки синдромов;
- прокручиваемые текстовые области (ScrolledText) для отображения терапевтических рекомендаций;
- автоматически проверяемые чекбоксы для оценки корректного ввода данных (рисунок 3).

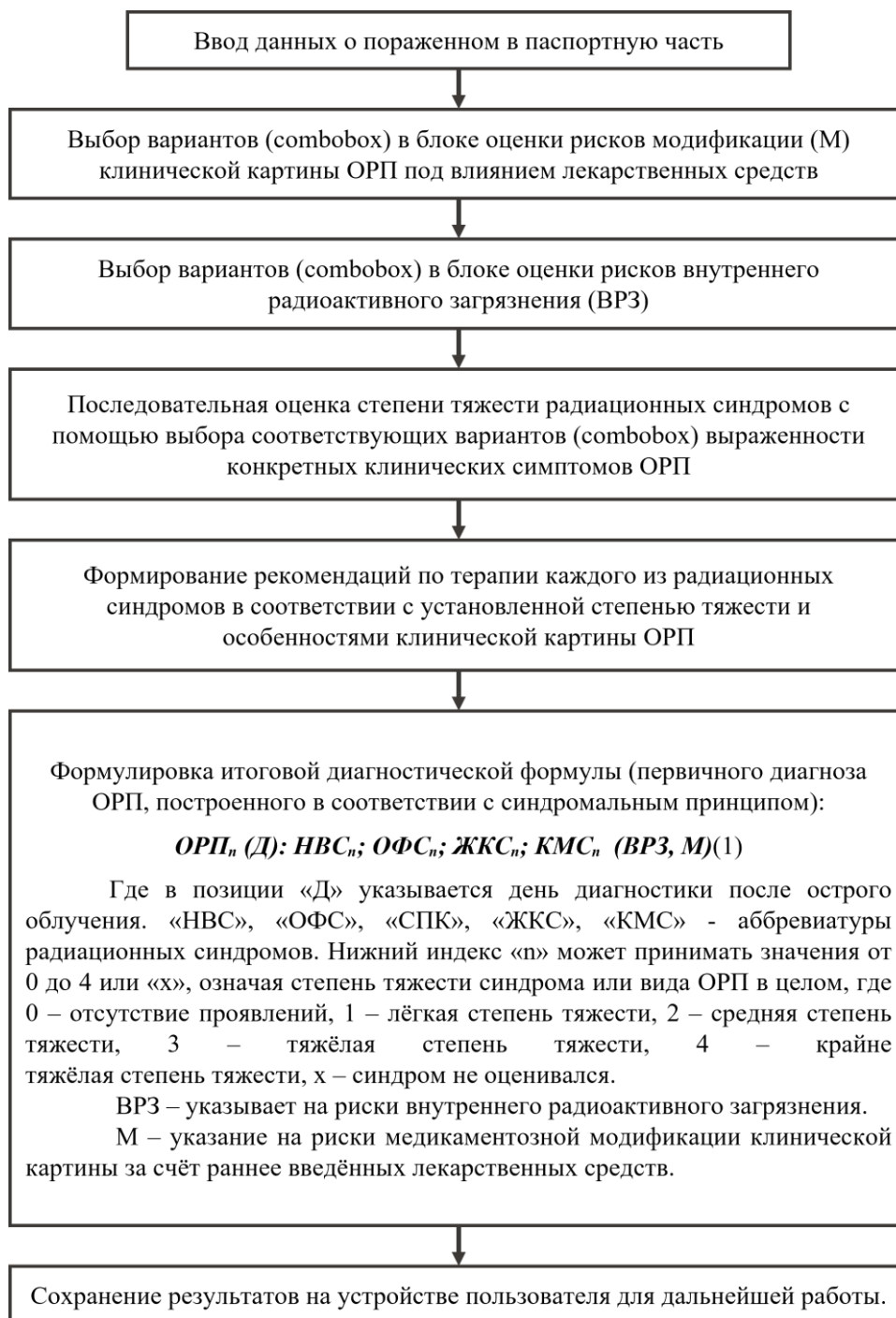


Рисунок 2. Принципиальная схема работы мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП»

Рвота	многократная (6-10 раз в день, 0,5-1 ч)	▼
Первичная диарея	нет	
	однократная (> 2 часов, до 4-6 часов)	
	повторная (2-5 раз в день, 1-2 часа)	
Анорексия	многократная (6-10 раз в день, 0,5-1 ч)	
	неукротимая (> 10 раз в день, <0,5 ч)	

