

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-3-36-49>
УДК 004.891:614.2

Интеграция клинических рекомендаций в инструменты цифрового здравоохранения: онтологическое моделирование

Грибова В.В.^{1,2}, Шалфеева Е.А.^{1,2}, Петряева М.В.^{1,2}, Окунь Д.Б.¹

¹ Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН), 690041, Российская Федерация, Владивосток, ул. Радио, 5

² Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), 690922, Российская Федерация, Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10

Аннотация

Современные клинические рекомендации (КР), являясь основой доказательной медицины, существуют преимущественно в формате текстовых документов (PDF, DOC). Это делает их трудными для автоматической обработки и интеграции в медицинские информационные системы (МИС) и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Врачу приходится вручную искать, анализировать и применять эти рекомендации, что отнимает время и повышает риск пропустить важные детали. Для решения этой проблемы авторами представлена практическая методология преобразования текстовых КР в машиночитаемые клинические рекомендации через применение онтологического моделирования. Ключевая идея состоит в двухуровневой модели их представления. Внешний уровень (для врачей) – это иерархически структурированный текст, привычный и удобный для чтения и анализа. Ключевыми элементами этой структуры являются «контейнеры данных», которые четко описывают наблюдения, вмешательства, условия их применения. Внутренний уровень (для компьютерных систем) – это формализованный граф знаний, куда преобразуется содержимое «контейнеров». Этот граф, построенный на основе медицинских онтологий и классификаторов, может автоматически обрабатываться СППВР для генерации персонализированных подсказок непосредственно во время работы врача с электронной медицинской картой.

Предлагаемый на основе онтологического моделирования подход позволяет, во-первых, интегрировать КР в рабочий процесс врача (СППВР сможет автоматически анализировать данные пациента и предлагать релевантные рекомендации), во-вторых, повысить персонализацию лечения, за счет автоматического анализа множества индивидуальных параметров пациента при принятии решения, в-третьих, облегчить навигацию по КР, так как структурированный формат упрощает поиск нужной информации и понимание взаимосвязей между различными рекомендациями, наконец, в-четвертых, обеспечить актуальность знаний (процесс обновления МКР при появлении новых версий рекомендаций может быть в значительной степени автоматизирован).

Предложенная методология была успешно протестирована на примере актуальных КР по кардиологии, на облачной платформе IASPaas был реализован прототип СППВР. Перевод КР в машиночитаемый формат – это стратегический шаг от цифрового архива документов к интеллектуальным помощникам, которые экономят время врача, снижают количество ошибок и способствуют строгому следованию принципам доказательной медицины у постели каждого пациента.

Ключевые слова:	клинические рекомендации; машиночитаемые клинические рекомендации; машиночитаемость текста; онтологическое моделирование; цифровое здравоохранение; большие языковые модели.
Финансирование:	работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН, тема № FFWW-2021-0004 (графовое представление знаний и документов на платформе IASPaas) и при поддержке Минобрнауки России, тема № FZNS-2023-0010 (методы применения графовых знаний при решении задач планирования лечения и мониторинга).
Для цитирования:	Грибова В.В., Шалфеева Е.А., Петряева М.В., Окунь Д.Б. Интеграция клинических рекомендаций в инструменты цифрового здравоохранения: онтологическое моделирование. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2025;40(3):36–49. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-3-36-49

Integration of Clinical Guidelines into Digital Healthcare Tools: Ontological Modeling

Gribova V.V.^{1,2}, Shalfeeva E.A.^{1,2}, Petryaeva M.V.^{1,2}, Okun D.B.¹

¹ Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IACP FEB RAS), 5, Radio str., Vladivostok, 690041, Russian Federation

² Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russian Island, Ajax, 10, Russian Federation

Abstract

Modern clinical guidelines (CGs), serving as the foundation of evidence-based medicine, predominantly exist in text document formats (PDF, DOC). It makes them difficult to automatically process and integrate into Medical Information Systems (MIS) and Clinical Decision Support Systems (CDSS). Physicians are forced to manually search for, analyze, and apply these recommendations, which is time-consuming process and increases the risk of missing important details. To solve this problem, the authors present a practical methodology for converting text-based CGs into machine-readable clinical guidelines through the application of ontological modeling. The key idea consists of a two-level model for their representation. The external level (for physicians) is a hierarchically structured text, familiar and convenient for reading and analysis. Key elements of this structure are “data containers,” which clearly describe observations, interventions, and the conditions for their application. The internal level (for computer systems) is a formalized knowledge graph into which the content of the “containers” is transformed. This graph, built upon medical ontologies and classifiers, can be automatically processed by a CDSS to generate personalized prompts directly during a physician's work with the Electronic Health Record (EHR).

The proposed approach, based on ontological modeling, allows for:

Firstly, integrating CGs into the physician's workflow (the CDSS can automatically analyze patient data and suggest relevant recommendations).

Secondly, enhancing treatment personalization through the automatic analysis of multiple individual patient parameters during decision-making.

Thirdly, facilitating navigation through CGs, as the structured format simplifies the search for needed information and understanding of the relationships between different recommendations. Fourthly, ensuring knowledge relevance (the process of updating machine-readable CGs when new guideline versions appear can be largely automated).

The proposed methodology has been successfully tested on relevant CGs in cardiology, and a CDSS prototype was implemented on the IACPaaS cloud platform. Converting CGs into a machine-readable format is a strategic step from a digital document archive to intelligent assistants that save physician time, reduce error rates, and promote strict adherence to the principles of evidence-based medicine at each patient's bedside.

Despite their importance, modern clinical guidelines do not contribute to the automation of clinical activities. They are presented in text formats, such as PDF and DOC, which limits their use in digital healthcare. This lecture presents a methodology for creating machine-readable clinical guidelines (MCG) to integrate them into medical decision support systems and medical information systems. The authors propose a two-level ontological model that includes an external-level ontology, which is a representation of MCGs in the form of hierarchically templated texts for doctors, and an internal-level ontology, which is a formalized knowledge graph for machine processing. The authors use a hybrid approach to create MCGs, combining the creation of structured MCGs by specialists with the use of large language models for formalization.

Keywords:	clinical guidelines; machine-readable clinical guidelines; machine readability of text; ontological modeling; digital healthcare; large language models.
Funding:	the work was performed within the framework of the state assignment of the IACP FEB RAS, topic № FFW-2021-0004 (graph representation of knowledge and documents on the IACPaaS platform) and with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, topic No. FZNS-2023-0010 (methods of applying graph knowledge in solving treatment and monitoring tasks).
For citation:	Gribova V.V., Shalfeeva E.A., Petryaeva M.V., Okun D.B. Integration of clinical guidelines into digital healthcare tools: ontological modeling. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2025;40(3):36–49. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-3-36-49

Введение

Современные клинические рекомендации (КР) представляют собой важнейшее средство обеспечения единых подходов к диагностике, лечению и профилактике заболеваний, что способствует повышению качества и безопасности медицинской помощи [1, 2]. Они базируются на принципах доказательной медицины и включают систематизированные данные, охватывающие все этапы оказания помощи – от первичной диагностики до реабилитации [3, 4]. Несмотря на рекомендательный статус, КР служат основой для принятия клинических решений, как в государственных, так и в частных медицинских учреждениях [5, 6].

Традиционные текстовые КР неудобны при работе с пациентом из-за сложности поиска необходимой информации. Текущие версии КР не предназначены для автоматизированной обработки и не могут быть напрямую интегрированы в медицинские информационные системы (МИС) или системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Это значительно ограничивает их практическую ценность в условиях активного развития цифрового здравоохранения [7].

Как показано в работе [8], оцифровка клинических рекомендаций и их представление в виде бизнес-процессов диагностики и лечения пациентов позволяют выявить «зоны неопределенности», которые не видны при текстовом изложении. Такой подход не только повышает качество клинических рекомендаций, но и обеспечивает их машиночитаемость, что критически важно для интеграции в медицинские информационные системы, хотя и не решает полностью проблему их автоматизированной обработки. Следует отметить, что авторы ограничиваются созданием оцифрованного документа, ориентированного преимущественно на восприятие человеком, а не на полноценную машинную интерпретацию. В работе не показана связь бизнес-процесса маршрута пациента с оцифрованными тезис-рекомендациями (Т-Р).

Авторы указывают, что работа над переводом в машиночитаемый вид каждого Т-Р позволяет экспертам дополнительно рассмотреть целесообразность включения той или иной информации в КР [8]. При этом акцент делается на сопоставлении с нормативной справочной информацией (что принципиально важно!), но не на сопоставлении с отношениями между понятиями (например, связи цели лечения с применяемыми средствами). Без этого «погрузить сведения в информационную систему» можно, но можно ли гарантировать машиночитаемость при поддержке выбора решений человеком? Также не показан результат сопоставления Т-Р с нормативной справочной информацией. В работе сделан акцент на (под)этапах оказания медицинской помощи и их оценке. Хотя этап лечения чаще привлекает внимание практикующих врачей, он не рассматривается более подробно.

