

**ОБЗОР**  
**о перспективных направлениях промышленного**  
**сотрудничества в сфере ядерных и радиационных**  
**технологий**  
**в Евразийском экономическом союзе**



**2023**

## Оглавление

|                                                                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                                          | <b>4</b>  |
| <b>I. Применение ядерных и радиационных технологий.....</b>                                                                   | <b>7</b>  |
| <b>1.1. Радиационные технологии в промышленности .....</b>                                                                    | <b>7</b>  |
| <b>1.2. Ядерные технологии в промышленности.....</b>                                                                          | <b>17</b> |
| <b>II. Правовое регулирование сферы ядерных и радиационных технологий<br/>в мире (миссия МАГАТЭ) .....</b>                    | <b>25</b> |
| <b>III. Развитие ядерных и радиационных технологий в государствах –<br/>членах ЕАЭС .....</b>                                 | <b>27</b> |
| <b>IV. Кооперационное сотрудничество государств – членов ЕАЭС в сфере<br/>ядерных и радиационных технологий .....</b>         | <b>60</b> |
| <b>V. Предложения по развитию сотрудничества государств – членов<br/>ЕАЭС в сфере ядерных и радиационных технологий .....</b> | <b>61</b> |

## Список сокращений

**ЕАЭС, Союз** – Евразийский экономический союз

**ОНПС** - Основные направления промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза до 2025 года (утверждены Решением Евразийского межправительственного совета от 30 апреля 2021 г. № 5)

**АЭС** – Атомные электростанции

**РФЛП** – Радиофармацевтические лекарственные препараты

## ВВЕДЕНИЕ

Данный обзор подготовлен в соответствии с Основными направлениями промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза до 2025 года, утвержденными Решением Евразийского межправительственного совета от 30 апреля 2021 г. № 5 (далее – ОНПС). Пунктом 21 приложения № 1 ОНПС ядерные и радиационные технологии определены в качестве приоритетного вида экономической деятельности для промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза.

Ядерные и радиационные технологии являются локомотивом развития экономики, который обеспечивает ресурс развития для машиностроения, металлургии, строительного комплекса и других отраслей промышленности. Вместе с тем, развитие ядерных и радиационных технологий невозможно без научных исследований и разработки новых технологий. Данное направление способствует росту объемов экспорта высокотехнологичной продукции.

Ядерная наука и технологии играют значительную роль в обеспечении промышленного развития и экономического роста. Среди многочисленных благ, которые они приносят – улучшенные материалы, более эффективные производственные процессы и сохранение окружающей среды, что способствует достижению ряда целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития, в том числе цели 9, предполагающей развитие промышленности, инноваций и инфраструктуры.

Согласно опубликованным МАГАТЭ данным, с использованием радиационных технологий в мире выпускается продукции на сумму более 500 млрд долл. США.<sup>1</sup> В некоторых отраслях промышленности объемы продукции, произведенной при использовании радиоактивных излучений, превосходят объемы обычной. Например, в Японии и Северной Америке более 90%

---

<sup>1</sup> Черняев А. П. Радиационные технологии. Наука. Народное хозяйство. Медицина / Москва : Издательство Московского университета, 2019

автомобильных шин и более 60% кабельной продукции выпускается с использованием радиационных технологий.<sup>2</sup>

Неэнергетическое применение ядерных и радиационных технологий приобретает все более важное значение в промышленности, медицине и сельском хозяйстве.

В докладе рассмотрены ядерные и радиационные технологии, разработки, технологии и оборудование, применяемые в государствах-членах в настоящее время, определены перспективные направления для развития сотрудничества в сфере ядерной медицины и других отраслях, использующих такие технологии, подготовлены предложения по развитию кооперационного взаимодействия Сторон по обозначенным направлениям.

На сегодняшний день государства – члены ЕАЭС имеют высокий кадровый, научный, производственный и технологический потенциал в сфере ядерных и радиационных технологий. Подобная консолидация сил – эксплуатации, прикладной науки и производства может быть использована в создании совместных разработок в сфере ядерных и радиационных технологий, пилотных проектов и кооперационном высокотехнологичном производстве, в том числе для ядерной медицины.

Особо важным представляется направление замещения иностранных компонентов, оборудования, комплектующих в отраслях, использующих ядерные и радиационные технологии.

Этому будет способствовать привлечение лучшего опыта и прогрессивных идей из смежных отраслей промышленности, согласование действий производителей высокотехнологичного оборудования, заказчиков, надзорных и сертификационных органов.

---

<sup>2</sup> Черняев А. П. Радиационные технологии. Наука. Народное хозяйство. Медицина / Москва : Издательство Московского университета, 2019

В настоящее время обеспечение доступности технологий ядерной медицины в странах Союза, в том числе востребованных радиофармпрепаратов, имеет важное социальное значение, так как напрямую связано с мероприятиями здравоохранения, направленными на борьбу с онкологическими и другими распространенными заболеваниями в государствах-членах Союза. В этой связи обмен опытом и углубление сотрудничества по развитию таких технологий, производству оборудования и комплектующих для него представляется крайне актуальной задачей.

Данный обзор подготовлен на основании информации, содержащейся в открытых источниках с учетом предложений государств-членов ЕАЭС, для ознакомления заинтересованных лиц с ядерными и радиационными технологиями, нашедшими наибольшее применение в различных сферах экономики, а также для определения возможных путей развития сотрудничества государств-членов ЕАЭС по данному направлению.

Информация, размещенная в данном обзоре, не предопределяет решение об использовании ядерных и радиационных технологий, которые могут быть приняты государствами – членами ЕАЭС на национальном уровне.

Ввиду высокой значимости ядерных и радиационных технологий для промышленности конечной целью данного доклада является нахождение перспектив развития промышленного сотрудничества по обозначенным направлениям.

Следует отметить, что детализация каждой из указанной в обзоре технологии требует более глубокого изучения вопроса с использованием компетенций технических специалистов данной области.

## I. Применение ядерных и радиационных технологий

Ядерные методы используются для определения и оценки свойств различных материалов, измерения уровня загрязнения, стерилизации и дезинфекции компонентов, мониторинга и оптимизации промышленных процессов и изменения химических, физических и биологических свойств в целях разработки новых материалов. Радиоактивное излучение может использоваться для анализа и обработки целого ряда веществ.

### 1.1. Радиационные технологии в промышленности

**Радиационные технологии** – воздействие ионизирующего излучения на вещества и материалы с целью модификации их потребительских свойств или получения информации об их структуре.

Данный вид технологий широко применяется в различных отраслях промышленности от пищевой промышленности до судостроения.

*Рисунок 1 – Сферы применения радиационных технологий в промышленности*



В промышленности используются следующие процессы, базирующиеся на радиационных технологиях<sup>3</sup>:

**Радиационная полимеризация.** В данном процессе ионизирующее излучение используется для модификации полимеров, т.е. изменения их свойств при небольших дозах радиационного облучения. Таких процессов и технологий в промышленности реализовано много, и они успешно работают, а число новых технологий в разных отраслях промышленности постоянно растет. Ниже перечислены некоторые из них:

- *радиационное модифицирование полимеров.* Это радиационное отверждение покрытий под действием пучков электронов: полимерных покрытий (лакокрасочных, металлизированных, печатных красок и др.), покрытий деревянных панелей и паркетных плиток, стеклотекстолита, массивных корпусов ракет;

- *получение радиационно-сшитого пенополиэтилена* (используется в строительстве, автомобилестроении, производстве спортивного оборудования, утеплителя, упаковочного материала);

- *производство модифицированных пористых материалов (древесины, бетона, асбоцемента, древесно-пластмассовых и бетонно-полимерных материалов, армированных пластиков).* Суть данного метода модифицирования заключается в том, что материал пропитывается химическими соединениями (мономерами или олигомерами), которые полимеризуются под действием ионизирующего излучения (обычно у-излучения). Так, например, изделия из древесины увеличивают механическую прочность и стойкость к гниению. Модифицирование полимеры улучшают характеристики гипса, картона, бумаги и т.д. Этот метод используется для полимеризации оптики, например контактных линз;

- *радиационная прививочная полимеризация* применяется для отделки текстильных изделий для улучшения антибактерицидных свойств, прочности,

---

<sup>3</sup> Черняев А. П. Радиационные технологии. Наука. Народное хозяйство. Медицина / Москва : Издательство Московского университета, 2019

термостойкости;

- *производство термостойких самослипающихся электроизоляционных материалов* (лент и резино-стеклотканей).

**Радиационное модифицирование материалов.** Модификация полимеров заключается в том, что под действием ионизирующего излучения происходит достаточное число сшивок полимерных цепей, т.е. образования трехмерных химических связей между соседними участками полимера. Данная технология используется для производства кабелей и проводов с радиационно-сшитой (модифицированной) изоляцией; для изготовления упрочненных и термоусаживающихся изделий<sup>4</sup>; а также для улучшения качества заготовок отдельных компонентов автомобильных шин — протекторов, каркасов, боковых стенок.

**Изменение цвета изделий из драгоценных и полудрагоценных камней.** С радиационными технологиями успешно работают ювелиры. Свойство ионизирующего излучения образовывать центры окраски в твердых телах применяется для изменения цвета некоторых стеклянных изделий, драгоценных и полудрагоценных камней (например, топаза, агата, нефрита, турмалина, циркона, жадеита, кварца, берилла, скаполита, алмаза, жемчуга и др.). Таким же образом можно окрашивать и обычное стекло. При облучении нейтронами получают бриллианты зеленоватой окраски, а при облучении протонами алмазы коричневого или желтоватого оттенков приобретают зеленый цвет. Кроме того, облучение используется для измельчения алмазного сырья для производства режущих и шлифующих инструментов.

**Изготовление нанопорошков.** Нанопорошки получают путем облучения под давлением природных или искусственно созданных материалов в атмосфере различных газов. При облучении материалов пучком электронов происходит испарение вещества. Затем высокотемпературный пар охлаждается, а наночастицы улавливаются в виде порошка. Нанопорошки

---

<sup>4</sup> К термоусаживающимся изделиям относятся пленки, ленты, мешки, трубки, трубы, шланги, манжеты и изделия более сложной формы и конфигурации, которые используются в электротехнической, автомобильной, пищевой промышленности, электронной технике, судостроении, строительстве.

обладают уникальными свойствами, они используются в различных областях при производстве промышленной продукции.

**Радиационное отверждение покрытий** используется в промышленности многих стран. Данный процесс является экологически чистым процессом, а также одним из самых быстрых способов отверждения лакокрасочных покрытий<sup>5</sup>. Суть метода заключается в том, что при столкновении с пучком ионизирующего излучения частицы нанесенного покрытия проникают вглубь вещества. Этот способ обладает преимуществами перед термохимическим отверждением существенно меньшим расходом электроэнергии (до 80 раз), а также тем, что процесс осуществляется при комнатной температуре, при его использовании не нужны большие площади производственных помещений. Технологии радиационного отверждения используются на многих поверхностях (деревянных, металлических, керамических, каменных, бумажных, полимерных, на магнитных дисках, массивных корпусах ракет и др.) и для различных полимерных покрытий (лакокрасочных, адгезионных, магнитных, металлизированных, печатных красок и др.).

**Радиационно-термический крекинг нефти.** Традиционные методы термокаталитического процесса, применяемые в нефтяной промышленности для переработки тяжелого углеводородного сырья с высокой вязкостью и температурой затвердевания, а также с наличием различных примесей, сложны и громоздки. Радиационно-термический крекинг нефти позволяет сократить затраты на производство 1 кг моторных топлив на 60-65% и в 50-100 раз уменьшить затраты на строительство необходимых для этих целей нефтеперегонных заводов.

В России есть научные школы в области радиационно-термического крекинга нефти и битумов (НИИЯФ МГУ). Основные научные исследования в этой области выполнены учеными СССР в 1970-1980-е гг. в Татарстане

---

<sup>5</sup> от долей секунды до нескольких секунд.

и Казахстане.

В настоящее время эти результаты используются компанией Petrobeam (США) совместно с учеными из Казахстана.

