

**КОМИССИЯ ГОСУДАРСТВ – УЧАСТНИКОВ СНГ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СНГ**

**ИНФОРМАЦИЯ
О СОТРУДНИЧЕСТВЕ ГОСУДАРСТВ – УЧАСТНИКОВ СНГ
В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
И ПРОДВИЖЕНИЯ ИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Москва, 2021 год

Оглавление

Введение.....	3
Современное состояние, перспективы развития потребления и производства изотопной продукции в государствах – участниках СНГ	6
Республика Армения.....	6
Республика Беларусь	9
Республика Казахстан.....	11
Кыргызская Республика	12
Российская Федерация.....	15
Заключение	24
Приложение 1. Перечень существующих технологий в области производства радионуклидов и изделий на их основе (Республика Казахстан)	25
Приложение 2. Перечень существующих технологий (и выпускающих их предприятий) в области производства радионуклидов и изделий на их основе (Российская Федерация)	28

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных направлений сотрудничества государств – участников СНГ в области использования атомной энергии в мирных целях являются ядерные неэнергетические технологии, применяемые в медицине, геологии, строительстве, нефтехимической промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях.

С целью развития взаимодействия в данной сфере Комиссией государств – участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях (далее – Комиссия) в 2015 году создана тематическая рабочая группа «Сотрудничество в области производства, использования и продвижения изотопной продукции государств – участников СНГ».

Основной задачей рабочей группы является получение и обобщение информации о состоянии производства и потребления радионуклидной продукции в государствах – участниках СНГ.

Обмен информацией по производственной базе, научным разработкам, применяемым технологиям и их эффективности, методам получения, хранения и транспортировки радиоизотопов в государствах – участниках СНГ позволит сформировать подходы по более качественному и своевременному обеспечению заинтересованных отраслей необходимой продукцией, повысить эффективность производств за счет применения более совершенных технологий.

Это отвечает целям и задачам пунктов 2.3–2.4 раздела II «Ядерные неэнергетические технологии» Плана мероприятий по реализации первого этапа (2021–2025 годы) Рамочной программы сотрудничества государств – участников СНГ в области использования атомной энергии в мирных целях на период до 2030 года, утвержденной Решением Совета глав правительств СНГ от 6 ноября 2020 года.

Профильной рабочей группой Комиссии подготовлена Информация о сотрудничестве в области производства, использования и продвижения изотопной продукции стран – участников СНГ.

Главными целями подготовки указанной Информации являются:

информирование профильных ведомств и организаций государств – участников СНГ об имеющихся технологиях радионуклидного производства;

выявление заинтересованности участников в трансфере технологий, поставках того или иного продукта, определение возможности совместных исследований и разработок.

Радионуклидные препараты и источники излучения – основа современных методов изучения природы вещества, технологического контроля, диагностики и терапии, в первую очередь онкологических заболеваний.

Масштаб применения радионуклидов характеризует уровень технологического развития страны.

Основными областями применения радионуклидной продукции являются:

неразрушающий контроль, радиационные технологии (источники гамма-излучения);

определение элементного состава, толщины и плотности (источники рентгеновского излучения);

радиоизотопные приборы, генераторы ионов, нейтрализаторы статического напряжения, светосоставы (источники бета-излучения);

градуировка радиометрического оборудования, газоанализаторы (источники альфа-излучения);

исследования горных пород, определение элементного состава, влажности, проверка радиометрического оборудования (источники нейтронного излучения);

медицина – функциональная диагностика и терапия онкологических заболеваний (все виды излучений).

В настоящее время государства – участники СНГ имеют различный уровень развития производства и использования радионуклидов как в области ядерной медицины, так и в промышленном применении. Технологиями получения радионуклидов с использованием ядерных реакторов или ускорителей обладают лишь Республика Казахстан (исследовательский реактор ВВР-К и ускоритель У-150М) и Российская Федерация (исследовательский реактор ВВР-ц в филиале АО «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я.Карпова», исследовательский реактор ИВВ-2М в АО «Институт реакторных материалов», 5 исследовательских реакторов в государственном научном центре «Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (ГНЦ «НИИАР»). Проводятся исследования по прямому получению изотопов $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ на циклотроне С18 в Национальной научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский физический институт). Производство радионуклидной продукции с использованием реактора ВВР-СМ и 2 циклотронов было организовано на государственном предприятии «Радиопрепарат» (Республика Узбекистан).

Определенное внимание в представленной Информации уделено состоянию ядерной медицины и перспективам ее развития. Техническая оснащенность и обеспеченность пациентов диагностическими и терапевтическими процедурами в государствах – участниках СНГ не достигают мирового уровня. Сведения, содержащиеся в настоящей Информации, могут способствовать определению потребностей национальных учреждений здравоохранения в производимой радиофармацевтической продукции и поиску путей расширения перечня применяемых в государствах – участниках СНГ радиофармацевтических лекарственных средств: от содействия государственной регистрации производимых радиофармацевтических препаратов (РФП) до организации трансфера технологий.

Основное место при диагностике традиционно занимают РФП на основе $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – дочернего продукта радиоактивного распада ^{99}Mo . Развивается диагностика, основанная на использовании позитронно-эмиссионной томографии. Терапевтические РФП представлены в основном препаратами на основе ^{131}I , ^{188}Re , ^{89}Sr . Для целей телетерапии используются аппараты с закрытыми источниками из ^{60}Co .

Промышленное применение радионуклидов представлено в первую очередь методами неразрушающего контроля с использованием закрытых источников из ^{191}Ir и ^{75}Se . Источники нейтронов из ^{252}Cf используются для активационного анализа в качестве «пусковых» при выводе на контролируемый уровень мощности ядерных реакторов различного назначения.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ В ГОСУДАРСТВАХ – УЧАСТНИКАХ СНГ

Республика Армения

В Республиканском онкологическом центре Армении в качестве терапевтического медицинского изотопа применяются источники из ^{60}Co .

В качестве диагностических медицинских изотопов в настоящее время наиболее широко применяется медицинский изотоп $^{99\text{m}}\text{Tc}$, обеспечивая более 30 млн сканирований пациентов в год. Согласно данным Центра радиологии и ожогов потребность Армении в данном изотопе составляет более 5 тыс. доз в год. Другие диагностические медицинские изотопы в настоящее время не применяются.

Три клиники – Республиканский центр радиологии и ожогов, Республиканский онкологический центр и Республиканский кардиологический центр, расположенные в г. Ереване, обладают гамма-сканерами и используют медицинский изотоп $^{99\text{m}}\text{Tc}$, получая его из генераторов молибден–технеций.

Обеспечение клиник Армении изотопом $^{99\text{m}}\text{Tc}$ не является оптимальным. Так, Республиканский центр радиологии и ожогов на протяжении многих лет активно использует данный изотоп для диагностики. Центр получает $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в виде генераторов молибден–технеций. Снабжение осуществляется полностью за счет средств самой клиники. Генератор изотопов поступает в клинику 1 раз в 30–45 дней, используется в течение 7–10 дней, каждый день его активность снижается в 1,5 раза, что соответствует периоду полураспада ^{99}Mo – около 66 часов. До получения следующего генератора проходит довольно длительный период, в течение которого пациенты лишены возможности пройти сканирование. Вследствие этого уменьшается эффективность диагностики и лечения. Затраты на транспортировку, таможенные и прочие налоги увеличивают стоимость генератора. Немногие авиакомпании имеют лицензии на перевозку радиоактивных материалов, что осложняет ее организацию.

Две другие клиники находятся в подобной ситуации, но частично обеспечиваются генераторами за счет грантов МАГАТЭ.

Развитие технологии республиканского производства изотопов ускорительными методами – состояние и перспективы

В последнее десятилетие во всем мире активно разрабатываются альтернативные (нереакторные) методы производства медицинских изотопов, в особенности наиболее часто применяемого $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Причиной такого интереса является тот фактор, что имеющиеся в мире исследовательские реакторы в Канаде, Нидерландах и других странах устарели и находятся на грани окончательной остановки. При этом планы на постройку новых реакторов не обсуждаются. Другим фактором является применение по этой методике высокообогащенного урана ^{235}U , который является оружейным материалом. Это составляет дополнительную опасность в плане возможности утечки

радионуклидов и их попадания в руки террористических групп, а также противоречит принципам нераспространения.

На первых этапах деятельности по разработке альтернативных методов производства ^{99m}Tc за основу была принята концепция его получения на сильноточных электронных ускорителях посредством фотоядерных реакций. Преимуществами этого метода являются, в частности, отсутствие необходимости применения оружейного урана – в качестве облучаемой мишени использовался молибден, а также тот фактор, что получается ^{99m}Tc без сопровождающих долгоживущих радионуклидов.

В Национальной научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский физический институт) проводились работы по созданию и развитию технологии получения медицинских изотопов ^{99m}Tc и ^{123}I на электронном пучке линейного ускорителя ЛУЭ50. Работы проводились при финансовой поддержке Международного научно-технического центра. Были созданы установка для облучения мишеней, система охлаждения мишени, контроля температур и дистанционного контроля параметров установки и управления. Полученные результаты показали принципиальную возможность такого производства указанных изотопов и одновременно необходимость использования более интенсивного (как минимум в два–три раза) пучка электронов для обеспечения рентабельности. Результаты исследований были опубликованы и доложены на нескольких международных конференциях.

В течение последних лет исследования были переориентированы на методику прямого получения ^{99m}Tc на протонных пучках медицинских циклотронов с энергиями 20–30 МэВ. Активную поддержку в этой деятельности проявляет МАГАТЭ посредством Программы координированных исследований. Эта методика основана на ядерной реакции $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$, т.е. фактически на прямом получении ^{99m}Tc , минуя стадию материнского материала ^{99}Mo . Привлекательность этого метода, в частности, заключается в том, что в мире имеется большое количество циклотронов с указанными энергиями, которые в основном предназначены для получения медицинского изотопа ^{18}F для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Показана возможность использования этих же циклотронов для параллельного производства ^{99m}Tc . О распространенности таких циклотронов в мире свидетельствует тот факт, что, например, в Японии имеется более 100 медицинских циклотронов.

Перспективы запуска опытного и промышленного производства ^{99m}Tc по данной методике обсуждаются на рабочих совещаниях МАГАТЭ. По указанному способу необходимо проводить облучение мишенного материала ежедневно, так как продуктом реакции является непосредственно изотоп ^{99m}Tc с периодом полураспада всего 6 часов – в отличие от методов, при которых производится материнский материал ^{99}Mo с намного большим периодом полураспада. Таким образом, можно планировать ежедневное производство с учетом потребностей.

В Национальной научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский физический институт) установлен и запущен циклотрон С18. В июне 2019 года

был получен первый пучок изотопов интенсивностью 150 мкА. В июле того же года на этом пучке впервые был получен медицинский изотоп ^{18}F для ПЭТ. Активность полученного изотопа составляла 9 Ки, что намного превышает суточную потребность Республики Армения в данном изотопе и фактически открывает перспективы его экспорта. Осенью 2019 года были изготовлены первые опытные образцы радиофармпрепарата FDG, запущены и сертифицированы системы контроля качества, проведены тренинги обслуживающего персонала. В июне 2020 года первые пациенты прошли сканирование ПЭТ/КТ (компьютерная томография), и в настоящее время комплекс работает в штатном режиме.

