

Оригинальная статья / Original paper



doi:10.17853/1994-5639-2026-2-56-84

## Подготовка кадров для ядерной медицины: сущность, актуальное состояние, проблемы<sup>2</sup>

В.А. Федоров<sup>1</sup>, А.А. Баранова<sup>2</sup>

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Российская Федерация.

E-mail: <sup>1</sup>fedorov1950@gmail.com; <sup>2</sup>a.a.baranova@urfu.ru

П.Ф. Кубрушко

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,  
Москва, Российская Федерация.

E-mail: pkubrushko@mail.ru

✉ fedorov1950@gmail.com

**Аннотация.** Введение. Исследование посвящено преодолению системного кадрового дефицита в ядерной медицине, вызванного междисциплинарной разобщенностью, отсутствием единых образовательных стандартов и несогласованностью профессиональных траекторий. Цель – выявить системные проблемы подготовки кадров и разработать теоретико-методологические основы интегративной модели непрерывного образования для данной отрасли. Методология, методы и методики. В методологическом плане исследование опирается на контекстный и интегративный подходы. Проведен анализ современной научной литературы и нормативно-правовых документов. Использованы методы сравнительного анализа образовательных программ медицинских и технических вузов, систематизации профессиональных компетенций, выявления методологических и организационно-педагогических барьеров в рамках сетевого взаимодействия образовательных и клинических учреждений. Результаты. Выявлена проблема отсутствия актуальных профессиональных и образовательных стандартов, адекватных запросам отрасли. Дисциплинарная разобщенность между медицинским и инженерно-физическим подходами в подготовке кадров для ядерной медицины вызывает различия в трактовке ее сущности и затрудняет межпрофессиональную коммуникацию. Организационно-педагогические барьеры состоят в отсутствии интеграции клинической практики в инженерное образование и ограниченности программ по радиохимии. Научная новизна заключается в конкретизации проблемы междисциплинарного разрыва в подготовке кадров для комплексных отраслей и обосновании необходимости интегративных педагогических моделей на основе принципов непрерывности и контекстного подхода. Практическая значимость состоит в возможности использования результатов для разработки межведомственного плана модернизации системы подготовки кадров, направленного на покрытие кадровых потребностей отрасли и обеспечение ее технологического суверенитета.

**Ключевые слова:** ядерная медицина, специалисты ядерной медицины, профессиональные компетенции, междисциплинарность, кадровый дефицит, образовательные программы

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность рецензентам журнала «Образование и наука» за экспертное мнение и конструктивный подход.

**Для цитирования:** Федоров В.А., Баранова А.А., Кубрушко П.Ф. Подготовка кадров для ядерной медицины: сущность, актуальное состояние, проблемы. *Образование и наука*. 2026;28(2):56–84. doi:10.17853/1994-5639-2026-2-56-84

## Personnel training for nuclear medicine: essence, current status, and challenges

V.A. Fedorov<sup>1</sup>, A.A. Baranova<sup>2</sup>

*Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russian Federation.*

E-mail: <sup>1</sup>fedorov1950@gmail.com; <sup>2</sup>a.a.baranova@urfu.ru

P.F. Kubrushko

*Russian State Agrarian University – Moscow K. A. Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russian Federation.*

E-mail: pkubrushko@mail.ru

✉ fedorov1950@gmail.com

**Abstract.** *Introduction.* The study is dedicated to addressing the systemic personnel shortage in nuclear medicine, which is caused by interdisciplinary fragmentation, a lack of unified educational standards, and misaligned professional pathways. *Aim.* The present research aimed to identify systemic issues in personnel training and to develop the theoretical and methodological foundations of an integrative model for continuous education within this industry. *Methodology and research methods.* Methodologically, this research is grounded in contextual and integrative approaches. An analysis of contemporary scientific literature and regulatory legal documents was undertaken. Methods employed include comparative analysis of educational programmes in medical and technical universities, systematisation of professional competencies, and identification of methodological and organisational-pedagogical barriers within the framework of networked interaction between educational and clinical institutions. *Results.* The issue of outdated professional and educational standards that fail to adequately meet the needs of the industry has been identified. The disciplinary divide between the medical and engineering-physics approaches to training personnel for nuclear medicine results in differing interpretations of its core principles and impedes interprofessional communication. Organisational and pedagogical barriers include the lack of integration of clinical practice within engineering education and the limited scope of radiochemistry programmes. *Scientific novelty.* The scientific novelty lies in the detailed identification of the interdisciplinary gap in training personnel for complex industries and the justification for the necessity of integrative pedagogical models based on the principles of continuity and a contextual approach. *Practical significance.* The practical significance resides in the potential application of these findings to develop an interdepartmental plan for modernising the personnel training system, aimed at addressing the industry's staffing requirements and ensuring its technological sovereignty.

**Keywords:** nuclear medicine, nuclear medicine specialists, professional competencies, interdisciplinarity, personnel shortage, educational programmes

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the reviewers of the Education and Science Journal for their expert opinions and constructive approach.

**For citation:** Fedorov V.A., Baranova A.A., Kubrushko P.F. Personnel training for nuclear medicine: essence, current status, and challenges. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2026;28(2):56–84. doi:10.17853/1994-5639-2026-2-56-84

## Введение

Современная ядерная медицина – динамично развивающаяся междисциплинарная область, интегрирующая ядерную физику, радиохимию, молекулярную биологию и медицинскую визуализацию. Ее методологической основой является применение радиофармацевтических препаратов (РФП) для радионуклидной диагностики и терапии. Ключевой тенденцией стало внедрение гибридных технологий визуализации ПЭТ/КТ (позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией), ПЭТ/МРТ (позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с магнитно-резонансной томографией), ОФЭКТ/КТ (однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, совмещенной с компьютерной томографией), позволяющих совмещать оценку функциональных процессов с точной анатомической локализацией. Также развивается концепция тераностики, обеспечивающая интеграцию диагностики и лечения на основе единого молекулярного таргета. Однако технологический прогресс обострил проблему подготовки кадров, способных работать с инновационными методами и сложным оборудованием. В России эта проблема усугубляется терминологической и организационной неоднозначностью статуса ядерной медицины, которая зачастую рассматривается как часть «лучевой диагностики», что отражается в нормативных и образовательных стандартах. Интенсивный технологический прогресс в сфере радионуклидной диагностики и терапии обуславливает актуальность проектирования специализированных педагогических моделей и образовательных траекторий, направленных на формирование у будущих специалистов целостной системы интегративных знаний и компетенций, необходимых для эффективной профессиональной деятельности в условиях межотраслевой интеграции. В свою очередь, для реализации такого проектирования необходимо понимание сути проблем подготовки специалистов для ядерной медицины и причин их возникновения.

Это и определило **цель** настоящего исследования, заключающуюся в проведении анализа сущности подготовки кадров для ядерной медицины через призму актуального состояния профессиональных компетенций и функциональных ролей специалистов различного профиля, участвующих в полном ядерно-медицинском цикле, и выявлении существующих проблем, приводящих к дефициту таких специалистов.

**Гипотеза** исследования заключается в том, что отставание системы подготовки кадров для ядерной медицины от уровня ее научно-технологического развития обусловлено методологической разобщенностью и недостаточной системностью в проектировании содержания, форм, методов и средств такой подготовки.

Представленная работа отвечает на исследовательские вопросы: как выявленные проблемы отрасли ядерной медицины связаны с подготовкой кадров? По каким причинам возникает разрозненность образовательных программ,

стремящихся обеспечить отрасль кадрами разных специализаций? Какие ведущие методологические подходы необходимо привлечь для решения проблем подготовки специалистов для ядерной медицины?

Ограничением исследования является его теоретико-аналитический характер, фокус на системных проблемах в рамках ядерной медицины и опора на анализ документов, что исключает апробацию модели и рассмотрение вопросов индивидуальной педагогики. Практическая значимость выводов требует дальнейшей валидации при проектировании и внедрении конкретных образовательных программ.

## Обзор литературы

Современные исследования подтверждают стратегическую значимость развития диагностических технологий для решения глобальных проблем онкологической помощи, как следует из обзора А. В. Rosencrantz с коллегами [1]. Согласно данным микроимитационного моделирования одиннадцати форм онкологических заболеваний, проведенного Н. Hricak с соавторами [2], совершенствование методов медицинской визуализации способно предотвратить 3,2 % (2,46 млн) из 76 млн случаев летальности в мировом масштабе в период 2020–2030 гг., что эквивалентно сохранению 54,92 млн лет жизни. Наиболее значимый эффект достигается при комплексном подходе, интегрирующем совершенствование визуализации, терапии и качества медицинской помощи. Реализация такой стратегии позволяет предотвратить 9,55 млн (12,5 %) случаев смертности от моделируемых видов рака, сохранив 232,3 млн лет жизни.

Анализ современных тенденций в сфере здравоохранения в мире, согласно исследованиям D. Mankoff [3] и P. Olivier с соавторами [4], установил, что отрасль ядерной медицины предъявляет уникальный комплекс требований к подготовке высококвалифицированных кадров.

Обучение в Китае по направлениям, относящимся к ядерной медицине, охватывает уровни бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, предлагая разнообразные программы, включающие курсы по изотопным технологиям, радиофармации и семинары по повышению квалификации, о чем свидетельствует обзор 2025 года, выполненный J. Wang, X. Lan, H. Shi и S. Li [5]. Инновационные модели обучения, такие как сочетание небольших частных онлайн-курсов и перевернутых классов, показали значительное улучшение знаний, практических навыков и уровня удовлетворенности резидентов по сравнению с традиционным лекционным обучением.