а) - выпадающие списки (Combobox) для стандартизированного ввода

Синдромы

НВС СПК ОФС ЖКС КМС

Оценка симптомов для НВС (Нейроваскулярный синдром)

Тошнота	интенсивная
Рвота	многократная (6-10 раз в день, 0,5-1 ч)
Первичная диарея	повторная
Анорексия	отказ от самостоятельного питания
t тела	38,0–39,0 °C
Головная боль	интенсивная (4–24 часа)
Гипотензия	стойкое ↓ АД до 90/60 мм рт.ст.
Астения	нарушена способность к самообслуживанию

б) - вкладки (Notebook) для логической группировки

Терапия:

Тошнота (интенсивная):
в/м 2 мл (4 мг) 0,2% раствора ондансетрона

Рвота (многократная (6-10 раз в день, 0,5-1 ч)):
в/м 4 мл (8 мг) 0,2% раствора ондансетрона

в) - прокручиваемые текстовые области (ScrolledText)

г)- автоматически проверяемые чекбоксы
для оценки корректного ввода данных

Рисунок 3. Интерфейс мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП»

В итоге, в разработанном мобильном приложении СППВР «Первичная диагностика ОРП» для постановки диагноза реализован алгоритм автоматического расчета степени тяжести ОРП, который на основе выбранных пользователем показателей определяет степень тяжести каждого клинического проявления ОРП по принципу «наибольшего вклада» (решающее значение имеет симптом с максимальной выраженностью).

Приложение работает в режиме реального времени, мгновенно пересчитывая результаты при изменении любых входных данных.

Таким образом, согласно существующей классификации СППВР разработанное мобильное приложение является автономной системой (Stand-alone) с «вшитой» базой данных, информация из которой используется для постановки диагноза и формирования рекомендаций по лечению (Knowledge-Based CDSS).

Результаты испытания мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП» при моделировании ситуации медицинской сортировки пораженных радиационного профиля в ходе специального учения по реагированию медицинской организации на чрезвычайную ситуацию радиационной природы приведены в таблице 8.

Таблица 8

Результаты испытания мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП» при моделировании ситуации медицинской сортировки пораженных радиационного профиля

Вариант работы врача	Процент совпадения с эталонами решений клинических задач				Общее время работы с 5 имитационными талонами, мин.
	ОРП I–II степени тяжести		ОРП III–IV степени тяжести		
	Диагноз	Лечение	Диагноз	Лечение	
С применением СППВР	100	100	80	80	49
Без применения СППВР	60	0	20	0	37

Данные таблицы 8 наглядно демонстрируют преимущества использования мобильного приложения СППВР, отражающиеся в более высоком качестве принятых врачебных решений по диагностике и определению объема неотложных мероприятий медицинской помощи. Обращает на себя внимание, более выраженное различие оцениваемых показателей при усложнении клинической задачи в варианте ОРП тяжелой и крайне тяжелой степеней тяжести.

Увеличение времени, которое было потрачено врачом при работе с мобильным приложением в сравнении с временем работы врача с формой 100, в первую очередь объясняется отсутствием его предварительной подготовки по использованию СППВР. С другой стороны более быстрая работа врача, заполнявшего форму 100, связана с большим процентом упущений, сделанным им в ходе принятия решений по диагностике и лечению ОРП. Также следует учитывать, что в реальной обстановке в ходе медицинской сортировки пораженных врач будет работать в составе сортировочной бригады и заполнение первичной медицинской документации с помощью мобильного приложения или первичной медицинской карточки будет проводиться регистратором. Данное обстоятельство, безусловно, отразится на временных показателях работы.

Заключение

При оценке эффективности разработанного на кафедре военно-полевой терапии ВМедА модифицированного алгоритма первичной диагностики ОРП по результатам моделирования медицинской сортировки массового потока пораженных на передовом этапе медицинской эвакуации были получены высокие значения операционных показателей, характеризующих его диагностическую значимость. Разработанный программный продукт представляет собой современную автономную СППВР с собственной базой данных, которая способствует оптимизации процесса сбора и анализа

диагностической информации при первичном обследовании пораженных радиационного профиля.

Использование мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП» направлено на стандартизацию лечебно-диагностического процесса и повышение качества медицинской помощи при ОРП.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Модифицированный алгоритм первичной диагностики ОРП обладает высокой точностью (чувствительностью) и надежностью (специфичностью) определения в ходе медицинской сортировки с его помощью ключевых категорий пораженных по критерию нуждаемости в проведении неотложных лечебно-профилактических мероприятий и очередности оказания им медицинской помощи.