Внедрение машинопонимаемых клинических рекомендаций (МКР) является не просто технологическим трендом, а стратегической необходимостью для современного здравоохранения, поскольку в них стремятся сосредоточить наиболее достоверные и обновляемые медицинские знания [9]. Врачу же приходится учитывать различные документы при «работе» с пациентом: от по-

следних КР и «порядка оказания медицинской помощи» до локальных протоколов и индивидуальных показателей пациента [10]. При этом известен фундаментальный парадокс цифровизации, который заключается в неразрешимом противоречии: то, что идеально структурировано для машинной обработки, становится нефункциональным и непонятным для человека и наоборот. Поэтому важен компромисс между человеком и машиной. Переход к МКР на основе онтологии медицины, классификаторов и международных кодификаторов представляется адекватным вариантом достижения такого компромисса [11, 12].

Известны различные методы, которые могут использоваться для формализации КР [13–15]: логико-онтологические модели (SAGE, SNOMED CT, UMLS, OpenEHR), декларативные и исполняемые языки (ArdenSyntax, Asbru, PROforma, GLIF), а также современные стандарты на базе FHIR и NLP-методы. Одной из проблем в них является фрагментированность решений. Например, системы на основе GLIF и ArdenSyntax демонстрируют эффективность для отдельных задач, но не обеспечивают комплексного охвата всех аспектов клинических рекомендаций. Попытки извлечения знаний и интеграции их с электронными медицинскими документами требуют сложной адаптации [16].

Онтологическое моделирование в медицине

Онтологическое моделирование в медицине представляет собой процесс создания формализованного представления знаний медицинской предметной области, которое позволяет структурировать и организовывать информацию о заболеваниях, симптомах, лечении и других аспектах медицинской практики. В его основе лежит популярное понятие «онтология». Несмотря на то, что всем известно первоначальное определение онтологии как явное описание смысла терминов, определяющих концептуализацию в предметной области, применяют его в нескольких значениях [17, 18]. Во-первых, как словарь или тезаурус медицинской терминологии или всех названий (таковы SNOMED CT, MedDRA LOINC, RxNORM и др), во-вторых, как семантическую сеть типовых предметных связей или отношений между категориями или концепциями (таковы UMKB, UMLS, FMA и др.).

Второе применение данного термина устанавливает понятия, которыми пользуются специалисты-практики или эксперты (например, заболевания, наблюдения, измерения, лекарства, дозы, анатомические структуры, ...) и их зависимости (например, «вызывает», «влияет», «проявляется», «лечится», «является частью», ...). Эти понятия и связи-зависимости, по сути, являются «языком общения» и позволяют создавать понятные специалистам (выражаемые в привычных терминах) документы, базы знаний, методические материалы, тексты и речи для обмена знаниями и опытом [19, 20].

Для создания цельных описаний или документов удобнее пользоваться не наборами типовых предметных отношений между концепциями, а связывающей их единой смысловой сетью или графом (часто – древовидной структурой). Такие структуры давно созданы¹ [21], но постоянно совершенствуются. Например, единая структура электронной медицинской карты хранит результаты ам-

¹ Методические рекомендации по разработке и актуализации клинических рекомендаций, Проект, 2017. URL: <https://www.cito-priorov.ru/upload/iblock/ee5/12icmdzkr1l79z5vgtt8ly8yxo6dbmgj.pdf> (03.02.2025).

булаторного или стационарного обследования, медицинских осмотров, историю обращений пациента в разные учреждения, обеспечивает заполнение данных о любом пациенте по единому шаблону, облегчая и написание, и чтение информации. А структура связывания понятий для описания патогенеза произвольного заболевания, его клинической картины, способов восстановления здоровья дает возможность лаконично и недвусмысленно формировать знания, которыми пользуются врачи.

Рационально ввести понятие уровня моделирования, чтобы указывать на тип реципиента: для обработки человеком – внешний уровень, для компьютерной обработки – внутренний. На внешнем уровне модели частично сохраняются правила написания текстов, но крупные узлы (блоки) утверждений отделены их смыслом (например, причина отделена от следствия). На внутреннем уровне узлы более мелкие, это узлы-понятия (вещество, показатель, метод измерения, значение, ...). Они человеку тоже понятны, но уже неудобны для восприятия и обработки, а компьютерной программе дают возможность точной интерпретации. Узлы именно такого типа последние десятилетия используются для поддержки принятия решений, интеграции информационных систем и проведения исследований².

Хотя такие стандарты, как SNOMED CT и HL7 FHIR, предлагают основы для структурирования медицинских знаний, их применение в реальных клинических сценариях остается ограниченным. В последние годы перспективным направлением считается гибридизация методов, сочетающих формальные онтологии с технологиями искусственного интеллекта (NLP, машинное обучение). Однако подобные решения пока находятся на стадии пилотных внедрений и требуют дальнейшей доработки для широкого применения. Таким образом, несмотря на наличие инструментов формализации, их практическое использование ограничено проблемами стандартизации, интероперабельности и автоматизации обновления. Это создает необходимость новых подходов, которые обеспечат «бесшовную» интеграцию МКР в клиническую практику.

Мы хотим представить читателям описание нового подхода и новой методологии создания МКР. Для преодоления конфликта между строгостью формализации и удобством восприятия предлагается использовать два взаимосвязанных формата: 1) удобный для понимания врачом; 2) доступный для понимания и обработки компьютерной программой.

Методология предусматривает интеграцию актуальных медицинских знаний из МКР в СППВР или МИС. Результаты могут быть использованы для совершенствования КР, повышения их технологической совместимости и эффективности применения в цифровом здравоохранении.

Анализ содержания и структуры текстовых клинических рекомендаций

Тексты современных КР формируются в соответствии с методиками и требованиями к их структуре и содержанию [22–24]. Несмотря на это, в текстах ранее разработанных КР (2020–2022 гг.) имеется неоднозначность информации, неконкретность рекомендуемых действий, несогласованность текста; встречаются сложные для понимания формулировки. При использовании их опытным врачом это не приводит к ошибкам, т. к. «накладывается» на знания человека. Но это является помехой для применения электронными консультантами и для интеграции в медицинские информационные системы. В КР редакции 2024 г. клинические материалы представлены в более формализованном виде, но недостаточном для автоматической обработки с генерацией знаний для использования в СППВР³. В данной редакции КР проведено четкое смысловое разделение на разделы с внутренней структуризацией. Каждый раздел играет свою роль в том или ином процессе оказания медицинской помощи, помогая повысить ее качество.

В разделе «Этиология и патогенез заболевания или состояния» указаны типичные причины и патофизиологические механизмы заболевания, их последствия, перечисляются более редкие известные причины, что может применяться при оценке рисков и прогнозировании. В разделе «Эпидемиология заболевания» приводится статистическая информация, в т. ч. о прогнозах пациентов на разных стадиях болезни. Раздел «Инструментальные диагностические исследования» содержит инструкции по выполнению исследований указанным видам пациентов. Раздел «Лечение» пишется с учетом «Шаблона клинических рекомендаций (версия 3.0)» от Центра экспертизы и контроля качества медицинской помощи Минздрава России: все рекомендации по применению медицинских вмешательств излагаются в формате кратких тезисов-рекомендаций; каждый тезис-рекомендация отвечает на следующие вопросы: «Что? Кому? В каких целях?». Инструкции сопровождаются ссылками на публикации с доказательствами и исследованиями⁴.

В КР редакции 2023–2024 гг. соблюдается выделение рекомендаций-инструкций (РИ), передающих нечто важное, с оценкой достоверности и убедительности, в частности, уровнем достоверности доказательств (УДД) и пакетом литературных ссылок. Данный подход отлично показал себя для анализа информации клиницистами, но недостаточен для формализации. Для разных РИ характерна разная степень «обязательности» инструкций: некоторые РИ надо применять, другие – применять можно (или надо сделать выбор из нескольких возможных).

Пример первого типа: «у пациентов с хронической сердечной недостаточностью рекомендуется использовать ультразвуковой метод дисков с определением

² Комаров Ю.И., Храповицкая Е.Ю., Яковлева О.А., Складов А.О., Рогачев М.В. Правила разработки методических рекомендаций по внедрению методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации: учеб. пособие / под ред. А.М. Беляева. Санкт-Петербург: ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России; 2022:37. URL: https://www.niioncolgii.ru/experts/regions/methodological_guidelines_methods_2022.pdf (03.02.2025).

³ Рубрикатор клинических рекомендаций по заболеваниям (МКБ-10) Министерства здравоохранения Российской Федерации. Методические руководства по нозологиям. URL: <https://cr.minzdrav.gov.ru/clin-rec> (03.02.2025.)

⁴ Материалы для разработки клинических рекомендаций (Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи Минздрава России): Интернет-ресурс (сайт). URL: <https://rosmedex.ru/recomendations> (05.03.2025).

объемов левого желудочка в четырехкамерной и двухкамерной позициях». Примеры второго типа – чередование нескольких одинаково написанных тезисов (начало каждого – «пациентам для снижения риска госпитализации и смерти при отсутствии противопоказаний рекомендуется...») с разным медикаментозным назначением (в первой РИ – «...валсартан+сакубитрил», в следующей – «антагонисты альдостерона», и т.п. – в дальнейших). Такая формулировка КР рассчитана на то, чтобы врач понял, что у него есть право выбрать один вид лечения из рекомендованных, к которому у пациента нет противопоказаний.