**Ионная имплантация и ионное легирование.** Под ионной имплантацией понимают способ введения атомов примесей в поверхностный слой вещества путем бомбардировки его поверхности пучком ионов с энергией 10-5000 кэВ. Он универсален, поскольку позволяет вводить любые примеси в любое твердое тело. Этот способ отличается чистотой и точностью процесса легирования, так как практически исключается попадание других примесей. Процесс происходит при комнатных температурах. Ионная имплантация используется для создания полупроводниковых транзисторов и резисторов. Она применяется для легирования металлов, т.е. изменения их физических и химических свойств (повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и т.д.).

Ионное легирование позволяет менять свойства металлов и сплавов. Создаются композиционные материалы из двух или нескольких видов веществ в строго заданном соотношении, которые обладают уникальными свойствами, существенно отличающимися от свойств основной массы вещества. Таким способом создают прочные и стойкие к коррозии поверхностные слои материалов. Это необходимо, например, при изготовлении режущих инструментов, обшивки различных аппаратов, эксплуатируемых в тяжелых условиях (корабли, автомобили, самолеты). В металлургии для упрочнения поверхности стальных режущих инструментов (фрезы, сверла и др.) имплантируют ионы азота. Имплантация ионов азота предотвращает образование трещин на поверхности металла, а также повышает коррозионные свойства стали. Этот метод нашел применение в медицине, авиационной и космической промышленности. Процесс одновременной имплантации ионов различных атомов используется для создания новых материалов.

**Электронно-лучевая (электронная) сварка.** Электронно-лучевая сварка осуществляется путем образования локализованного расплава на стыке

двух материалов или деталей с последующим его затвердеванием и образованием неразъемного соединения. При значительной глубине швов их ширина составляет единицы микрометров. Это единственный вид сварки, позволяющий осуществить практически все виды сварных швов. Для электронной сварки и резки различных материалов используются ускорители электронов с энергиями 20-200 кэВ. В промышленности такие установки выпускаются серийным способом и используются для реализации высокотехнологичных процессов в военной, космической промышленности, станкостроении и тяжелом машиностроении, энергетическом машиностроении, электротехнической и кабельной промышленности.

**Создание новых материалов.** Для этой цели применяются низкоэнергетические пучки электронов, протонов и тяжелых ионов с энергиями от 10 до 500 кэВ, а в некоторых случаях, до 5 МэВ. Глубина проникновения частиц в материал составляет 0.01-1 мкм. При облучении пучками заряженных частиц поверхностей материалов под действием ядерных реакций происходят изменения в их структуре. Облучение некоторых сплавов улучшает механические свойства материалов, например их прочность.

**Литография в производстве полупроводников.** Литография лежит в основе развития микроэлектроники, которая в государствах-членах ЕАЭС на сегодняшний день отстает от лидирующих мировых стран-производителей. Ключевое оборудование для производства полупроводников в основном монополизировано голландскими и японскими компаниями (ASML, Нидерланды (91% мирового рынка), Nikon, Япония (6%), Canon, Япония (3%).

Мировой рынок полупроводникового литографического оборудования оценивался в 15,84 млрд долларов США в 2020 году, и, по прогнозам, к 2026 году он будет стоить 28,87 млрд долларов США, при среднегодовом темпе роста в 9,54% в течение прогнозируемого периода (2021–2026 годы).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Обзор рынок полупроводникового литографического оборудования – рост, тенденции, влияние Covid - 19 и прогнозы (2023-2028 гг.). <https://www.mordorintelligence.com/>

В настоящее время в Российской Федерации АО «Микрон» — единственный в России контрактный вендор полупроводников, способен выпускать недостаточно современные чипы. На предприятии освоен выпуск микросхем по топологии 65 нм для штучных партий — инженерных образцов. Массовое производство налажено лишь для топологии не ниже 90 нм, что не соответствует требованиям времени.

Развитие данного направления в государствах-членах Союза представляет ключевое стратегическое направление для промышленности и будет способствовать повышению конкурентоспособности производителей ЕАЭС в мире.

В литографии, при изготовлении кремниевых интегральных схем находят применение рентгеновское излучение, электронные и ионные пучки. Основное назначение данного технологического процесса изготовления структур микросхем - получение на поверхности пластин контактных масок с окнами, соответствующими топологии формируемых технологических слоев, и дальнейшая передача топологии (рисунка) с маски на материал данного слоя. От разрешения электронного пучка зависит размер готового изделия: улучшение энергетического разрешения пучка позволяет уменьшать размеры микросхем, осуществляя их прецизионный микроскопический рисунок. Технология полупроводникового производства базируется в настоящее время на таких сложных процессах обработки, как фото- и электронолитография, оксидирование, ионно-плазменное распыление, ионная имплантация, диффузия, термокомпрессия и др. Имплантацией ионов создают интегральные схемы, имеющие малые размеры. Они заменяют десятки тысяч транзисторов, диодов и резисторов. Для осуществления большинства технологических операций данного процесса используют уникальное по характеристикам оборудование: оптико-механическое, термическое, ионно-лучевое.

**Радиационная обработка материалов.** Основными областями применения радиационных технологий обработки являются:

- стерилизация изделий медицинского назначения, лекарственных

препаратов и сырья для них (шприцев, одноразовых медицинских инструментов, перевязочных материалов, перчаток, хирургических накладок, препаратов крови, тканей для трансплантации и т.п.);

- стерилизация и пастеризация продуктов питания с целью увеличения сроков их хранения для предприятий быстрого питания (школы, больницы, детские учреждения);

- стерилизация воды, непрерывных потоков разнообразных растворов, смесей, отходов больничных комплексов перед их захоронением и т.п.;

- обезвреживание промышленных дымов от окислов серы, азота и токсических выбросов, обеззараживание сточных вод, стерилизация органических удобрений;

- дезинсекция зерна, круп и разнообразных специй;

- стерилизация древесины и деструкция целлюлозы;

- дезинсекция старинных изданий, архивов, уничтожение вирусов, бактерий в корреспонденции.

### **Радиационные технологии неразрушающего контроля**

Промышленный анализ с помощью ядерных технологий предполагает использование, наряду с другими методами, ионизирующих излучений для проверки качества материалов, исключающее их повреждение или образование каких-либо радиоактивных остатков. Этот метод носит название “неразрушающие испытания” (НРИ).

К методам НРИ относятся:

1. Радиография (разновидность радиационных технологий). Методы радиографии применяют для проверки изделий в авиационной, ракетно-космической, автомобильной, химической, нефтегазовой промышленности, в области атомной, тепловой и гидроэнергетики, а также микроэлектроники. Их применяют для контроля сварных швов, лопаток турбин, твердотельного ракетного топлива, строительных конструкций, печатных плат и др.

2. Гамма-томография, которая основана на дифференциальном

поглощении гамма-лучей, испускаемых источником излучения, разными материалами. Измерение интенсивности лучей, проходящих сквозь материал и не поглощаемых им, позволяет определить состав и структуру материала. С помощью этих методов можно выявить также структурные дефекты, не поддающиеся обнаружению традиционными испытаниями. Промышленная радиография применяется, например, для инспектирования бетона и сварных швов в самых разных конструкциях – газо- и нефтепроводах, резервуарах и строительных сооружениях. С ее помощью можно обнаружить трещины и дефекты, которые могут быть неразличимы при использовании других методов.

К другим широко используемым методам НРИ относятся:

- ультразвуковая радиография, в которой применяются механические вибрации, подобные звуковым волнам;
- дефектоскопия методом проникающих жидкостей, позволяющая определить местонахождение дефектов поверхности в непористых материалах;
- магнитопорошковый контроль, с помощью которого в ферромагнитных материалах обнаруживаются поверхностные и находящиеся неглубоко под поверхностью несплошности;
- токовихревая дефектоскопия, в которой для обнаружения дефектов в проводящих материалах используется электромагнитная индукция.

Для неразрушающего контроля применяют ускорители, генерирующие пучки рентгеновского, у-излучения от радиоактивных источников.

**Анализ структуры материалов.** Существуют различные виды анализа с использованием ускоренных пучков заряженных частиц. С помощью ускорителей анализ может проводиться на тяжелых заряженных частицах, на быстрых и медленных нейтронах, на электронах и  $\gamma$ -квантах. Радиоаквационный анализ осуществляется с использованием радиоактивных изотопов, реакторов или ускорителей в целях определения содержания в исследуемом веществе различных примесей других химических элементов.

Для этого вещество активируется, и по активности определяется

содержание каждого нуклида в веществе. Например, при облучении вещества у-квантами образуются фотопики в энергетических спектрах. По их набору идентифицируется примесь другого вещества. Среди ускорителей электронов для радиоактивационного анализа металлов на наличие примесей азота, кислорода, углерода и других элементов используются бетатроны, микротроны и линейные ускорители с энергией 25-30 МэВ. С помощью фотоядерных реакций на примесях воздуха оценивается степень вредности аэрозолей для человека или оценивается содержание в различных сортах табака канцерогенных веществ, например, мышьяка. Также исследуют наличие различных вредных веществ в эмали зубов.

**Рентгеновский эмиссионный анализ.** Такой тип анализа используют для исследования примесей в биологических образцах, например, уровня свинца в крови жителей загрязненных районов, наличия ртути и свинца или других вредных элементов в волосах человека.

**Мюонная технология** – это развивающаяся технология, в которой используется природный радиационный фон, а именно мюоны космических лучей. Космические мюоны обладают примерно в 10 тысяч раз большей энергией, чем типовое рентгеновское излучение, и потому способны проникать в очень большие конструкции, не оставляя после себя радиационных доз, превышающих фоновый уровень. Методы мюонной радиографии можно использовать как неразрушающий инструмент контроля для определения целостности крупных строительных конструкций, например, зданий, мостов и тоннелей. Эти технологии также применимы в геофизике, археологии и в области ядерной безопасности, а также при обращении с радиоактивными отходами. В докладе МАГАТЭ (2019 год), в разделе, посвященном радиационным технологиям, мюонная технология отмечена как наиболее перспективная.

## 1.2. Ядерные технологии в промышленности

**Ядерные технологии** – совокупность инженерных решений, позволяющих использовать ядерные реакции или ионизирующее излучение. Сферы применения: ядерная энергетика, ядерная медицина. Включают в себя направления: технологии, основанные на способности некоторых химических элементов к делению или слиянию с выделением энергии; технологии, основанные на получении и использовании ионизирующих излучений; технологии получения веществ с требуемыми свойствами.<sup>7</sup>

### **Атомная промышленность**

Развитие атомной промышленности в части производства новых АЭС, модификации существующих реакторов, оборудования приобретает все большее значение на фоне проблем, связанных с изменением климата, сокращения запасов топливно-энергетических ресурсов, современной мировой ситуацией.<sup>8</sup>

В этой связи создание и развитие кооперационных связей по производству высокотехнологичного оборудования, приборов, комплектующих для обеспечения нужд атомной энергетики имеет важное значение для заинтересованных государств - членов ЕАЭС, использующих данный источник генерации энергии.

Выстраивание кооперационных цепочек в сфере ядерных и радиационных технологий для заинтересованных государств-членов позволит создать эффективную систему управления атомными объектами (снижение рисков по поставкам ключевых компонентов, замыкание производственного цикла на поставщиках из государств-членов ЕАЭС). Например, могут быть использованы компоненты микроэлектроники, которые создаются в Республике Беларусь и оборудование, приборы, которые уже выпускаются и могут производиться в Российской Федерации.

---

<sup>7</sup> И.Н. Бекман учебник «Ядерные технологии», Москва, 2020

<sup>8</sup> Редакция в соответствии с предложениями Министерства энергетики Республики Беларусь

В настоящее время Госкорпорацией «Росатом» создается новый дивизион физической инфраструктуры, который может стать активным участником данных процессов.

В настоящее время во всем мире растет интерес к реакторам малой и средней мощности или модульным реакторам (ММР) ввиду их способности удовлетворять потребность в гибком производстве электроэнергии для самых различных пользователей и применений и заменить стареющие электростанции, работающие на органическом топливе. Они также обладают улучшенными показателями безопасности благодаря наличию внутренне присущих и пассивных средств безопасности, характеризуются более низкими начальными капитальными затратами и пригодны для когенерации и применений, не связанных с производством электроэнергии. Кроме того, они являются вариантами, пригодными для отдаленных регионов с менее развитой инфраструктурой и открывают возможности создания синергетических гибридных энергетических систем, сочетающих ядерные и альтернативные источники энергии, включая возобновляемые источники.