С запуском циклотрона активировались работы по прямому получению $^{99\text{m}}\text{Tc}$ на протонном пучке циклотрона. В декабре 2019 года проведены первые опыты по облучению молибденовой мишени на пучке протонов циклотрона C18. Получена достаточно высокая активность при высоком качестве и чистоте изотопа. Работы по совершенствованию технологии и организации опытного производства продолжаются.

Одновременно проводятся работы по получению других изотопов на пучке циклотрона C18, таких как ^{67}Ga , ^{68}Ga , ^{64}Cu .

Сотрудничество с организациями в государствах – участниках СНГ

В процессе экспериментальных исследований и развития методики получения изотопов на электронном ускорителе Ереванского физического института были установлены научные и коммерческие связи со следующими организациями в государствах – участниках СНГ, работающими в этой области:

Институт ядерной физики г. Алматы (Республика Казахстан);

Физико-технический институт при Томском политехническом университете (Российская Федерация);

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна (Российская Федерация);

завод «Медрадиопрепарат» – Федеральный центр по проектированию и развитию объектов ядерной медицины» (Российская Федерация);

Институт физической химии и электрохимии имени А.Н.Фрумкина Российской академии наук (Российская Федерация).

Развертывание ПЭТ центров требует серьезных финансовых и временных ресурсов. В целях их экономии ведется освоение мобильного решения для ПЭТ, включающего мини-циклотрон для ПЭТ с автоматизированным радиохимическим модулем синтеза и модулем контроля качества. Особенности мини-циклотрона являются высокая производительность, возможность получения двух доз за один цикл производства, минимальное гамма- и нейтронное излучение, низкое энергопотребление, простое управление, компактный дизайн, собственная защита, низкое воздействие ионизирующего излучения, возможность быстрого отсоединения мишени, длительный срок использования источника ионов.

Перспективы развития отрасли

На данном этапе наиболее важным является сбор информации от членов рабочей группы, распространение этой информации, вовлечение большего числа специалистов в данную деятельность.

В дальнейшем будет необходимо заинтересовать стороны во внедрении предлагаемых технологий, например, по производству изотопов, и определении помощи, необходимой для такого внедрения. Например, Ереванский физический институт разработал не только методику прямого получения ^{99m}Tc на протонном пучке циклотрона С18, но и технологию изготовления мишеней для облучения, а также химическую технологию восстановления дорогостоящего ^{100}Mo для повторного облучения.

Ожидается, что в ближайшее время будут получены первые результаты, которые позволят с большей уверенностью предлагать эту методику для внедрения в других государствах – участниках СНГ. Информационный обмен и распространение опыта планируется проводить в рамках семинаров и рабочих совещаний.

Республика Беларусь

В Республике Беларусь функционируют 2 отделения ядерной медицины и 22 радиоизотопные лаборатории. В организациях здравоохранения установлено 25 гамма-камер, 5 из них функционируют более 10 лет, технически и морально устарели и требуют замены. Ежегодно выполняются более 60 тыс. диагностических радионуклидных исследований, около 2 тыс. пациентов получают лучевую терапию радиоактивными препаратами открытого типа.

Закупка РФП проводится централизованно на конкурсной основе за счет средств республиканского бюджета.

В настоящее время РФП в Республике Беларусь не производятся, применяются зарубежные лекарственные средства. Обязательным требованием для допуска РФП к применению в учреждениях здравоохранения является государственная регистрация лекарственных средств в Министерстве здравоохранения Республики Беларусь.

В организациях здравоохранения Республики Беларусь эксплуатируются 14 аппаратов контактной лучевой терапии, для перезарядки которых требуется ежегодно 56 источников на основе ^{192}Ir , общей стоимостью около 500 тыс. долларов США. Для дистанционной лучевой терапии в онкологических учреждениях республики используются 17 гамма-терапевтических аппаратов, в которых источником излучения является ^{60}Co . Общая стоимость перезарядки указанных аппаратов с периодичностью 1 раз в 5 лет составляет около 3 млн долларов США.

Поставку РФП и источников для аппаратов лучевой терапии в организации здравоохранения осуществляет российско-белорусское ЗАО «Изотопные технологии», которое имеет лицензию Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным

ситуациям Республики Беларусь на проведение данного вида работ с источниками ионизирующего излучения.

На диспансерном учете в республике состоит более 3 тыс. пациентов с диагнозом рак щитовидной железы, которые периодически нуждаются в проведении курсов радио-йод-диагностики и радио-йод-терапии. Проведение данных процедур больным из всех регионов республики осуществляется в отделениях ядерной медицины Минского городского и Гомельского областного онкологических диспансеров, где имеется суммарно 28 «активных» коек.

Для организации лечения радиоактивными препаратами открытого типа по современным протоколам с учетом имеющегося количества больных раком щитовидной железы, диффузным токсическим зобом, гемофилическими гемартрозами и ревматоидными артритами требуется около 70 «активных» коек.

Для решения данной проблемы осуществляется строительство радиологического корпуса на территории Минского городского онкологического диспансера с расширением отделения ядерной медицины до 20 «активных коек».

В республике налажен контроль использования РФП, ежегодно составляются акты предметно-количественного учета в организациях здравоохранения, применяющих открытые источники ионизирующего излучения в диагностических и терапевтических целях. Все полученные в течение года радионуклиды используются без остатка.

В настоящее время в Республике Беларусь завершено создание Республиканского центра позитронно-эмиссионной томографии на базе Республиканского научно-практического центра онкологии и медицинской радиологии имени Н.Н.Александрова. Центр включает циклотронно-радиохимической корпус с ускорителем Cyclone 18/9 НС, 4 горячими лабораториями для производства РФП на основе ^{18}F , ^{11}C и, в перспективе, радиохимической переработки твердотельных мишеней. Медико-диагностический корпус укомплектован 3 ПЭТ/КТ томографами фирмы General Electric, что позволяет ежедневно проводить до 60 диагностических исследований. В перспективе планируется установка еще 2 ПЭТ/КТ томографов в организациях здравоохранения г. Минска.

Согласно концепции развития ПЭТ ежегодно планируется производить около 30 тыс. индивидуальных доз $[^{18}\text{F}]$ фтордезоксиглюкозы и около 250 доз $[^{18}\text{F}]$ фторметилхолина, $[^{18}\text{F}]$ фторлевотимидина, $[^{11}\text{C}]$ метионина.

Сотрудничество с организациями в государствах – участниках СНГ

Обсуждается возможность строительства при участии Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Российская Федерация) исследовательского реактора с комплексом радиохимической переработки облученного ядерного топлива с целью производства РФП и иной радиоизотопной продукции.

С учетом текущего уровня развития радиофармацевтического сектора для Республики Беларусь актуальными являются следующие направления сотрудничества по линии Комиссии:

1) трансфер технологий, информационный обмен и совместные разработки в области получения радиоизотопов медицинского назначения, радиохимической переработки облученных материалов и синтеза радиофармацевтической продукции, включая препараты для ПЭТ;

2) совместная работа по обеспечению в государствах – участниках СНГ режима транспарентности и безопасности в сфере производства, логистики и применения радиоизотопной продукции;

3) в связи с недостатком в обеспечении радиофармацевтического производства Республики Беларусь квалифицированными кадрами и нормативно-правовой базой обсуждение возможности предоставления Российской Федерацией помощи в обучении кадров и разработке нормативной правовой документации для радиофармацевтического производства Республики Беларусь;

4) сотрудничество с АО ГНЦ «НИИАР» (Российская Федерация), который при остром дефиците источников из ^{60}Co , имея практический опыт и реакторные возможности для изготовления источников из ^{60}Co , мог бы полностью обеспечивать потребности медицинских учреждений Республики Беларусь.

Республика Казахстан

Источники для медицины

По состоянию на 2020 год в Республике Казахстан функционируют следующие лаборатории радионуклидной диагностики:

корпоративный фонд «University Medical Center» (г. Нур-Султан);

больница медицинского центра Управления делами Президента (г. Нур-Султан);

Казахский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии (г. Алматы);

Научно-исследовательский институт кардиологии и внутренних болезней (г. Алматы);

ТОО «Orhun Medical» (г. Алматы);

ТОО «Онкологический центр Сункар RT» (г. Алматы);

Региональный онкологический диспансер (г. Семей).

Эти центры используют препараты с изотопами $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F и ^{131}I . Потребность республики по данным изотопам с большим запасом покрывается производственными мощностями Института ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан, где действуют исследовательский реактор мощностью 6 МВт, циклотрон У-150М (протоны до 30 МэВ, альфа-частицы до 50 МэВ) и новый циклотрон Cyclone-30 (протоны до 30 МэВ). В настоящее время введен в эксплуатацию и сертифицирован на соответствие требованиям GMP корпус производства РФП, предназначенный для производства генераторов $^{99\text{m}}\text{Tc}$ и препаратов с изотопами, ^{131}I , ^{153}Sm , ^{201}Tl и ^{18}F .

В республике действуют 3 ПЭТ-центра – 2 в г. Нур-Султане и 1 – в г. Алматы.

Источники для промышленности

Большим спросом в Казахстане пользуются источники с изотопом ^{192}Ir , основными потребителями которых являются сервисные компании, оказывающие услуги по радиографии сварных соединений трубопроводов для нефтегазовой промышленности. Институт ядерной физики производит источники с ^{192}Ir для казахстанских сервисных компаний. Иностранные компании, работающие на территории Республики Казахстан, предпочитают использовать оборудование и источники своих производителей. Кроме ^{192}Ir в промышленной радиографии применяются источники с изотопом ^{75}Se , которые импортируются из России и США.

В каротажных приборах, различных приборах технологического контроля и анализаторах используются источники с изотопами ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{124}Sb , ^{109}Cd , ^{60}Co . Источники с ^{137}Cs и ^{241}Am импортируются, источники с ^{124}Sb , ^{109}Cd , ^{60}Co производятся Институтом ядерной физики.

Возможности сотрудничества

Институт ядерной физики имеет возможность и готов поставлять заинтересованным ведомствам других государств – участников СНГ циклотронные изотопы ^{57}Co и ^{109}Cd .

Перечень существующих технологий в области производства радионуклидов и изделий на их основе, производимых Институтом ядерной физики, приведен в приложении 1.

Кыргызская Республика

За последние пять лет в Кыргызской Республике не наблюдается резкого увеличения заболеваемости злокачественными новообразованиями. В настоящее время на онкологическом учете состоят около 25 тыс. пациентов. Вместе с тем показатель смертности от злокачественных новообразований за тот же период увеличился и составил 58,9 случая на 100 тыс. населения.

Ежегодно в Кыргызстане регистрируется более 5 тыс. случаев обнаружения злокачественных опухолей. В среднем доля лиц, нуждающихся в специализированном лечении, составляет 76,4 %. Из них 6,6 % случаев имеют противопоказания к радикальным методам лечения и 8 % отказываются от лечения. Лучевая терапия является одним из основных методов лечения у 80 % онкологических больных.