2. Мобильное приложение СППВР «Первичная диагностика ОРП», разработанное с помощью высокоуровневого языка программирования Python, является стабильным, кроссплатформенным программным продуктом с интуитивно понятным интерфейсом, не требующим от конечного пользователя установки дополнительного программного обеспечения.

3. Применение мобильного приложения СППВР «Первичная диагностика ОРП» при моделировании ситуации медицинской сортировки пораженных радиационного профиля, в сравнении со стандартным алгоритмом работы врача, позволяет снизить количество ошибок при принятии диагностического решения и определении адекватного объема медицинской помощи пораженному.

Литература

1. Фисун А.Я. ред. *Военная медицина в войнах нового типа*. М.: Юстицинформ, 2025.
2. Ильин Л.А. ред. *Медицинские аспекты противодействия радиологическому и ядерному терроризму*. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2018.
3. Крюков Е.В. ред. *Военно-полевая терапия: национальное руководство – 2-е изд., перераб. и доп.* М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023.
4. *Военная доктрина Российской Федерации*. Российская газета. – URL: <http://www.rg.ru/2014/12/30/doktrina-dok.html> (дата обращения: 05.10.2025)
5. Брифинг начальника войск РХБ защиты ВС РФ по результатам анализа возможной провокации на запорожской АЭС. Министерство обороны Российской Федерации. – URL: http://www.function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12434084@egNews (дата обращения: 05.10.2025)
6. БПЛА, атаковавший Курскую АЭС 26 октября, врезался в склад ядерных отходов (28.10.2023 г.). РИА Новости. – URL: <https://ria.ru/article/20231028/bespilotnik-1905827067.html> (дата обращения: 05.10.2025)
7. Башарин В.А., Карамуллин М.А., Маркизова Н.Ф., и др. Проблемы подготовки в Вооруженных Силах специалистов для медицинского обеспечения радиационной и химической безопасности. *Военно-медицинский журнал*. 2017; 338(7): 4-15.
8. Карамуллин М.А., Чепур С.В., Самохвалов И.М., и др. Клинические рекомендации по профилактике, диагностике, лечению и реабилитации при острых радиационных поражениях: актуальность разработки и базовая классификация патологии. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2024; 26(1): 87-100.

9. Churpek M.M., Yuen T.C., Winslow C., et al. Multicenter Development and Validation of a Risk Stratification Tool for Ward Patients. *JAMA Internal Medicine*. 2014; 174(11): 1837-1843.

10. Ramnarayan P., Roberts G.C., Coren M., et al. Assessment of the potential impact of a reminder system on the reduction of diagnostic errors: a quasi-experimental study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2006; 6:22.

11. Elston M.L., Wiss K.A., Cuddy M.A., et al. VisualDx: Decision Support for the Recognition and Management of Skin Disease. *Journal of Drugs in Dermatology*. 2021; 20 (5): 520–524.

12. ГОСТ Р 71671-2024 «Системы поддержки принятия врачебных решений с применением искусственного интеллекта. Основные положения. 2024 г. (внесен техническим комитетом по стандартизации ТК-164 «Искусственный интеллект»). *Электронная библиотека нормативной документации*. URL: https://normadocs.ru/gost_r_71671_2024?ysclid=mg67z7htwe869602028 (дата обращения: 05.10.2025)

13. Чеховских Ю.С., Ивченко Е.В., Карамуллин М.А., и др. Модифицированный алгоритм первичной диагностики острых радиационных поражений для догоспитальных этапов медицинской эвакуации. *Военно-медицинский журнал*. 2024; 345(10): 28-41.

14. Карамуллин М.А., Чепур С.В. ред. *Первая врачебная и квалифицированная медицинская помощь при острых радиационных поражениях: практическое руководство*. СПб.: СпецЛит, 2025.

15. *Методические рекомендации по этапному лечению пораженных с боевой терапевтической патологией*: утв. начальником Главного военно-медицинского управления Министерства обороны Российской Федерации 07.10.2022. Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова. URL: https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/43nyyo601u.pdf (дата обращения: 05.10.2025)

16. Fliedner T.M., et al. Radiologic and nuclear events: the METREPOL severity of effect grading system. *Blood*. 2008; 111(4): 5757-5758.
17. *Указания по военно-полевой терапии*. СПб.: ООО «Медиздат-СПб», 2019.
18. Приказ начальника Главного военно-медицинского управления Министерства обороны Российской Федерации от 05.07.2024 г. № 120 «*Об утверждении Сборника описей комплектов медицинского имущества для войскового звена медицинской службы Вооруженных Сил Российской Федерации*». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/1202407050034> (дата обращения: 05.10.2025).