В мире насчитывается примерно 50 проектов и концепций ММР. Большая их часть находится на различных стадиях разработки, и сообщается, что некоторые проекты будут реализованы в ближайшее время. В настоящее время четыре ММР находятся на продвинутых этапах строительства в Аргентине, Китае и России, а еще несколько стран, имеющих атомные электростанции, и стран, приступающих к развитию ядерной энергетики, проводят НИОКР по ММР.<sup>9</sup>

### **Производство медицинского оборудования и РФЛП**

Медицина является одной из ключевых областей устойчивого развития, в которой достигнут прогресс с использованием радиационных и ядерных технологий. Это касается: диагностики заболеваний (радиофармацевтические препараты используются в качестве индикаторов при изучении функций

---

<sup>9</sup> <https://www.iaea.org/ru/temy/malye-modulnye-reaktory>

органов; сканирование методом компьютерной томографии (КТ) позволяет получать изображения поперечных сечений тела человека; радиоактивные изотопы используются в лабораторных испытаниях, лечении болезней (радиационная терапия убивает раковые клетки; радиоактивный йод используется для лечения гипертиреоза), стерилизации (радиация используется для стерилизации тканевых трансплантатов и медицинского оборудования).

Кроме того, в результате применения новейших радиационных технологий была разработана портативная гамма-камера, которая является наиболее важным достижением в радиоуправляемой хирургии.

В 2021 году мировой объем рынка ядерной медицины составлял 24 млрд долл. США. По прогнозам аналитиков Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, к 2030 году он может достигнуть показателя в 43 млрд долл.<sup>10</sup> США. В нем традиционно выделяют два сегмента: радионуклидная диагностика и радионуклидная терапия. Рынок радионуклидной диагностики в среднем в год увеличивается на 7 %, а радионуклидной терапии - на 28%.

Лидером в ядерной медицине являются США, которые занимают порядка 40 % мирового рынка ядерной медицины.<sup>11</sup> В числе значимых поставщиков Япония, Германия, Швейцария, Италия, Бельгия. Испания, Франция, Турция. Россия занимает около 5% мирового рынка ядерной медицины и играет заметную роль в поставках некоторых видов изотопного сырья.<sup>12</sup>

Основными сегментами рынка ядерных медицинских технологий и услуг являются производство медицинских радиоизотопов, производство радиофармпрепаратов, производство терапевтического и диагностического оборудования (ПЭТ, ОФЭКТ и др.), инжиниринг (проектирование и

<sup>10</sup> А. П. Черняев, Е. Н. Лыкова «Ядерной физике в России 100 лет», Вестник Московского Университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 78(1), 2023

<sup>11</sup> Кумар А., Киреев В.С. «Обзор российского рынка ядерной медицины» // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 2.

<sup>12</sup> А. П. Черняев, Е. Н. Лыкова «Ядерной физике в России 100 лет», Вестник Московского Университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 78(1), 2023

строительство объектов ядерной медицины, сервис оборудования, обращение с отходами и др.), а также медицинские услуги конечному потребителю.

По данным WNA, ежегодно в мире проводится более 40 миллионов процедур ядерной медицины, а спрос на радиоизотопы увеличивается на 5% в год. Более 80% радиоактивных изотопов, нарабатываемых в мире, используется для медицинских нужд.

В ядерной медицине для диагностики и лечения различных заболеваний используют не только самые редкие и тяжелые изотопы: применение в лечебной практике нашли десятки различных радиоизотопов. В государствах-членах отмечается значительное внимание данному направлению, например, Госкорпорация «Росатом» является одним из ключевых игроков на мировом рынке радиоизотопов промышленного и медицинского назначения: производственные возможности его предприятий по выпуску радиоизотопной продукции многократно превышают текущие и перспективные потребности России, и изотопная продукция предприятий «Росатома» регулярно поставляется более чем в двадцать стран мира.

Другое направление применения радиационных технологий - **уничтожение распространителей смертельных болезней.**

*Справочно: По данным Всемирной организации здравоохранения, каждый год в мире диагностируют более 200 млн. случаев заболевания малярией. Ее переносчики — комары. В группе риска — почти половина планеты: Африка и Ближний Восток, Юго-Восточная Азия, Южная Америка. Чтобы остановить распространение этих смертельных заболеваний, специально разведенных или отловленных насекомых облучают определенной дозой радиации, после чего, их выпускают в естественную среду обитания. Прошедшие процедуру стерилизации самцы не могут приносить потомство. Таким образом, постепенно численность популяции насекомых, переносящих вредные вирусы, снижается. Стерилизация облучением - самый экологически безопасный способ победить распространение многих смертельных болезней.*

**Имплантаты.** В качестве биоматериалов для изготовления имплантатов

используются синтетические полимеры. После радиационной обработки имплантаты хорошо совместимы с кровью и не вызывают воспалений. Они применяются как в хирургии, так и в зубоврачебной технике. Примером метода получения биосовместимых материалов является прививочная полимеризация. Данный метод наиболее часто применяется для получения гидрогелей. Радиационношитые гидрогели используются для изготовления ферментов, лекарств. Они используются в качестве имплантатов, протезов, глазных линз, медицинских мембран, перевязочных материалов.

**Стерилизация крови.** Ионизирующие излучения применяются для радиационной стерилизации крови (системы переливания и взятия крови, мешки для хранения крови).

В части ядерной медицины Госкорпорация «Росатом» входит в пятерку крупнейших мировых поставщиков сырьевой медицинской радиоизотопной продукции, на основе которой изготавливаются радиофармпрепараты.

Госкорпорация «Росатом» обеспечивает изотопной продукцией 80% клиник Российской Федерации (159 медицинских организаций) и стран ЕАЭС, включая клиники Республики Беларусь (22 медицинские организации, в которые поставляются холодные наборы к Тс-99т, медицинские изделия, планируются поставки генераторов Тс-99т), Республики Армения (6 медицинских организаций, в которые поставляются холодные наборы к Тс-99т, медицинские изделия), Республики Казахстан (4 медицинские организации, в которые поставляются генераторы Ga-68 и медицинские изделия) и Киргизской Республики (в 1 медицинскую организацию поставляются медицинские изделия).

В совокупности в мире проводятся клинические исследования более 70 терапевтических РФП, применяемых для лечения 20 видов онкологических заболеваний. Необходимо отметить, что Россия занимает одно из ведущих положений на мировом рынке в области производства и поставок сырьевой радионуклидной продукции (к примеру, таких перспективных радионуклидов, как Ac-225, Th-227), однако требуется ускоренное развитие технологических

компетенций и производственной инфраструктуры для обеспечения реальной потребности отечественной системы здравоохранения в радиофармацевтических препаратах.

Программа Госкорпорации «Росатом» по обеспечению технологического суверенитета в сфере здравоохранения затрагивает реализацию таких проектов, как:

строительство крупнейшего в Европе завода по производству радиофармпрепаратов по стандартам GMP, который будет выпускать уникальные препараты для диагностики и лечения онкологических, кардиологических, ревматологических, неврологических, эндокринных заболеваний;

разработку и вывод на рынок инновационных радиофармацевтических лекарственных препаратов (далее - РФЛП);

серийное производство высокотехнологичного медицинского оборудования, реакторов малых мощностей для наработки радионуклидов;

создание объектов медицинской инфраструктуры и многофункциональных центров облучения;

международное сотрудничество в сфере ядерной медицины, в том числе в части создания центров ядерной медицины в странах-партнерах (Узбекистан, Киргизия и других).

Этот спектр задач решает интегратор по данному направлению – АО «Русатом Хэскеа», объединивший ряд ведущих производителей и поставщиков отрасли – АО «НИИТФА», АО «В/О Изотоп», АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова», и выступающий «единым окном» Госкорпорации «Росатом» по взаимодействию и поставкам высокотехнологического медицинского оборудования и РФП.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Информация предоставлена Госкорпорацией «Росатом»

## Иные сферы применения ядерных и радиационных технологий

**Производство биотоплива.** Применение электронных пучков предлагает подход к использованию пищевых остатков, особенно зерновых, для производства этанола в целях снижения потребления бензина. С помощью электронных пучков можно перерабатывать крахмал и целлюлозу в возобновляемое сырье для использования в брожении. В отличие от обычных способов химического выделения такого сырья, вызывающего появление токсинов, предварительная обработка целлюлозы и крахмала электронными пучками делает возможным ферментное превращение отходовных веществ в спирт. Замена топлива на основе нефтепродуктов для транспорта топливом на основе этилового спирта является перспективным направлением.

**Освоение космоса.** Для космических аппаратов используются радиоизотопные генераторы с небольшим количеством плутония. Энергетика космических аппаратов подразделяется на два основных направления: мощности для обеспечения движения космического аппарата и электрообеспечения бортовой аппаратуры и полезной нагрузки. На постоянной основе в обоих этих направлениях ведутся разработки по совершенствованию ядерных технологий.

### Радиационные технологии для экологии

В радиационной экологии исследования и технологические разработки с использованием ускорителей и радиоактивных источников выполняются в основном для радиационной обработки природной воды, очистки сточных вод, а также дезинфекции их осадков, очистки выбросов газов в атмосферу, обработки твердых бытовых, промышленных и сельскохозяйственных отходов. Особое значение играет переработка отходов атомных электростанций.

Одна из важнейших экологических проблем современного общества - **выбросы вредных смесей газа** из труб заводов, тепловых электростанций, автомобилей, особенно в больших городах. При очистке газов из фабричных дымовых труб необходимо устранять диоксиды серы и оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ),

которые смешиваются с водяным паром в атмосфере и приводят к выпадению кислотных дождей и образованию смога. Современные средства очистки удаляют серу посредством известняковой промывки дыма. Таким же образом удаляется азот. Использование пучков электронов позволяет удалять соединения и серы, и азота одновременно, не образуя отходов. Образовавшиеся при этом твердые продукты переработки (являющиеся смесью сульфатов и нитратов аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) могут применяться как компоненты минеральных удобрений<sup>14</sup>. Ускорители электронов используются для очистки выбросных газов тепловых электростанций, работающих на каменном угле и мазуте. Использование новых технологий, основанных на использовании ускорителей и ионных пучков, позволяет создать измерительные приборы, позволяющие проводить мониторинг загрязнения воздуха, а также измерение поверхностного загрязнения.

**Радиационная конверсия газообразных углеводородов.** Электронно-лучевая обработка может быть использована для безотходной конверсии природного и попутного газа в водород (жидкие разветвленные алканы). Применение данной технологии на нефтегазовых месторождениях позволит устранить непродуктивное сжигание газа. Метод радиационной конверсии позволяет получать высококачественные компоненты детонационно-стойкого моторного топлива и водород.

**Радиационные технологии для очистки воды.** Очистка воды осуществляется в следующих целях: для ее употребления, для очистки сточных вод, для ее повторного использования, а также в целях получения сверхчистой воды для производства. Коэффициент полезного действия (КПД) ускорителей электронов, используемых в экологических целях, составляет порядка 80%,

---

<sup>14</sup> Опытные заводы в Германии, Японии, Корее, Польше и США использовали технологию электронных пучков, предложенную в 1970 г. для очистки дымовых газов. В этих странах в настоящее время эксплуатируется несколько пилотных установок производительностью 10-20 тыс м<sup>3</sup> газов в час, а также шесть промышленных установок производительностью более 100 тыс. м<sup>3</sup> газов в час. Они показали высокую эффективность удаления загрязняющих веществ. В промышленных масштабах эта технология применяется в настоящее время в Польше и Китае. Первые подобные проекты реализованы в Польше. Крупнейшая установка, основанная на этих технологиях, находится на электростанции Portogzany. Она очищает около 270 тыс. м<sup>3</sup> дыма в час. Продуктом процесса являются высококачественные удобрения.

что является лучшим значением среди различных методов очистки воды.

**Радиационные технологии для твердых отходов.** Радиационные методы активно применяются для обеззараживания отходов больниц и аэропортов. В настоящее время для этих целей в основном используются источники у-излучения. Такие установки действуют в США для обработки инфицированных больничных отходов.