В целом состояние радиационной онкологии в Кыргызской Республике не является оптимальным. В Национальном центре онкологии и гематологии сложилась трудная ситуация с техническим обслуживанием лучевого оборудования из-за недостатка квалифицированных инженеров и финансирования медицины. Также увеличение показателя смертности связано со слабой диагностикой злокачественных новообразований на ранних стадиях

из-за отсутствия комбинированных систем визуализации – однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, ПЭТ, КТ, магнитно-резонансной томографией с цифровой обработкой, которые успешно используются в настоящее время во всем мире и являются «золотым стандартом» в диагностике онкологических заболеваний.

В рамках программы между Правительством Кыргызской Республики и МАГАТЭ был разработан первый в Кыргызстане проект Технического сотрудничества с МАГАТЭ «Модернизация ядерной медицины в Кыргызстане», в рамках которого была инсталлирована диагностическая установка Nucline Spirit DH-V спект-камера.

Деятельность Национального центра онкологии и гематологии Кыргызской Республики осуществляется в соответствии с Техническим регламентом «О радиационной безопасности» Кыргызской Республики и другими нормативными правовыми актами.

Радиоизотопная диагностика

Развитие ядерной медицины является актуальным направлением высоких технологий в медицине для Кыргызской Республики.

Процесс становления ядерной медицины в Кыргызстане ведется неравномерно по ряду объективных причин. Для полноценного функционирования отделения ядерной медицины необходимо радиационно-защитное технологическое оборудование, которое должно отвечать требованиям радиационной безопасности. В ближайшее время ожидается поступление такого оборудования, а также генераторов ^{99m}Tc с реагентами в рамках проекта МАГАТЭ.

В последние годы по многим запланированным мероприятиям действующих проектов МАГАТЭ, в частности по проекту «Восстановление ядерной медицины в Кыргызстане», были увеличены сроки реализации в связи с отсутствием в республике надзорного органа в области регулирования радиационной безопасности.

В январе 2017 года в Кыргызстане был создан национальный регулирующий орган при Государственном агентстве охраны окружающей среды и лесного хозяйства при Правительстве Кыргызской Республики по радиационной безопасности, отвечающий за координацию и соблюдение правил и норм радиационной безопасности, а также защиту населения и персонала от воздействия источников ионизирующего излучения. Также возобновил реализацию мероприятий проект МАГАТЭ «Восстановление ядерной медицины в Кыргызстане».

В 2017 году согласно требованиям МАГАТЭ в Национальном центре онкологии и гематологии был произведен капитальный ремонт помещений с соблюдением всех правил радиационной безопасности. Центр был оснащен мебелью и медицинским инвентарем, оборудован камерами видеонаблюдения и компьютерной техникой. Персонал отделения ядерной медицины на регулярной основе проходит обучение в ведущих центрах Европы и СНГ. Это

врачи-радиологи, технологи, медицинские физики, инженеры, техники-лаборанты и т.д. Обучение специалистов в области радионуклидной диагностики, лучевой терапии, брахитерапии будет продолжено до 2023 года.

Отделение ядерной медицины оснащено двухдетекторной ротационной гамма-камерой, позволяющей проводить исследования в томографическом режиме однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и режиме «все тело».

Составлен предпочтительный график поставки генераторов ^{99m}Tc указанной активности: 1 генератор в 2 недели или 26 генераторов в год. Поставка расходных материалов в рамках проекта планируется в течение 16 месяцев. Получение генераторов будет совмещено с приездом специалистов из компании – производителя гамма-камеры для проведения калибровки камеры и полного завершения инсталляции. Согласно рабочему плану проекта МАГАТЭ «Восстановление ядерной медицины в Кыргызстане» был изменен список поставки расходных материалов для проведения сцинтиграфического исследования.

Планируемые виды исследований

В настоящее время получена лицензия на ввоз ^{99m}Tc на территорию Кыргызской Республики.

Запуск отделения ядерной медицины напрямую зависит от сроков поставки защитно-технологического оборудования и генераторов ^{99m}Tc из МАГАТЭ. Одновременно прибудут технические эксперты МАГАТЭ – специалисты в области радионуклидной диагностики для обучения персонала отделения на рабочем месте с целью адаптации к работе на оборудовании и приему первых пациентов.

Согласно графику поставки генераторов и реагентов и их запланированного количества в отделении будут выполняться обследования пациентов по 10 основным радионуклидным методикам. В течение 16 месяцев планируется провести около 6 тыс. исследований.

Перспективы

Специалисты Национального центра онкологии и гематологии Кыргызской Республики включены в состав Комиссии. Они принимают участие в работе секции «Радиофармацевтика», задачей которой является развитие радиационной терапии и ядерной медицины. В рамках деятельности секции разрабатывается Программа совместных доклинических исследований перспективных РФП и организации единой системы медицинских испытаний с регистрацией РФП в государствах – участниках СНГ. Такое сотрудничество имеет важное значение для Кыргызстана как с точки зрения укрепления позиций и авторитета республики на международном рынке, так и в экспертном и потребительском направлениях.

Для кыргызских специалистов, работающих в сфере использования ионизирующего излучения, необходимо проводить курсы повышения

квалификации, а также создать учебную базу в отделении ядерной медицины Центра онкологии и гематологии. Сотрудничество с Комиссией позволит привлекать специалистов и экспертов высокого класса по обмену опытом в области ядерной медицины и радиологии.

После завершения проекта «Восстановление ядерной медицины в Кыргызстане» в 2019 году для устойчивости дальнейшего развития отделения ядерной медицины необходимы вложения значительных средств в модернизацию оборудования, эксплуатируемого в данной области, и оказание поддержки со стороны правительства Кыргызской Республики. В связи с этим разработана Стратегия по контролю и профилактике онкологических заболеваний в Кыргызской Республике на 2020–2024 годы, где уделено внимание устойчивому развитию ядерной медицины.

В перспективе по мере накопления опыта сотрудники отделения ядерной медицины планируют развить новый проект по приобретению гибридного оборудования для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и запустить проект по созданию отделения радионуклидной терапии. Это позволит добиться излечения до 70 % больных раком щитовидной железы, где повышение качества жизни пациентов отмечается в 86 % случаев, период нетрудоспособности сокращается на 67 %, а продолжительность жизни пациентов увеличивается в среднем на 18 %. Таким образом, необходима полная интеграция всех направлений ядерной медицины.

Для расширения парка радиологической службы специалистами Центра онкологии и гематологии совместно с техническими экспертами МАГАТЭ разработан дизайн-проект «Усиление брахитерапии, радиотерапии и ядерной медицины в Кыргызстане».

Российская Федерация

Радионуклидная диагностика и терапия

В Российской Федерации в настоящее время функционируют 195 отделений радионуклидной диагностики (включая лаборатории *in vitro*). Согласно данным Федеральной службы государственной статистики за 2019 год во всех отделениях радионуклидной диагностики проведено около 410 тыс. исследований. Также в клиниках установлено медицинское радиометрическое оборудование (радиографы, радиометры, ренографы, тиреометры, сканеры).

Большое количество гамма-камер и оборудования для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии технически устарело и требует замены. При этом процесс обновления оборудования радионуклидных лабораторий и создание новых отделений в последние годы продвигается довольно активно. Для достижения уровня показателей европейских стран в России требуется создание не менее 70 новых отделений радионуклидной диагностики с переоснащением парка оборудования существующих лабораторий.

Направление ПЭТ сегодня развивается в стране значительным темпом. В рамках реализации различных государственных программ или частно-государственного партнерства по состоянию на 2020 год запущено 40 учреждений ПЭТ, а всего на различных этапах внедрения находятся 45 учреждений ПЭТ с 65 ПЭТ-сканерами. По мнению специалистов Всемирной организации здравоохранения, для достижения заметного социально-экономического эффекта необходимые показатели оставляют 1 ПЭТ-сканер на 1 млн человек населения.

Пропускная способность отдельно взятого томографа зависит от модели и режима работы медицинского учреждения. В некоторых учреждениях этот показатель достигает 24 пациентов в сутки. Количество ПЭТ-исследований в 2020 году составляло около 300 тыс. исследований в год.

По радионуклидной терапии работают 14 отделений, оснащенных 144 «активными» койками. В ближайшее время показатель действующих отделений радионуклидной терапии увеличится до 20 отделений и 260 коек.

В стационарном режиме выполнение процедур радионуклидной терапии показано только для РФП с изотопом ^{131}I . Средняя пропускная способность 1 «активной» койки составляет 1 пациент в неделю. В настоящее время в Российской Федерации ежегодно проводится около 6 тыс. курсов радио-йод-терапии в стационарном режиме. Практикуемое лечение тиреотоксикоза с применением ^{131}I , а также паллиативное лечение костных метастазов с РФП на основе ^{89}Sr и ^{153}Sm проводится в амбулаторном режиме, корректные количественные показатели о ежегодно проводимых процедурах, для которых не получены.

Средний показатель обеспеченности радионуклидной терапии в Европе составляет 1 «активная» койка на 340 тыс. человек населения. В Российской Федерации, исходя из приведенных данных, средний показатель обеспеченности составляет 1 «активная» койка на 1 090 тыс. человек населения; в ближайшей перспективе достигнет значения 1 «активная» койка на 570 тыс. человек. Таким образом, для достижения среднего европейского уровня потребуется внедрить дополнительные отделения радионуклидной терапии, оснащенных не менее 180 «активными» койками.

Сотрудничество и обмен опытом

Учитывая социальную значимость задачи по обеспечению потребности учреждений здравоохранения в современных методах и средствах ядерной медицины, в ряде государств – участников СНГ российскими специалистами, работающими в области ядерной медицины, ежегодно проводятся различные мероприятия международного формата.

Например, в период с 2015 по 2019 год были проведены 3 международные конференции «Актуальные проблемы разработки, производства и применения радиофармацевтических препаратов «Радиофарма».

В программе конференций были представлены доклады по направлениям: инновационные разработки в области создания лекарственных РФП;

производство радионуклидов и предшественников для ядерной медицины;
 особенности производства лекарственных РФП;
 нормативное регулирование обращения лекарственных РФП;
 перспективные лекарственные РФП: от науки к практике;
 синтез РФП в клинических ПЭТ-центрах;
 фармацевтическая разработка и доклинические исследования
 лекарственных РФП;
 контроль качества лекарственных РФП на стадиях фармразработки,
 производства и медицинского применения;
 от доклинических исследований к клиническим; что необходимо для
 быстрого продвижения лекарственных РФП на рынок ядерной медицины;
 актуальные проблемы организации производства РФП нового типа:
 концепция «ядерной аптеки».

За этот же период были проведены мастер-классы:

определение радиохимической чистоты РФП с ^{99m}Tc ;

гель-тромб-тест для определения содержания бактериальных эндотоксинов.

В период работы конференций «Радиофарма» для слушателей из государств – участников СНГ был организован круглый стол на тему: «Обращение радиофармацевтических препаратов в свете принятия Соглашения о единых принципах и правилах обращения лекарственных средств в рамках Евразийского экономического союза».

Ежегодно на базе кафедры радиохимии и технологии радиофармацевтических препаратов Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования на базе Федерального медицинского биофизического центра имени А.И.Бурназяна проводится цикл обучения специалистов из государств – участников СНГ в рамках последиplomного профессионального образования по направлению «Химическая технология радиофармацевтических препаратов». В целом с 2014 по 2019 год прошли подготовку 72 специалиста, в том числе: из Республики Армения – 4, из Республики Беларусь – 19, из Республики Казахстан – 26, из Кыргызской Республики – 6, из Республики Узбекистан – 17.