Часто в тексте вместо конкретных указаний специалисту или алгоритмов содержатся достаточно объемные данные рекомендательного характера с отсылкой к научной литературе. Имеется значительная доля обзорно-напоминательного или поясняющего текста, не представляющего собой инструкций к применению/выполнению. Пример такого текста: «Снижение смертности и числа госпитализаций является главным критерием эффективности терапевтических мероприятий. Как правило, это сопровождается реверсией ремоделирования ЛЖ и снижением концентраций натрийуретических пептидов...». Такие фрагменты текста не должны переводиться в машинопонимаемое представление, они не предназначены для выработки решений в информационных системах.

Тексты отдельных КР содержат много неточных, неконкретных действий и рекомендаций. Примером неточностей является совет по проведению диагностических манипуляций без конкретизации диапазона значений исследуемого признака: «Всем пациентам с АГ для выявления электролитных нарушений и дифференциального диагноза с вторичной АГ рекомендуется исследование уровня калия и натрия в крови» с уточнением в комментариях: «...в связи с доказанной взаимосвязью между уровнем калия и натрия сыворотки крови и уровнем АД». Здесь отсутствует указание на совместность влияния исследуемых электролитов, нет конкретизации значений данного влияния (прямого, обратное).

Использование неточных формулировок встречается в определении целей проводимой терапии. Например, в КР «Артериальная гипертензия у взрослых» есть фрагмент: «Пациентам с ХСНнФВ («хроническая сердечная недостаточность с низкой фракцией выброса») и застойными явлениями рекомендованы диуретики с целью устранения застойных явлений и уменьшения выраженности симптомов и признаков сердечной недостаточности». В нем отсутствует ясность в определении диагностируемых критериев застойных явлений и перечень значимых симптомов и признаков сердечной недостаточности с указанной динамикой параметров, которые позволяют определить эффективность проводимой терапии.

В КР могут использоваться многозначные слова в расчете на читателя-врача. Например, глагол «исключить» имеет несколько смыслов (как удалить, так и проверить – «нет ли»), что может стать помехой при компьютерной обработке текста во фрагменте: «Всем пациентам с АГ для исключения сопутствующей патологии рекомендуется исследование ...». Цель «исключение сопутствующей патологии» может быть семантически простой, либо иметь в виду разные варианты заболеваний при дифференциальной диагностике.

Следовательно, ряд текстов КР непригодно к непосредственному семантическому анализу по некоторым

описанным причинам. Однако, наличие 20–30% пригодных к формализации КР дает основание надеяться, что для перевода в МКР эти документы могут быть написаны (или переписаны) более аккуратно. КР, в текстах которых отсутствует ясность, должны быть конкретизированы для их использования программными средствами.

Прочтение раздела «Лечение» в документах по разным нозологиям и сопоставление аналогичных параграфов на единство стиля, на соблюдение принципа «Что? Кому? В каких целях?», сравнение уровней подробности и конкретности дает возможность классифицировать РИ. Результатом анализа раздела «Лечение» существующих современных КР стала следующая классификация РИ:

- простая инструкция (в формате «Что? Кому? В каких целях?»);
- многошаговая инструкция (или алгоритмическая);
- продолжение инструкции, сформулированной ранее;
- инструкция по наблюдению;
- полезное для чтения человеком:
 - о напоминающее или образовательное;
 - о пояснение про проведенное исследование;
 - о пояснение по персонификации;
 - о пояснение к рекомендации про нежелательный эффект;
- полезное в другом разделе/месте;
- пожелание/запрос пациента;
- предупреждения;
- лишнее.

Очевидно, что лишь часть из них являются «инструкциями к действию».

Для каждого вида предложений-тезисов, которые содержат «инструкции к действию», может быть предложен формат для единообразного, систематического их написания (вместо произвольного изложения знаний) – требуется определить семантические структуры, достаточные для переноса в них содержания таких РИ без потери смысла.

Метод структурирования текстовых клинических рекомендаций

Анализ множеств РИ из раздела «Лечение» документов по разным нозологиям на соблюдение принципа «Что? Кому? В каких целях?», уровня подробности и конкретности позволяет сформулировать путь для перехода от произвольного изложения знаний к системному. Определена иерархическая структура, достаточная для содержания текста отдельной РИ из уже существующих современных КР, раздел «Лечение». Предлагается формировать каждую отдельную инструкцию иерархично, с нацеленностью на полноту: группирующий узел имеет важные части с элементами наполнения, классифицированными по виду. Сами инструкции сгруппированы тематически.

Часть «Кому?» может быть детализирована достаточно глубоко: не только особенности пациентов, но и стадия рассматриваемого варианта течения болезни. Часть «Кому?» может определять категорию пациентов, исходя из разной степени детализации описания и произвольного числа комбинаций признаков. Могут рассматриваться стадии заболевания, варианты течения, анамнез болезни или госпитальный анамнез, различные этапы лечебно-диагностического процесса, порядок медицинских манипу-

ляций с возможным указанием интервалов между ними, достижение определенных состояний и степени тяжести. Могут учитываться обстоятельства развития организма, измеряемые показатели состояния, факты анамнеза (наличие аллергии, примененные ранее воздействия на пациента, фоновые болезни и т.п.).

Иногда имеют значение условия на способ измерения показателя: инструмент, время, место. Учитывая это, можно ввести общую содержательную структуру части «Кому?»: категория/группа заболевших по протеканию заболевания, категория по фоновым болезням и обстоятельствам, условие на состояние организма, категория по показателю состояния, условие на значение, условие на измерение показателя.

Часть «Что?» обычно содержит указание способа или средств лечения. Она часто может быть не конкретна, а всего лишь «побудительна» (типа «начать лечение»). В этом случае она требует конкретики, которая может оказаться «последующей или предшествующей» или даже подразумеваемой читателем. Уточнением части «Что?» обычно являются режимы проведения лечения. Дополнением являются возможные эффекты от воздействий. Учитывая это, можно ввести общую содержательную структуру части «Что?»: очередное действие, инструмент, вещество/средство, способ/режим.

Явно указываемая часть «В каких целях?» в РИ бывает двух видов: либо объясняющая назначение лечения, либо измеряющая достигаемую цель. «Достижимая» цель подразумевает процедуру контроля или проверки ее достижения, т.е. в инструкциях явно указывается, что надо делать, пока не достигнуто желаемое значение показателя. Формирование всех конкретных РИ по шаблону вида «Что? Кому? В каких целях?» имеет два выигрышных аспекта: 1. инструкции легче отыскивать в общем тексте документа; 2. инструкции легче переводить в машиночитаемый (цифровой) вид.

Использование более глубокой структуризации частей «Кому?» и «Что?» при написании РИ облегчает задачу обучения большой языковой модели (LLM) по переводу текстов в машиночитаемый формат [25].

Общий подход к структурированию машиночитаемых клинических рекомендаций

Человекочитаемый формат структурирован в виде вложенного набора «контейнеров» с текстом на естественном языке (адаптированном для клиницистов).

Машиночитаемый формат представляет собой формализованную сеть понятий (граф знаний), где узлы – концепты (элементы смысла предметной области), а дуги – типизированные связи, определяемые онтологией медицинской предметной области. Методология создания МКР требует соблюдения следующих ключевых принципов:

- создание двух связанных предметно-ориентированных онтологий как базиса для создания всех КР;
- раздельная разработка человекочитаемого и машиночитаемого представлений с сохранением семантической эквивалентности между уровнями;
- обеспечение согласованности при обновлении любого из представлений;
- использование единого терминологического справочника с четко определенными семантическими связями.

Человекочитаемый уровень КР принципиально отли-

чается от обычного текстового документа по структуре и организации информации:

- формат представления: иерархическая/сетевая структура узлов и связей между ними вместо традиционного линейного текста с разделами и подпунктами;
- связность информации: четкие визуальные/логические связи между блоками вместо неявных семантических ссылок между разделами в традиционном тексте;
- возможности навигации: переход между концептами предметной области по явно обозначенным связям с учетом их типа вместо механического скроллинга, либо поиска по ключевым словам в традиционном тексте.

Для формирования интерпретируемых описаний сложно устроенных медицинских областей имеет смысл использовать онтологический подход, который обеспечивает смысл и понятность представляемых знаний. С целью перехода к МКР авторами разработана связанная пара предметно-ориентированных онтологий: онтология первого уровня для представления знаний в структурированном виде (человекочитаемом) и онтология второго уровня для преобразования структурированных знаний в формализованное представление (машиночитаемый формат).

Для обеспечения связности онтологий используются графы двух типов: граф контейнеров содержит связи, достаточные для выражения экспертных утверждений на естественном языке; граф знаний содержит термины, связи, утверждения, достаточные для логических рассуждений в ситуациях, требующих принятия решения. Авторами также разработан инструмент контекстного употребления терминов из стандартизированных классификаторов и международных кодификаторов.

Общая модель онтологического комплекса, позволяющего создавать машиночитаемые ресурсы медицинских знаний, представлена на рисунке 1.

Модель включает двухуровневый процесс обработки информации КР для ее преобразования в структурированный и/или формализованный вид. Это преобразование может осуществляться двумя основными способами:

- Экспертный метод – предполагает непосредственное участие специалистов предметной области, которые вручную, с помощью соответствующих редакторов, формируют знания в структурированном и/или формализованном виде.
- Автоматизированный метод – основан на последовательном применении современных технологий обработки естественного языка и машинного обучения. Именно этот способ мы предлагаем использовать.