## **II. Правовое регулирование сферы ядерных и радиационных технологий в мире (Миссия МАГАТЭ)**

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) - это ведущий мировой форум научно-технического сотрудничества в области мирного использования ядерных технологий. МАГАТЭ создано Организацией Объединенных Наций в качестве независимой организации в 1957 году. Все государства-члены ЕАЭС являются членами МАГАТЭ.

Ядерные технологии играют первостепенную роль в обеспечении безопасности и эффективности промышленных процессов, а также использовании в них инноваций. Предоставление в распоряжение государств-членов радиационных технологий и оказание им помощи в их мирном использовании является важной частью работы МАГАТЭ.

Реализуя исследовательские проекты и проекты технического сотрудничества, МАГАТЭ способствует передаче ядерных технологий государствам-членам (176) для их использования в медицине, сельском хозяйстве, промышленности, управлении водными ресурсами и для других применений.

Программа технического сотрудничества МАГАТЭ является действенным механизмом распространения передового опыта, технической и экспертной поддержки государств в мирном использовании ядерных технологий. Помощь Агентства государствам-членам включает в себя проведение независимой экспертизы ядерных объектов, учебных курсов и

предоставление инструментов моделирования, которые системно охватывают вопросы инфраструктуры.

Осуществляется активное взаимодействие с МАГАТЭ в рамках программы технического сотрудничества Агентства, в том числе в области ядерной инфраструктуры и в сфере борьбы с онкологическими заболеваниями.

В государствах-членах ЕАЭС сформирована развитая нормативно-правовая база в области использования атомной энергии.

Правовое регулирование отношений по использованию атомной энергии в государствах-членах основывается как на общих принципах - МАГАТЭ, так и на принципах, отражающих специфические задачи, стоящие перед атомной отраслью государства-члена.

В 2017-2022 гг. в Российской Федерации проведено около 60 учебных мероприятий под эгидой МАГАТЭ для подготовки профессиональных кадров стран, строящих или планирующих сооружение объектов использования атомной энергии по российским технологиям, в которых приняли участие более 830 иностранных экспертов.

В рамках Программы действий МАГАТЭ по лечению рака в 2016-2022 гг. в Российской Федерации проведены 24 учебных курса под эгидой Агентства для русскоязычных специалистов (онкологов и медицинских физиков), в которых участвовало более 620 экспертов.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Информация предоставлена Госкорпорацией «Росатом»

### III. Развитие ядерных и радиационных технологий в государствах – членах ЕАЭС

#### Республика Армения

Развитие ядерной энергетики является стратегическим направлением и занимает ключевое место в программе развития энергетики Армении.

Для повышения уровня безопасности Армянской АЭС, а так же для приближения к международным стандартам Республика Армения признает и применяет стандарты безопасности МАГАТЭ.

В Республике Армения успешно эксплуатируется Армянская АЭС. Проведены работы по продлению срока эксплуатации второго энергоблока Армянской АЭС, для достижения этой цели подписаны и вступили в силу два межправительственных Соглашения с российской Стороной: о сотрудничестве и о финансировании данной программы. Совместно с программой продления выполнены также модернизация энергоблока и повышение уровня как проектной так и эксплуатационной безопасности. В результате увеличена проектная мощность энергоблока на 10 % без увеличения расхода топлива (мощности реактора). Планируется строительство нового ядерного энергоблока. Выбор типа и мощности нового ядерного энергоблока зависит от анализа международного рынка ядерных энергоблоков и возможности их внедрения в энергосистему республики с учетом обеспечения надлежащего уровня гибкости и надежности всей энергосистемы.

**Справочно:** Модернизация энергоблока № 2 Мецаморской АЭС проходила при участии Госкорпорации «Росатом» и с привлечением российского экспортного кредита.

Самое популярное направление использования ядерных технологий в Армении – это энергетика. В тоже время особое внимание уделяется ядерной медицине – запущен центр по производству радиоизотопов, впервые проведена позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ-КТ), которая является одним из основных методов диагностики злокачественных образований. На протяжении

многих лет Национальный центр онкологии Министерства здравоохранения Республики Армения (НЦО) сотрудничает с Госкорпорацией «Росатом», приобретая генераторы технеция и другие необходимые аксессуары для службы ядерной медицины. Диапазон возможностей российских компаний позволяет расширить сферу сотрудничества с внедрением новых методик ядерной диагностики и радионуклидной терапии. НЦО также имеет давние традиции технического сотрудничества с МАГАТЭ, благодаря чему ему удалось значительно улучшить ситуацию в области радиационной и ядерной медицины». <sup>16</sup> Также на базе медицинского центра «Эребуни» открылся Европейский центр ядерной медицины.

Республика Армения придает важное значение развитию и углублению сотрудничества с МАГАТЭ в сфере мирного использования ядерной энергии, ядерной медицины.

В стране благодаря наличию отраслевых организаций и предприятий, профильных вузов имеется персонал, который может на высоком уровне работать с ядерными технологиями в разных сферах.

В части кооперационного сотрудничества в рамках ЕАЭС можно отметить регулярные поставки радиоизотопной продукции Госкорпорации «Росатом» медицинским учреждениям Армении.

**Справочно:** В начале 2023 года АО "В/О "Изотоп" (входит в дивизион АО «Росатом Хэлскеа») подписало новые контракты на поставку генераторов технеция-99m ГТ-5К в Республику Армения.

В конце февраля первая партия генераторов технеция-99m ГТ-5К с наборами была доставлена в ЗАО "Центр производства изотопов" в город Ереван.

Также проводятся конференции и другие совместные мероприятия научных и иных организаций государств-членов ЕАЭС, направленные на обмен

<sup>16</sup> Информация представлена Министерством территориального управления и инфраструктур Республики Армения

опытом по применению ядерных технологий на территории Республики Армения.

Целесообразно также наметить шаги по разработке совместных стандартов образования и квалификации специалистов в сфере радиационной и ядерной медицины в рамках программ сотрудничества, а также реализации совместных научных и научно-образовательных программ.

Предлагается рассмотреть возможность по налаживанию сотрудничества в рамках метода контроля металлов «Радиационные технологии неразрушающего контроля».<sup>17</sup>

### **Республика Беларусь**

Республика Беларусь является членом Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) с момента его создания – 29 июля 1957 г. Беларусь имеет развитую договорно-правовую базу сотрудничества с Агентством и является участником подавляющего большинства международных конвенций, заключенных под эгидой МАГАТЭ.

Работы по развитию в республике ядерной энергетики получили новый импульс после принятия Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 25.08.2005 № 399.

Республика Беларусь является активным участником программы технического сотрудничества МАГАТЭ, которая нацелена на оказание содействия государствам в мирном использовании ядерных технологий. В проектном цикле 2020 – 2021 годов в Беларуси реализовались 4 национальных проекта МАГАТЭ, общий бюджет которых превышает 1,2 млн. евро<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Информация представлена Министерством территориального управления и инфраструктур Республики Армения

<sup>18</sup> <https://mfa.gov.by/multilateral/organization/list/b5fbc389e3244621.html>

В 2022 году подписана рамочная программа технического сотрудничества между Республикой Беларусь и МАГАТЭ на период 2022-2027 гг. Программа технического сотрудничества ориентирована на работу в следующих приоритетных тематических областях:

- дальнейшее создание потенциала и совершенствование ядерной и регулирующей инфраструктуры для обеспечения безопасной, надежной и устойчивой эксплуатации АЭС Республики Беларусь;

- возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальным социально-экономическим и экологическим условиям и управление пострадавшими от чернобыльской катастрофы районами;

- совершенствование и расширение применения передовых ядерных методов в области здравоохранения;

- развитие ядерной науки, технологий и исследований, включая промышленные и природоохранные применения изотопных и радиационных технологий, а также управление ядерными знаниями.

Белорусская АЭС состоит из двух энергоблоков с реакторами типа ВВЭР - 1200, суммарная электрическая мощность турбогенераторов 2400 МВт.

Для строительства Белорусской АЭС был выбран проект «АЭС-2006» с повышенными характеристиками безопасности и технико-экономическими показателями. Строительство АЭС по данному проекту обеспечивает:

- создание АЭС поколения 3+, особенностью которой является новая реакторная установка с дополнительными системами безопасности (система пассивного отвода тепла, пассивная система фильтрации протечек в межблочное пространство, двойная защитная гермооболочка, ловушка расплава топлива при запроектной аварии);

- максимальную реализацию принципа глубоко эшелонированной защиты – создание системы барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров, а также сохранению их эффективности при непосредственной защите населения.

Первый энергоблок Белорусской АЭС принят в промышленную эксплуатацию 10 июня 2021 года. Получена лицензия на эксплуатацию энергоблока №1 Белорусской АЭС сроком до 20 декабря 2051 года.

Второй энергоблок Белорусской АЭС принят в промышленную эксплуатацию 1 ноября 2023 года, лицензия на эксплуатацию энергоблока № 2 Белорусской АЭС получена до 23 октября 2053 г.<sup>19</sup>

БелАЭС - самый крупный, масштабный и высокотехнологичный союзный проект. Он объединил научные и инженерные школы, десятки предприятий и тысячи специалистов двух стран. В сооружении АЭС приняли участие около 40 белорусских и российских организаций.

В настоящее время налажено активное сотрудничество с Российской Федерацией в сфере совершенствования ядерной инфраструктуры в Беларуси и в эксплуатации АЭС. Госкорпорация «Росатом» поставляет ядерное топливо для реакторов ВВЭР-1200 Белорусской АЭС.

*Рисунок 2 – Развитие ядерных и радиационных технологий в Республике Беларусь*



<sup>19</sup> Информация Министерства энергетики Республики Беларусь

В настоящее время белорусское и российское законодательство в атомной отрасли синхронизировано, налажено тесное сотрудничество в атомной энергетике.

Беларусь имеет ряд межправительственных соглашений с Россией в сфере мирного использования атомной энергии. Разработана и утверждена союзная программа по развитию ядерной энергетики. Данная программа предусматривает унификацию (сближение) правового регулирования в сфере атомной энергетики. Это позволит обеспечить оказание практической помощи в обслуживании АЭС, поставках ядерного топлива для Белорусской АЭС, сотрудничестве в области переработки отработавшего ядерного топлива и хранения эксплуатационных радиоактивных отходов.

8 ноября 2021 года подписано соглашение между Правительствами Беларуси и России о сотрудничестве в области перевозки ядерных материалов.

21 ноября 2022 года подписано Соглашение между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области обращения с отработавшим ядерным топливом.

В настоящее время имеются перспективы перехода к более тесному сотрудничеству Республики Беларусь и Российской Федерации по новым направлениям: ядерная медицина (оборудование для лечения онкозаболеваний), аддитивные технологии, исследования в области сельского хозяйства и радиобиологии. Особое внимание должно уделяться совместным научным исследованиям. Российской Федерацией предложено Республике Беларусь рассмотреть различные форматы участия в международном консорциуме многоцелевого исследовательского реактора на быстрых нейтронах для проведения совместных исследований.

НАН Беларуси и Госкорпорация «Росатом» обсуждают строительство исследовательского ядерного реактора на базе Объединенного института энергетических и ядерных исследований – «Сосны» (далее – Институт «Сосны»). Ключевое применение таких реакторов - наработка изотопов, которые потом могут применяться в том числе в системе здравоохранения.

Будет проводиться переработка изотопной продукции, которая на выходе станет давать таргетные радиофармпрепараты.

**Справочно:** *Исследовательские реакторы эксплуатируются более чем в 50 странах мира. В сравнении с АЭС они намного проще как с технической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации и дают достаточно широкое поле для деятельности. Исследовательские реакторы позволяют производить радиоизотопы, которые не существуют в природе, с их помощью проводится и лечение онкологических больных, и диагностика.*

В 2017 году был подписан соответствующий меморандум по сотрудничеству, разработаны основные технические требования к центру и его многоцелевому исследовательскому реактору. Готовится соглашение между правительствами Беларуси и России о сотрудничестве в создании этого центра, прорабатывается возможность создания совместного предприятия НАН Беларуси и Госкорпорации «Росатом».

Институт «Сосны» обладает различными компетенциями, активно развиваются радиационные технологии:

- стерилизация изделий медицинской техники и лекарственных препаратов электронными и гамма-пучками;
- модификация полимерных материалов различного назначения с целью придания им новых свойств и физико-химических характеристик;
- обработка продуктов питания для снижения их микробной обсемененности.