В 2019 году для персонала отделений, лабораторий и центров ядерной медицины государств – участников СНГ был выпущен справочник «Ядерная медицина» для персонала отделений, лабораторий и центров ядерной медицины.

В период с 30 сентября по 4 октября 2019 года на базе Республиканского диагностического центра (Республика Казахстан) было проведено обучение по теме «Получение радиофармпрепаратов на основе радионуклида ^{68}Ga ». В качестве менторов для проведения образовательной программы были приглашены сотрудники Федерального медицинского биофизического центра имени А.И.Бурназяна. Состав слушателей – специалисты радиационно-диагностических центров, занятые наработками и контролем качества РФП для ПЭТ и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. Освоены методы синтеза и контроля качества трех РФП на основе радионуклида ^{68}Ga ,

получаемого из генератора $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ российского производства (ЗАО «Циклотрон», г. Обнинск). Это препараты для диагностики нейроэндокринных опухолей (DOTATATE, ^{68}Ga ; DOTANOC, ^{68}Ga) и рака предстательной железы (DOTA-PSMA, ^{68}Ga).

Возможности по разработке и производству РФП

Ведущим производителем российских РФП является завод «Медрадиопрепарат» (г. Москва), созданный в 1967 году. В результате развития гражданских направлений использования атомной техники и технологий постоянно расширялся перечень радиоактивных изотопов медицинского применения, что приводило к обновлению номенклатуры выпускаемой продукции. В отдельные годы завод производил более 100 наименований радионуклидной продукции: РФП, изделий медицинского и промышленного назначения. На этом предприятии начался выпуск первых отечественных генераторов $^{113\text{m}}\text{In}$ и $^{99\text{m}}\text{Tc}$ и наборов реагентов к ним.

Диагностические препараты

Группа препаратов на основе радионуклида ^{123}I . По своим ядерным характеристикам ^{123}I является лучшим радионуклидом для применения в медицине. Энергия его гамма-квантов (169 КэВ) является оптимальной для прохождения через биологическую ткань и позволяет получать сцинтиграммы высокого качества. Получаемые пациентами дозовые нагрузки значительно ниже (в 100 раз), чем при введении аналогичных препаратов с ^{131}I при одинаковом количестве введенной активности. По этой причине РФП с ^{123}I предпочтительны при проведении различных ядерно-медицинских исследований, особенно у детей. Радионуклид ^{123}I , используемый для производства РФП, получают облучением ксенона, обогащенного ^{124}Xe , на циклотроне Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Завод выпускает препараты диагностического назначения с широким диапазоном медицинского применения:

«Натрия йодид, ^{123}I , изотонический», раствор для внутривенного введения и приема внутрь, предназначен для определения функционального состояния и визуализации щитовидной железы;

«Натрия о-йодгиппурат, ^{123}I », раствор для внутривенного введения, предназначен для определения эффективного почечного кровотока, исследования секреторной и выделительной способности почек, оценки анатомических особенностей и топографии почек и мочевыводящих путей, выявления нарушений функции почек и мочевыводящих путей.

«МИБГ, ^{123}I », раствор для внутривенного введения. Препарат предназначен для оценки функционального состояния симпатической нервной системы сердца при различных его заболеваниях, для диагностики опухолей надпочечников, симпатических ганглиев, первичных нейробластом, феохромоцитом, для диагностики рака щитовидной железы и их метастазов, а также костно-мозговой инфильтрации при нейробластомах;

«Галлия цитрат, ^{67}Ga », выпускаемый многие годы, остается востребованным и в настоящее время. Препарат предназначен для диагностики системных злокачественных лимфопролиферативных заболеваний, первичных и метастатических опухолей легких и сарком мягких тканей. Обладает уникальными свойствами для диагностики медиастинального саркоидоза Бека и воспалительных процессов. Производителем и поставщиком сырьевого радионуклидного препарата является ЗАО «Циклотрон», г. Обнинск;

раствор для приготовления препаратов в клинике на основе лиофилизатов «Индия хлорид, ^{111}In » – раствор для приготовления РФП для внутривенного введения. В настоящее время востребован медицинскими учреждениями для приготовления препарата «Октреотид, ^{111}In ». Препарат предназначен для радионуклидной диагностики нейроэндокринных опухолей, опухолей центральной нервной системы, рака молочной железы, мелкоклеточного рака легкого. Производителем и поставщиком сырьевого радионуклидного препарата является ЗАО «Циклотрон», г. Обнинск.

Терапевтические препараты

«Стронция хлорид, ^{89}Sr ». Заболеваемость злокачественными опухолями во всех развитых и развивающихся странах неуклонно растет. К числу злокачественных опухолей, имеющих тенденцию к повышению заболеваемости, относятся: рак молочной железы, рак толстой кишки, рак легкого, рак щитовидной железы, рак тела матки, рак предстательной железы, рак кожи. Частота костно-метастатических форм этих заболеваний очень высока. Наличие костных метастазов сопровождается, как правило, болевым синдромом, деформациями и патологическими переломами. Применяемые традиционные методы лечения боли при костных метастазах либо малоэффективны (анальгетики), либо обладают побочными действиями (наркотические средства). Одним из эффективных и безопасных лечебных воздействий, сочетающихся с имеющимися в арсенале борьбы с болевым синдромом при метастатических поражениях, является радионуклидная терапия препаратом «Стронция хлорид, ^{89}Sr ».

Применение данного препарата позволяет эффективно снимать костные боли на длительный срок (до 16 месяцев) после однократной инъекции. Препарат «Стронция хлорид, ^{89}Sr », выпускаемый заводом «Медрадиопрепарат» с 1999 года, является аналогом зарубежного препарата, выпускаемого ранее фирмой «Амершам интернэшнл» (Великобритания) под торговым названием «Метастрон». Однако содержание гамма-излучателей в отечественном препарате значительно ниже, чем в импортном, что объясняется использованием другого по составу радиоактивного сырья. Производителем и поставщиком радионуклидного сырья является ГНЦ «НИИАР».

«Фосфорен, ^{188}Re », разработанный совместно Федеральным медицинским биофизическим центром имени А.И.Бурназяна, Федеральным центром по проектированию и развитию объектов ядерной медицины и Медицинским

радиологическим научным центром им. А.Ф.Цыба, находится на стадии государственной регистрации.

Данный РФП также предназначен для радиоизотопной терапии, представляет собой раствор для внутривенного введения, содержащий радионуклид ^{188}Re , связанный с гидроксипропилендифосфонатом. Используется для лечения болевого синдрома при костных метастазах злокачественных опухолей. Также, предположительно, может применяться при комплексной терапии больных ревматоидным артритом и другими неонкологическими заболеваниями суставов с выраженным болевым синдромом.

Радионуклид ^{188}Re считается одним из наиболее перспективных изотопов для применения в радионуклидной терапии, поскольку обладает высокой энергией β -излучения ($E_{\max} = 2,12 \text{ МэВ}$) в сопровождении мягкого γ -излучения (155 кэВ), что дает возможность для сцинтиграфической визуализации распределения препарата в организме, а короткий период полураспада (17 ч) позволяет избежать излишней токсичности и тяжелых осложнений.

Производится с использованием разработанной на предприятии полуавтоматической установки на основе экстракционного генератора. Производителем и поставщиком препарата материнского радионуклида ^{188}W является «ГНЦ «НИИАР».

Группа препаратов на основе радионуклида ^{131}I

Натрия йодид ^{131}I выпускается в разных лекарственных формах – раствор для приема внутрь и капсулы. Препараты используются для диагностики и терапии: как диагностическое средство – для оценки функционального состояния щитовидной железы, сканирования и сцинтиграфии щитовидной железы при различных заболеваниях, в том числе для диагностики нарушения функций щитовидной железы, как терапевтический препарат – для лечения тиреотоксикоза при диффузном и многоузловом токсическом зобе, а также для лечения рака щитовидной железы и его метастазов.

Применение препарата в виде капсул имеет ряд преимуществ перед раствором: повышение уровня радиационной безопасности для медицинского персонала и больных, обеспечение полного перорального введения препарата для терапии. Номиналы капсул представлены в широком диапазоне по активности ^{131}I , что позволяет после диагностики различных заболеваний щитовидной железы приступить к лечению выявленных заболеваний.

Для производства РФП на основе ^{131}I используются сырьевые радионуклидные препараты производства ГНЦ «НИИАР» и Научно-исследовательского физико-химического института имени Л.Я.Карпова.

Проблемы и перспективы производства РФП для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и радионуклидной терапии

Специфика производства радиофармацевтических лекарственных средств заключается в малом объеме выпускаемых серий готовой продукции и, как

следствие, высоком уровне непроизводительного расхода сырьевого радионуклида на проведение обязательных процедур контроля качества промежуточной и готовой продукции.

Данное обстоятельство, а также значительные затраты производителя на обеспечение требований как правил организации производства лекарственных средств, так и норм радиационной безопасности, являются основными факторами, определяющими себестоимость производимой радиофармацевтической продукции. При отгрузке продукции потребителю малыми партиями существенный вклад в ее стоимость вносят и расходы на доставку.

Закономерным результатом совокупного действия указанных факторов является высокий уровень отпускных цен на радиофармацевтическую продукцию, препятствующий росту объема ее медицинского потребления. Ценовой уровень является наиболее значимым для потребителей РФП диагностического назначения. В итоге, несмотря на относительно большие сроки годности, позволяющие осуществить доставку данных РФП региональным потребителям, их фактическое потребление ограничивается преимущественно медицинскими учреждениями г. Москвы. При этом следует отметить, что большинство диагностических РФП обладают характеристиками, уникальными как по диагностической информативности («Галлия цитрат, ^{67}Ga », «Октреотид, ^{111}In », «МИБГ (метайодбензилгуанидин), ^{123}I »), так и по возможности применения при исследовании детей («Натрия о-йодгиппурат, ^{123}I » – для детей старше 1 года, «МИБГ, ^{123}I » – для детей без ограничения возраста).

Сроки годности выпускаемых заводом «Медрадиопрепарат» диагностических РФП и фармацевтических субстанций:

Название РФП	Срок годности
МИБГ, ^{123}I	30 часов
Натрия о-йодгиппурат, ^{123}I	48 часов
Натрия йодид, ^{123}I , изотонический	60 часов
Галлия цитрат, ^{67}Ga	10 суток
Индия хлорид, ^{111}In	10 суток

Другим серьезным ограничителем объема потребления РФП для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии является значительный рост за последнее десятилетие медицинского применения в России ПЭТ и расширение номенклатуры РФП для данного метода. Данный процесс протекает в соответствии с мировыми тенденциями развития методов радионуклидной диагностики, следствием которого явилось значительное снижение заинтересованности врачей-кардиологов в применении таких производимых предприятием РФП, как «МИБГ, ^{123}I » (применяется только в онкологии) и «Галлия хлорид, ^{201}Tl » (препарат снят с производства). Тем не менее следует отметить, что в экономически развитых странах, значительно превосходящих Россию как по количеству ПЭТ-обследований на единицу

населения, так и по номенклатуре применяемых РФП, методы однофотонной эмиссионной компьютерной томографии остаются широко востребованными и в применении с рядом РФП уверенно сохраняют позиции «золотого стандарта» в диагностике определенных заболеваний.