На первом этапе с помощью библиотеки spaCy выполняется лингвистический анализ текстов: токенизация, выделение именованных сущностей и определение синтаксических зависимостей. Это позволяет выявить базовые структурные элементы и подготовить текст для более глубокого анализа. Затем подключение модели BERT обеспечивает понимание контекстуальных связей между терминами, что особенно важно для корректной интерпретации медицинских формулировок. Для финального преобразования в граф знаний используется специальная дообученная LLM. Процесс дообучения включает адаптацию модели к медицинской терминологии и онтологической структуре для повышения точности извлечения данных. Модель анализирует предварительно обработанный текст, идентифицирует ключевые элементы лечения (препараты, дозировки, показания) и формирует форма-

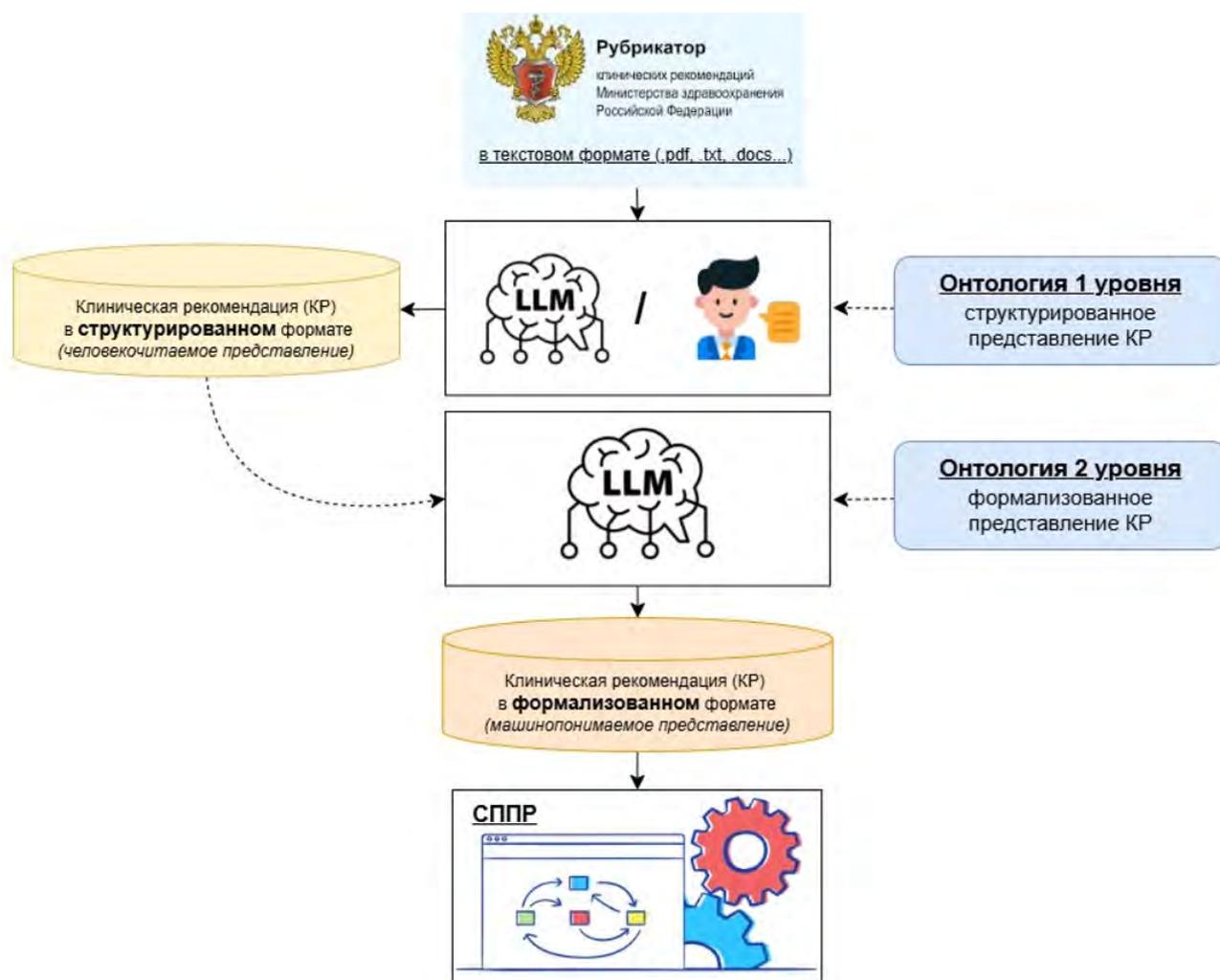


Рис. 1. Общая модель создания машинопонимаемых медицинских знаний
Fig. 1. A common model for creating the machine-understandable medical knowledge

лизованное представление в соответствии с онтологией. Особое внимание уделяется разработке оптимальных промптов, которые направляют LLM на корректную формализацию информации в соответствии с онтологическим шаблоном.

В полученных графах знаний каждый узел представляет медицинскую сущность (например, конкретный препарат), а связи отражают правила его применения (дозировки, комбинации, противопоказания). Работы в данном направлении не завершены и направлены на повышение эффективности извлечения и формализации информации. Детализированное представление предложенного авторами подхода, полученные результаты приведены в работе [26].

Онтология первого уровня

Данная онтология разработана для структуризации знаний из основных разделов КР:

1. Краткая информация по заболеванию или состоянию.
2. Диагностика заболевания или состояния.
3. Лечение, включая медикаментозную и немедикаментозную терапию.
4. Медикаментозная реабилитация.
5. Профилактика и диспансерное наблюдение.

Онтология раздела «1. Краткая информация по заболеванию или состоянию» включает наборы онтологических терминов для подразделов. Приведем примеры некоторых подразделов. Подраздел 1.1 «Определение заболевания или состояния» содержит следующие понятия: Заболевание или состояние, Определение (контейнер данных), Особенности использования, Особенность (контейнер данных), Критерии для использования термина, Критерий (контейнер данных). Подраздел 1.2 «Этиология и патогенез заболевания или состояния» включает термины: Этиологические факторы (причинные), Предрасполагающие факторы (факторы риска), Фактор, Имя фактора, Значение фактора, Особенности, Особенность фактора (контейнер данных), Условия, Условие (контейнер данных), Звенья (этапы, стадии, фазы) патогенеза, Звено (этап, стадия, фаза) (контейнер данных), Особенность течения (контейнер данных) и др. Онтология для разделов «2. Диагностика заболевания или состояния» и «3. Лечение» разработана с учетом «Шаблона клинических рекомендаций (версия 3.0) от Центра экспертизы и контроля качества медицинской помощи Минздрава России. Использован основной принцип для представления информации практикующему врачу в виде кратких тезисов – рекомендаций в формате «Что? Кому? В каких целях?».

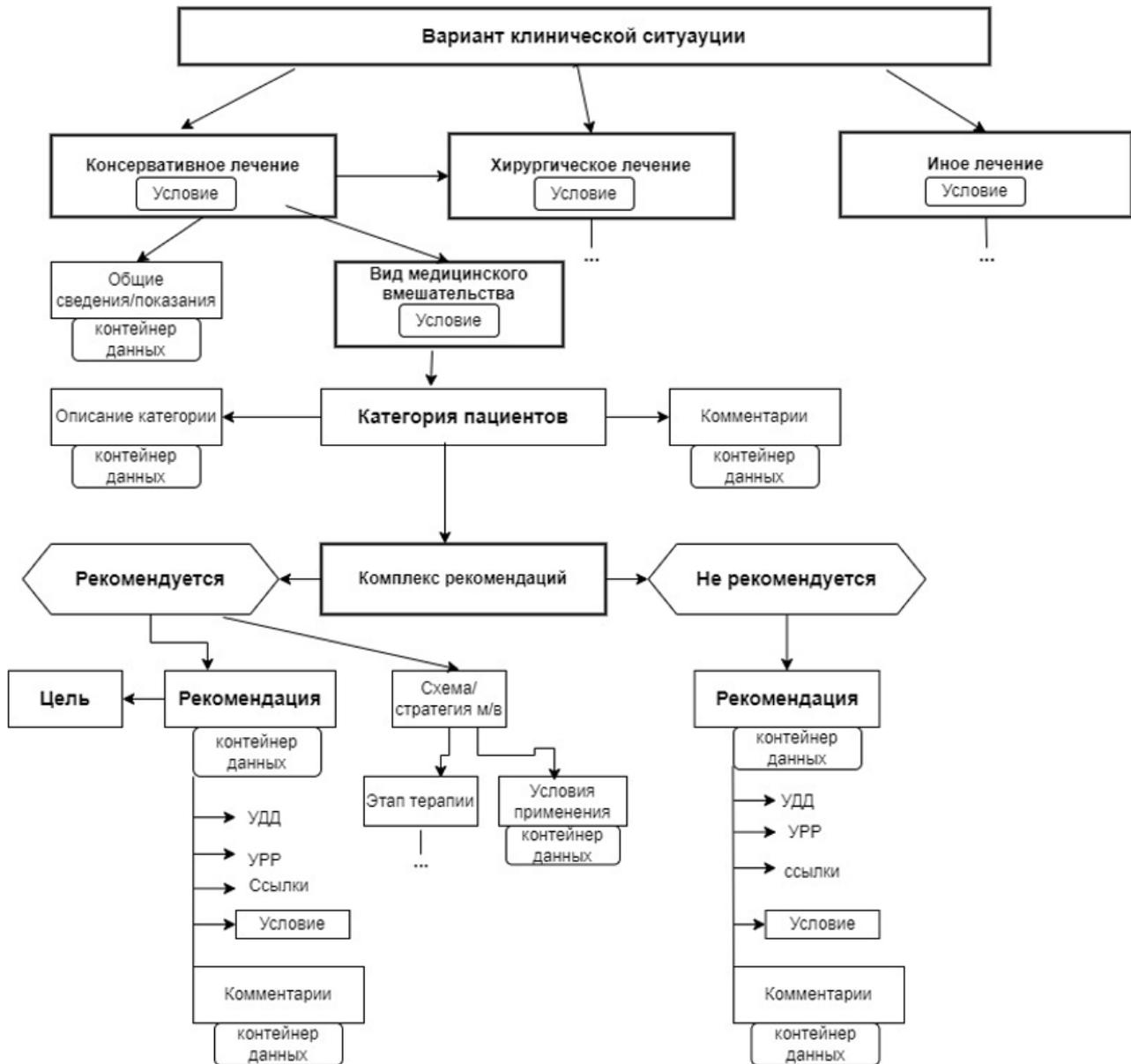


Рис. 2. Фрагмент онтологии первого уровня раздела «Лечение»
 Fig. 2. Fragment of the ontology of the first level of the "Treatment" section