Совместно с ОАО «Белмедпрепараты» разработана технология для изделий медицинского назначения — гидрогелевые материалы как новое перевязочное средство для лечения ожогов, ран и пересаженных кожных тканей, язв и обработки пролежней.

В сфере ядерной медицины подписано соглашение между «Русатом Хэлскеа» и белорусским РУП «Медтехноцентр», в соответствии с которым Госкорпорация «Росатом» будет поставлять в Беларусь медоборудование «Брахиум» для лечения онкологических больных.

Имеются перспективы по реализации в Беларуси проектов онкоцентров на базе линейных ускорителей. В настоящее время создана разработка, которая уже прошла регистрацию в РФ - линейный ускоритель «Оникс», который является медизделием таргетного облучения. «Оникс» будет проходить регистрацию в Беларуси.

Таким образом можно заключить, что ядерные и радиационные технологии играют важную роль в развитии Республики Беларусь. Уделяется большое внимание подготовке высококвалифицированных кадров, развитию сотрудничества с Российской Федерацией.

### **Республика Казахстан**

На сегодняшний день Республика Казахстан обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития ядерных и радиационных технологий.

РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (НЯЦ РК) создан и действует в соответствии с Указом Президента Республики Казахстан от 15 мая 1992 г. № 779 «О национальном ядерном центре и Агентстве по атомной энергии Республики Казахстан».

НЯЦ РК является важным научно-техническим учреждением, специализирующимся на различных аспектах ядерной науки и технологий. Центр выполняет множество функций и осуществляет разнообразные проекты в области ядерных и радиационных исследований, технологий, образования и экологии. НЯЦ РК проводит исследования в области ядерной физики, радиационной химии, радиационной биологии, радиоэкологии и других связанных областей. Эти исследования направлены на понимание ядерных и радиационных процессов, их влияния на окружающую среду и здоровье людей, а также на разработку методов и технологий для использования радиации в различных областях, занимается разработкой и реализацией программ по мониторингу радиационной безопасности, оценке радиационных рисков и защите от радиации. НЯЦ РК проводит измерения радиационных уровней, анализирует радиационные материалы и оценивает их воздействие на окружающую среду и население.

Филиал НЯЦ РК «Институт радиационной безопасности и экологии» имеет

лаборатории для осуществления радиационных, радиохимических и спектрометрических испытаний, включая:

- определение измерения мощности амбиентной дозы рентгеновского и  $\gamma$  - излучения, плотности потока  $\beta$  - частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности, с требуемой точностью;
- испытание почвы, воды, продукции пищевой промышленности и сельскохозяйственного производства, растительности, строительных материалов на содержание удельной активности  $\alpha$  - ,  $\beta$  -,  $\gamma$  -излучающих радионуклидов.

Институт активно сотрудничает как с республиканскими, так и с международными организациями: МАГАТЭ, Международный научный технический центр, с исследовательскими лабораториями США и институтами РАН и другими.

Республика Казахстан активно развивает ядерные и радиационные технологии.

РГП «Институт ядерной физики» (ИЯФ) Республики Казахстан играет важную роль в развитии ядерной физики и применении радиационных технологий как в Казахстане, так и на международном уровне. Особенно стоит отметить уровень научных разработок и подготовки кадров для отрасли.

ИЯФ является одним из ведущих научно-исследовательских центров в области ядерной физики и радиационных технологий. Институт занимается различными аспектами исследований, разработок и применений ядерной физики.

Основные направления деятельности ИЯФ:

1. Фундаментальные исследования: ИЯФ проводит экспериментальные и теоретические исследования в области ядерной физики, физики элементарных частиц и космической физики. В рамках этих исследований ученые изучают структуру ядра, свойства фундаментальных частиц и другие аспекты ядерной физики.

2. Технологии и применение: ИЯФ разрабатывает и внедряет радиационные технологии в различных областях, таких как медицина, промышленность, сельское хозяйство и охрана окружающей среды. К ним относятся радиационная медицина, радиационная терапия, облучение пищевых продуктов для консервации и стерилизации, методы исследования материалов с использованием ядерных технологий и другие.

3. Образование и научные программы: ИЯФ активно занимается образовательной деятельностью, проводя научные программы и обучая молодых специалистов в области ядерной физики. Институт также организует конференции, семинары и другие мероприятия для обмена научной информацией и опытом с другими учреждениями и специалистами.<sup>20</sup>

ИЯФ проводится работа по нескольким направлениям:

**- Применение радиоизотопов в промышленности и медицине.**

ИЯФ к настоящему времени освоил выпуск нескольких типов таких источников. Наиболее востребованы источники на основе Иридия-192, которые применяются в нефтегазовом секторе для неразрушающего контроля сварных швов оборудования и трубопроводов. Источники на основе Сурьмы-124, Кадмия-109 и Кобальта-60 используются в составе радиоизотопных приборов для контроля технологических процессов, источники с Таллием-204 – для калибровки геофизической аппаратуры. Изотопные маркеры с Кобальтом-60 применяются для точной отметки глубины при бурении скважин.

ИЯФ также производит 3 медицинских изотопа F-18, Mo-99 и I-131, на основе этих изотопов в Институте налажен выпуск таких радиофармпрепаратов, как «фтордезоксиглюкоза F-18», «натрия пертехнитат Tc-99», «натрия йодид I-131». Препарат фтордезоксиглюкоза F-18 применяется при радионуклидной диагностики раковых заболеваний и мониторинга эффективности лечения онкобольных.

---

<sup>20</sup> Информация представлена Министерством энергетики Республики Казахстан

Натрия пертехнитат Тс-99 используются для функциональной диагностики практически всех органов и систем человека методами гаммацнтиграфии и однофотонной компьютерной томографии. Препарат натрия йодид I-131 применяется при лечении онкозаболеваний щитовидной железы.<sup>21</sup>

- **Радиационные технологии.** В ИЯФ проводится стерилизация одноразовых шприцев, катетеров, бинтов, ваты, хирургических перчаток, пластиковых флаконов, наборов одноразовых салфеток для новорожденных и т.п.

Налажено производство гидрогелиевых повязок «AQUA DRESS» на основе радиационносшитого поливинилпирралидона, а также аппликаций гидрогелевых «AQUA DRESS», используемых при проведении косметических процедур на различных частях тела.

- **Трековые мембраны.** В Астанинском филиале ИЯФ налажен выпуск облученной полимерной пленки, которая используется как стартовый материал для производства ядерных трековых мембран, являющихся основой для производства высокотехнологичной продукции широкой номенклатуры, в том числе для целей медицины и нанотехнологий. На сегодняшний день реализовано более четырехсот тысяч квадратных метров облученной полимерной пленки в Китае и России.

Трековые мембраны, изготовленные из различных полимеров, широко используются, например, в процессах прецизионной ультрафильтрации и микрофильтрации жидкостей и газоочистки; в системе аналитического контроля веществ; пищевой, фармацевтической и химической промышленности; микроэлектроники; и других областях науки и промышленности. Технологические параметры позволяют получать мембраны толщиной 12-24 мкм с плотностью от  $1 \times 10^5$  до  $1 \times 10^9$  пор/см<sup>2</sup>.

<sup>21</sup> Информация предоставлена Министерством энергетики Республики Казахстан

ИЯФ отработана технология изготовления трековых мембран с диаметром пор от нескольких нанометров до десятков микрон, различных геометрических форм: цилиндрические, конические, «песочные часы» и т.п.

На базе ИЯФ создан Учебный центр ядерной безопасности для подготовки казахстанских специалистов в области физической защиты, учета, контроля и противодействия незаконному обороту ядерных материалов.

Казахстан имеет хорошие перспективы развития ядерных исследований и технологий. Это связано с тем, что в стране имеются установки с достаточно современным оборудованием и необходимый человеческий потенциал. Большая часть сотрудников, задействованных в таких работах, прошла обучение и курсы повышения квалификации в ведущих научных организациях мира.

Ключевыми задачами для устойчивого развития ядерных технологий являются сохранение и передача ядерных знаний, а также обновление и модернизация оборудования.

### **Кыргызская Республика**

В настоящее время созданы предпосылки для развития кыргызско-российского сотрудничества в области атомной энергетики.

В январе 2022 года Госкорпорация «Росатом» и Министерство энергетики Кыргызской Республики подписали Меморандум о сотрудничестве в сооружении атомных станций малой мощности.

В рамках меморандума стороны выражают заинтересованность в развитии сотрудничества по сооружению атомной станции малой мощности на базе реакторной установки РИТМ-200Н на территории Кыргызской Республики. Документ о сотрудничестве также предполагает содействие в развитии ядерной инфраструктуры Кыргызской Республики и совместную работу по повышению квалификации научно-технического персонала в различных областях мирного использования атомной энергии.

Данный проект будет способствовать развитию технологий по декарбонизации экономики и станет стимулом для развития водородной энергетики на территории страны.

2 ноября 2022 года на Международном форуме «АТОМЭКСПО-2022» АО «Русатом Энерджи Проджектс» и Министерство энергетики Кыргызстана подписали техническое задание на предварительное технико-экономическое обоснование сооружения атомной станции малой мощности (АСММ) на территории Кыргызской Республики.

Документ предполагает совместную работу по оценке целесообразности и результативности внедрения атомной энергетики в энергобаланс Кыргызстана с целью достижения наилучших результатов в определении оптимальной технологии. Кроме того, Техническое задание направлено на оценку ключевых аспектов реализации проекта АСММ на территории страны, включая сроки реализации проекта, стоимость электроэнергии, технические аспекты подключения к энергосети, а также социальные и макроэкономические эффекты от реализации проекта.

Еще одним актуальным направлением высоких технологий в медицине является развитие ядерной медицины на территории Кыргызской Республики. На сегодняшний день данное направление недостаточно освоено, имеется проблема с подготовкой кадров. В республике нет специалистов в ядерной сфере, отсутствует образовательная регулярная система подготовки специалистов: ядерщики-физики, ядерщики-медики, радиоэкологии, радиобиологи.

Ранее на базе Национального центра онкологии (НЦО) Министерства здравоохранения Кыргызской Республики успешно функционировало отделение радионуклидной диагностики (ядерная медицина). С 1992 года поставки радионуклидов прекратились, оборудование морально устарело и изнашивалось. После закрытия лаборатории радионуклидной диагностики НЦО последовала утечка квалифицированных специалистов.

На базе лаборатории биогеохимии и радиозэкологии Института биологии НАН КР в течение 2 лет осуществлялся научно-образовательный проект СНГ - «Атомное содружество XXI» по подготовке, профессиональной переподготовке и повышению квалификации кадров в области использования атомной энергии в мирных целях, совместно с Национальным исследовательским ядерным университетом Московского инженерно-физического института (МИФИ) и КГУ им. И. Арабаева. Подготовлено небольшое количество специалистов – радиозэкологов, радиобиологов, при непосредственном финансировании данного проекта с российской стороны (СНГ).

В связи с планами по использованию атомных станций малой мощности представляется целесообразным возобновить практику обмена опытом между научными организациями в целях подготовки высококвалифицированных кадров в атомной промышленности в Кыргызской Республике.

### **Российская Федерация**

Среди государств-членов ЕАЭС Российская Федерация является лидером по развитию и применению ядерных и радиационных технологий.

Важное значение придается сотрудничеству с международными организациями, направленному на обеспечение ядерной безопасности и доступа всех заинтересованных сторон к атомной энергии. Госкорпорацией «Росатом» осуществляется конструктивное взаимодействие с Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), Агентством по ядерной энергетике при ОЭСР, Комиссией государств – участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях. Ведется активная совместная работа по подготовке и повышению квалификации кадров в области использования атомной энергии в мирных целях, по изучению и внедрению лучших практик в области эксплуатации АЭС, обеспечению ядерной и радиационной безопасности, выводу из эксплуатации ядерных и радиационноопасных

объектов, реабилитации территорий, подвергшихся воздействию ядерных предприятий.<sup>22</sup>

Основным документом по регулированию сферы использования атомной энергии является Федеральный Закон от 21.11.1995 N 170-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Об использовании атомной энергии». Сфера обращения с ядерными отходами регулируется положениями Федерального Закона от 11 июля 2011 г. N 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Правительством РФ определена система государственного учета и контроля радиоактивных отходов.<sup>23</sup>

Вопросы радиационной безопасности в Российской Федерации регулируются Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 № 3-ФЗ.