Исследования W. Yang и F. Luo с коллегами [6; 7] показали, что в отрасли ядерной медицины Китая создана надежная цепочка поставок радиофармпрепаратов и оборудования, обеспечивающая как клинические, так и исследовательские потребности.

Что касается развития отрасли в Российской Федерации, эмпирические данные, собранные Л. А. Чипига с соавторами, подтверждают ее динамичное развитие: по состоянию на начало 2025 года зарегистрировано 188 медицин-

ских организаций, работающих с радионуклидами. Из них 152 подразделения специализируются на однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), 81 – на позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), и 52 подразделения предоставляют услуги радионуклидной терапии [8].

Перспективы развития дополнительно подкрепляются ее интеграцией в ключевые государственные инициативы. Планируется, что с 2025 года ядерная медицина будет входить в состав национального проекта «Продолжительная и активная жизнь», что актуализирует задачи по ускоренной подготовке специалистов<sup>1</sup>.

Факторы, недостаточное развитие которых сдерживает развитие ядерной медицины, отмечены во многих работах российских и зарубежных авторов. В. В. Уйба с соавторами [9], коллектив авторов М. В. Ковальчук, С. М. Деев, К. А. Сергунова [10], Ю. Н. Анохин [11] отмечают, что применение методов, обеспечивающих визуализацию не структурно-морфологических изменений, а функциональных и метаболических процессов на молекулярном и клеточном уровнях обеспечивает ведение пациентов с онкологическими, кардиологическими и нейродегенеративными патологиями в соответствии с принципами персонализированной медицины. ПЭТ и ОФЭКТ, особенно в интеграции с КТ или МРТ, становятся неотъемлемым инструментом для ранней доклинической диагностики, оценки эффективности лечения и мониторинга рецидивов. Глобальная тенденция к интеграции гибридной визуализации (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ) и молекулярной визуализации непосредственно в процесс облучения, требует от специалистов как клинических, так и технических знаний, отмечают также в мировом сообществе (K. Muylle и L. Maffioli [12], J. Czernin и J. Calais [13], H. J. Biersack [14]).

Прогнозируется, что к середине века медицина трансформируется в персонализированную систему, где ядерные технологии станут ключевым драйвером развития визуализации и таргетного лечения, а основу этой трансформации составит конвергенция геномики, искусственного интеллекта, цифрового здравоохранения и фармакологии [15]. В работах Ю. Н. Анохина и М. В. Ковальчука с соавторами [10; 11] основным условием реализации данного стратегического потенциала названо *кадровое обеспечение*. О. А. Александрова и А. В. Ярашева с соавторами также отмечают, что создается парадоксальная ситуация, когда даже при оснащении медицинских организаций современным оборудованием, его эффективное и безопасное использование существенно затруднено в связи с отсутствием квалифицированных кадров, способных осуществлять эксплуатацию высокотехнологичных систем [16]. В свою очередь, серьезным препятствием для развития кадрового потенциала, особенно в развивающихся регионах, остается отсутствие стандартизованных профессиональных образовательных программ и профессиональных стандартов – к такому выводу в своих работах приходят как российские иссле-

<sup>1</sup> Структура Национального проекта «Продолжительная и активная жизнь». Режим доступа: <http://government.ru/rugovclassifier/917/about/> (дата обращения: 26.10.2025).

дователи (О. В. Кузнецова с соавторами [17]), так и зарубежные (А. О. Adefuye с коллегами [18]).

В условиях глобализации российская биомедицина должна быть готова к ответу на общемировые вызовы. Однако В. Д. Маркова и А. Н. Пухальский [19], Л. А. Чипига с соавторами [8], а также О. В. Кузнецова, А. С. Самойлов и О. И. Волпянская [17] отмечают значительный территориальный дисбаланс в распределении как материально-технических ресурсов, так и квалифицированных кадров: на Москву и Санкт-Петербург приходится существенная доля всех диагностических и терапевтических центров. Устранение этого дисбаланса является критически важным не только с социально-экономической, но и с биологической точки зрения, поскольку обеспечивает раннее выявление заболеваний на популяционном уровне, что следует из работы Л. А. Чипига с соавторами [8]. Несмотря на активное развитие ядерной медицины, глобальный доступ к этим технологиям и в мире остается крайне неравномерным. Согласно данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), лишь 134 из 195 стран мира имеют отделения ядерной медицины. Диспропорции в оснащенности оборудованием поразительны: так, количество ПЭТ-сканеров на миллион жителей в странах с высоким уровнем дохода составляет 3,2, тогда как в странах с низким уровнем дохода – лишь 0,007 [20]. Аналогичная ситуация, по словам Д. Раэз и соавторов, наблюдается и с распределением ОФЭКТ-камер [21]. Этот цифровой разрыв создает серьезное препятствие для обеспечения равного доступа к качественной медицинской помощи и подчеркивает необходимость международной кооперации в данной сфере, в том числе и в подготовке кадров.

Решение вопроса функционирования масштабных инфраструктурных проектов, согласно работам В. В. Уйба, Ю. Н. Анохина и О. В. Кузнецовой в составе авторских коллективов, связано с необходимостью скординированного развития образовательных траекторий подготовки востребованных специалистов на всех уровнях, включая формирование соответствующих федеральных государственных образовательных стандартов [9; 11; 17].

Еще одним аспектом, который отмечен в работах исследователей Л. А. Чипига, В. В. Уйба и Ю. Н. Анохина, является необходимость строгого соблюдения регламентов, обеспечивающих безопасность пациентов и персонала, которая неразрывно связана с профессиональной подготовкой задействованного при этом персонала [8; 9; 17]. Хронический кадровый дефицит в ядерной медицине подтверждается исследованием А. П. Черняева с коллегами: наблюдается дисбаланс между текущей численностью медицинских физиков, составляющей около 690 специалистов, и расчетной потребностью отрасли, которая оценивается в 1500 человек [22]. Несмотря на то что подготовка и повышение квалификации кадров формально осуществляются на всех уровнях образования в соответствии с утвержденными Перечнями специальностей<sup>1</sup>, О. В. Кузнецова

<sup>1</sup> Приказ Минобрнауки РФ от 12.09.2013 г. № 1061 «Об утверждении Перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования». Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=391201&sysId=mhs2c0019z791368414> (дата обращения: 26.10.2025).

с соавторами отмечают отсутствие специализированных профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС), учитывающих специфику данной области [17]. Аналогичная проблема существует и за рубежом: например, китайские исследователи W. Yang и F. Luo с коллегами [6; 7] отмечают, что, несмотря на подготовку более 2000 врачей с 2014 года, сохраняется нехватка кадров, особенно в узких областях и на технических должностях. В настоящее время там предпринимаются усилия по расширению программ обучения, привлечению специалистов разных дисциплин и усилению контроля качества.

Таким образом, резюмируя ценность и актуальность всех без исключения рассмотренных исследований, следует признать, что проблемы отрасли ядерной медицины освещаются многими российскими и зарубежными исследователями, но представленная в них информация о ключевых проблемах развития ядерной медицины не систематизирована. Тем не менее следует подчеркнуть, что во всех работах при обсуждении аспектов, влияющих на развитие отрасли, затрагивается проблематика ее кадрового обеспечения: разрешение проблем развития ядерной медицины упирается в преодоление системного кризиса в подготовке ее кадрового потенциала. Недостаток квалифицированных специалистов напрямую сказывается на качестве и доступности высокотехнологичной помощи, создает риски для биобезопасности и замедляет внедрение новых технологий, от которых зависит диагностика и лечение наиболее социально значимых заболеваний, поэтому формирование эффективной системы кадрового обеспечения ядерной медицины представляет собой стратегический приоритет для Российской Федерации.

### **Методология, материалы и методы**

Исследование является системно-аналитическим и нацелено на выявление актуальных проблем в подготовке кадров для отрасли ядерной медицины. В работе систематизируются научные взгляды на имеющиеся препятствия на пути развития отрасли в мировом и отечественном масштабе. Методом исследования степени развития отрасли ядерной медицины в России и мире стал анализ источников, находящихся в открытом доступе в сети Интернет глубиной до 10 лет, включая отчеты экспертов, отечественные и зарубежные научные работы, опубликованные в подтверждавших свою репутацию журналах.

Выявление и структурирование ключевых противоречий между потребностями отрасли и возможностями образовательных программ разной направленности на текущем уровне развития выполнялось с помощью сравнительного анализа нормативно-правовых, научных и статистических данных отечественных и международных педагогических практик в области инженерных и медицинских образовательных программ.

Обобщение и систематизация собранных данных позволили выделить организационно-методические и методологические барьеры, препятствующие

успешному преодолению разрыва между подготовкой кадров и запросами отрасли.

В методологическом плане исследование опирается на контекстный и интегративный подходы, в соответствии с которыми удалось сформулировать научную проблему, решение которой может быть найдено путем проектирования теоретико-методологической модели непрерывной интегративной подготовки специалистов для ядерной медицины в рамках межведомственного сотрудничества социальных партнеров, учитываяющего нормативно-правовое регулирование при разработке образовательных программ, отвечающих требованиям отрасли, в том числе в смежных ее областях.

## Результаты исследования

На основе систематизации данных, полученных при теоретическом анализе литературы, определены три ключевых аспекта, содержащих развитие ядерной медицины и детерминирующих возрастание потребности в соответствующих специалистах.

1. Технологическое отставание кадров. Кардинальный сдвиг медицинской парадигмы в сторону высокотехнологичной функциональной диагностики и терапии требует от специалистов принципиально новых компетенций, которые не формируются в рамках традиционных образовательных программ.