Приведем пример описания онтологии раздела «3. Лечение, включая медикаментозную и немедикаментозную терапию, диетотерапию, обезболивание, медицинские показания и противопоказания к применению методов лечения». Основные онтологические понятия для описания следующие: Вариант клинической ситуации, Метод медицинского вмешательства, Вид медицинского вмешательства, Общие сведения/показания (контейнер данных), Категория пациентов, Комплекс рекомендаций, Условие, Уровни достоверности и убедительности, Комментарии, Ссылки.

Вариант клинической ситуации – это описание болезни, состояния или группы состояний с некоторыми общими характеристиками, дающие возможность описать большое число различных, но редко встречающихся состояний, сочетанных, коморбидных состояний, а также состояний с дополнительной клинической картиной. Методы медицинского вмешательства определены согласно разработанному шаблону: консервативное, хирургическое, иное. Вид медицинского вмешательства включает

в себя описание множества направлений, зависящих от целей, задач лечения, техники, инструментария (в хирургии: диагностическая хирургия, лечебная, имплантация, восстановительная, минимально инвазивная, паллиативная и др., в терапии: лекарственная, фитотерапия, иммунотерапия и др.).

Понятие Категория пациентов описывает возраст, пол, сопутствующую патологию или особое состояние группы пациентов (например, пожилые и долгожители, беременные, спортсмены и др.). Комплекс рекомендаций включает описание разделов: «Рекомендуется», «Не рекомендуется». Раздел «Рекомендуется» включают следующие понятия: Описание рекомендации (контейнер данных), Цель медицинского вмешательства, Схема/стратегия медицинского вмешательства, с описанием Этапа вмешательства, Описания фармакологической группы (ФГ), Комплекса лекарственных средств (ЛС), Условий к применению ЛС и Условий перехода к следующему этапу. Фрагмент онтологии приведен на рисунке 2.

Онтология второго уровня

Данная онтология представляет собой структуру, идентичную онтологии первого уровня, но с детализацией контейнеров данных. Контейнер данных (рис. 3) формируется как комплекс Наблюдений с возможностью качественного или количественного описания в виде простого или составного представления. Для решения вопросов оптимизации и персонификации предусмотрен многоуровневый комплекс условий, контролирурующих возможность проведения медицинских мероприятий.

Контейнер условий представляет собой набор наблюдений, описывающий некоторое представление клинической картины, при которой возможен переход на данный онтологический уровень. Условие предоставляет возможность альтернативных вариантов перехода на следующий уровень иерархии, содержащий ряд критериев. Они могут быть представлены в виде Группы критериев либо Множества групп критериев, достаточных для решения о выполнении заявленных условий с учетом элементов логической связи.

Процесс терапии представляет собой комплекс последовательных мероприятий по достижению максимально возможного эффекта и определяется элементами, описывающими правила проведения терапии. Он имеет вид некоторого множества многоэтапных схем терапии, в которых заложена строгая последовательность применения ЛС.

На рисунке 4 показан фрагмент онтологии второго уровня от понятия Этап терапии (рис 2), который состоит из комплекса последовательных мероприятий по достижению максимально возможного эффекта от терапии и определяется элементами, описывающими правила про-

ведения терапии. Поясним содержание некоторых элементов онтологии.

Комплекс воздействий – элемент, объединяющий класс понятий, непосредственно описывающих процесс проведения терапии. Воздействие – вершина, позволяющая описать любой лекарственный препарат, имеющий доказанный терапевтический эффект. Блок альтернативно используемых воздействий предназначен для описания множества иных воздействий для достижения определенного результата при проведении терапии. Блок объединенных воздействий предназначен для описания множества воздействий, формирующих комплекс мероприятий для достижения определенных результатов при проведении терапии. Контроль ожидаемых побочных действий – формирование перечня ожидаемых побочных действий при проведении терапии с описанием сроков и методов контроля. Побочные действия представляются в виде клинических признаков в соответствии с терминологической базой.

Апробируя предложенную методологию, авторы провели тестирование актуальных версий КР для заболеваний сердечно-сосудистой системы, утвержденных и допущенных к применению в 2024 г.: «Острый инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы», «Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы», «Митральная недостаточность», «Врожденный надклапанный стеноз аорты», «Миокардиты», «Хроническая сердечная недостаточность», «Артериальная гипертензия у взрослых».

Приведем пример тестирования КР «Артериальная гипертензия у взрослых». Сначала формализуем неструктурированный текст в частично структурированный



Рис. 3. Контейнер данных
Fig. 3. Data container

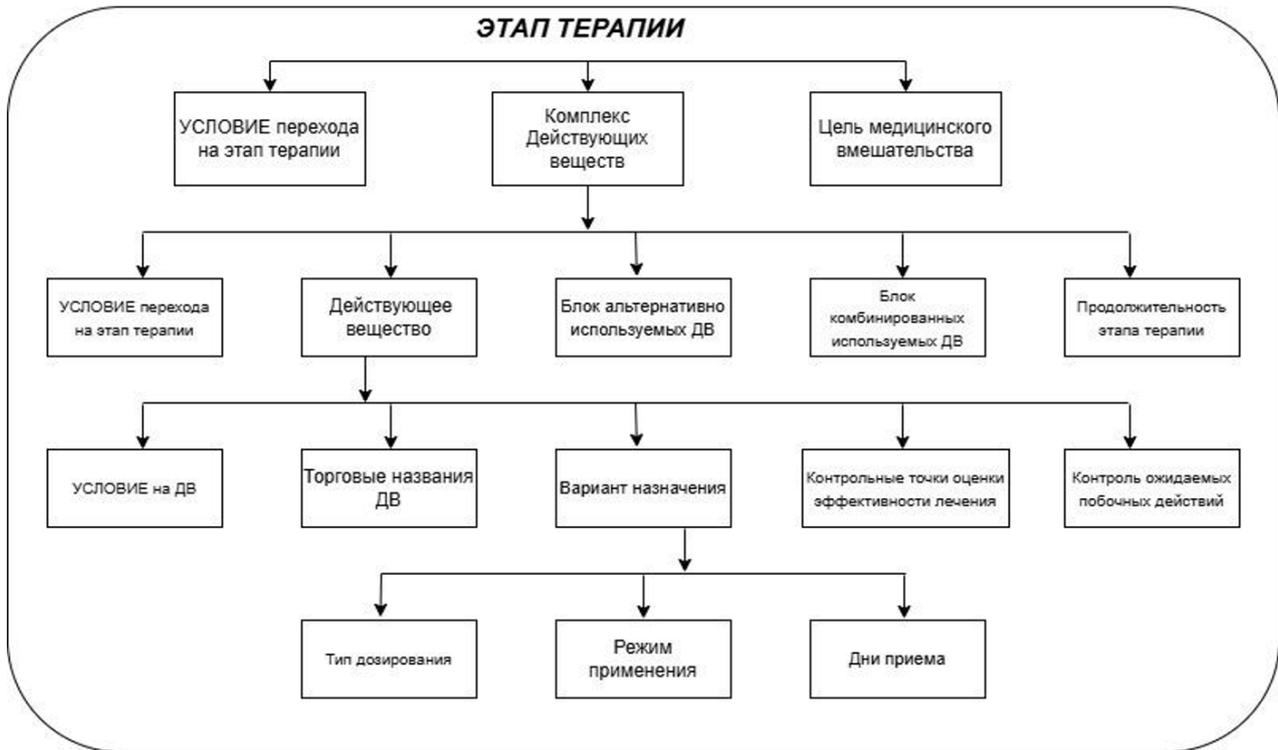


Рис. 4. Фрагмент онтологии второго уровня раздела «Лечение»
Fig. 4. Fragment of the ontology of the second level of the "Treatment" section

формат, используя онтологию первого уровня. На рисунке 5 представлен фрагмент электронного ресурса частично структурированного текста.

Затем такой иерархично организованный текст преобразуем в машиночитаемый формат, используя обученную LLM и онтологию второго уровня. Каждый семантический контейнер данных переведен в соответствующий структурированный формальный текст. На рисунке 6 представлен результат этой трансформации.