Для формирования нового задела в ключевых технологических направлениях в 2020 году была утверждена программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года», ставшая 14-м национальным проектом.

В составе программы пять федеральных проектов: «Двухкомпонентная ядерная энергетика», «Экспериментально-стендовая база», «Термоядерные и плазменные технологии», «Новые материалы и технологии» и «Референтные энергоблоки атомных электростанций». Они выполняются «Росатомом» в тесном сотрудничестве с Российской академией наук, НИЦ «Курчатовский институт», Объединенным институтом ядерных исследований, вузами и другими научно-исследовательскими центрами.

Россия обладает не только многолетним опытом строительства и эксплуатации атомных электростанций, но и самыми крупными

---

<sup>22</sup> <https://rosatom.ru/about/international/>

<sup>23</sup> Постановление Правительства РФ от 15 июня 2016 г. N 542 "О порядке организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов" Ключевые показатели деятельности (по итогам 2021 года) <https://rosatom.ru/about/>

производственными мощностями по обогащению урана и самыми передовыми центрифужными технологиями.

Значимым рынком для российской атомной энергетики является сегмент стран как начинающих использование атомной энергии, так и проводящих замещение выбывающих мощностей атомных электростанций. К таким странам относятся и партнеры по ЕАЭС.

Российская атомная отрасль — одна из передовых в мире по уровню научно-технических разработок в области проектирования реакторов, стадий переделов ядерного топливного цикла, опыту эксплуатации атомных станций, квалификации персонала АЭС. Россия обладает наиболее совершенными в мире обогатительными технологиями, а проекты атомных электростанций с водо-водяными энергетическими реакторами доказали свою надежность в течение тысячи реакторо-лет безаварийной работы. Высокое качество выпускаемой продукции и предлагаемых услуг подтверждается успехами в международных тендерах на поставки ядерного топлива и строительство АЭС за рубежом.

Особое внимание уделяется импортозамещению оборудования, материалов, программного обеспечения для атомной энергетики.

Например, на Ростовской АЭС в рамках программы импортозамещения стартовало производство деталей для собственных нужд на базе обновленного цеха централизованного ремонта. В перечне комплектующих, которые импортировались из третьих стран свыше 150 позиций - валы, оси, втулки, штока арматуры, которые активно используются при ремонте и техобслуживании турбин и насосного оборудования.<sup>24</sup>

В соответствии с целями развития Госкорпорации «Росатом», одобренными Президентом Российской Федерации и Правительством Российской Федерации, доля атомной генерации в общем энергобалансе страны должна составить не менее 25% к 2045 году.<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> Официальный сайт Правительства Ростовской области

<sup>25</sup> Информация Госкорпорации «Росатом»

Правительством Российской Федерации в 2021 году утверждена программа «Новая атомная энергетика», которая является одной из программ социально-экономического развития. Программа предусматривает создание технологической платформы для безотходной энергетики с замкнутым топливным циклом, развитие рынка атомных технологий и создание нового ядерного топлива. Ключевым направлением программы является строительство АЭС малой мощности (до 300 МВт).

Также Госкорпорацией «Росатом» разрабатываются технологии станций малой мощности (АСММ).

*Справочно: АСММ предназначены для районов с неразвитой сетевой инфраструктурой, в которых нецелесообразно сооружение более мощных АЭС. Станции малой мощности имеют целый ряд преимуществ, в их числе – надежное обеспечение труднодоступных территорий, а также экологически чистое, безуглеродное производство энергии. Кроме того, ими можно замещать выходящие из эксплуатации электростанции, прежде всего, мазутные и угольные. Проекты атомных станций малой мощности, как правило, предусматривают полную автономность реакторов и длительный топливный цикл; обслуживать компактные реакторы не нужно, достаточно установить и запустить, а в конце срока службы извлечь топливо и переработать его.*

Например, в России уже с 2019 года успешно работает и обеспечивает электроэнергией предприятия и жителей Чукотки плавучий энергоблок «Академик Ломоносов».

Также Росатом реализует проект по строительству в Томской области новейшего реактора БРЕСТ-300 в рамках проекта «Прорыв» — энергокомплекса с замкнутым ядерным топливным циклом и реактором на быстрых нейтронах.

*Справочно: Идея этого проекта в том, чтобы повторно использовать уже отработавшее в реакторах АЭС топливо бесконечное количество раз, причем каждый последующий цикл в реакторе будет производиться больше*

*топлива, чем было загружено. Это сделает ресурсную базу для развития атомной энергетики практически безграничной и решит проблему накопления и дорогостоящего хранения отработавшего ядерного топлива. Как результат сама технология замкнутого цикла сможет экономически конкурировать с самыми передовыми видами генерации. Конструкция реактора БРЕСТ-300 исключает даже гипотетические аварии на АЭС.*

Проект «Прорыв» нацелен на создание источника чистой, безопасной и практически неисчерпаемой энергии, что обеспечит России лидерство в мировой атомной энергетике на десятилетия вперед.

Госкорпорация «Росатом» помимо традиционных энергетических направлений, одновременно прорабатывает более 80 новых, в том числе: композитные материалы, аддитивные технологии, обращение с отходами, ядерная медицина. По всем группам технологий работы проводятся исследовательскими организациями Российской академии наук в соответствии с дорожными картами, разработанными по каждому из направлений.

В части ядерной медицины нормативное правовое регулирование (далее - регулирование) медицинского обращения радиофармацевтических лекарственных препаратов осуществляется на наднациональном и национальном уровне.

В рамках Соглашения о единых принципах и правилах обращения лекарственных средств в рамках Евразийского экономического союза от 23.12.2014 основным нормативным правовым актом является Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 03.11.2016 №78 «О Правилах регистрации и экспертизы лекарственных средств для медицинского применения». Оно устанавливает требования к осуществлению фармацевтической разработки, проведению доклинических и клинических исследований радиофармацевтических лекарственных препаратов (далее - РФЛП), а также единые принципы государственной регистрации на территории государств – членов ЕАЭС.

На территории Российской Федерации ключевым нормативным

правовым актом в области регулирования обращения РФЛП является Федеральный закон от 12.04.2010 № 61-ФЗ «Об обращении лекарственных средств». Приказом Минздрава России от 12.11.2020 № 1218н «Об утверждении Порядка изготовления радиофармацевтических лекарственных препаратов непосредственно в медицинских организациях» регулируется возможность обеспечения целевых групп пациентов радиофармпрепаратами для радионуклидной терапии и диагностики. Так, РФЛП, индивидуально произведенные для лечения и диагностики конкретного пациента непосредственно в медицинской организации, не подлежат государственной регистрации, что позволяет значительно повысить доступность радионуклидной терапии и диагностики.

Аптечное изготовление РФЛП, содержащих в готовой или использованной форме один радионуклид или несколько радионуклидных изотопов (радиоактивных изотопов) в качестве действующего вещества или в составе действующего вещества, диагностического или терапевтического назначения, в том числе для позитронно-эмиссионной томографии, полученных с использованием радионуклидных генераторов, циклотронов, наборов реагентов, растворов радионуклидов, радиоактивных (радионуклидных) предшественников РФЛП, регулируется приказом Минздрава России от 22.05.2023 № 249н, вступающим в силу с 1 сентября с.г.

Отдельно следует отметить регулирование в области обеспечения безопасности персонала при работе с радиоизотопами и источниками ионизирующего излучения.

Основными радиоизотопами, используемыми в медицинских целях в Российской Федерации, являются:  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{113\text{m}}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{77}\text{Lu}$ . Ключевое терапевтическое направление применения РФЛП - онкология. Использование специфических лигандов в составе препарата позволяет обеспечить адресную доставку изотопа к органам и тканям, вовлеченным в неопластические процессы. Вместе с терапией новообразований радиоизотопы также широко

используются в разработке диагностических средств для визуализации и тераностики новообразований.

В Российской Федерации к настоящему моменту зарегистрировано 60 РФЛП, 57 из которых отечественного производства. Основными российскими центрами ядерной медицины для радионуклидной терапии являются:

ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России (г. Обнинск);

ФГБУ «РНЦ РХТ им ак. А.М. Гранова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург);

ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (г. Москва);

ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России (г. Москва);

АО «Медицина» (г. Химки).

Ключевые производители РФЛП на уровне медицинской организации:

ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России;

Институт Ядерной Медицины;

ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России;

ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России;

ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России;

ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России;

ФГБУ «РНЦ РХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России;

ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России.

Росатом входит в пятерку крупнейших мировых поставщиков сырьевой медицинской радиоизотопной продукции, на основе которой изготавливаются радиофармпрепараты. Кроме того, Росатом производит радиофармпрепараты и медицинские изделия для использования в клиниках РФ.

В АО «ГНЦ НИИАР» организовано производство изотопа молибден- 99, а также актуальных медицинских изотопов: калифорния - 252, кобальта - 60, гадолиния -153, йода -131, йода- 125, стронция - 89, вольфрама -188 (генератор

рения -188), лютеция -11 и других.

В АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» производятся актиний - 225, генераторы рения - 188, микроисточники с изотопом йода - 125 для брахитерапии рака предстательной железы, офтальмоаппликаторы с изотопом рутения -106. АО «ИРМ» производит радиоизотопную продукцию для медицинского (лютеций-177, углерод-14, цезий -131), и промышленного (иридий-192, селен-75) назначения.

В АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» в настоящее время производится шесть радиофармпрепаратов, которые поставляются, преимущественно, в клиники Санкт-Петербурга, Ленинградской области и Москвы: натрия йодид,  $^{123}\text{I}$ , натрия пертехнетат,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , натрия о-йодгиппурат,  $^{123}\text{I}$ , м-йодбензилгуанидин,  $^{123}\text{I}$ , цитрат галлия,  $^{67}\text{Ga}$ , йодофен,  $^{123}\text{I}$ . Кроме радиофармацевтических препаратов, Радиевый институт производит сырьевые медицинские изотопы (в горячих камерах, без обеспечения необходимой для фармацевтического производства чистоты помещений) – стронций-90, йод-125 и др. <sup>26</sup>

Проекты направлены на организацию в России собственного производства новых радиофармпрепаратов и медицинских изделий, формирование услуг по оказанию населению высокотехнологичной медицинской помощи.

В настоящее время АО «В/О «Изотоп» (входит в Дивизион АО «Росатом Хэлскеа») подписало новые контракты на поставку генераторов технеция- $^{99\text{m}}\text{Tc}$  в Республику Армения и генераторов германия-68/галлия-68 в Республику Казахстан.

Радиоизотопная продукция медицинского назначения Госкорпорации «Росатом» позволяет проводить порядка 2,5 миллионов диагностических и терапевтических процедур в России и за рубежом. Диагностика с применением радиофармацевтических препаратов дает возможность выявить заболевания на ранней стадии и вовремя начать терапию.

<sup>26</sup> Информация предоставлена Госкорпорацией «Росатом»

Создан усовершенствованный комплекс «Брахииум», который отличается высокой точностью позиционирования, что обеспечивает индивидуальный подход в каждом медицинском случае, увеличивая шансы на выздоровление пациента. В комплект входит набор МРТ и КТ-совместимых аппликаторов для полного спектра клинического применения при опухолях различных локализаций (носоглотка и полость рта, пищевод, бронхи и легкие, молочная железа, предстательная железа и др.), благодаря чему достигается высокое качество процедуры. Специальная защита из вольфрама внутри аппарата, где хранится источник излучения после процедуры, защищает персонал от ионизирующего излучения.

Россия последовательно развивает международные торгово-экономические взаимоотношения, делая упор на долгосрочное взаимовыгодное сотрудничество, в частности в области поставок радиоизотопной продукции. Несмотря на внешние ограничения экономика РФ наращивает экспортный потенциал, осуществляются поставки товаров и услуг по всему миру.