2. Территориально-кадровая диспропорция. Устойчивое неравенство регионов в обеспечении услугами ядерной медицины является не только инфраструктурной, но и острой кадровой проблемой, поскольку существующая система подготовки не ориентирована на целевое воспроизводство специалистов для конкретных территорий. Крайне ограниченная география подготовки кадров, сконцентрированная в единичных ведущих вузах страны, порождает и усиливает устойчивое региональное неравенство в обеспечении специалистами и, как следствие, в доступности высокотехнологичной помощи для населения.

3. Дефицит компетенций в области безопасности. Жесткие законодательные требования к работе с радиоактивными материалами делают качественную подготовку кадров не просто элементом образовательного процесса, а ключевым звеном всей системы радиационной безопасности, от которого напрямую зависит правомерность и сама возможность оказания медицинской помощи.

*Таким образом, этот комплекс взаимосвязанных вызовов, затрагивающих ключевые аспекты развития передовой отрасли здравоохранения, напрямую зависит от решения кадровой проблемы в ядерной медицине.*

Несмотря на расширяющееся применение высокотехнологичного оборудования и радиофармпрепаратов, процесс развития кадрового потенциала характеризуется значительным отставанием. Анализ мирового опыта показал, что проблемы адаптации образовательных программ к быстрому технологи-

ческому прогрессу носят общемировой характер, что указывает на универсальность выявленных вызовов.

Проведенное исследование позволило обозначить ряд барьеров, сдерживающие развитие подготовки кадров для ядерной медицины в Российской Федерации.

Первым существенным препятствием в организации системной подготовки кадров выступают терминологические противоречия, закрепленные в нормативной базе. В российской практике сохраняется синонимичность понятий «лучевая диагностика» и «диагностическая радиология» и их смешение с понятием «радионуклидная диагностика», тогда как в международной классификации понятие «лучевая диагностика» отсутствует вообще. Вместо него используется термин «диагностическая радиология», которая четко разграничена с отраслью ядерной медицины (Nuclear Medicine), к которой относят радионуклидную диагностику и терапию (см. рис 1).



Рис. 1. Терминология лучевой диагностики, терапии и ядерной медицины в России и за рубежом

Fig. 1. Terminology of radiation diagnostics, therapy, and nuclear medicine in Russia and abroad

Представленная на рис. 1 схема составлена на основе анализа отчетов и публикаций представителей отрасли в России [23; 24] и данных, которых придерживается МАГАТЭ<sup>1</sup>.

Понятие о лучевой диагностике появилось в нашей стране в конце 80-х годов и официально закреплено в приказе Минздрава РСФСР «О совершенствовании службы лучевой диагностики» от 02.08.1991 г. № 132<sup>2</sup>. Согласно этому приказу, «в состав отделения лучевой диагностики входят отделения, кабинеты и лаборатории рентгенологической, рентгеноэндоскопической, ангиографической, рентгенотомографической, магнитно-резонансной, радионуклидной, ультразвуковой, патоморфологической и других видов диагностики, в зависимости от местных условий».

Что касается зарубежных стран, к диагностической радиологии относят все вышеперечисленные отрасли за исключением радионуклидной диагностики, которую за рубежом относят к ядерной медицине.

Характерным примером возникающих методологических противоречий в образовательном процессе является наличие в действующих нормативных документах<sup>3</sup> положений, включающих магнитно-резонансную томографию в перечень рентгенологических исследований, несмотря на различные физические принципы этих методов. Аналогичные сложности возникают при классификации интервенционных вмешательств, которые занимают пограничное положение между диагностикой и терапией, что требует их выделения в отдельный структурный блок в учебных программах.

Таким образом, в России сложилась *терминологическая путаница*, при которой радионуклидная диагностика одновременно относится и к ядерной медицине, и к лучевой диагностике. Этот первичный терминологический барьер порождает прямые организационные последствия. В образовательных программах он выражается в некорректном объединении радионуклидной диагностики с методами визуализации, основанными на принципиально иных физических подходах, что наглядно показано на рис. 1.

Вторым барьером функционирования подготовки кадров выступает системное несоответствие между интенсивным технологическим развитием отрасли и состоянием ее нормативно-правового обеспечения. *Нормативный вакуум* препятствует формированию унифицированных требований к компетенциям специалистов и создает правовые барьеры для разработки полноценных образовательных программ на всех уровнях профессиональной подготовки специалистов для ядерной медицины.

В Российской Федерации наблюдается острый дефицит квалифицированных медицинских физиков, наиболее выраженный в радиотерапии. Си-

<sup>1</sup> Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. 710 p.

<sup>2</sup> Приказ Минздрава РСФСР «О совершенствовании службы лучевой диагностики» от 02.08.1991 г. № 132. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=73433> (дата обращения: 26.10.2025).

<sup>3</sup> Приказ Минздрава России от 09.06.2020 г. № 560н (ред. от 18.02.2021) «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований». Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=412656> (дата обращения: 26.10.2025).

стемной причиной данной проблемы является отсутствие законодательного закрепления профессии медицинского физика в штатных расписаниях большинства лечебных учреждений. Следствием этого становится не только количественная нехватка специалистов, но и невозможность обеспечения надлежащего уровня радиационной безопасности и качества лечения.

Следует подчеркнуть, что в странах Европы медицинские физики признаны ключевыми участниками мультидисциплинарных команд, несущими ответственность за качество, безопасность и внедрение новых технологий в клиническую практику. Отсутствие аналогичной практики в России приводит к *системному отставанию в стандартах оказания радиотерапевтической помощи* и ограничивает возможности внедрения современных протоколов лечения.

Проблемой является не только ограниченное число выпускников профильных специальностей, которые обеспечивали бы кадровый состав отрасли специалистами инженерно-технических, радиохимических и медицинских направлений, но и необходимость обоснования и разработки системы *непрерывного ядерно-медицинского образования*, включающей подготовку, профессиональную переподготовку и повышение квалификации медицинских физиков, радиохимиков, инженеров и врачей-радиологов. Отсутствие на текущий момент единых требований к компетенциям специалистов ядерной медицины, подчеркивающих интегративность их деятельности, включающей элементы деятельности инженера и медицинского работника, препятствует созданию такой системы. При этом очевидно, что образовательная программа для подготовки таких специалистов должна соответствовать их будущей профессиональной деятельности и *интегрировать* в своем содержании компоненты инженерного и медицинского образования.

Третий барьер развития системы подготовки кадров является следствием действия первых двух и представляет собой обобщение структурно-содержательных несоответствий, возникающих под их влиянием в системе подготовки кадров. Например, организационные последствия терминологической неопределенности проявляются в формировании образовательных программ на основе устаревших классификаций, что приводит к несоответствию российских стандартов подготовки международным требованиям. Проблему представляют разрозненность в подготовке специалистов для смежных областей – ядерной медицины и радиационной онкологии, каждая из которых имеет свои целевые ориентиры и методологические основы, вследствие отсутствия единой законодательно закрепленной основы подготовки. Преодоление этих системных противоречий требует разработки унифицированного подхода к организации образовательного процесса, учитывающего как специфику российской системы здравоохранения, так и международные стандарты в области ядерной медицины. Например, указывая на искаженную номенклатуру медицинских специальностей в области медицинской визуализации в России, сильно отличающуюся от общепринятой мировой практики, И. Е. Тюрин го-

ворит о необходимости внесения соответствующих изменений в профессиональные стандарты врача-рентгенолога и врача-радиолога [23]

Таким образом, проведенный анализ позволил сформировать общую картину объективного противоречия между потребностью в создании системы непрерывной подготовки узкоспециализированных специалистов для работы с интегративными радионуклидными технологиями в ядерной медицине и недостаточностью теоретико-методологической разработанности непрерывной и интегративной подготовки таких специалистов, учитывающей трансдисциплинарную природу ядерной медицины.

Для формулирования методологической основы преодоления выявленных общих проблем и разработки научно-методических основ функционирования единой образовательной экосистемы подготовки специалистов в области ядерной медицины, обеспечивающей интеграцию физико-технических, радиохимических и медицинских компетенций были отдельно проанализированы три соответствующих им компонента профессиональной подготовки, обеспечивающих работу отрасли.

Инженерно-физическое содержание подготовки (физико-технический компонент) специалиста ядерной медицины востребовано не столько клинической практикой, сколько сферой прикладной физики, где ключевым объектом деятельности является обеспечение эксплуатации и разработки высокотехнологичного и наукоемкого радиологического оборудования. Основными образовательными программами, в рамках которых осуществляется данная подготовка, являются «Ядерная физика и технологии» и «Медицинская физика». Их содержательное наполнение направлено на поэтапное формирование следующих ключевых профессиональных компетенций:

1. Фундаментально-теоретическую, подразумевающую глубокое усвоение системных знаний о физической природе ядерных распадов, типах ионизирующих излучений и закономерностях их взаимодействия с биологическими тканями. Эта база является когнитивным фундаментом для последующего освоения прикладных дисциплин.

2. Технико-технологическую, как компонента подготовки, включающую усвоение принципов устройства, функционирования и метрологического обеспечения сложных ядерно-медицинских комплексов, таких как позитронно-эмиссионные томографы (ПЭТ), однофотонные эмиссионные компьютерные томографы (ОФЭКТ) и гибридные системы (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/МРТ). Формирование данной компетенции обеспечивает способность к техническому обслуживанию, калибровке и диагностике неисправностей оборудования.