Формализация каждой вершины информационного ресурса позволяет однозначно представить описываемый клинический объект или представить условие, при котором данный объект может быть использован в рассуждениях. В качестве примера можно продемонстрировать результат формализации текстового фрагмента: «... всем пациентам с артериальной гипертензией, независимо от степени риска и возраста, при хорошей переносимости – в качестве целевого уровня снижать до 130/80 мм рт. ст. или ниже...», в виде рекомендации «3» (см. рис. 6). В данном случае речь идет об удержании цифр артериального давления в диапазоне 120–130 мм рт. ст. при обязательном отсутствии проявлений заболевания. В качестве условия выступает Группа критериев, содержащая такие наблюдения, как Головокружение, Дискомфорт в области сердца, Одышка, Ощущение жара и т.д. с качественным значением «отсутствует» для каждого наблюдения. Формализованные в таком виде знания уже можно использовать в СППВР.

Новые научные данные или уровни доказанности утверждений / рекомендаций будут отражаться в следующих версиях КР. На новом этапе цифрового здравоохранения эксперту может быть предоставлен инструмент для поиска (в человекочитаемом представлении) канди-

дата на обновление (отдельной инструкции или параграфа) и для контролируемого редактирования утверждения или инструкции. Автоматическими средствами на основе LLM будет проведено обновление ассоциированного с ними машиночитаемого представления. Другой вариант обновления документа – написание новой текстовой версии; это потребует автоматического сравнения двух версий и вычленения обновленных и добавленных фрагментов. Их трансформация в машиночитаемый уровень – ответственность тех же автоматических средств на основе LLM [27].

Проверка эффективности использования разработанных онтологий проведена на базе облачной платформы IASaaS [28]. На медицинском портале этой платформы ранее разработаны комплекс онтологий для описания знаний по диагностике, лечению и прогнозу заболеваний; базы знаний, сформированные на основе этих онтологий; сервисы-инструменты для наполнения историй болезни, их экспорта и импорта; словарь-база медицинской терминологии и наблюдений; некоторые сервисы поддержки принятия решений для кардиологии.

Для проверки достаточности структуры онтологий был реализован прототип СППВР, предлагающий пользователю-врачу гипотезы о диагнозах, рисках, лечении для выбранного медицинского документа о конкретном пациенте. Все эти решения прототип СППВР формировал на основе знаний, структурированных и формализованных в рамках предлагаемой методологии [29].

Заключение

Предложенный авторами гибридный подход сочетает структурирование текста с последующей его формализацией. За счет универсального шаблона текста, стиму-

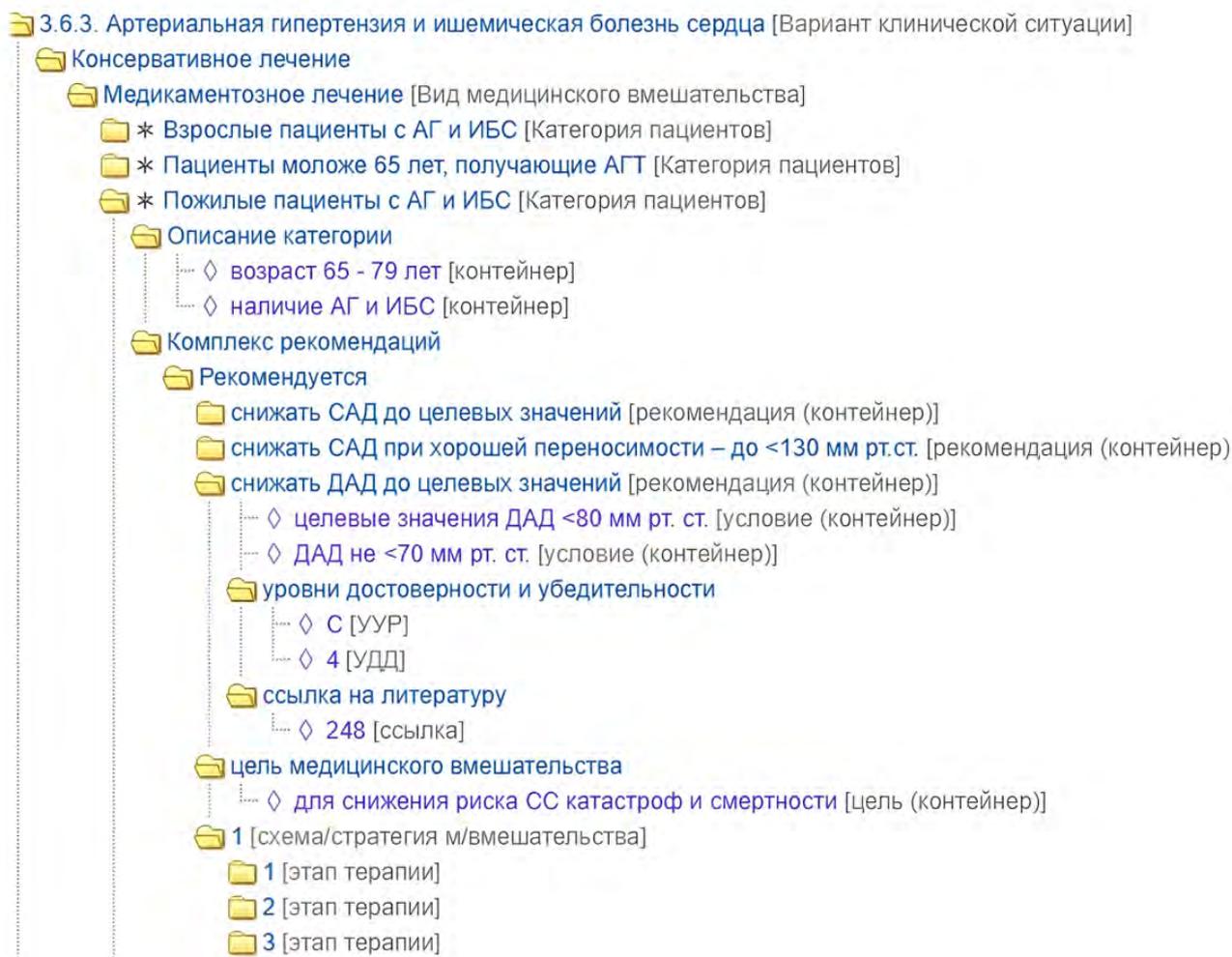


Рис. 5. Фрагмент частично формализованного текста раздела «Лечение»
Fig. 5. Fragment of the partially formalized text of the "Treatment" section

лирующего к написанию четких и полных инструкций, и единого терминологического справочника для создания инструкций формируется инфраструктура представления, которая: (а) удобна для чтения человеку, (б) оптимизирует процесс написания и обновления документа, (в) конвертируема в машиночитаемый формат. Полнота отдельной инструкции облегчает построение полноценного графа знаний, пригодного для машинной обработки.

Значительным преимуществом данного подхода является его масштабируемость: структурированный граф может быть использован как основа для различных приложений, включая СППВР и МИС. Однако внедрение подобной системы требует предварительного решения нескольких задач: разработки унифицированного стандарта представления КР в виде графа знаний; интеграции с существующими медицинскими информационными системами; обеспечения качества данных, поскольку ошибки на этапе структурирования могут привести к некорректным выводам в автоматизированных системах. Без решения указанных задач цифровизация медицины будет значительно тормозиться. Предложенный авторами подход открывает новые возможности для цифровизации раздела КР «Лечение», делая их пригодными для машинной обработки.

Дальнейшие исследования должны быть направле-

ны на оптимизацию процесса формализации, разработку инструментов верификации графов знаний и оценку эффективности их применения в реальной клинической практике. В перспективе это может привести к созданию интеллектуальных систем, способных не только предоставлять врачам актуальные рекомендации, но и динамически адаптировать их на основе новых данных.

Литература / References

1. Pournik O., Ahmad B., Despotou G., LimChoiKeung S.N., Mohamad Y., Gappa H. et al. CAREPATH methodology for development of computer interpretable, integrated clinical guidelines. Proceedings of the 10th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion. 2022;7–11. <https://doi.org/10.1145/3563137.3563155>.
2. Garber J.R., Patkar V. Computer-interpretable guidelines: electronic tools to enhance the utility of thyroid nodule clinical practice guidelines and risk stratification tools. *Front. Endocrinol.* 2023;14:1228834. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1228834>.
3. Путило Н.В., Маличенко В.С. Роль клинических рекомендаций в организации оказания медицинской помощи. Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2023;29(2):331–338. Putilo N.V., Malichenko V.S. The role of clinical guidelines in organizing the provision of medical care. *Problemi socialnoi gigieni, zdravookhranenia i istorii meditsini.* 2021;29(2):331–338. (In Russ.). <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2020-29-2-331-338>.