Дивизион АО «Русатом Хэлскеа» в составе Госкорпорации «Росатом» вместе с производством РФЛП играет важную роль в их дистрибьюции, обеспечивая потребности пациентов в радионуклидной терапии и диагностике как на территории Российской Федерации, так и за её пределами. На текущий момент дивизионом обеспечивается и разработка новых активных фармацевтических субстанций и РФПЛ.

Среди производителей радиационно-защитного технологического оборудования, средств радиационного измерения и контроля в медицине, а также диагностического оборудования возможно выделить ООО «НТЦ Амплитуда».

В Гатчинском Протонном Комплексе, созданном в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт», функционирует уникальная научная электрофизическая установка Синхроциклотрон СЦ-1000 - источник протонов с энергией 1000 МэВ и током выведенного пучка 1 мкА. На базе Синхроциклотрона ПИЯФ с 1975 года

действует единственная в России ISOL (Isotope Separator On-Line) установка ИРИС (Исследование Радиоактивных Изотопов на Синхроциклотроне), где производятся и исследуются радиоактивные изотопы большого числа элементов Периодической системы. За время работы, с момента запуска установки ИРИС исследовано более 300 ядер, 17 из которых идентифицированы впервые. На ИРИСе впервые был разработан и применен метод лазерного ионного источника для селективного получения нуклидов. Данный метод активно используется в настоящее время и обеспечивает величину селективности разделения изобар до  $ss=105$ . Для работы в линию на пучке синхроциклотрона создан уникальный, единственный в России лазерно-ядерный комплекс УЛИСС (Универсальная Лазерно-Ионизационная Спектроскопическая Система), предназначенный для эффективного получения и исследования ядер вблизи границы протонной и нейтронной устойчивости методом резонансной ионизации атомов в лазерном ионном источнике.

С использованием данного метода на лазерно-ядерном комплексе УЛИСС и установке ISOLDE (ЦЕРН) была проведена серия экспериментов по исследованию зарядовых радиусов и электромагнитных моментов ядер цепочек около 80 крайне удаленных радионуклидов: 192-211, 216-219Po, 178-184Tl, 197-211, 217At и 177-182, 185, 191 Ai. На пучке Синхроциклотрона исследуются прототипы мишеней для получения генераторного медицинского радиоизотопа Sr-82 и других радионуклидов для медицины. Результаты новых разработок и тридцатипятилетний опыт эксплуатации установки ИРИС будут использованы при создании новой ISOL системы на пучке сильноточного циклотрона Ц-80 для получения интенсивных пучков медицинских радионуклидов высокой чистоты.

С 2011 года в НИЦ «Курчатовский институт» работает высокопоточный исследовательский ядерный реактор ПИК. По своим параметрам и экспериментальным возможностям реактор ПИК превосходит все действующие исследовательские реакторы, в том числе единственный в мире аналог - реактор HFR в Европейском центре нейтронных исследований -

Международном институте им. Лауэ-Ланжевена (ИЛЛ, г. Гренобль, Франция). Реактор ПИК станет основой создаваемого в России Международного центра нейтронных исследований мирового класса. В конце 2020 года введены в эксплуатацию пять исследовательских станций центра: рефлектометр NERO-2; рефлектометр ТНР; спектрометр Т-Спектр; дифрактометр ТЕХ-3; дифрактометр ДПН. Пять экспериментальных станций обеспечивают реализацию полного набора нейтронных методик: дифрактометрических, рефлектометрических и спектрометрических, что делает этот набор уникальным. МЦНИ ориентирован на проведение фундаментальных и прикладных исследований в различных областях науки и техники и станет мультидисциплинарным научно-технологическим центром коллективного пользования, многофункциональность которого будет заключаться в возможности проведения взаимодополняющих исследований по физике, химии, биологии, наукам о Земле, материаловедению, а также технологического контроля изделий, работ по развитию технологий микро- и нанoeлектроники, производству изотопов, элементному анализу образцов и изделий. Полученные результаты можно использовать для прикладного применения, например, для производства изотопов, которые широко применяются в медицине для диагностики и лечения.

Госкорпорация «Росатом» выстраивает комплексные решения для медицины «под ключ», производит и поставляет медицинские изотопы и радиофармпрепараты, создает оборудование для диагностики и терапии, разрабатывает решения для ионизирующей обработки медицинской продукции. Этот спектр задач решает интегратор по данному направлению - АО «Русатом Хэлскеа», объединивший ряд ведущих производителей в отечественной отрасли: АО «НИИТФА» (производство оборудования), АО «В/О Изотоп» (производство радионуклидов), АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (производство РФЛП), АО «Русреактор» (производство реакторов малых мощностей для наработки радионуклидов), а также два центра по производству РФЛП на основе ультракороткоживущих радионуклидов - фтора-

18, углерода-11, азота-13 и кислорода-15 для ПЭТ-диагностики. Активно ведутся работы по созданию и выводу на рынок импортозамещающего радиотерапевтического комплекса на основе линейного ускорителя электронов с энергией 6 МэВ для прецизионной лучевой терапии злокачественных опухолей. Ведутся работы и по созданию в России сети центров ядерной медицины. Один из них будет построен в ближайшие годы в Иркутске.

АО «Концерн Росэнергоатом», входящее в контур Госкорпорации «Росатом», является одним из основных производителей кобальта-60 в мире, который используется в производстве источников гамма-излучения, широко применяемых в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. Наиболее широко Co-60 применяется в производстве источников ионизирующего излучения (ИИИ) Co-60 для облучательных установок, стерилизующих медицинский изделия, продукты питания и другую продукцию. Одна такая отправка Co-60 со Смоленской АЭС позволит стерилизовать не менее 30 000 м<sup>3</sup> медицинских изделий.

Реакторы серии РБМК (реактор большой мощности канальный), эксплуатируемые на Смоленской АЭС, обладают конкурентным преимуществом перед энергетическими реакторами других типов в части производства изотопной продукции. Без изменения проектного технологического цикла выработки электроэнергии они могут гарантированно облучать материалы и обеспечивать стабильные поставки ценного изотопа. Помимо производства кобальта-60, Смоленская АЭС готовится к созданию новой продукции - наработке медицинских изотопов йода-131, молибдена-99 и лютеция-177 для обеспечения российских производителей РФЛП.

Предприятия Госкорпорации «Росатом», имеющие лицензии на производство лекарственных препаратов:

АО «Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова»;

АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина»;

АО «Российский концерн по производству электрической и тепловой

энергии на атомных станциях».

Сегодня российские разработчики уже создали РФЛП для брахитерапии (введение источника излучения внутрь пораженного органа), радионуклидной терапии костных метастазов, радиоiodтерапии (при раке щитовидной железы и тиреотоксикозе), рениевую платформу (для получения РФЛП для борьбы с раком печени), а также микросферы с рением для уничтожения опухолей печени, препараты радиолигандной терапии метастатического кастрационно-резистентного рака предстательной железы, препараты для борьбы с эндокринными опухолями и неходжкинскими лимфомами. Многие из них уже применяются, но между их разработкой и массовым использованием в клинической практике все еще есть колоссальный разрыв. Частично устранить этот разрыв помогают так называемые ядерные аптеки. Сегодня в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России открыта и успешно работает ядерная аптека, где проводятся исследования семи перспективных РФЛП, которые находятся на разных стадиях - от разработки технологии, синтеза препарата до проведения его клинических исследований.

Один из самых крупных в Европе заводов по производству изотопной продукции медицинского назначения начали строить 20 января 2023 г. в России - в Калужской области. Строительство идет на площадке НИФХИ им. Л.Я. Карпова в Обнинске. Завод будет отвечать стандартам GMP. Выпуском препаратов займется Госкорпорация «Росатом».

В 2025 году 21 технологическая линия нового завода позволит выпускать радиофармацевтическую продукцию для диагностики и терапии широкого спектра социально значимых заболеваний, в том числе нейроэндокринные опухоли, миелоидные заболевания, опухоли головного мозга, солидные (твердые) опухоли, нейробластомы, рак предстательной железы, почек, костных тканей, слюнных желез, легких, яичников, мочевого пузыря, молочной железы, кожи, печени, поджелудочной железы, кишечника, щитовидной железы, неходжкинские лимфомы и многие другие заболевания. Предполагается, что на заводе будет производиться широкая линейка РФЛП,

включая наиболее востребованные - на основе йода-131, самария-153, молибдена-99. Также завод представит перспективные РФЛП на основе лютеция-177, актиния-225 и радия-223.

Стратегический план долгосрочного развития Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) до 2030 года предусматривает создание инновационного центра для проведения экспериментальных и клинических исследований в области протонной терапии. Пилотной установкой будущего медицинского центра станет протонный медицинский ускоритель MSC-230, который планируется поставить в 2024 году. Ускоритель будет представлять собой сверхпроводящий изохронный протонный циклотрон для лучевой терапии пациентов с онкологическими заболеваниями и проведения медико-биологических исследований. MSC-230 предназначен для протонной флэш-терапии, методы которой в ОИЯИ изучают с 2020 года. Изохронный циклотрон MSC-230 - это ускоритель с непрерывным пучком протонов. Данная характеристика делает циклотрон наиболее перспективным типом ускорителя именно для флэш-терапии. Методика флэш заключается в быстрой и точной доставке необходимой дозы излучения до опухоли при сверхвысокой мощности дозы. Обычная лучевая терапия использует мощность дозы от 1 до 7 Гр/с, а флэш-облучение проводится при мощности дозы свыше 40 Гр/с за время меньшее, чем полсекунды. Практически вся доза протонов выделяется точно в цель в конце пробега пучка, в так называемом пике Брэгга. Это позволяет в течение сеанса флэш-терапии сохранить здоровую ткань, усиленно воздействуя только на опухоль. Метод позволяет на порядок сократить количество процедур лечения: с 10-30 до 1-3. В настоящий момент инновационный метод флэш-терапии проходит в мире стадию доклинических исследований. Однако он открывает такие богатые перспективы, что новейшие медицинские ускорители уже разрабатываются непосредственно под этот метод лечения.

В научных организациях Минздрава России в ходе приоритетных прикладных научных исследований, выполняемых в рамках государственного задания, проводится разработка РФЛП.

В ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России в рамках научных исследований 2021-2023 гг. проводятся:

- исследование безопасности и терапевтической эффективности разработанного РФЛП на основе микросфер альбумина 5-10 мкм, меченых  $^{188}\text{Re}$  для процедуры радиосиновектомии при местном лечении хронических воспалительных заболеваний суставов;

- исследование безопасности и терапевтической эффективности разработанного РФЛП на основе микросфер альбумина 20-40 мкм, меченых  $^{188}\text{Re}$  для процедуры внутриартериальной радионуклидной эмболизации при лечении неоперабельного рака печени;

- доклинические исследования безопасности и терапевтической эффективности РФЛП на основе конъюгата аналога соматостатина и меченого радиоактивной меткой ( $^{177}\text{Lu}$ ) для лечения неоперабельных нейроэндокринных новообразований;

- доклинические исследования безопасности и диагностической эффективности разработанного РФЛП на основе ПСМА-специфического лиганда, меченого радионуклидом  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , для диагностики рака предстательной железы.

В 2022 году в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России завершилось научное исследование, в рамках которого проводились клинические исследования I фазы РФЛП на основе простат-специфического лиганда, меченого радионуклидом лютеций-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) для проведения радиолигандной терапии метастатического кастрат-резистентного рака предстательной железы.

В ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина» Минздрава России в рамках научного исследования 2023-2024 гг. проводятся доклинические исследования РФЛП  $^{18}\text{F}$ -борфенилаланина ( $^{18}\text{F}$ -БФА). Разрабатываемый препарат будет использоваться для оценки эффективности накопления борфенилаланина в опухолевых и нормальных тканях при проведении бор-нейтронозахватной терапии злокачественных новообразований.

В ФГБУ «РНЦ РХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России в рамках приоритетных научных исследований 2022-2024 гг. проводится разработка следующих РФЛП:

- на основе наноантитела к PDL-1, меченного  $^{68}\text{Ga}$  для диагностики опухолей различных локализаций методом позитронно-эмиссионной томографии;

- на основе наноантитела к HER-2, меченного  $^{68}\text{Ga}$  для диагностики злокачественных новообразований методом иммуно-ПЭТ;

- на основе наноантитела к PDL-1, меченного  $^{177}\text{Lu}$  для системной лучевой терапии генерализованных форм опухолей различных локализаций методом ПЭТ-КТ;

- на основе наноантитела к HER-2, меченного  $^{177}\text{Lu}$  для системной лучевой терапии генерализованных форм рака молочной железы.