3. Дозиметрическо-безопасностную, раскрываемую навыками дозиметрического планирования и строгого соблюдения принципов радиационной безопасности. Особое значение приобретает освоение и понимание международного принципа ALARA (As Low As Reasonably Achievable), который составляет основополагающую философско-практическую парадигму радиационной защиты в медицине. Его изучение требует не просто запоминания норматив-

ных документов, а формирования соответствующего типа профессионального мышления.

Параллельно с инженерно-физическими в физико-технический компонент включено содержание подготовки *инженеров-прибористов*, в котором интеграция содержания модулей по ядерной электронике с усиленной практико-ориентированной составляющей сочетается с медициной и радиологией. Образовательный акцент в рамках данного компонента смещен в сторону формирования у обучающихся устойчивых прикладных компетенций. Это подразумевает целенаправленное развитие навыков операционной работы с диагностическим и терапевтическим оборудованием, а также освоение передовых технологий визуализации в условиях, максимально приближенных к реальной клинической практике.

Очевидно, что неотъемлемым дидактическим условием эффективности компонента *инженерной подготовки* с точки зрения дальнейшей коммуникации с профессионалами, специализирующимися в смежных областях: радиохимиками и врачами, является включение в учебный процесс обширной лабораторной и, что критически важно, клинической практики. Теоретически ее реализация возможна в формате *сетевого взаимодействия* с профильными медицинскими организациями. Оно обеспечит погружение студентов в реальную профессиональную среду и способствует формированию не только профессиональных (*hard skills*), но и универсальных (*метапредметных*) компетенций (*soft skills*), таких как командная работа, клиническое мышление и коммуникация с медицинским персоналом.

Однако именно на этом этапе возникает ключевая проблема организационного и методического характера. Технические университеты, обладая мощной ресурсной базой для проведения лабораторных работ по физико-техническим дисциплинам, сталкиваются со значительными сложностями в организации полноценной клинической практики. Основное противоречие заключается в диссонансе между инженерной образовательной средой, доминирующей в стенах технического вуза, и клинико-биологической средой медицинского учреждения.

Конкретными барьерами в такой ситуации выступают, в первую очередь, *организационно-правовые сложности*. Заключение договоров о сетевом взаимодействии с медицинскими организациями сопряжено с длительными согласованиями, необходимостью соответствия строгим внутренним регламентам лечебных учреждений и вопросами страхования ответственности. Доступ студентов-техников к рабочим местам, где осуществляется диагностика и лечение пациентов, часто ограничен по сравнению с доступом студентов-медиников к приборной базе.

Во-вторых, для эффективного руководства практикой со стороны медицинской организации требуются специалисты (врачи-радиологи, медицинские физики), которые обладают не только глубокими профессиональными знаниями, но и компетенциями в области педагогики, чтобы адаптировать

клинический материал для восприятия учащимися с инженерным, а не медицинским складом мышления. Дефицит таких универсальных наставников (методиков-педагогов) является существенным сдерживающим фактором.

В-третьих, возникает методическая проблема разработки содержания и форм клинической практики, которая была бы дидактически релевантна для будущего инженера. Необходимо выделить из общего потока клинической деятельности те элементы, которые формируют конкретные инженерно-технические компетенции (например, анализ сбоев оборудования, участие в верификации и приемке аппаратуры, оптимизация протоколов визуализации с технической точки зрения), избегая поверхностного ознакомительного характера практики.

Таким образом, преодоление разрыва между теоретической подготовкой в стенах технического университета и требованиями практико-ориентированной деятельности в медицинской организации требует целенаправленной выработки интегративных педагогических моделей подготовки специалиста для ядерной медицины. Это предполагает не просто формальное направление студентов в больницу, а создание совместных учебно-методических комплексов, проведение симуляционных тренингов на базе вуза с привлечением медицинских специалистов и внедрение сквозных проектов, где техническая задача напрямую увязана с клиническим контекстом. Только такой системный подход позволяет трансформировать потенциальные возможности сетевого взаимодействия в реальный механизм формирования высококвалифицированного специалиста для ядерной медицины.

Следующий ключевой компонент профессиональной подготовки связан с радиохимией. Он является центральным для ядерной медицины, поскольку охватывает всю технологическую цепочку: от производства и контроля качества радиофармпрепаратов (РФП) до их применения. Целью данного компонента является формирование у будущих радиохимиков готовности к выполнению профессиональных функций, связанных с разработкой, синтезом и стандартизацией диагностических и терапевтических РФП. Его содержательное наполнение необходимо связывать с освоением методов синтеза новых «меченых» соединений, обеспечением строгого соответствия регуляторным требованиям надлежащей производственной практики (GMP), а также выработкой компетенций для эффективного междисциплинарного взаимодействия с клиницистами и технологами. Значимой составляющей при этом является также подготовка к научно-исследовательской деятельности по созданию новых агентов и к преподавательской работе в рамках обучения радиохимиков и технологов.

Методическое своеобразие образовательных программ для радиохимиков определяется необходимостью формирования глубокой теоретической базы в области органической, неорганической и физической химии с последующей углубленной специализацией в радиохимии и радиофармацевтике. Ключевой дидактический акцент делается на формировании практико-ориентированных компетенций, обеспечивающих готовность выпускника к работе в услови-

ях строгих требований радиационной безопасности и стандартов GMP<sup>1</sup>. Однако растущая потребность в радиохимиках для ядерной медицины сталкивается с ограниченным предложением образовательных программ. Сложившаяся система подготовки кадров в области радиохимии характеризуется смещением основного образовательного ядра на уровни магистратуры и аспирантуры, что обуславливает системный дефицит фундаментальных программ бакалавриата по данному профилю. Компенсация этого пробела осуществляется через разработку и внедрение модульных магистерских программ, ориентированных на подготовку медицинских физиков. Однако данный опыт носит точечный характер и сталкивается с системными трудностями при масштабировании.

Во-первых, отсутствие унифицированных требований к профессиональным компетенциям отражается на содержании образовательных программ и затрудняет разработку тиражируемых образовательных моделей.

Во-вторых, реализация программ затруднена высокой стоимостью создания и поддержания учебно-лабораторной базы, соответствующей требованиям радиационной безопасности и надлежащей лабораторной практики (GLP).

В-третьих, сложности административного и методического взаимодействия между учреждениями разной ведомственной подчиненности (Минобрнауки и Минздрав) препятствуют формированию сквозных образовательных траекторий, обеспечивающих междисциплинарность подготовки.

Кроме того, процесс формирования междисциплинарных компетенций сопряжен с рядом системных и методических проблем. К ним относятся объективная сложность моделирования полного технологического цикла работы с радиофармпрепаратами в условиях образовательной организации, а также недостаточная нормативно-методическая база для организации безопасной производственной практики обучающихся.

Следующий, медицинский компонент подготовки специалистов для ядерной медицины обладает рядом характерных особенностей, обусловленных спецификой данной междисциплинарной области. Он направлен на формирование у будущих специалистов компетенций, необходимых для использования методов ядерной медицины в исследовании патофизиологических процессов и клиническом применении радиофармпрепаратов. Однако этот процесс осложняется отсутствием единой концептуальной основы, что отражается на содержании образовательных программ и их соответствии международным стандартам. Содержательные и организационные аспекты подготовки медиков к деятельности в ядерной медицине значительно варьируются в разных программах медицинского образования. Как правило, раздел обучения ядерной медицине интегрирован в более широкие образовательные программы подготовки врачей и преподается в рамках радиологии или клинических модулей. Объем и глубина его изучения демонстрируют существенные межвузовские различия: в некоторых образовательных программах содержа-

<sup>1</sup> Правила производства и контроля качества лекарственных средств (GMP): нац. стандарт Российской Федерации от 18.11.2009 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071754> (дата обращения: 24.11.2025).

ние ядерной медицины полностью отсутствует, тогда как в других достигает 62 академических часов.

Обобщение обсуждаемых аспектов подготовки кадров для ядерной медицины в инженерных и медицинских вузах представлено в таблице 1.

Таблица 1  
Особенности образовательных программ подготовки специалистов для ядерной медицины в технических и медицинских вузах

Table 1  
Features of educational programmes for training specialists in nuclear medicine at technical and medical universities