В Российской Федерации в настоящее время не производятся применяемые в зарубежной практике РФП с ^{99m}Tc на основе нанокolloидов, органических и минеральных микросферических носителей, диагностические препараты с ^{111}In . Некоторые из этих препаратов защищены отечественными патентами и находятся в стадии доклинических исследований, другим требуется фармацевтическая разработка. Основную работу по данным направлениям осуществляет Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна.

Федеральным центром по проектированию и развитию объектов ядерной медицины при финансовой поддержке Министерства промышленности и торговли выполнен комплекс работ по фармацевтической разработке, доклиническим и мультицентровым клиническим исследованиям I–II фазы инновационного РФП «Эстроскан, ^{99m}Tc ». Данный препарат предназначен для диагностирования патологических образований молочной железы и яичников. В результате проведенных исследований подтверждена безопасность медицинского применения препарата и его диагностическая эффективность, рекомендовано проведение III фазы клинических исследований. Отсутствие источника финансирования для завершения клинических исследований и проведения государственной регистрации препарата не позволяет к настоящему времени определить конкретные сроки его постановки на производство и выпуска в обращение.

Планы развития предприятия на ближайшую перспективу включают проведение фармацевтической разработки и доклинических исследований инновационного РФП на основе содержащего ^{188}Re микросферического носителя для терапии первичного и метастатического рака печени.

Ведущий российский разработчик радиофармацевтических лекарственных средств – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна в настоящее время инициирует фармацевтическую разработку и доклинические исследования инновационного РФП на основе содержащей ^{188}Re суспензии (2–10 мкм) для терапии воспалительных заболеваний суставов (радиосиновиэктомия).

В целом РФП отечественного производства в России обеспечены только некоторые из современных направлений радионуклидной терапии, а именно: лечение заболеваний щитовидной железы и болевого синдрома при метастатических поражениях костей. В России не производятся РФП для радиоиммунотерапии и пептид-рецепторной терапии на основе радионуклидов ^{90}Y , ^{131}I , ^{177}Lu . За рубежом разрешены к медицинскому применению радиоиммунные препараты на основе моноклональных антител «Zevalin» с ^{90}Y и «Веххар» с ^{131}I , а пептидные препараты с ^{90}Y и ^{177}Lu уже находятся в высокой степени готовности к выводу в обращение. Одной из возможных причин низкой

активности отечественных фармацевтических разработчиков в данном направлении является отсутствие до настоящего времени регулярного производства исходного радионуклидного материала (субстанции) фармацевтического качества.

Промышленное применение радионуклидов

Основное использование радионуклидов в промышленности связано с применением закрытых радионуклидных источников ионизирующих излучений. Такие источники используются для неразрушающего контроля в составе дефектоскопов различных конструкций (^{192}Ir , ^{75}Se , ^{60}Co), в радиационных технологиях в составе облучательных установок (^{60}Co , ^{137}Cs), для нейтронной радиографии и нейтронно-активационного анализа (^{252}Cf , $^{241}\text{Am/Be}$), при элементном анализе (^{57}Co , ^{109}Cd , ^{244}Cm), контроле параметров технологических процессов (^{241}Am , ^{124}Sb), в качестве радионуклидного источника тока в газоанализаторах (^{63}Ni). Источники нейтронов из ^{252}Cf используются также в качестве «пусковых» при выводе на контролируемый уровень мощности ядерных реакторов различного назначения.

Основное производство закрытых радионуклидных источников ионизирующих излучений на предприятиях Блока по управлению инновациями Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» сосредоточено в ГНЦ «НИИАР». Институт производит номенклатуру источников всех видов излучения: гамма-, бета-, альфа- и нейтронов. Некоторые типы источников с использованием ^{241}Am производятся в АО «Государственный научный центр – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского».

Перечень существующих технологий (и выпускающих их предприятий Российской Федерации) в области производства радионуклидов и изделий на их основе приведен в приложении 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение радионуклидных препаратов и источников излучения вносят важный вклад в ряд отраслей промышленности и медицины. Они широко используются в технологиях неразрушающего и технологического контроля, радиоизотопных приборах, генераторах ионов, нейтрализаторах статического напряжения, градуировке радиометрического оборудования, при определении элементного состава породы; особое место занимают функциональная диагностика и терапия онкологических заболеваний.

Государства – участники СНГ имеют различный уровень развития производства и использования радионуклидов как в области ядерной медицины, так и в промышленном применении, различные компетенции и технологии.

Научно-исследовательские институты Республики Армения, Республики Казахстан, Российской Федерации взаимодействуют в сфере экспериментальных исследований и развития методик получения изотопов. Белорусской и российской сторонами обсуждается проект создания исследовательского реактора с целью производства РФП и другой радиоизотопной продукции. Кыргызская Республика развивает международное сотрудничество в сфере ядерной медицины по линии МАГАТЭ.

Представляется, что кооперация государств – участников СНГ, промышленных предприятий и медицинских учреждений будет способствовать как развитию технологий и производств радионуклидов, так и расширению возможности их применения, позволит снизить внутреннюю конкуренцию с целью повышения эффективности производств.

Перспективными направлениями совместной деятельности в сфере производства и использования изотопов являются:

- информационный обмен в области получения радиоизотопов медицинского, промышленного, технического и научного назначения;

- совместная работа по обеспечению в государствах – участниках СНГ условий радиационной безопасности в сфере производства, логистики и применения радиоизотопной продукции;

- совместные разработки и трансфер технологий с целью обеспечения потребностей государств в различных видах радионуклидной продукции;

- координация деятельности в области подготовки и обеспечения радиофармацевтических производств квалифицированными кадрами.

Представляется целесообразным продолжить информационный обмен между заинтересованными научными, производственными и медицинскими ведомствами и организациями государств – участников СНГ о выпускаемой изотопной продукции и применяемых технологиях, что позволит расширить перечень доступных радионуклидных препаратов и источников излучения, создать базовые условия для реализации совместных двух- и многосторонних проектов и разработок.

ПЕРЕЧЕНЬ
технологий в области производства радионуклидов и изделий на их основе,
производимых Институтом ядерной физики Министерства энергетики
Республики Казахстан

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
1.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{192}Ir	Источники представляют собой одинарную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится радиоактивный сердечник из металлического ^{192}Ir в виде набора дисков диаметром 3 мм. Материал ампулы – аустенитная нержавеющая сталь типа Х18Н10	Радиационные технологии: источники для промышленной радиографии (тип ГИИД-А1). Максимальная активность – 100 Ки
2.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{124}Sb	Источники представляют собой двойную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится сердечник из металлической сурьмы (^{124}Sb). Материал наружной ампулы – нержавеющая сталь типа Х18Н10	Радиационные технологии: источники используются в приборах техноконтроля в металлургии. Максимальная активность – 100 Ки
3.	Технология изготовления закрытых источников гамма-рентгеновского излучения на основе ^{109}Cd	Источники представляют собой одинарную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится сорбент с нанесенным ^{109}Cd . Материал ампулы – алюминиевый сплав Д 16	Радиационные технологии: источники используются в приборах элементного экспресс-анализа в промышленности. Максимальная активность – 20 мКи
4.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{57}Co	Источники представляют собой одинарную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится сорбент с нанесенным ^{57}Co . Материал ампулы – алюминиевый сплав Д 16	Радиационные технологии: источники используются в научных исследованиях для Мессбауэровской спектроскопии. Максимальная активность – 100 мКи
5.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{204}Tl	Источники представляют собой одинарную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится радиоактивный сердечник из сплава таллия (^{204}Tl) и свинца диаметром 10 мм. Материал ампулы – алюминиевый сплав Д 16	Радиационные технологии: источники используются для калибровки промышленной и радиометрической аппаратуры. Максимальная активность – 1 Ки

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
6.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения с ^{60}Co	Источники представляют собой одинарную герметичную ампулу. Внутри ампулы находится радиоактивный сердечник из металлического ^{60}Co . Материал ампулы – аустенитная нержавеющая сталь типа X18H10	Радиационные технологии: источники используются для технологического контроля в нефтяной промышленности. Максимальная активность – 100 мКи
7.	Технология изготовления гамма-маркеров с ^{60}Co	Маркер представляет собой медную полосу 3х6мм, толщиной 20–30 мкм с нанесенным слоем ^{60}Co , помещенную между двумя слоями липкой ленты	Радиационные технологии: маркеры используются при проведении буровых работ в нефтяной промышленности. Активность до 10^4 Бк
8.	Балк-раствор ^{109}Cd	Солянокислый раствор безносительного ^{109}Cd . Удельная активность не менее 0,5 Ки/мг. Радионуклидные примеси с энергиями гамма-излучения: 0,05–1,8 МэВ в сумме не более 0,1%. Химические примеси Ag, Fe, Cu, Zn не более 0,1 мкг/мКи каждого	Радиационные технологии: используется для изготовления закрытых источников и проведения исследований. Максимальная активность – 300 мКи
9.	Балк-раствор ^{57}Co	Солянокислый раствор безносительного ^{57}Co . Удельная активность не менее 7 Ки/мг. Радионуклидные примеси Co-56, Co-58, Co-60 в сумме не более 0,1%. Химические примеси Fe, Cu, Ni не более 0,02 мкг/мКи каждого	Радиационные технологии: балк-раствор используется для изготовления закрытых источников и калибровки медицинской аппаратуры. Максимальная активность – 5 Ки
10.	Балк-раствор ^{85}Sr	Азотнокислый раствор ^{85}Sr . Содержание радионуклидных примесей не более 5%, объемная активность по требованию	Радиационные технологии: балк-раствор используется в качестве трассера при проведении экологических исследований
11.	Балк-раствор ^{134}Cs	Азотнокислый раствор ^{134}Cs . Содержание радионуклидных примесей не более 5 %, объемная активность по требованию	Радиационные технологии: балк-раствор используется в качестве трассера при проведении экологических исследований

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
12.	Генератор $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	Активность $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 18 ± 3 ГБк на день поставки, РФП «Натрия пертехнетат $^{99\text{m}}\text{Tc}$, раствор для инъекций». Радионуклидные примеси: ^{99}Mo не более $2 \cdot 10^{-2} \%$. Остальные гамма-излучающие примеси не более $2 \cdot 10^{-3} \%$. Радиохимическая чистота не менее 99 %, pH 4–7. Раствор стерилен, апиrogenен. Содержание NaCl 8–10 мг/мл	Ядерная медицина; радионуклидная диагностика. Серийное производство 2 раза в месяц
13.	Натрия иодид ^{131}I , раствор	Объемная активность не менее 37 МБк/мл. Радионуклидная чистота не менее 99,9 %. Радиохимическая чистота не менее 95 %, pH 7–10. Раствор стерилен	Ядерная медицина; радионуклидная диагностика (раствор для радионуклидной терапии на стадии регистрации). Серийное производство 2 раза в месяц
14.	Натрия о-йодгиппурат ^{131}I , раствор для инъекций	Объемная активность не менее 37 МБк/мл. Радионуклидная чистота не менее 99,9 %. Радиохимическая чистота не менее 96 %, pH 5–8. Раствор стерилен, апиrogenен. Содержание натрий о-йодгиппурата 6–10 мг/мл	Ядерная медицина; радионуклидная диагностика (на стадии регистрации)
15.	^{153}Sm -ЭДТМФ, раствор для терапии	Объемная активность 500–2 000 МБк/мл. Радионуклидная чистота не менее 99,8 %. Радиохимическая чистота не менее 99 %, pH 7–8,5. Раствор стерилен, апиrogenен	Ядерная медицина; радионуклидная терапия (на стадии регистрации)
16.	^{18}F -Фтордезоксиглюкоза	Радионуклидная чистота не менее 99 %. Радиохимическая чистота не менее 95 %. Раствор стерилен, апиrogenен	Ядерная медицина; радионуклидная диагностика