В ФГБУ «РНЦ РХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России в рамках приоритетных научных исследований 2023-2025 гг. проводится разработка двух групп препаратов с мишенями на поверхности стволовых опухолевых клеток и супрессорных клеток миелоидного происхождения. Каждая группа будет включать несколько препаратов с одинаковыми молекулами адресной доставки: диагностический РФЛП, включающий наноантитело и изотоп  $^{68}\text{Ga}$  для оценки экспрессии молекул-мишеней; терапевтический РФЛП, включающий наноантитело и изотоп  $^{225}\text{Ac}$  для короткого курса лечения; конъюгат, включающий наноантитело, наноуглерод (карбоновые нанотрубки, наноалмазы) и цитостатический агент (монометилауристин Е или производное иринотекана) для длительного курса лечения.

ФГБУ «РНЦ РХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России обладает всеми необходимыми компетенциями и инфраструктурой для наработки циклотронных радионуклидов диагностического профиля, разработки инновационных РФЛП, а также создания специализированного оборудования для ядерной медицины, системой подготовки квалифицированных кадров и может обеспечить трансфер данных технологий и образовательных программ в

рамках кооперационного взаимодействия с государствами - членами ЕАЭС.

В 2015 году полностью разработан и клинически апробирован комплекс протонной терапии «Прометеус» производства АО «Протом», на котором до настоящего времени на базе МРНЦ им. А.Ф. Цыба пролечено свыше 750 пациентов. В отличие от стандартных методов дистанционной лучевой терапии опухолей пучками фотонов, которые проходят через все ткани, пучки протонов имеют характерный пик энерговыведения в конце пробега. Меняя координату и энергию пучка протонов возможно составлять планы с резким спадом дозы вблизи здоровых тканей и критически важных органов. Таким образом минимизируется их повреждение. Существует ряд случаев, например, близость опухоли к критическим структурам, повторное облучение, когда протонная терапия незаменима, так как позволяет прецизионно провести облучение.

Если ранее протонные центры представляли из себя громадные системы, то сейчас все большую популярность получают компактные, существенно более дешевые комплексы протонной терапии, аналогичные комплексу «Прометеус», которые возможно установить в уже существующих онкологических центрах. В настоящее время подобные комплексы функционируют или планируются к вводу в эксплуатацию в пяти странах (Россия, Словакия, Китай, США, Израиль).

По данным международных исследований установлена высокая эффективность дистанционной нейтронной терапии при лечении радиорезистентных новообразований, например, опухолей слюнных желез, а также околоносовых пазух, неэпидермоидных и рецидивных опухолей головы и шеи, мягкотканых сарком и меланомы. Россия располагает значительным опытом нейтронной терапии злокачественных новообразований за счет деятельности трех российских центров нейтронной терапии (Томск, Обнинск, Челябинск), составляющим более 3000 наблюдений.

Госкорпорацией «Росатом» в сотрудничестве с ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России разработан и готовится к клиническим испытаниям комплекс нейтронной терапии «Нейтроникс» на основе

компактного нейтронного генератора НГ-24МТ. Комплекс можно размещать в существующие каньоны для линейных ускорителей электронов.

ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России выражают свою готовность в рамках сотрудничества со странами - членами ЕАЭС к совместному развитию указанных технологий адронной лучевой терапии, проведению экспериментальных и клинических исследований, симпозиумов, научно-практических конференций.

По данным ФГБУ «РНЦ РХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России, в настоящее время злокачественные новообразования занимают одно из ведущих мест в мире в статистике заболеваемости, смертности и стойкой утраты трудоспособности населения. При этом менее 10% всех пациентов с онкологическими заболеваниями нуждается в радионуклидной терапии с использованием открытых источников ионизирующего излучения. В первую очередь это касается пациентов с костными метастазами, распространенными формами рака предстательной железы и нейроэндокринных опухолей. Тераностика онкологических заболеваний с использованием РФЛП диагностического и терапевтического профилей является одной из наиболее перспективных методов, персонифицированных диагностики и лечения распространенных онкологических заболеваний. Преимуществом пептидорецепторной радионуклидной терапии в рамках тераностической технологии является целенаправленная доставка радионуклида непосредственно в опухолевую клетку, что повышает эффективность проводимого лечения, уменьшает его токсичность и минимизирует негативное воздействие на интактные органы и ткани.<sup>27</sup>

**К приоритетным направлениям научно-технологического развития атомной отрасли в России можно отнести<sup>28</sup>:**

- проектное направление «Прорыв»;
- развитие современной ядерной энергетики на базе технологий ВВЭР;

<sup>27</sup> Информация предоставлена Министерством здравоохранения Российской Федерации

<sup>28</sup> Вестник Атомпрома, выпуск 6, 2022 г.

- атомные станции малой мощности;
- переработка отходов ядерного топлива;
- водородная энергетика;
- лазерные технологии;
- термоядерные и плазменные технологии;
- материалы и технологии;
- ядерная медицина;
- сверхпроводимость.

Важным и перспективным направлением является развитие литографии в полупроводниках. В марте 2023 года Министерством промышленности и торговли Российской Федерации определен главный производитель литографических материалов для чипов - Научно-исследовательский институт молекулярной электроники (НИИМЭ).

НИИМЭ также стал победителем в конкурсе министерства на НИР «Разработка и постановка на производство реагента для измерения загрязнения пластин катионами металлов рентгено-флуоресцентным методом» и НИР «Разработка технологии производства гидроксида тетраметиламмония». НИИМЭ организованы работы по созданию задела для разработки материалов для фотолитографии. На данный момент создана единственная в России физико-химическая аналитическая лаборатория для проведения исследований в области контроля качества технологических сред.

Также в Институте прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН) в Нижнем Новгороде ведется разработка первой российской установки литографии для производства микроэлектроники сверхмалого нанометража. На данный момент учеными РАН создан первый демонстрационный образец оборудования. На этой установке получены отдельные изображения на подложках с разрешением до предельных 7 нм.

Промышленный образец литографа на 7 нм планируется создать к 2028 году. На первом этапе в 2024 г. будет создана «альфа-машина», включающая все компоненты литографа: источник мягкого рентгеновского излучения на

основе лазерной плазмы, систему рентгеновских зеркал для транспортировки и фокусировки излучения на фоторезисте, рентгеновские маски, систему позиционирования пластин. Данная установка станет рабочим оборудованием, на котором можно будет проводить полный цикл операций.

На втором этапе в 2026 г. появится «бета-машина». Системы оборудования будут улучшены и усложнены, увеличится разрешение, повысится производительность, многие операции будут роботизированы. Установку уже можно будет применять на масштабных производствах.

На третьем этапе (2026-2028 гг.) литограф получит более мощный источник излучения, улучшенные системы позиционирования и подачи, и начнет полноценную работу.

Еще одно перспективное направление развития - создание новых материалов для атомной отрасли. На сегодняшний день отработана технология промышленного производства стали ЭК164 как в металлургической, так и в трубной ее части.

#### **IV. Кооперационное сотрудничество государств – членов ЕАЭС в сфере ядерных и радиационных технологий**

На сегодняшний день в рамках ЕАЭС, а также СНГ активно развивается взаимодействие государств-членов по следующим направлениям в сфере ядерных и радиационных технологий:

1. В части ядерной медицины.
2. В части импортозамещения, создания нового оборудования (турбины, электротехническое оборудование) для атомной отрасли.
3. В части обмена опытом между научными организациями в целях подготовки высококвалифицированных кадров для отрасли.
4. В части популяризации такого сотрудничества в государствах-членах: проводятся совместные конференции, мероприятия, выставки.

Главенствующую роль в налаживании эффективного взаимодействия с государствами-членами играет Госкорпорация «Росатом», которая осуществляет сотрудничество со всеми государствами-членами. Такое сотрудничество носит двусторонний формат.

На основе проведенного анализа можно заключить, что ввиду социальной значимости для населения государства-члены заинтересованы прежде всего в развитии ядерной медицины.

Развитие научно-технического сотрудничества в рамках Союза в сфере передовых разработок для атомной промышленности (для заинтересованных государств-членов, использующих атомную энергию на своих территориях), технологий для медицинского оборудования, а также технологий, применяемых в промышленности, представляет важное стратегическое значение для отраслевого развития Сторон.

## **V. Предложения по развитию сотрудничества государств – членов ЕАЭС в сфере ядерных и радиационных технологий**

Ядерные и радиационные технологии относятся к приоритетным видам экономической деятельности для промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза в соответствии с Перечнем приоритетных видов экономической деятельности для промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза, утвержденного приложением № 1 к Основным направлениям промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза до 2025 года, утвержденным Решением Евразийского межправительственного совета от 30 апреля 2021 г. № 5.

Залогом успешного взаимодействия государств-членов ЕАЭС в сфере ядерных и радиационных технологий являются общие цели развития стран по данному направлению, определенные документами Международного агентства по атомной энергии.<sup>29</sup> Единство целей и задач диктует необходимость развития тесного сотрудничества в области инновационного проектирования и совершенствования существующих технологий.

Исследования в области ядерной и квантовой физики являются одним из наиболее затратных и ресурсоемких направлений современной науки. Ведущие атомные державы объединяют усилия для организации крупных совместных исследовательских проектов и сетей ученых.

До принятия ОНПС промышленным блоком ЕЭК прорабатывалась инициатива по созданию технологической платформы по направлению ядерные и радиационные технологии. В этих целях в 2018 году было заключено Соглашение об образовании Консорциума «Ядерные и радиационные технологии», куда вошли АО «Русатом Хэлскэ», Фонд инновационного и промышленного развития, Армянский научно-исследовательский институт по эксплуатации АЭ (ЗАО «АРМАТОМ»), Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кыргызско-Российский

---

<sup>29</sup> Все пять государств ЕАЭС являются членами указанной международной организации.

Славянский университет». С учетом изложенного заинтересованным хозяйствующим субъектам предоставляется возможность возобновления работы по данному направлению с учетом действующих ОНПС.

Еще одним перспективным направлением может стать проработка с государствами-членами взаимовыгодного замещения иностранных компонентов, микроэлектроники для приборов, в том числе развитие литографии в полупроводниках, оборудования в сфере ядерных и радиационных технологий.

Развитию кооперационных процессов на территории государств-членов ЕАЭС будет способствовать расширение сотрудничества в сфере ядерных и радиационных технологий с учетом богатого опыта научных организаций Союза. Особое внимание следует уделять обмену опытом по подготовке высококвалифицированных специалистов с учетом активно развивающихся технологий в государствах-членах ЕАЭС.

В рамках «зеленой» повестки представляется эффективным работа по гармонизации регулирования в пределах Договора, международных договоров в рамках Союза и актов органов ЕАЭС, включая нормы Таксономии «зеленого» финансирования, с включением атомной энергии в состав «зеленых» источников генерации».<sup>30</sup>

Среди направлений сотрудничества государств - членов ЕАЭС в области развития кооперационного сотрудничества в сфере ядерных и радиационных технологий можно выделить следующие аспекты:

- проведение совместных НИОКР в области лазерных и термоядерных технологий;
- разработка и экспорт радионуклидов медицинского применения;
- создание предшественников РФЛП на основе новых типов пептидов и полипептидных последовательностей, а также новых типов хелаторов для радионуклидов;

---

<sup>30</sup> Предложение Госкорпорации «Росатом», редакция Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан

- разработка технологий синтеза широкого спектра РФЛП;
- развитие взаимной торговли линейки приборов для ядерной медицины производства государств – членов ЕАЭС (модули выделения и очистки радионуклидов для медицинского применения, фасовщики РФЛП, автоматизированные модули синтеза РФЛП для тераностики онкологических заболеваний);
- выполнение различных этапов внедрения РФЛП в клиническую практику: доклинические испытания, клинические исследования, сопровождение (консультирование) на этапе клинического применения РФЛП;
- разработка научных технологий в области создания радиофармацевтической продукции, включая РФЛП и их химические и радиоизотопные предшественники, а также создание производственных площадок.