| Особенность / Feature  | Медицинские вузы / Medical universities  | Технические университеты / Technical universities   |
|--|--|---|
| Деятельностная направленность (Ядро программы) / Activity orientation (Core Programme Focus) | Клиническая диагностика и терапия. Интерпретация данных визуализации, патофизиологические процессы, взаимодействие РФП с молекулярными мишениями, планирование лучевой терапии / Clinical diagnostics and therapy. Interpretation of imaging data, pathophysiological processes, interaction of radiopharmaceuticals with molecular targets, planning of radiation therapy | Прикладная ядерная физика и радиохимия. Эксплуатация, калибровка и разработка оборудования (ПЭТ, ОФЭКТ), дозиметрическое планирование, принципы радиационной безопасности / Applied nuclear physics and radiochemistry. Operation, calibration and development of equipment (PET, SPECT), dosimetric planning, principles of radiation safety |
| Предназначение ядерной медицины / Purpose of nuclear medicine                                | Инструмент клинической практики, раздел радиологии / A tool of clinical practice, a branch of radiology  | Прикладная область ядерных технологий и инженерии / Applied field of nuclear technologies and engineering   |
| Ключевые компетенции выпускников / Key graduate competencies                                 | Клиническое мышление, диагностика, ведение пациентов, интерпретация результатов / Clinical thinking, diagnosis, patient management, interpretation of results  | Техническое обслуживание аппаратуры, обеспечение радиационной безопасности, метрология, разработка и оптимизация протоколов визуализации / Technical maintenance of equipment, ensuring radiation safety, metrology, development and optimisation of imaging protocols  |
| Интеграция с другими областями медицины / Integration with other medical fields              | Интеграция в рамках клинических модулей (радиология, онкология, кардиология) / Integration within clinical modules (radiology, oncology, cardiology)   | Сетевое взаимодействие с медицинскими организациями для проведения практик; интеграция модулей по ядерной электронике, радиохимии и радиологии / Networking with medical organisations for internships; integration of modules in nuclear electronics, radiochemistry and radiology   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Продолжительность и уровень подготовки / Duration and level of training</b>      | Длительная послесвипломная подготовка (ординатура: 2–4 года в РФ; 4–5 лет в Европе).<br>Базовая программа в ординатуре по специальности «Ядерная медицина» или «Радиология» / <i>Extended postgraduate training (residency: 2–4 years in the Russian Federation; 4–5 years in Europe). Basic residency program in the specialties “Nuclear Medicine” or “Radiology”</i> | Магистратура (2 года) предусматривается основной траекторией продолжения образования для выпускников бакалавриата по физико-техническим специальностям. Акцент на программах «Ядерная физика и технология» и «Медицинская физика» / <i>A master's degree (2 years) is the main educational path for graduates with a bachelor's degree in physics and technical specialties. Focus on programs in “Nuclear Physics and Technology” and “Medical Physics”</i> |
| <b>Практическое обучение / Practical training</b>                                   | Клинические ротации, ведение пациентов, работа в диагностических отделениях / <i>Clinical rotations, patient management, work in diagnostic departments</i>   | Лабораторный практикум (физико-технический), техническая практика по обслуживанию оборудования, ограниченная клиническая практика с фокусом на аппаратно-технические аспекты / <i>Laboratory practicals (physics and technical), technical practice in equipment maintenance, limited clinical practice focusing on hardware and technical aspects</i>   |
| <b>Стандартизация и нормативная база / Standardization and regulatory framework</b> | Сильно варьируется. Отсутствие единых национальных рекомендаций для базового образования / <i>Highly variable. Lack of unified national guidelines for basic education</i>  | Часто модульная структура программ. Однако отсутствуют специализированные ФГОС, адекватные современным запросам отрасли / <i>Often a modular program structure. However, there are no specialised Federal State Educational Standards adequate to modern industry demands</i>  |
| <b>Основные проблемы подготовки / Main training challenges</b>                      | Недостаточный объем подготовки в инженерной составляющей по программам, низкая грамотность выпускников в области визуализации / <i>Insufficient engineering component in programmes, low graduate literacy in the field of imaging</i>  | Организационно-правовые сложности сетевого взаимодействия с клиниками; дефицит квалифицированных в смежных направлениях наставников; трудности разработки дидактически-релевантной клинической практики для инженеров / <i>Organisational and legal difficulties in networking with clinics; shortage of qualified mentors in related fields; difficulties in developing didactically relevant clinical practice for engineers</i>                           |

Проведенный анализ показал, что в контексте подготовки специалистов для ядерной медицины наблюдается значительное разнообразие образовательных траекторий, охватывающих программы всех уровней высшего образования в зависимости от ведомственной принадлежности и профиля образовательной организации. При этом содержание существующей системы подготовки включает как медицинские, так и технические компоненты. С одной стороны, это отражает *интегративный характер деятельности специа-*

листа в отрасли. С другой стороны, анализ содержания образовательных программ позволяет констатировать, что, несмотря на существование единого формального определения ядерной медицины, его концептуальное наполнение и профессиональные акценты существенно различаются в зависимости от образовательной траектории. Однако наблюдаемая вариативность подходов к подготовке специалистов свидетельствует об отсутствии унифицированных стандартов, учитывающих современные международные требования к квалификации персонала в области радионуклидной диагностики и терапии.

Ключевой проблемой при этом остается сохраняющаяся дисциплинарная разобщенность инженерной и медицинской образовательных систем, препятствующая формированию у обучающихся целостного понимания интегративной предметной области и ограничивающая эффективность межпрофессионального взаимодействия специалистов внутри комплексной отрасли.

В медицинских вузах ядерная медицина трактуется преимущественно как клиническая дисциплина, нацеленная на диагностику и терапию, в то время как в технических университетах она рассматривается как прикладная область ядерной физики и радиохимии, фокусирующаяся на технологических аспектах получения и применения радиофармпрепаратов. Данное расхождение в понимании сущности данной области, с одной стороны, подчеркивает необходимость специализированного углубленного изучения и освоения конкретных профессиональных функций выпускниками каждой из образовательных программ, с другой, приводит к отсутствию единого комплексного представления о разных сторонах функционирования ядерной медицины, порождает непонимание и затрудняет межотраслевую (инженеры – врачи) коммуникацию. Это усложняет профессиональное погружение выпускников разных специальностей, призванных обеспечить развитие ядерной медицины, в клиническую практику.

В качестве методологической основы преодоления данных проблем предлагается проектирование теоретико-методологической модели непрерывной интегративной подготовки специалистов ядерной медицины, синтезирующей в качестве основных:

1. Контекстный подход, обеспечивающий погружение обучающихся в предметное и социальное содержание их будущей профессиональной деятельности через моделирование сквозных технологических цепочек и реальных ситуаций трансдисциплинарного взаимодействия.

2. Системный подход к структурированию содержания образования, позволяющий выделить инвариантное ядро фундаментальных знаний и вариативные компоненты специализации, выстроенные по вертикали от бакалавриата к дополнительному профессиональному образованию с соблюдением принципа преемственности.

3. Интегративный подход обеспечивает синергию контекстного и системного подходов, обеспечивает практическое воплощение идей контекстного и системного подходов. Функция заключается в соединении инвариантного ядра

знаний и вариативных компонент специализации в рамках смоделированных профессиональных ситуаций, тем самым трансформируя совокупность знаний и навыков в целостную профессиональную компетентность.

## **Обсуждение**

Проведенный анализ позволяет констатировать, что подготовка кадров для ядерной медицины требует системного пересмотра в связи с технологической трансформацией отрасли, ее растущей трансдисциплинарной сложностью и интегративностью деятельности занятых в ней специалистов.

Разрозненность образовательных программ подтверждается примерами их реализации как в России, так и за рубежом. Что касается инженерной подготовки, то для реализации задач разработки и поддержания в рабочем состоянии высокотехнологичного радиологического оборудования технические университеты разрабатывают специализированные модульные магистерские программы, ориентированные на подготовку медицинских физиков и инженеров. Эти программы, содержание которых отражено в работе В. В. Верхотуровой с соавторами [25], характеризуются дифференциацией и индивидуализацией учебных планов, позволяя студентам, имеющим базовую подготовку в области ядерной физики и технологий, углубиться в узкоспециализированные исследовательские или прикладные аспекты инженерного дела. Педагогическое проектирование соответствующих образовательных траекторий требует реализации компетентностного подхода, ориентированного на формирование строго определенного набора знаний, умений и навыков, обеспечивающих конкурентоспособность выпускника.

В Китае, как показывает исследование Н. Yan с коллегами, в настоящее время нет официальной карьерной лестницы или штатного расписания специально для медицинских физиков. Большинство клинических медицинских физиков классифицируются по более широким направлениям, таким как клиническая, инженерная или исследовательская деятельность, а не как отдельная профессия. Такое отсутствие признания затрудняет карьерный рост, профессиональное развитие и удержание кадров, заставляя многих квалифицированных физиков покидать больницы и переходить на должности в отрасли с более высокой должностью и более высокой заработной платой. Такая ситуация характерна не только для Китая. Во многих странах медицинские физики часто работают под другими названиями (например, техник, биомедицинский инженер), и их роль не всегда хорошо понимается или ценится администрациями здравоохранения [26].

Эффективные образовательные программы по радиохимии интегрируют знания из химии, физики, биологии и клинической практики. Акцент подготовки, как отмечают исследователи I. O. Lawal, A. Aerts с соавторами, сосредоточен на специализации в радиохимии и радиофармацевтике без учета инженерных особенностей работы оборудования [27; 28]. Реализация данного компонента как части отрасли ядерной медицины отмечена еще в конце

прошлого века в работе G. Subramanian [29] и продолжает обеспечиваться в современных программах через комплекс методов активного обучения, включающий специализированный лабораторный практикум, производственные стажировки и проектно-ориентированное взаимодействие с клиническими подразделениями медицинских организаций, о чем свидетельствуют работы коллектива M. N. Lonsdale [31].

В работах K. Muylle и L. Maffioli [18], A. Teresińska с соавторами [31], J. Czernin и J. Calais [32], посвященных образовательному процессу подготовки медиков, акцент делается на глубокое изучение механизмов взаимодействия радиофармпрепаратов с клеточными рецепторами и молекулярными мишениями, освоение принципов визуализации и интерпретации результатов радионуклидных исследований, а также формирование понимания основ дозиметрии и радиобиологии для планирования лучевой терапии. Зарубежные исследования, проведенные J. Czernin [32], P. Lass и J. Scheffler [33], A. Adefuye и др. [18], S. C. Wang [34], констатируют, что базовое образование в области ядерной медицины часто оказывается недостаточным, что приводит к низкому уровню грамотности в области визуализации у молодых специалистов и отсутствию стандартизованных национальных рекомендаций в ряде регионов.