ПЕРЕЧЕНЬ
существующих технологий (и выпускающих их предприятий) в области производства
радионуклидов и изделий на их основе (Российская Федерация)

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
«Государственный научный центр «Научно-исследовательский институт атомных реакторов», г. Димитровград			
1.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{60}Co	Источники представляют собой герметичную одно- или двухкапсульную конструкцию, изготовленную из коррозионно-стойкой стали или титана, внутри которой находится активный сердечник, содержащий радионуклид ^{60}Co	Ядерная медицина: источники для внутритканевой терапии (тип ГК60М1); источники для внутриполостной терапии (тип ГК60М4); источники для телетерапевтических облучательных установок (типы ГК60Т01-ГК60Т06). Радиационные технологии: источники для радиографии (тип ГК60М3, ГК60Р, СОГ-1); источники для контроля технологических процессов (тип ГК60М9)
2.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{192}Ir	Источники представляют собой однокапсульную герметичную конструкцию. Внутри капсулы находится активный сердечник из металлического ^{192}Ir в виде набора дисков или стержня. Материал капсулы – коррозионно-стойкая сталь или титан	Радиационные технологии: источники для радиографии (тип ГИ192М3, ГИ192М5, ГИ192М6)
3.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{75}Se	Источники имеют двухкапсульную конструкцию. Во внутренней капсуле, изготовленной из титана или ванадия, находится радионуклид ^{75}Se . Внешняя капсула изготовлена из коррозионно-стойкой стали и имеет модификации с хвостовиком и без него	Радиационные технологии: источники для радиографии (тип ГС75М1, СР16, СР17, СР18)
4.	Технология изготовления закрытых источников фотонного излучения на основе ^{153}Gd	Источники для костной денситометрии представляют собой герметичную титановую капсулу, содержащую радионуклид ^{153}Gd в виде порошка или таблетки из оксида гадолиния	Ядерная медицина: источники для диагностики (костная денситометрия) (тип ФГ153М1)

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
5.	Технология изготовления закрытых источников бета-излучения на основе ^{63}Ni	Источник бета-излучения на основе ^{63}Ni представляет собой подложку из никелевой фольги, на которую электрохимическим методом нанесен слой металлического ^{63}Ni	Радиационные технологии: используются в качестве источников тока в аналитическом оборудовании
6.	Мишени для синтеза сверхтяжелых элементов	Мишени для синтеза сверхтяжелых элементов получают электрохимическим нанесением соединений трансплутониевых элементов (ТПЭ-Am, Cm, Bk, Cf) из органических электролитов на подложки из титановой фольги. При изготовлении мишеней используются препараты трансплутониевых элементов, получаемые при производстве ^{252}Cf	Радиационные технологии: мишени используются в научных исследованиях
7.	Трансмутация долгоживущего осколка деления ^{99}Tc в стабильный металл платиновой группы рутений	Трансмутацию долгоживущего ($T_{1/2}=2,1 \cdot 10^5$ лет) радиоактивного ^{99}Tc с целью получения рутения проводят облучением в высокопоточном реакторе СМ до требуемого соотношения массовых долей технеций/рутений. После этого облученный материал растворяют и выделяют металлический рутений, который допустимо использовать в промышленности (по радиационным характеристикам)	Радиационные технологии: утилизация осколка деления ^{99}Tc ; получение редкого и ценного металла рутений
8.	Технология изготовления закрытых источников нейтронов на основе ^{252}Cf	Источники для внутрисполостной терапии представляют собой двухкапсульную герметичную конструкцию. Капсулы изготовлены из коррозионно-стойкой стали. Радионуклид ^{252}Cf в форме оксида или композиции $^{252}\text{Cf-Pt(Pd)}$ равномерно распределен и зафиксирован внутри капсулы. Неравномерность распределения активности не превышает 15%. Источник нейтронного излучения для нейтронно-активационного анализа, радиографии и пусковые источники имеют две капсулы, изготовленные из коррозионно-стойкой стали. ^{252}Cf в источнике находится в форме оксида. Источник нейтронного излучения общепромышленный имеет две капсулы, изготовленные из коррозионно-стойкой стали. Радиоактивный материал, размещенный в активной части источника, представляет собой пористую керамическую матрицу, содержащую ^{252}Cf , или таблетку на основе композиции $^{252}\text{Cf-Pt(Pd)}$	Ядерная медицина: источники для внутрисполостной терапии (тип НК252М4). Радиационные технологии: источники для нейтронно-активационного анализа, нейтронной радиографии (тип НК252М11); источники для пуска ядерных энергетических установок (тип НК252М4); источники общепромышленного назначения (тип НК252М5)

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
9.	Технология изготовления источников альфа-излучения на основе ^{244}Cm	Закрытый источник альфа-излучения для рентгено-флюоресцентного анализа представляет собой герметичную конструкцию. Активная часть – подложка в форме диска, в поверхностном слое которой зафиксирован радионуклид ^{244}Cm в виде сплава или соединения с материалом подложки (платина, коррозионно-стойкая сталь, кремний, иридий, родий, никель и др.). Активная часть помещена в капсулу из титана. Рабочей поверхностью источника является окно (титановая фольга толщиной 0,003 мм). Открытые источники альфа-излучения предназначены для элементного анализа твердых веществ методом обратного рассеяния альфа-частиц и рентгено-флюоресцентного анализа. Источники представляют собой диск, на поверхности которого зафиксирован ^{244}Cm в виде сплава или соединения с материалом диска (платина, коррозионно-стойкая сталь с тонким слоем платины, кремний, иридий, родий, никель и др.)	Радиационные технологии: закрытые источники используются в научных исследованиях (тип АЗК244.28); открытые источники используются в космических исследованиях (тип АК244Д, источники были использованы в американских марсоходах)
10.	Технология изготовления закрытых источников нейтронов на основе $^{244(248)}\text{Cm}$	Источники для нейтронных установок представляют собой двухкапсульную герметичную конструкцию. Капсулы изготовлены из коррозионно-стойкой стали. Радионуклид $^{244(248)}\text{Cm}$ в форме оксида или композиции $^{244(248)}\text{Cm-Pt(Pd)}$ равномерно распределен и зафиксирован внутри капсулы	Радиационные технологии: источники для ядерно-физических исследований и нейтронных измерений (тип НК244М1, НК248М1)
11.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{188}W	Характеристика препарата: химическая форма – раствор вольфрамата натрия в NaOH (0,5-2,0 моль/л); удельная активность ^{188}W не < 3 Ки/г; отношение суммарной активности радионуклидных примесей к активности ^{188}W < 1 %	Ядерная медицина: изготовление генераторов $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$
12.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{106}Ru	Характеристика препарата: химическая форма – хлорид рутения (III, IV), раствор в соляной кислоте; удельная активность до 240 Ки/г; отношение суммарной активности радионуклидных примесей к активности ^{106}Ru < 0,1 %; отношение суммарной массы нерадиоактивных примесей к массе рутения < 5 %; отношение активности ^{103}Ru к активности ^{106}Ru < 3 %	Ядерная медицина: используется для производства офтальмоаппликаторов, применяемых при лечении тяжелых опухолевых заболеваний глазной системы человека

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
13.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{89}Sr	Характеристика препарата: химическая форма* – хлорид стронция, раствор в соляной кислоте; удельная активность ≥ 300 Ки/г; отношение активности ^{90}Sr к активности $^{89}\text{Sr} < 2 \cdot 10^{-4} \%$; отношение суммарной активности гамма-излучателей к активности $^{89}\text{Sr} \leq 0,35 \%$; отношение суммы масс примесных нерадиоактивных элементов к активности ^{89}Sr (химическая чистота препарата) $\leq 5,5$ мг/Ки. <i>* Концентрация растворителя может быть указана заказчиком</i>	Ядерная медицина: паллиативная терапия больных с костными метастазами
14.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{63}Ni	Характеристика препарата: химическая форма: вариант 1 – хлорид никеля, вариант 2 – нитрат никеля; растворитель: вариант 1 – соляная кислота, вариант 2 – азотная кислота; удельная активность никеля > 10 Ки/г; отношение активности радионуклидных примесей (^{46}Sc, ^{54}Mn, ^{59}Fe, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{65}Zn) к активности $^{63}\text{Ni} < 10^{-3} \%$ <i>* Препарат может быть поставлен в виде сухой или влажной соли либо раствора. Концентрация растворителя может быть указана заказчиком</i>	Радиационная техника: используется для изготовления источников тока различного назначения
15.	Технология изготовления препаратов на основе радионуклидов ^{113}Sn , $^{117\text{m}}\text{Sn}$, $^{119\text{m}}\text{Sn}$	Характеристики препаратов: ^{113}Sn: химическая форма – хлорид олова (IV), раствор в соляной кислоте; удельная активность 40–50 Ки/г; отношение суммарной активности радионуклидных примесей к массе олова $< 1 \%$; $^{117\text{m}}\text{Sn}$: химическая форма – хлорид олова (IV), раствор в соляной кислоте; удельная активность до 20 Ки/г; отношение суммарной массы нерадиоактивных примесей к активности $^{113}\text{Sn} < 1 \%$; отношение суммарной активности радионуклидных примесей к активности $^{117\text{m}}\text{Sn} < 1 \%$; отношение суммарной массы нерадиоактивных примесей к массе олова $< 1 \%$;	Радиационная техника: $^{119\text{m}}\text{Sn}$ используется для изготовления мёссбауэровских источников; ^{113}Sn, $^{119\text{m}}\text{Sn}$ используются для изготовления образцовых источников излучения. Ядерная медицина: ^{113}Sn используется для изготовления генераторов короткоживущего $^{113\text{m}}\text{In}$