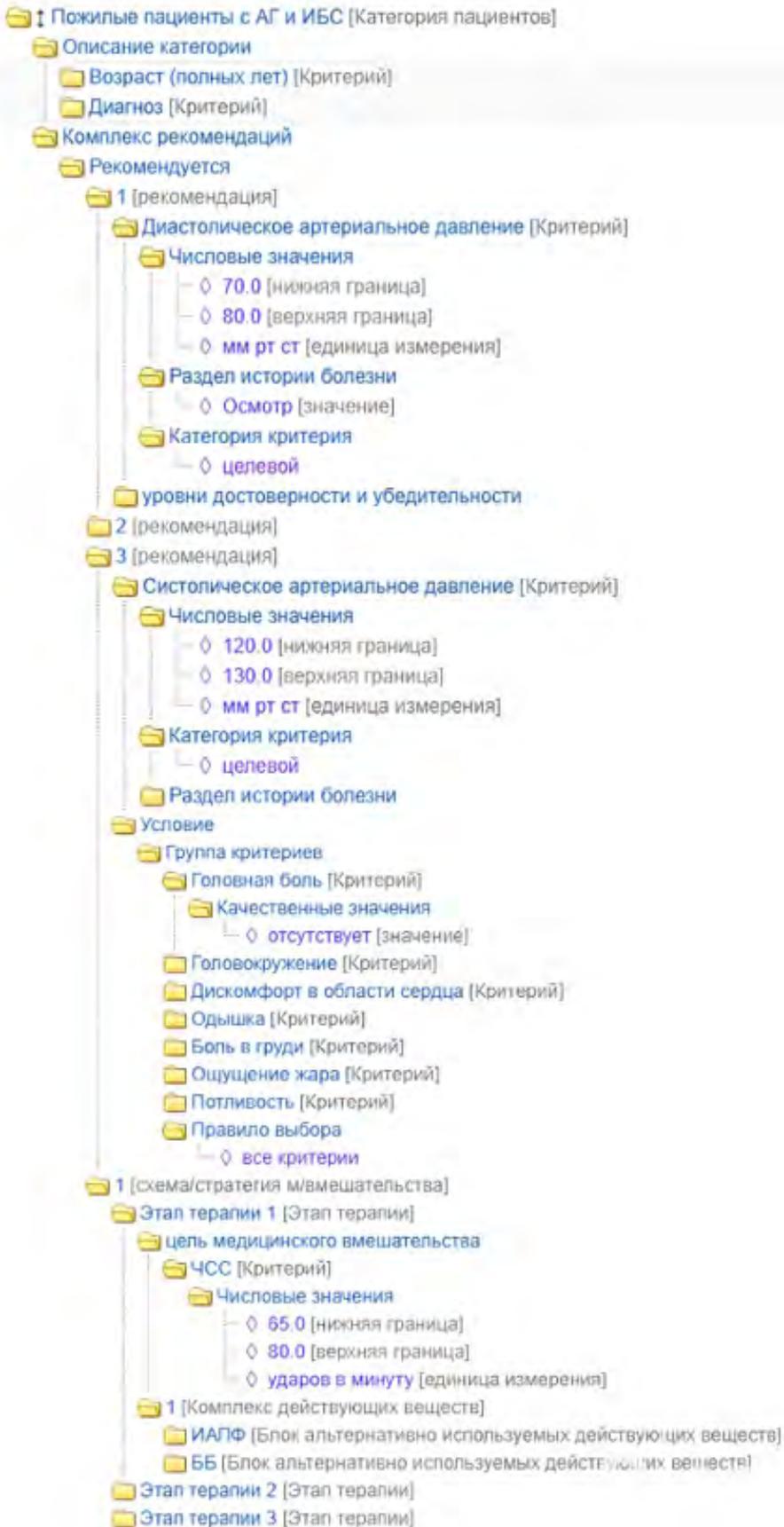


Рис. 6. Фрагмент информационного ресурса в машиночитаемом формате
 Fig. 6. Fragment of an information resource in a typescript format

4. Ватолин В.М., Сухоруких О.А., Галеева Ж.А., Лукьянцева Д.В., Бузуверова О.О., Кирсанова О.В. и др. Анализ данных о методиках клинической оценки, указанных в клинических рекомендациях, размещенных на информационном ресурсе Минздрава России «Рубрикатор клинических рекомендаций». *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2018;11(1):56–63. <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2018.11.1.056-063>.
Vatolin V.M., Sukhorukikh O.A., Galeeva Zh.A., Lukyantseva D.V., Buzuverova O.O., Kirsanova O.V. et al. Analysis of data on clinical assessment methods specified in clinical guidelines posted on the information resource of the Ministry of Health of Russia “Clinical Guidelines Rubricator”. *Farmakoeconomika. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology*. 2018;11(1):56–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2018.11.1.056-063>.
5. Демкина А.Е. Эволюция цифровой медицины. Мировой и отечественный опыт. *Вестник Московского университета. Серия 21. Управление (государством и обществом)*. 2023;20(2):3–26. <https://doi.org/10.55959/MSU2073-2643-21-2023-2-3-26>.
Demkina A.E. Evolution of digital medicine. World and domestic experience. *Lomonosov Public Administration Journal. Series 21*. 2023;20(2):3–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.55959/MSU2073-2643-21-2023-2-3-26>.
6. Морозова Ю.А. Цифровая трансформация российского здравоохранения как фактор развития отрасли. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2020;2:36–47. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-2-36>.
Morozova Yu.A. Digital transformation of Russian healthcare as a factor in the development of the industry. *Intellect. Innovations. Investments*. 2020;2:36–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-2-36>.
7. Боярских А.В., Ефремов С.А., Кавлашвили О.В., Грязнов И.М. Баланс цифровой трансформации системы здравоохранения на примере вертикально интегрированных медицинских информационных систем (ВИМИС). *Национальное здравоохранение*. 2021;2(2):28–35. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2021.2.2.28-35>.
Boyarskikh A.V., Efremov S.A., Kavlashvili O.V., Gryaznov I.M. Balance of digital transformation of the healthcare system on the example of vertically integrated medical information systems (VIMIS). *National Health Care (Russia)*. 2021;2(2):28–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2021.2.2.28-35>.
8. Прялухин И.А., Шешко Е.Л., Серяпина Ю.В., Плутницкий А.Н., Пугачев П.С., Омеляновский В.В. и др. Предложения по созданию клинических рекомендаций с учетом цифровой трансформации здравоохранения Российской Федерации. *Национальное здравоохранение*. 2024;5(2):36–47. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2024.5.2.36-47>.
Prilukhin I.A., Sheshko E.L., Seryapina Yu.V., Plutnitskiy A.N., Pugachev P.S., Omelyanovskiy V.V. et al. Proposals for medical guidelines creation at the time of digital transformation of healthcare in Russian Federation. *National Health Care*. 2024;5(2):36–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2024.5.2.36-47>.
9. Федяева В.К., Дмитриева У.Н., Журавлева Н.И., Журавлев Н.И., Ковалева М.Ю., Коробкина А.С. и др. Нормативно-правовой статус клинических рекомендаций и их роль в системе контроля качества медицинской помощи в странах Европейского Союза, Северной Америки и Азии. *ФАРМАКОЭКОНОМИКА. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2019;12(3):239–245. <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2019.12.3.239-245>.
Fedyeva V.K., Dmitrieva U.N., Juravleva N.I., Juravlev N.I., Kovaleva M.Yu., Korobkina A.S. et al. Regulatory and legal status of clinical guidelines and their role in the quality control of medical care in countries of the European Union, North America and Asia. *FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomics and Pharmacoepidemiology*. 2019;12(3):239–245. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2070-4909.2019.12.3.239-245>.
10. Перепеч Н.Б., Трегубов А.В., Михайлова И.Е. Анализ факторов, влияющих на знание врачами положений клинических рекомендаций по лечению хронической сердечной недостаточности. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(1S):5722. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-5722>.
Pererech N.B., Tregubov A.V., Mikhailova I.E. Analysis of factors influencing doctors’ awareness of clinical guidelines for heart failure treatment. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(1S):5722. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-5722>.
11. Бледжянц Г.А., Исакова Ю.А., Осипов А.А. Онтологический метод и инструментальный совершенствования инновационных коммуникаций как актуальный приоритет цифровизации в медицинской сфере. *Человеческий капитал*. 2020;S12(1):186–193. EDN: LPUHPK.
Blejants G.A., Isakova Yu.A., Osipov A.A., Ontological method and tools for improving innovative communications as an urgent priority of digitalization in the medical field. *Chelovecheskiy kapital*. 2020;S12(1):186–193. EDN: LPUHPK.
12. Лебедев С.В., Жукова Н.А. Слияние медицинских данных на основе онтологий. *Онтология проектирования*. 2017;7(2):145–159. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-2-145-159>.
Lebedev S.V., Zhukova N.A. Merging medical data based on ontologies. *Ontology of designing*. 2017;7(2):145–159. (In Russ.). <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-2-145-159>.
13. De Leo A., Bloxsome D., Bayes S. Approaches to clinical guideline development in healthcare: a scoping review and document analysis. *BMC Health. Serv. Res.* 2023;23(1):37. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08975-3>.
14. Moazemi S., Vahdati S., Li J., Kalkhoff S., Castano L.J.V., Dewitz B. et al. Artificial intelligence for clinical decision support for monitoring patients in cardiovascular ICUs: A systematic review. *Front. Med.* 2023;10.1109411. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1109411>.
15. Savino M., Chiloiro G., Masciocchi S., Capocchiano N.D., Lenkovic G., Gottardelli B. et al. A process mining approach for clinical guidelines compliance: real-world application in rectal cancer. *Front. Oncol.* 2023;13:1090076. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1090076>.
16. Зулкарнеев Р.Х., Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Гаянова М.М., Вульфин А.М. Методы и модели извлечения знаний из медицинских документов. *Информатика и автоматизация*. 2022;21(6):1169–1210. <https://doi.org/10.15622/ia.21.6.4>.
Zulkarneev R.Kh., Yusupova N.I., Smetanina O.N., Gayanova M.M., Vulfin A.M. Method and models of extraction of knowledge from medical documents. *Informatics and Automation*. 2022;21(6):1169–1210. (In Russ.). <https://doi.org/10.15622/ia.21.6.4>.
17. Брук Н. Медицинские онтологии для представления текстовой и графической информации. *Seria “Științe exacte și economice” Informatică*. 2013;2(62):33–38. <https://exact.studiamsu.md/wp-content/uploads/2013/01/05.-p.33-38.pdf> (26.06.2025).
Brook N. Medical ontologies for representing text and graphic information. *Revista Științifică a Universității de Stat din Moldova. Seria “Științe exacte și economice” Informatică*. 2013;2(62):33–38. ISSN 1857-2073 33. URL: <https://exact.studiamsu.md/wp-content/uploads/2013/01/05.-p.33-38.pdf> (26.06.2025).
18. Подкольный Н.Л., Подкольная О.А. Онтологии в биоинформатике и системной биологии. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(6):652–660. <https://doi.org/10.18699/VJ15.090>.
Podkolodny N.L., Podkolodnaya O.A. Ontologies in bioinformatics and systems biology. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(6):652–660. <https://doi.org/10.18699/VJ15.090>.
19. Ковалев Р.И., Грибова В.В., Окунь Д.Б. Онтология представления знаний о назначении персонализированного лечения. *Онтология проектирования*. 2023;13.2(48):192–203. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-2-192-203>.
Kovalev R.I., Gribova V.V., Okun D.B. Ontology of knowledge representation about the appointment of personalized treatment. *Ontology of design* 2023;13.2(48):192–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-2-192-203>.
20. Грибова В.В., Окунь Д.Б. Онтология для формирования баз знаний и реализации лечебных мероприятий в медицинских интеллектуальных системах. *Информатика и системы управления*. 2018;3(57):71–80. <https://doi.org/10.22250/isu.2018.57.71-80>.
Gribova V.V., Okun D.B. Ontologies for the formation of knowledge bases and the implementation of therapeutic measures in medical intelligent systems. *Informatics and Control Systems*. 2018;3(57):71–80. <https://doi.org/10.22250/isu.2018.57.71-80>.
21. Нefeldов Ю.В., Цыпленкова В.А. Основные тенденции и особенности развития медицинских онтологий. *Врач и информационные технологии*. 2018;4:6–19. EDN: YQXQSL.
Nefedov Yu.V., Tsyplenkova V.A. Main trends and features of development of medical ontologies. *Medical doctor and information technology*. 2018;4:6–19. (In Russ.). EDN: YQXQSL.
22. Берестнева О.Г., Жаркова О.С., Маклакова Т.Г., Шухарев С.О. Создание онтологий в медицине с использованием программ протеге. *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2017;1(5):86–93. EDN: YIXSSN.
Berestneva O.G., Zharkova O.S., Maklakova T.G., Shukharev S.O. Creation of ontologies in medicine using the protege program. *Information and mathematical technologies in science and management*. 2017;1(5):86–93. (In Russ.). EDN: YIXSSN.
23. De Roock E., Martin N. Process mining in healthcare – an updated perspective on the state of the art. *J. Biomed. Inform.* 2022;127:103995. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2022.103995>.