Последипломная подготовка врачей в данной сфере характеризуется значительной продолжительностью: в европейских странах она занимает от 4 до 5 лет, в то время как в США составляет 3 года и часто включает стажировки по смежным специальностям, таким как радиология, кардиология и онкология. Программа резидентуры по ядерной медицине в Китае (NM RTP) представляет собой стандартизованную трехгодичную программу обучения, охватывающую 377 учебных центров по всей стране, как отмечено в работах F. Luo и X. Xia с коллегами [7; 35]. Программа включает в себя базовые ротации в области ядерной медицины, клинических отделений, радиологии и краткосрочные стажировки, направленные на обеспечение широкого клинического опыта и приобретение специализированных навыков. Однако только 16 из 36 месяцев обучения посвящаются ядерной медицине, что обуславливает необходимость более целенаправленной и узкоспециализированной подготовки, особенно в области онкологии и передовых методов визуализации.

Таким образом, ключевыми проблемами, препятствующими эффективному кадровому обеспечению ядерной медицины, являются следующие.

1. Отсутствие системной интеграции нормативных требований и содержания образования, а именно отсутствие унифицированных требований к компетенциям специалистов и актуальных образовательных стандартов, адекватных современным производственным задачам.

2. Несоответствие между содержанием образовательных программ и реальными технологическими процессами в условиях развития гибридных методов визуализации и тераностики.

3. Ресурсно-инфраструктурная асимметрия - ограниченный доступ к современному оборудованию и наличие необходимых для реализации образовательного процесса условий в лишь ограниченном числе регионов.

4. Кадрово-педагогический дефицит - нехватка квалифицированных преподавателей в вузах, способных интегрировать технические и клинические аспекты подготовки.

Важно отметить, что какое-то локальное решение данных проблем верифицируется в литературных источниках, анализирующих опыт международных и российских образовательных программ. Таким является опыт реализации специализированных курсов или междисциплинарных программ, отраженный в работах M. Welch [36], S. Azzawi, S. Marin, B. Goddard [37]. В Российской Федерации есть примеры программ, реализуемых в рамках стратегического партнерства технических и медицинских вузов, в которых сделаны попытки междисциплинарной интеграции. Учебные планы в описанной В. В. Верхотуровой, Ю. Ю. Вебером, Е. С. Сухих программе сфокусированы на формировании компетенций в области радиохимии, радиофармации и радиационной безопасности, что обеспечивает подготовку кадров для высокотехнологичных секторов экономики, включая не только ядерную медицину, но и атомную промышленность и научно-исследовательский комплекс [25].

Дискуссия вокруг моделей комбинированной подготовки выпускников медицинских вузов вызвана несоответствием между объемом материала и временем, отведенным для его освоения. Как справедливо отмечают G. M. Segall с соавторами [38], предлагаемые в ряде стран сокращенные форматы (например, 16 месяцев для ядерной медицины и 32 месяца для радиологии) вступают в противоречие с фундаментальным педагогическим принципом когнитивной достаточности. Объем необходимых для усвоения компетенций, включающий радиофизику, радиационную безопасность, спектр методов визуализации (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ) и радионуклидную терапию, делает невозможным достижение целей обучения в условиях дидактической компрессии учебного времени. В качестве доказательства H. Biersack приводит сравнительный анализ: успешная реализация аналогичной двойной специализации в Германии требует 8,5 лет, что объективно отражает когнитивную сложность и объем учебного материала [14]. При этом специализированные программы вызывают больший интерес у потенциальных кандидатов на обучение: исследование J. H. Rudell с коллегами [39] выявило снижение общего количества традиционных ординатур в области ядерной медицины более чем на 25 % за последнее десятилетие наряду с повышенным интересом к обновленной программе, предполагающей узкоспециализированную сертификацию в ядерной медицине и рассчитанной на 16 месяцев. Это подтверждает целесообразность введения емких междисциплинарных модулей в основные образовательные программы, поскольку такой подход соответствует готовности современных специалистов осваивать междисциплинарные навыки в сжатые сроки.

Таким образом, стремление к решению выявленных проблем путем введения междисциплинарных модулей в образовательные программы разной направленности на локальном уровне подчеркивает актуальность поднятой в статье тематики, однако обозначенные проблемы носят не ситуативный, а системный характер, что требует разработки универсальной методологии их решения. Сложившийся нормативно-содержательный разрыв между образовательной практикой и реальными потребностями ядерной медицины актуализирует необходимость теоретического осмысления и научного обоснования новых педагогических моделей профессиональной подготовки.

Эмпирически установлено, что традиционные подходы к организации образовательного процесса не обеспечивают требуемого уровня интеграции компетенций из смежных областей знания – радиофизики, радиохимии, медицинской инженерии и клинической практики. В связи с этим возникает методологическая потребность в разработке концептуальной основы, способной преодолеть несбалансированность существующих образовательных программ.

В контексте решения обозначенной проблемы научный интерес представляют современные педагогические модели, являющиеся адаптацией классических подходов для сферы профессионального образования. Данные модели, обладая трансдисциплинарным характером, предлагают системное видение интеграции технологических, андрагогических, профессионально-практических и содержательных компонентов при подготовке специалистов для ядерной медицины.

Выявленные в ходе исследования системные противоречия подготовки кадров позволяют перейти к формулированию научной проблемы. Она заключается в обосновании и разработке теоретико-методологических основ непрерывной интегративной подготовки специалистов в области ядерной медицины, учитывающих современные технологические вызовы (гибридная визуализация, тераностика), междисциплинарную сущность отрасли с учетом требований профессиональной деятельности в условиях межведомственного взаимодействия.

## Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что системный кадровый дефицит в ядерной медицине является следствием фундаментального противоречия между междисциплинарной, технологически интенсивной природой отрасли и существующей разрозненной, дисциплинарно-ориентированной системой подготовки кадров. Выявлены ключевые проблемы: отсутствие единых требований к компетенциям, несоответствие содержания образования реальным производственным задачам, региональная диспропорция в доступности оборудования и дефицит квалифицированных педагогических кадров. Системный анализ проблем кадрового обеспечения ядерной медицины формирует научно обоснованный базис для разработки целевых мер образо-

вательной политики и организационно-управленческих решений. Полученные результаты имеют прикладную ценность для органов управления образованием и здравоохранением, предоставляя структурированную основу для межведомственного планирования и нормативного регулирования (в части разработки профессиональных стандартов и актуализации ФГОС); для образовательных организаций – определяя содержательные и структурные приоритеты модернизации образовательных программ; для отраслевых работодателей – предлагая верифицированные данные для стратегического кадрового планирования и институционального развития. Таким образом, исследование создает системные предпосылки для преодоления структурного дисбаланса между динамичным развитием отрасли и состоянием ее кадрового потенциала.

Разрешение сформулированной научной проблемы видится в создании интегративной образовательной системы непрерывной подготовки специалистов ядерной медицины. Такая система должна быть основана не на сумме дисциплин, а на сквозных профессиональных контекстах, что позволит формировать целостные компетенции для работы в междисциплинарной команде.

Таким образом, формирование целостной системы подготовки кадров для ядерной медицины на основе верифицированных теоретических подходов представляет собой ключевое условие преодоления текущего кадрового дефицита. Реализация обозначенных методологических подходов и развивающих их принципов создаст предпосылки для устойчивого развития отрасли, будет способствовать укреплению научно-технологического потенциала в области радионуклидной диагностики и терапии и повысит конкурентоспособность отечественного здравоохранения.

### Список использованных источников

1. Rosenkrantz A.B., Chaves C.L., Hughes D.R., Recht M.P., Nass S.J., Hricak H. National trends in oncologic diagnostic imaging. *Journal of the American College of Radiology*. 2020;17(9):1116–1122. doi:10.1016/j.jacr.2020.06.001
2. Hricak H., Abdel-Wahab M., Atun R., Lette M.M., Paez D., Brink J.A., et al. Medical imaging and nuclear medicine: a Lancet Oncology Commission. *The Lancet. Oncology*. 2021;22(4):136–172. doi:10.1016/S1470-2045(20)30751-8
3. Mankoff D. The future of nuclear medicine. *The Journal of Nuclear Medicine*. 2023;64:1329–1330. doi:10.2967/jnumed.123.266448
4. Olivier P., Colarinha P., Fettich J., Fischer S., Frökier J., Giannarile F., et al. Guidelines for radioiodinated MIBG scintigraphy in children. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2003;30(5):B45–50. doi:10.1007/s00259-003-1138-9
5. Wang J., Lan X., Shi H., Li S. A brief report on the results of the 2024 national survey of nuclear medicine conducted by the Chinese society of nuclear medicine. *The Journal of Nuclear Medicine*. 2025;66:684–685. doi:10.2967/jnumed.124.269044
6. Yang W., Kang F., Chen Y., Zhu Z., Wang F., Qin C., et al. Landscape of nuclear medicine in China and its progress on theranostics. *Journal of Nuclear Medicine: Official Publication, Society of Nuclear Medicine*. 2024;65(1):29S–37S. doi:10.2967/jnumed.123.266968