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
		^{119m}Sn : химическая форма – хлорид олова(IV), раствор в соляной кислоте; удельная активность до 1 Ки/г; содержание примесей $^{113}\text{Sn} \leq 2\%$, $^{117m}\text{Sn} \leq 2\%$, других радионуклидов $\leq 0,1\%$; отношение суммарной массы нерадиоактивных примесей к массе олова $\leq 1\%$; объемная активность 30–100 мКи/мл	
16.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{177}Lu	Характеристика препарата: химическая форма – хлорид лютеция (LuCl_3); удельная активность ^{177}Lu в препарате не < 30 кКи/г; отношение суммарной активности γ -излучающих примесей (^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{51}Cr) к активности ^{177}Lu не $> 0,01\%$; отношение активности ^{177m}Lu к активности ^{177}Lu не $> 0,02\%$	Ядерная медицина: изготовление РФП пептидной природы, используемых для лечения нейроэндокринных опухолей
17.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{125}I	Характеристика препарата: химическая форма – иодид натрия, раствор в (0,01–0,05) М NaOH; внешний вид – бесцветный прозрачный раствор; удельная активность не < 17 Ки/мг; объемная активность 0,05–10 Ки/мл; радиохимическая чистота не $< 99,2\%$; отношение активности ^{126}I к активности ^{125}I не $> 0,001\%$	Ядерная медицина: используется для изготовления миниатюрных источников («зерен»), имплантируемых в опухоль для лечения ряда заболеваний, в частности рака простаты
18.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{131}I	Характеристика препарата: химическая форма – иодид натрия в $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ -буфере (иодид натрия в 0,01М NaOH); внешний вид – бесцветный прозрачный раствор; удельная активность без носителя 185–7 400 ГБк (5–20 Ки на мг); объемная активность $> 18,5$ –74 ГБк/мл (0,5–2 Ки/мл); радионуклидная чистота не $< 99,9\%$; радиохимическая чистота не $< 95\%$; химическая чистота $\text{Te} \leq 5 \mu\text{g/ml}$; $\text{Si} \leq 20 \mu\text{g/ml}$; $\text{Fe} < 2 \mu\text{g/ml}$; $\text{Cu} \leq 0,25 \mu\text{g/ml}$; $\text{Mn} < 0,05 \mu\text{g/ml}$; $\text{Pb} < 0,5 \mu\text{g/ml}$; $\text{As} < 5 \mu\text{g/ml}$; pH 8–12	Ядерная медицина: используется для терапии рака щитовидной железы

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
19.	Технология изготовления препарата радионуклида ^{99}Mo	Характеристики препарата: внешний вид – бесцветный прозрачный раствор; химическая форма – молибдат натрия Na_2MoO_4 в 0,2–0,3 молярном растворе NaOH; период полураспада 66,02 часа; энергия распада, E_γ (12%) 739,4 кэВ; радиохимическая чистота на дату калибровки (на 6-й день) $\geq 95\%$; содержание радионуклидных примесей не $>$, %: <i>γ-излучатели:</i> $^{131}\text{I} / ^{99}\text{Mo}$ 5×10^{-3} $^{103}\text{Ru} / ^{99}\text{Mo}$ 5×10^{-3} $^{132}\text{Te} / ^{99}\text{Mo}$ 5×10^{-3}; <i>β-излучатели:</i> $^{89}\text{Sr} / ^{99}\text{Mo}$ 6×10^{-5} <i>α-излучатели/</i>^{99}Mo 1×10^{-7} <i>другие β/γ-излучатели</i> 5×10^{-2}; удельная активность на дату калибровки не < 1000 Ки / г Мо; объемная активность на дату калибровки не $< 0,35$ Ки/мл	Ядерная медицина: изготовление генераторов $^{99\text{m}}\text{Tc}$
20.	Технология изготовления препарата радионуклида ^{223}Ra	Характеристики препарата: химическая форма – хлорид радия; объемная активность не $< 0,27$ Ки/мл; отношение суммарной активности гамма-излучающих примесей (кроме Ас-227 и его дочерних продуктов) к активности Ra-223 не $> 10^{-3}\%$; отношение суммарной активности Ас-227 к активности Ra-223 не $> 10^{-5}\%$; отношение суммарной активности Th-227 к активности Ra-223 не $> 10^{-3}\%$; содержание нерадиоактивных примесей (бария, кальция, железа, хрома, никеля, свинца, фосфора) не > 20 мг/Ки	Ядерная медицина: изготовление радиофармацевтических препаратов, в частности для лечения рака предстательной железы
21.	Технология изготовления препарата радионуклида ^{224}Ra	Характеристики препарата: химическая форма – хлорид радия; объемная активность не $< 0,027$ мКи/мл; отношение суммарной активности гамма-излучающих примесей (кроме Th-228 и его дочерних продуктов) к активности Ra-224 не $> 10^{-2}\%$; отношение суммарной активности Th-228 к активности Ra-224 не $> 10^{-3}\%$; содержание нерадиоактивных примесей (бария, кальция, железа, хрома, никеля, свинца, фосфора) не > 50 мг/Ки	Ядерная медицина: изготовление источников для лечения злокачественных опухолей кожных покровов

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
22.	Технология изготовления препарата радионуклида ^{228}Th	Характеристики препарата: химическая форма – нитрат тория; объемная активность не $< 0,27$ мКи/мл; удельная активность тория-228 300 Ки/г; отношение суммарной активности гамма-излучающих примесей (кроме Ra-226, Ac-227 и их продуктов распада, а также дочерних продуктов распада Th-228) к активности Th-228 не $> 10^{-4}$ %; отношение суммарной активности Ra-226, Ac-227 к активности Th-228 не $> 10^{-3}$ %	Ядерная медицина: изготовление генераторов ^{224}Ra
АО «Государственный научный центр – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского», г. Обнинск			
1.	Технология производства ^{225}Ac из генераторной системы $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ac}$	Характеристики препарата: химическая форма – порошок или раствор нитрата ^{225}Ac; содержание неактивных примесных катионов $< 10,0$ мкг/мл; объемная активность – мКи/мл по требованию заказчика; удельная активность без носителя $5,8 \times 10^4$ Ки/г; радионуклидная чистота $^{225}\text{Ra} < 0,02$ %; $^{224}\text{Ra} < 0,02$ %; $^{229}\text{Th} < 0,007$ %; сумма делящихся изотопов $< 0,0006$ %	Ядерная медицина: препарат ^{225}Ac используется для проведения доклинических испытаний с целью создания методов терапии онкологических заболеваний альфа-излучающими радионуклидами
2.	Технология производства ^{224}Ra	Характеристики препарата: химическая форма – раствор хлорида или нитрата радия; содержание неактивных примесей < 20 мкг/мл; объемная активность – мКи/мл по требованию заказчика; радионуклидная чистота $^{225}\text{Ra} < 3$ %; $^{228}\text{Th} + ^{229}\text{Th}; \leq 0,02$ %	Ядерная медицина: ^{224}Ra , ^{223}Ra используются для терапии онкологических заболеваний α -излучающими радионуклидами. В настоящее время ведутся исследования действия препарата на животных для разработки методов применения в клинической практике. Изотоп ^{224}Ra наряду с изотопом ^{225}Ac является α -излучателем и используется непосредственно для изготовления РФП и генераторов ^{212}Bi и ^{212}Pb -. Альтернативные производители в России отсутствуют

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
3.	Производство РФП «Стронций-89 хлорид»	Характеристики препарата: химическая форма – стерильный, апиrogenный, водный раствор хлорида стронция; объемная активность на дату изготовления 33,3–40,7 МБк/мл; содержание стронция хлорида 10,9–22,6 мг/мл; содержание радиоактивных примесей (относительно активности ^{89}Sr) $^{90}\text{Sr} \leq 2 \times 10^{-4} \%$; другие радионуклиды $\leq 1 \times 10^{-3} \%$; другие γ-излучающие примеси $\leq 0,35 \%$	Ядерная медицина: РФП «Стронций-89 хлорид» предназначен для паллиативного лечения пациентов, имеющих метастазирующие опухоли простаты, молочной железы, почек и легких. Данный РФП используется как альтернативный метод или дополнение к наружной лучевой терапии для лечения болевого синдрома при костных метастазах
4.	Технология выделения изотопа ^{90}Y	Характеристики препарата: химическая форма – прозрачный, бесцветный раствор хлорида иттрия; удельная активность $5,4 \times 10^5$ Ки/г; объемная активность – мКи/мл по требованию заказчика; содержание неактивных примесей < 10 мкг/мл	Ядерная медицина: ^{90}Y используется для создания РФП, применяемых в клинической практике для терапии артритов и онкологических заболеваний
5.	Производство генератора $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$	Характеристики элюата: химическая форма – прозрачный, бесцветный, стерильный апиrogenный раствор вольфрамата натрия в NaOH (0,5–2 моль/л); удельная активность ^{188}W 3,5–5 Ки/г; радиохимическая чистота $\geq 99 \%$, pH 4–8; номинальная активность ^{188}Re на установленную дату поставки не > 37 (1000) ГБк (мКи); содержание радионуклидных примесей (относительно активности ^{188}Re) $^{188}\text{W} \leq 1 \times 10^{-3} \%$ другие гамма-излучающие радионуклиды в сумме $\leq 1 \times 10^{-3} \%$; содержание неактивных примесей ≤ 10 мкг/мл; мощность излучения на поверхности генератора 80 мкЗв/(ч×ГБк); масса 15 кг; срок службы (в зависимости от начальной активности) 40–200 суток	Ядерная медицина: генератор $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ предназначен для получения стерильного апиrogenного натрия перрената в изотоническом растворе натрия хлорида, который используется в медицинских клиниках для приготовления РФП, предназначенных для лечения костных онкологических и неонкологических заболеваний

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
6.	Закрытые источники излучения – офтальмоаппликаторы (ОА) для терапии онкологических заболеваний глаз и окологлазной области	Радионуклиды на подложке: $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ Тип излучения, энергия: $E_{\beta} ^{106}\text{Ru} = 39,4 \text{ кэВ}$, $E_{\beta} ^{106}\text{Rh} = 3 \text{ 540 кэВ}$ Периоды полураспада радионуклидов: $T_{1/2} (^{106}\text{Ru}) = 373,59 \text{ суток}$, $T_{1/2} (^{106}\text{Rh}) = 29,9 \text{ секунды}$ Мощность поглощенной дозы средняя по рабочей поверхности ОА типа РЗ-Р7 не $< 1 \text{ 200 сГр/ч}$ Активность ОА типов РЗ-Р7 не $< 2 \times 10^7 \text{ Бк}$ Средняя МПД по рабочей поверхности ОА типа Р2 не $< 6 \text{ 000 сГр/ч}$ Активность ОА типа Р2 не $< 2 \times 10^8 \text{ Бк}$ Назначенный срок службы 12 месяцев Геометрические размеры ОА: тип Р2: диаметр – 17 мм; тип Р3: диаметр – 17 мм, высота держателя – 2 мм; тип Р4: диаметр – 17 мм, высота держателя – 5 мм; тип Р5: диаметр – 22 мм, высота держателя – 2 мм; тип Р6: диаметр – 22 мм, высота держателя – 5 мм; тип Р7: диаметр – 19 мм, высота держателя – 4 мм. Радиус наружной поверхности крышки ОА 12–14 мм для ОА всех типов	Ядерная медицина: терапия онкологических заболеваний глаз и окологлазной области. Производство ОА осуществляется на основе оригинальной технологии нанесения ^{106}Rh на подложку, позволяющей равномерно распределить активность на ее поверхности
7.	Технология по производству АФС ^{82}Sr	Характеристики препарата: удельная активность радионуклида ^{82}Sr не $< 0,9 \text{ (25) ТБк/г, (Ки/г)}$; объемная активность радионуклида ^{82}Sr не $< 2,2 \text{ (60) ГБк/мл (мКи/мл)}$; содержание химических примесей в сумме не $> 20 \text{ мкг/см}^3$ содержание радионуклидных примесей: ^{82}Sr не $> 1 \text{ мКи/мКи}$; ^{83}Rb не $> 0,0015 \text{ мКи/мКи}$; ^{84}Rb не $> 0,0001 \text{ мКи/мКи}$; ^{83}Sr не $> 0,0015 \text{ мКи/мКи}$; молярная концентрация HCl 0,05–0,5 моль/л; АФС ^{82}Sr является стерильным и апиrogenным; назначенный срок службы – 15 суток	Ядерная медицина: для производства генераторов $^{82}\text{Sr} / ^{82}\text{Rb}$, которые используются в ПЭТ-центрах для диагностики в кардиологии, а также при изучении функций головного мозга, желудочно-кишечного тракта, печени и почек