References

1. Fisun A.Ya. red. *Military Medicine in New Type Wars*. M.: Yustitsinform, 2025. (in Russian).
2. Ilyin L.A., [i dr.]. *Medical Aspects of Countering Radiological and Nuclear Terrorism*. M.: FGBU GNTS FMBC im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii, 2018. (in Russian).
3. Kryukov E.V. red. *Military Field Therapy: National Guide. 2nd ed.* M.: GEOTAR-Media, 2023. (in Russian).
4. *Military Doctrine of the Russian Federation* [Electronic resource]. *Rossiyskaya gazeta* [Official site]. Available at: <http://www.rg.ru/2014/12/30/doktrina-dok.html> (in Russian).
5. Briefing by the Head of the NBC Protection Troops of the Russian Armed Forces on the analysis of a possible provocation at the Zaporizhzhia NPP [Electronic resource]. *Ministerstvo oborony Rossiyskoy Federatsii* [Official site]. Available at: http://www.function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12434084@egNews (in Russian).
6. The UAV that attacked the Kursk NPP on October 26 crashed into a nuclear waste storage facility (28.10.2023) [Electronic resource]. *RIA novosti* [Official site]. Available at: <https://ria.ru/article/20231028/bespilotnik-1905827067.html> (in Russian).
7. Basharin V.A., Karamullin M.A., Markizova N.F., [i dr.]. Problems of training in the Armed Forces specialists for medical support of radiation and chemical safety. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*. 2017; 338(7): 4-15 (in Russian).
8. Karamullin M.A., Chepur S.V., Samokhvalov I.M., [i dr.]. Clinical guidelines for the prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation of acute radiation injuries: relevance of development and basic classification of pathology. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2024; 26(1): 87-100 (in Russian).

9. Churpek M.M., Yuen T.C., Winslow C., Meltzer D.O., Kattan M.W., Edelson D.P. Multicenter Development and Validation of a Risk Stratification Tool for Ward Patients. *JAMA Internal Medicine*. 2014; 174(11): 1837-1843.

10. Ramnarayan P., Roberts G.C., Coren M., Nanduri V., Tomlinson A., Taylor P.M., Wyatt J.C., Britto J.F. Assessment of the potential impact of a reminder system on the reduction of diagnostic errors: a quasi-experimental study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2006; 6:22.

11. Elston M.L., Wiss K.A., Cuddy M.A., Treat J.F., Krakowski A.M., et al. VisualDx: Decision Support for the Recognition and Management of Skin Disease. *Journal of Drugs in Dermatology*. 2021; 20(5): 520-524.

12. GOST R 71671-2024 "Artificial intelligence-based clinical decision support systems. General provisions", 2024 (submitted by Technical Committee for Standardization TK-164 "Artificial Intelligence") [Electronic resource]. *Elektronnaya biblioteka normativnoy dokumentatsii* [Official site]. Available at: https://normadocs.ru/gost_r_71671-2024?ysclid=mg67z7htwe869602028 (in Russian).

13. Chekhovskikh Yu.S., Ivchenko E.V., Karamullin M.A., [i dr.]. Modified algorithm for primary diagnosis of acute radiation injuries for pre-hospital stages of medical evacuation. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*. 2024; 345(10): 28-41 (in Russian).

14. Karamullin M.A., Chepur S.V. red. *First Physician and Qualified Medical Care for Acute Radiation Injuries: A Practical Guide*. St. Petersburg: SpetsLit, 2025. (in Russian).

15. *Methodological recommendations for the staged treatment of casualties with combat therapeutic pathology*: approved by the Head of the Main Military Medical Directorate of the Ministry of Defense of the Russian Federation on 07.10.2022 [Electronic resource]. *Voenno-meditsinskaya akademiya imeni S.M. Kirova* [site]. Available at: https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/43nyyo601u.pdf (in Russian).

16. Fliedner T.M., et al. Radiologic and nuclear events: the METREPOL severity of effect grading system. *Blood*. 2008; 111(4): 5757-5758.
17. *Guidelines on Military Field Therapy*. St. Petersburg: ООО «Medizdat-SPb»; 2019. (in Russian).
18. Order of the Head of the Main Military Medical Directorate of the Ministry of Defense of the Russian Federation dated 05.07.2024 No. 120 “*On the approval of the Collection of inventories of medical equipment sets for the troop level of the medical service of the Armed Forces of the Russian Federation*” (in Russian).