7. Luo F., Geng J., Chen S. Status and development of nuclear medicine over one decade in Beijing. *World Journal of Nuclear Medicine*. 2024;23:73–78. doi:10.1055/s-0044-1778712
8. Чипига Л.А., Козлова К.Н., Звонова И.А., Водоватов А.В., Библин А.М., Станжевский А.А. География и структура центров ядерной медицины на территории Российской Федерации по состоянию на 2025 год. *Радиационная гигиена*. 2025;18(2):98–108. doi:10.21514/1998-426X-2025-18-2-98-108
9. Уйба В.В., Удалов Ю.Д., Лебедев А.О., Шулепова Л.И. Перспективы внедрения технологий ядерной медицины в системе ФМБА России. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2019;64(2):5–10. doi:10.12737/article\_5ca58d9b366162.17322538
10. Ковалчук М.В., Деев С.М., Сергунова К.А. Таргетная ядерная медицина. Достижения, проблемы и перспективы. *Российские нанотехнологии*. 2023;18(4):436–455. doi:10.56304/S1992722323040088
11. Анохин Ю.Н. *Применение ядерных и радиационных технологий в медицине*. М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»; 2023. 233 с. doi:10.12737/1882570
12. Muylle K., Maffioli L. Nuclear medicine training in Europe: “All for One, One for All”. *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(12):1904–1905. doi:10.2967/jnumed.117.201012
13. Czernin J., Calais J. Redesigned curricula, stringent licensing criteria, and integrated independence are conditions for a bright future for nuclear medicine in the United States. *Journal of Nuclear Medicine*. 2023;64(9):1359–1360. doi:10.2967/jnumed.123.265672
14. Biersack H.J. Nuclear medicine training: two different pathways? *Journal of Nuclear Medicine*. 2018;59(8):1335. doi:10.2967/jnumed.118.210401
15. Swan M. Health 2050: the realization of personalized medicine through crowdsourcing, the quantified self, and the participatory biocitizen. *Journal of Personalized Medicine*. 2012;2:93–118. doi:10.3390/jpm2030093
16. Александрова О.А., Ярошева А.В., Медведева Е.И., Крошилин С.В. Научные подходы к развитию кадрового потенциала столичного здравоохранения: опыт 5 лет исследований. *Народонаселение*. 2024;27(4):140–152. doi:10.24412/1561-7785-2024-4-140-152
17. Кузнецова О.В., Самойлов А.С., Воллянская О.И. О подготовке кадров для ядерной медицины. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2019;64(2):82–88. doi:10.12737/article\_5ca610ab7b5103.17524440
18. Adefuye A.O., Adeola H.A., More S., Mohamed Z. The need for nationally accepted guidelines for undergraduate nuclear medicine teaching in MBChB programmes in South Africa. *South Africa Journal of Radiology*. 2020;24(1):1874. doi:10.4102/sajr.v24i1.1874
19. Маркова В.Д., Пухальский А.Н. Современные возможности развития ядерной медицины в России. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2012;16(1):7–10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17851089> (дата обращения: 26.10.2025).
20. Gallach M., Lette M., Abdel-Wahab M., Giannarile F., Pellet O., Paez D. Addressing global inequities in positron emission tomography-computed tomography (PET-CT) for cancer management: a statistical model to guide strategic planning. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2020;26:e926544-1–e926544-8. doi:10.12659/msm.926544
21. Paez D., Giannarile F., Orellana P. Nuclear medicine: a global perspective. *Clinical and Translational Imaging*. 2020;8:51–53. doi:10.1007/s40336-020-00359-z
22. Черняев А.П., Акопян Ж.А., Антипина Н.А. [и др.]. Первичная специализированная аккредитация медицинских физиков. *Медицинская физика*. 2024;1:63–71. doi:10.52775/1810-200X-2024-101-1-63-71
23. Тюрин И.Е. Отчет за 2020 г. главного внештатного специалиста Минздрава России по лучевой и инструментальной диагностике. Режим доступа: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/ %D0 %9E %D1 %82 %D1 %87 %D0 %B5 %D1 %82\\_%D0](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/ %D0 %9E %D1 %82 %D1 %87 %D0 %B5 %D1 %82_%D0)

- %B7 %D0 %B0\_2020\_%D0 %B3 %D0 %BE %D0 %B4\_%D0 %A2 %D1 %8E %D1 %80 %D0 %B8 %D0 %BD.pdf?1624967722 (дата обращения: 26.10.2025).
24. Черняев А.П., Борщеговская П.Ю., Николаева А.А., Варзарь С.М., Самосадный В.Т., Крусанов Г.А. Радиационные технологии в медицине. Часть 2. Применение изотопов в ядерной медицине. *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия*. 2016;4:3-12. Режим доступа: <https://vmu.phys.msu.ru/ru/abstract/2016/4/16-4-003/> (дата обращения: 26.10.2025).
  25. Верхотурова В.В., Вебер Ю.Ю., Сухих Е.С. Разработка и использование модульной образовательной программы «Nuclear Medicine» для подготовки медицинских физиков (магистров). *Медицинская физика*. 2021;4(92):55–66. doi:10.52775/1810-200X-2021-92-4-55-66
  26. Yan H., Hu Z., Huang P., Men K., Zhang Y., Wang L., et al. The status of medical physics in radiotherapy in China. *Physica Medica*. 2021;85:147–157. doi:10.1016/j.ejmp.2021.05.007
  27. Lawal I.O. Nuclear medicine training: skills and competencies required for practice in the 21st century. *World Journal of Nuclear Medicine*. 2023;22(2):75–77. doi:10.1055/s-0043-1769588
  28. Aerts A., Eberlein U., Holm S., Hustinx R., Konijnenberg M., Strigari L., et al. EANM position paper on the role of radiobiology in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2021;48(11):3365–3377. doi:10.1007/s00259-021-05345-9
  29. Subramanian G. The role of the radiochemist in nuclear medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*. 1974;4(3):219–227. doi:10.1016/s0001-2998(74)80010-3
  30. Lonsdale M.N., Bardiès M., Boellaard R., Christofides S., Flux G., Lassmann M., et al. EFOMP and EANM: joint recommendations for a curriculum for the education and training of physicists in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2013;40:645–648. doi:10.1007/s00259-013-2349-3
  31. Teresińska A., Birkenfeld B., Królicki L., Dziuk M. Nuclear medicine training and practice in Poland. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2014;41(10):1995–1999. doi:10.1007/s00259-014-2853-0
  32. Czernin J. Is 16 months of specialized nuclear medicine training enough for best patient care? *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(10):1535.
  33. Lass P., Scheffler J. Undergraduate teaching of nuclear medicine in European universities. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2003;30(7):1018–1023. doi:10.1007/s00259-003-1191-4
  34. Wang S.C. Nuclear medicine training in China. *European Journal of Nuclear Medicine*. 1996;23(10):1405–1407. doi:10.1007/BF01367600
  35. Xia X., Qin C., Li M., Lan X. Standardized nuclear medicine residency training program in China. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2024;51(11):3153–3156. doi:10.1007/s00259-024-06798-4
  36. Welch M.J. Training needs for chemists in nuclear medicine research and production. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1993;171:269–276. doi:10.1007/BF02039697
  37. Al Azzawi S., Rojas Marin J., Goddard B. Radiochemistry education and demand. *Nuclear Science and Technology Open Research*. 2025;5:25. doi:10.12688/nuclscitechnolopenres.17618.1
  38. Segall G.M., Grady E.E., Fair J.R., Ghesani M.V., Gordon L. Nuclear medicine training in the United States. *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(11):1733–1734. doi:10.2967/jnumed.117.200857
  39. Ruddell J.H., Eltorai A.E.M., Tang O.Y., et al. The current state of nuclear medicine and nuclear radiology: workforce trends, training pathways, and training program websites. *Academic Radiology*. 2020;27(12):1751–1759. doi:10.1016/j.acra.2019.09.026

## References

1. Rosenkrantz A.B., Chaves C.L., Hughes D.R., Recht M.P., Nass S.J., Hricak H. National trends in oncologic diagnostic imaging. *Journal of the American College of Radiology*. 2020;17(9):1116–1122. doi:10.1016/j.jacr.2020.06.001
2. Hricak H., Abdel-Wahab M., Atun R., Lette M.M., Paez D., Brink J.A., et al. Medical imaging and nuclear medicine: a Lancet Oncology Commission. *The Lancet. Oncology*. 2021;22(4):136–172. doi:10.1016/S1470-2045(20)30751-8
3. Mankoff D. The future of nuclear medicine. *The Journal of Nuclear Medicine*. 2023;64:1329–1330. doi:10.2967/jnumed.123.266448
4. Olivier P., Colarinha P., Fettich J., Fischer S., Fröckier J., Giannarile F., et al. Guidelines for radioiodinated MIBG scintigraphy in children. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2003;30(5):B45–50. doi:10.1007/s00259-003-1138-9
5. Wang J., Lan X., Shi H., Li S. A brief report on the results of the 2024 national survey of nuclear medicine conducted by the Chinese society of nuclear medicine. *The Journal of Nuclear Medicine*. 2025;66:684–685. doi:10.2967/jnumed.124.269044
6. Yang W., Kang F., Chen Y., Zhu Z., Wang F., Qin C., et al. Landscape of nuclear medicine in China and its progress on theranostics. *Journal of Nuclear Medicine: Official Publication, Society of Nuclear Medicine*. 2024;65(1):29S–37S. doi:10.2967/jnumed.123.266968
7. Luo F., Geng J., Chen S. Status and development of nuclear medicine over one decade in Beijing. *World Journal of Nuclear Medicine*. 2024;23:73–78. doi:10.1055/s-0044-1778712
8. Chipiga L.A., Kozlova K.N., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Biblin A.M., Stanzhevsky A.A. The geography and structure of nuclear medicine centres in the Russian Federation in 2025. *Radiacionnaja gigiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(2):98–108. (In Russ.) doi:10.21514/1998-426X-2025-18-2-98-108
9. Uiba V.V., Udalov Yu.D., Lebedev A.O., Shulepova L.I. Prospects for implementing of technologies of nuclear medicine in the FMBA of Russia. *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019;64(2):5–10. (In Russ.) doi:10.12737/article\_5ca58d9b366162.17322538
10. Kovalchuk M.V., Deev S.M., Sergunova K.A. Targeted nuclear medicine. Achievements, challenges and prospects. *Rossijskie nanotehnologii = Russian Nanotechnologies*. 2023;18(4):436–455. (In Russ.) doi:10.56304/S1992722323040088
11. Anokhin Yu.N. *Primenenie jadernyh i radiacionnyh tehnologij v medicine = Application of Nuclear and Radiation Technologies in Medicine*. Moscow: INFRA-M Scientific Publishing Center LLC; 2023. 233 p. (In Russ.) doi:10.12737/1882570
12. Muylle K., Maffioli L. Nuclear medicine training in Europe: “All for One, One for All”. *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(12):1904–1905. doi:10.2967/jnumed.117.201012
13. Czernin J., Calais J. Redesigned curricula, stringent licensing criteria, and integrated independence are conditions for a bright future for nuclear medicine in the United States. *Journal of Nuclear Medicine*. 2023;64(9):1359–1360. doi:10.2967/jnumed.123.265672
14. Biersack H.J. Nuclear medicine training: two different pathways? *Journal of Nuclear Medicine*. 2018;59(8):1335. doi:10.2967/jnumed.118.210401
15. Swan M. Health 2050: the realization of personalized medicine through crowdsourcing, the quantified self, and the participatory biocitizen. *Journal of Personalized Medicine*. 2012;2:93–118. doi:10.3390/jpm2030093
16. Aleksandrova O.A., Yarasheva A.V., Medvedeva E.I., Kroshilin S.V. Scientific approaches to development of human resources in the capital's healthcare: 5 years of research experience. *Narodonasele-nie = Population*. 2024;27(4):140–152. doi:10.24412/1561-7785-2024-4-140-152