24. Енгалычев Д.Н., Ходовский А.А., Левин М.Б. Методологические подходы разработки цифровой клинической рекомендации. ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучения. *Вестник ВШОУЗ*. 2021;7(3):70–81. <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2021-7-3-70-81>. Engalychev D.N., Kardovsky A.A., Levin M.B. Methodological approaches to the development of digital clinical recommendations. HEALTHCARE MANAGEMENT: news. views. education. *Bulletin of VSHOUZ*. 2021;7(3):70–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2021-7-3-70-81>.
25. Андрейченко А.Е., Гусев А.В. Перспективы применения больших языковых моделей в здравоохранении. *Национальное здравоохранение*. 2023;4(4):48–55. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2023.4.4.48-55>. Andreichenko A.E., Gusev A.V. Prospects of using large language models in healthcare. *National Health Care (Russia)*. 2023;4(4):48–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2023.4.4.48-55>.
26. Грибова В.В., Переволоцкий В.С. Разработка графов знаний на основе больших языковых моделей для поддержки принятия решений в медицине. *Программная инженерия*. 2024;15(6):308–321. <https://doi.org/10.17587/prin.15.308-321>. Gribova V.V., Perevolotsky V.S. Development of knowledge graphs based on large language models to support decision-making in medicine. *Software engineering*. 2024;15(6):308–321. (In Russ.). <https://doi.org/10.17587/prin.15.308-321>.
27. Quer G., Topol E.J. The potential for large language models to transform cardiovascular medicine. *Lancet Digit Health*. 2024;6(10):e767–e771. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(24\)00151-1](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(24)00151-1).
28. Грибова В.В., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Платформа IACPaaS для разработки систем на основе онтологий: десятилетие использования. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2022;4:55–65. <https://doi.org/10.14357/20718594220406>. Gribova V.V., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. IACPaaS platform for developing ontology-based systems: a decade of use. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2022;4:55–65. (In Russ.). <https://doi.org/10.14357/20718594220406>.
29. Грибова В.В., Шалфеева Е.А., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Федоричев Л.А., Ковалев Р.И. Облачный сервис дифференциальной диагностики и назначения персонализированного лечения воспалительных заболеваний сердца. *Программные системы: теория и приложения*. 2023;14(4):141–188. <https://doi.org/10.25209/2079-3316-2023-14-4-141-188>. Gribova V.V., Shalfeeva E.A., Petryaeva M.V., Okun D.B., Fedorishchev L.A., Kovalev R.I. Cloud service for differential diagnosis and appointment of personalized treatment of inflammatory heart diseases. *Software systems: theory and applications*. 2023;14(4):141–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.25209/2079-3316-2023-14-4-141-188>.

Информация о вкладе авторов

Грибова В.В. – разработка методологии и дизайна исследования, критическая доработка рукописи, руководство исследованием, утверждение окончательного варианта статьи. Шалфеева Е.А. – разработка дизайна исследования, концепции статьи, анализ и интерпретация полученных данных. Петряева М.В. – сбор данных, подготовка информационных ресурсов, участие в написании текста, подготовка окончательной версии текста. Окунь Д.Б. – сбор данных, подготовка информационных ресурсов, участие в написании текста, подготовка иллюстративного материала. Все авторы внесли свой вклад в работу по статье и одобрили представленную версию.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Грибова Валерия Викторовна, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, заместитель директора ИАПУ ДВО РАН по научной работе, главный научный сотрудник, лаборатория анализа больших данных в здравоохранении и биомедицине, ДВФУ, Владивосток, Россия, e-mail: gribova@iacp.dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9393-351X>.

Шалфеева Елена Арефьевна, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН, старший научный сотрудник лаборатории анализа больших данных в здравоохранении и биомедицине, ДВФУ, Владивосток, Россия, e-mail: shalfe@dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5536-2875>.

Петряева Маргарита Вячеславовна, канд. мед. наук, научный сотрудник, лаборатория интеллектуальных систем, ИАПУ ДВО РАН; старший научный сотрудник, лаборатория анализа больших данных в здравоохранении и биомедицине, ДВФУ, Владивосток, Россия, e-mail: margaret@iacp.dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1693-4508>.

Окунь Дмитрий Борисович, канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия, e-mail: okdm@dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6300-846X>.

Поступила 23.05.2025;
рецензия получена 23.07.2025;
принята к публикации 30.07.2025.

Information on author contributions

Gribova V.V. – development of research methodology and design, critical revision of the manuscript, research guidance, approval of the final version of the article. Shalfeeva E.A. – development of research design, article concepts, analysis and interpretation of the data obtained. Petryaeva M.V. – data collection, preparation of information resources, participation in writing the text, preparation of the final version of the text. Okun D.B. – data collection, preparation of information resources, participation in writing the text, preparation of illustrative material. All the authors contributed to the work on the article and approved the submitted version.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors

Valeria V. Gribova, Dr. Sci. (Tech.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director of the IACP FEB RAS; Chief Research Scientist, Laboratory for Big Data Analysis in Healthcare and Biomedicine, FEFU, Vladivostok, Russia, e-mail: gribova@iacp.dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9393-351X>.

Elena A. Shalfeeva, Dr. Sci. (Tech.), Leading Research Scientist, Laboratory of Intelligent Systems of the IACP FEB RAS; Senior Research Scientist, Laboratory of Big Data Analysis in Healthcare and Biomedicine, FEFU, Vladivostok, Russia, e-mail: shalfe@dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5536-2875>.

Margarita V. Petryaeva, Cand. Sci. (Med.), Research Scientist, Laboratory of Intelligent Systems of the IACP FEB RAS; Senior Research Scientist, Laboratory of Big Data Analysis in Healthcare and Biomedicine, FEFU, Vladivostok, Russia, e-mail: margaret@iacp.dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1693-4508>.

Dmitry B. Okun, Cand. Sci. (Med.), Research Scientist, Laboratory of Intelligent Systems of the IACP FEB RAS, Vladivostok, Russia, e-mail: okdm@dvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6300-846X>.

Received 23.05.2025;
review received 23.07.2025;
accepted for publication 30.07.2025.