17. Kuznetsova O.V., Samoylov A.S., Volpyanskaya O.I. Training for nuclear medicine. *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost' = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019;64(2):82–88. (In Russ.) doi:10.12737/article\_5ca610ab7b5103.17524440
18. Adefuye A.O., Adeola H.A., More S., Mohamed Z. The need for nationally accepted guidelines for undergraduate nuclear medicine teaching in MBChB programmes in South Africa. *South Africa Journal of Radiology*. 2020;24(1):1874. doi:10.4102/sajr.v24i1.1874
19. Markova V.D., Puhalskiy A.N. Modern possibilities of nuclear medicine development in Russia. *Patologija krovoobrashhenija i kardiohirurgija = Pathology of Blood Circulation and Cardiac Surgery*. 2012;16(1):7–10. (In Russ.) Accessed October 26, 2025. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17851089>
20. Gallach M., Lette M., Abdel-Wahab M., Giammarile F., Pellet O., Paez D. Addressing global inequities in positron emission tomography-computed tomography (PET-CT) for cancer management: a statistical model to guide strategic planning. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2020;26:e926544-1–e926544-8. doi:10.12659/msm.926544
21. Paez D., Giammarile F., Orellana P. Nuclear medicine: a global perspective. *Clinical and Translational Imaging*. 2020;8:51–53. doi:10.1007/s40336-020-00359-z
22. Chernyaev A.P., Hakobyan J.A., Antipina N.A., et al. Primary specialized accreditation medical physicists. *Medicinskaja fizika = Medical Physics*. 2024;1:63–71. (In Russ.) doi:10.52775/1810-200X-2024-101-1-63-71
23. Tyurin I.E. *Otchet za 2020 g. glavnogo vneshtatnogo specialista Minzdrava Rossii po luchevoj i instrumental'noj diagnostike = Report for 2020 by the Chief Freelance Specialist of the Ministry of Health of Russia on Radiation and Instrumental Diagnostics*. Accessed October 26, 2025. [https://static-0.mindzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/\\_D0\\_%E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82\\_%D0%B7%D0%B0\\_2020\\_%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%A2%D1%8E%D1%80%D0%B8%D0%BD.pdf?1624967722](https://static-0.mindzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/056/620/original/_D0_%E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_%D0%B7%D0%B0_2020_%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%A2%D1%8E%D1%80%D0%B8%D0%BD.pdf?1624967722)
24. Chernyaev A.P., Borshchegovskaya P.Yu., Nikolaeva A.A., Varzar S.M., Samosadny V.T., Krusanov G.A. Radiation technologies in medicine. Part 2. The use of isotopes in nuclear medicine. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya = Bulletin of the Moscow University. Series 3: Physics. Astronomy*. 2016;4:3–12. Accessed October 26, 2025. <https://vmu.phys.msu.ru/ru/abstract/2016/4/16-4-003/>
25. Verhoturova V.V., Veber Y.Y., Sukhikh E.S. Development and use of the modular educational program “Nuclear Medicine” for training medical physicists (masters). *Medicinskaja fizika = Medical Physics*. 2021;4(92):55–66. (In Russ.) doi:10.52775/1810-200X-2021-92-4-55-66
26. Yan H., Hu Z., Huang P., Men K., Zhang Y., Wang L., et al. The status of medical physics in radiotherapy in China. *Physica Medica*. 2021;85:147–157. doi:10.1016/j.ejmp.2021.05.007
27. Lawal I.O. Nuclear medicine training: skills and competencies required for practice in the 21st century. *World Journal of Nuclear Medicine*. 2023;22(2):75–77. doi:10.1055/s-0043-1769588
28. Aerts A., Eberlein U., Holm S., Hustinx R., Konijnenberg M., Strigari L., et al. EANM position paper on the role of radiobiology in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2021;48(11):3365–3377. doi:10.1007/s00259-021-05345-9
29. Subramanian G. The role of the radiochemist in nuclear medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*. 1974;4(3):219–227. doi:10.1016/s0001-2998(74)80010-3
30. Lonsdale M.N., Bardiès M., Boellaard R., Christofides S., Flux G., Lassmann M., et al. EFOMP and EANM: joint recommendations for a curriculum for the education and training of physicists in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2013;40:645–648. doi:10.1007/s00259-013-2349-3

31. Teresińska A., Birkenfeld B., Królicki L., Dziuk M. Nuclear medicine training and practice in Poland. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2014;41(10):1995–1999. doi:10.1007/s00259-014-2853-0
32. Czernin J. Is 16 months of specialized nuclear medicine training enough for best patient care? *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(10):1535.
33. Lass P., Scheffler J. Undergraduate teaching of nuclear medicine in European universities. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2003;30(7):1018–1023. doi:10.1007/s00259-003-1191-4
34. Wang S.C. Nuclear medicine training in China. *European Journal of Nuclear Medicine*. 1996;23(10):1405–1407. doi:10.1007/BF01367600
35. Xia X., Qin C., Li M., Lan X. Standardized nuclear medicine residency training program in China. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2024;51(11):3153–3156. doi:10.1007/s00259-024-06798-4
36. Welch M.J. Training needs for chemists in nuclear medicine research and production. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1993;171:269–276. doi:10.1007/BF02039697
37. Al Azzawi S., Rojas Marin J., Goddard B. Radiochemistry education and demand. *Nuclear Science and Technology Open Research*. 2025;3:25. doi:10.12688/nuclscitechnolopenres.17618.1
38. Segall G.M., Grady E.E., Fair J.R., Ghesani M.V., Gordon L. Nuclear medicine training in the United States. *Journal of Nuclear Medicine*. 2017;58(11):1733–1734. doi:10.2967/jnumed.117.200857
39. Ruddell J.H., Eltorai A.E.M., Tang O.Y., et al. The current state of nuclear medicine and nuclear radiology: workforce trends, training pathways, and training program websites. *Academic Radiology*. 2020;27(12):1751–1759. doi:10.1016/j.acra.2019.09.026

#### Информация об авторах:

**Федоров Владимир Анатольевич** – доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры педагогики Уральского гуманитарного института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация; ORCID 0000-0001-7941-7818. E-mail: fedorov1950@gmail.com

**Баранова Анна Александровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экспериментальной физики Физико-технологического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-3020-3832. E-mail: a.a.baranova@urfu.ru

**Кубрушко Петр Федорович** – член-корреспондент РАО, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики и психологии профессионального образования Российской государственной аграрной университета – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-2142-1037. E-mail: pkubrushko@mail.ru

#### Вклад соавторов:

В.А. Федоров – постановка задачи исследования, научное руководство, критический анализ текста статьи, структурирование материала статьи.

А.А. Баранова – выбор и анализ источников по заявленной проблематике, выявление организационно-педагогических и методологических барьеров реализации образовательных программ, формулировка научной проблемы.

П.Ф. Кубрушко – сравнительная характеристика образовательных программ медицинских и технических вузов, оформление статьи.

#### Информация о конфликте интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.07.2025; поступила после рецензирования 03.12.2025; принятая к публикации 19.12.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

***Information about the authors:***

**Vladimir A. Fedorov** – Dr. Sci. (Education), Professor, Department of Pedagogy, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation; ORCID 0000-0001-7941-7818. E-mail: fedorov1950@gmail.com

**Anna A. Baranova** – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Experimental Physics, Institute of Physics and Technology, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation; ORCID 0000-0002-3020-3832. E-mail: a.a.baranova@urfu.ru

**Petr F. Kubrushko** – Dr. Sci. (Education), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Head of the Department of Pedagogics and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation; ORCID 0000-0002-2142-1037. E-mail: pkubrushko@mail.ru

***Contribution of the authors:***

V.A. Fedorov – formulation of the research objective, scientific supervision, critical analysis of the article text, and paper design.

A.A. Baranova – selection and analysis of sources on the specified issues, identification of organisational and methodological barriers to the implementation of educational programmes, and formulation of a scientific problem.

P.F. Kubrushko – a comparative analysis of educational programmes at medical and technical universities and the structuring of academic material.

***Conflict of interest statement.*** The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 21.07.2025; revised 03.12.2025; accepted for publication 19.12.2025.

The authors have read and approved the final manuscript.