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
8.	Технология изготовления закрытых источников нейтронов на основе ^{241}Am	<i>Источники $^{241}\text{Am-Be}$:</i> активная часть, нейтронный поток до 1×10^8 нейтрон/сек.; геометрические размеры, мм: высота – 12–85; диаметр – 7–50; материал сердечника механическая смесь порошков $^{241}\text{AmO}_2$ и BeO; масса $^{241}\text{AmO}_2$ 0,01–17,5 г; материал обечайки (в 1- или 2-капсульном исполнении) сталь нержавеющая 12X18H10T; классификация упаковки C(E)65344 («вещество особого вида»); гарантийный срок службы – 5 лет. <i>Источники $^{241}\text{Am-Li}$:</i> нейтронный поток $(5 \pm 0,5) \times 10^4$ нейтрон/сек.; доля нейтронов с энергией $> 1,5$ МэВ не $> 3\%$; геометрические размеры, мм: высота – 34; диаметр – 25; материал сердечника: механическая смесь порошков $^{241}\text{AmO}_2$ и гидрида лития; масса $^{241}\text{AmO}_2$ 500 мг	Радиационные технологии: нейтронные источники $^{241}\text{Am-Be}$ используются для каротажа нефтяных скважин, а также научных исследований. Радиационные технологии: источники применяются в системах учета и контроля ядерных материалов
9.	Технология изготовления закрытых гамма-источников на основе ^{241}Am	Характеристики источника: активность 5–500 мКи; химическая форма ^{241}Am оксид $^{241}\text{AmO}_2$ масса $^{241}\text{AmO}_2$ в источнике 1,67–166,67 мг; материал обечайки сталь нержавеющая 12X18H10T; геометрические размеры, мм: высота – 5, диаметр – 10 и высота – 10, диаметр – 15; назначенный срок службы 5 лет	Радиационные технологии: источники общепромышленного назначения. Используются в составе контрольно-измерительных приборов и аппаратуры
10.	Производство генератора $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	Характеристики элюата: элюат – прозрачный, бесцветный, стерильный, апиrogenный; химическая форма $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ радиохимическая чистота $\geq 99\%$ pH 4–7,5; номинальная активность по $^{99\text{m}}\text{Tc}$ на установленную дату поставки не > 37 (1) ГБк (Ки); содержание радиоактивных примесей (относительно активности $^{99\text{m}}\text{Tc}$) ^{99}Mo: $\leq 2 \times 10^{-4}$ γ-излучатели в сумме $\leq 2 \times 10^{-5}$, α-излучатели ≤ 1 распад/мин. Мл; содержание неактивных примесей, мкг/мл: Al ≤ 2; Mn ≤ 5; мощность экспозиционной дозы на поверхности генератора в зависимости от номинала 200 МР/ч; масса 15 кг	Ядерная медицина: производимый в генераторе пертехнетат натрия используется в медицине для внутривенного введения в организм человека при скинтиграфии щитовидной и слюнной желез, желудка, мозга. Используется для получения РФП, применяемых при диагностике новообразований щитовидной железы, заболеваний сердечно-сосудистой и кроветворной систем

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
11.	Производство генератора $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$	Характеристики элюата: Элюат – прозрачный, бесцветный, стерильный; концентрация соляной кислоты 0,049–0,051 моль/л; номинальная активность по $^{113\text{m}}\text{In}$ на установленную дату поставки не >12 (324) ГБк (мКи); содержание радионуклидных примесей (относительно активности $^{113\text{m}}\text{In}$): $^{113}\text{Sn} \leq 1 \times 10^{-4}$, другие радионуклиды $\leq 1 \times 10^{-8}$ содержание неактивных примесей, мкг/мл: Se $\leq 2,5$; Fe ≤ 10; другие тяжелые металлы (в сумме) ≤ 10; мощность излучения на поверхности генератора 50 мкЗв/(ч×ГБк); масса не более 15 кг; срок службы (в зависимости от начальной активности) 6–12 месяцев	Радиационные технологии: солянокислый раствор гидратных хлоридов $^{113\text{m}}\text{In}$ совместно со специальными наборами реагентов используется в научно-технических целях
Филиал АО «Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я.Карпова», г. Обнинск			
1.	Технология изготовления препарата ^{99}Mo без носителя	Технические характеристики препарата: внешний вид – бесцветный прозрачный раствор; химическая форма молибдат натрия Na_2MoO_4 в 0,2–0,3 н растворе NaOH или нитрат молибденила $\text{MoO}_2(\text{NO}_3)_2$ в 0,5–1 н растворе HNO_3 период полураспада 66,02 часа; энергия распада, E_γ (12%) 739,4 кэВ. <i>Радиохимическая чистота на дату калибровки (на 6-й день):</i> содержание радионуклидных примесей, не более: γ-излучатели – $^{132}\text{I} / ^{99}\text{Mo} 5 \cdot 10^{-5}$, $^{103}\text{Ru} / ^{99}\text{Mo} 5 \cdot 10^{-5}$ β-излучатели – $^{89}\text{Sr} / ^{99}\text{Mo} 6 \cdot 10^{-7}$, $^{90}\text{Sr} / ^{99}\text{Mo} 1 \cdot 10^{-8}$ α-излучатели/ $^{99}\text{Mo} 1 \cdot 10^{-11}$ другие β/γ-излучатели $5 \cdot 10^{-5}$; содержание неактивных примесей: алюминий не > 2 мкг/мл, железо не > 1 мкг/мл, свинец не >0,1 мкг/мл, медь не >0,1 мкг/мл; удельная активность на дату калибровки не <5 000 Ки (185 000 ГБк)/г Мо; объемная активность на дату калибровки не <1 Ки/мл; упаковка металлические или стеклянные флаконы вместимостью 10–20 мл	Ядерная медицина: осколочный ^{99}Mo используется в производстве генераторов $^{99\text{m}}\text{Tc}$

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
2.	Технология зарядки генераторов ^{99m}Tc	<i>Технические характеристики генератора технеция-99м:</i> активность ^{99m}Tc в элюате на дату поставки, ГБк 4, 6, 8, 11 и 19; допускаемое отклонение активности элюата от номинальных значений от -10 % до +20 %; объем отбираемого элюата 5–13 см³ количество элюирований не < 20 раз по 10 см³ герметичность охранного сосуда ГОСТ 16327; масса генератора 16 кг; максимальная мощность эквивалентной дозы гамма-излучения: на расстоянии 1 м не >0,01 мЗв/час; вплотную к охранному сосуду не >0,8 мЗв/час; устойчивость к механическим воздействиям группа 2 ГОСТ Р 50444-92; устойчивость к климатическим факторам внешней среды исполнение УХЛ 4.2 ГОСТ 15150-69. Физико-химические характеристики элюата с пертехнетатом натрия: внешний вид – бесцветная прозрачная жидкость рН 4–7; объемная активность технеция-99м в элюате на дату и время изготовления 74–3 700 МБк/мл; радионуклидные примеси: ^{99}Mo не >2 · 10⁻² % другие γ-излучатели не >2 · 10⁻³ %; неактивные примеси: алюминий не >2 мкг/мл, медь не >2 мкг/мл, железо не >1 мкг/мл, марганец не >1 мкг/мл, мышьяк, барий, бериллий, висмут, кадмий, хром, ртуть, молибден, никель, свинец, сурьма, олово, теллур, цинк ниже предела их обнаружения; радиохимическая чистота не < 99 %; натрия хлорид 8–10 мг/мл; гарантийный срок годности 15 суток на установленную дату поставки. В течение срока годности изготовитель гарантирует соответствие изделия техническим условиям, безвозмездно заменяет вышедший из строения генератор при условии своевременного предъявления оформленного в установленном порядке рекламационного акта	Ядерная медицина: используется для многократного получения стерильного апиrogenного пертехнетата натрия ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) в физиологическом солевом растворе (0,9% NaCl). Пертехнетат натрия используется в медицине для внутривенного введения в организм человека при сцинтиграфии щитовидной и слонной желез, желудка, мозга; радионуклидной ангиокардиографии и вентрикулографии; а также для получения различных РФП на основе наборов соответствующих реагентов, применяемых при диагностике легких, костей, почек, печени

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
3.	Технология изготовления генераторов ^{99m}Tc	Защитный радиационный контейнер изготовлен из свинца марки С 2. Свинцовый контейнер помещен в пластмассовый транспортный контейнер. Масса генератора в сборе составляет около 13 кг. Защита позволяет заряжать генераторы технеция до 3 Ки по ^{99}Mo. Технические характеристики: контейнер должен сохранять прочность и защитные свойства при воздействии следующих факторов внешней среды: интервал температур от -40 до +70 °С; давление до 25 кПа; удар груза массой 50 г с высоты 1 м; вибрация: три цикла по 10 минут с частотой от 25 до 500 Гц при 4,9 м/с². Средний срок службы изделия не менее 10 лет	Ядерная медицина: используется для многократного получения стерильного апиrogenного пертехнетата натрия ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) в физиологическом солевом растворе (0,9% NaCl). Пертехнетат натрия используется в медицине при сцинтиграфии щитовидной и слюнной желез, желудка, мозга; радионуклидной ангиокардиографии и вентрикулографии; а также для получения РФП на основе наборов соответствующих реагентов, применяемых при диагностике заболеваний легких, костей, почек, печени
4.	Технология изготовления РФП натрий йодид, ^{131}I	Технические характеристики препарата: состав: ^{131}I 37–1 110 МБк, натрий гидроксид не >0,4 мг/мл, вода не >1 мл; внешний вид – прозрачная бесцветная жидкость pH 7–12; радионуклидные примеси (изотопы Te и ^{75}Se) не > 0,01 %, от активности ^{131}I, на дату изготовления; радиохимическая чистота не < 95 %; содержание неактивных примесей не > 10⁻³мг/мл: теллур 5; свинец 0,5; медь 0,25; железо 2; марганец 0,05; кремний 20; содержание молибдена, бария, бериллия, висмута, алюминия, кадмия, хрома, олова, сурьмы, никеля и цинка не должно превышать пределов их обнаружения; период полураспада 8,05 суток; фасовка: препарат фасуется во флаконах для лекарственных средств порциями 0,12; 0,2; 0,4; 0,6; 1; 1,2; 2; 4 ГБк; препарат стерилен и апиrogenен	Ядерная медицина: используется для диагностики и лечения щитовидной железы: для оценки функционального состояния щитовидной железы, сканирования и сцинтиграфии щитовидной железы при различных заболеваниях, в том числе для диагностики нарушений функций щитовидной железы, а также мелкоклеточного рака щитовидной железы и метастазов. В целях терапии препарат используют для лечения тиреотоксикоза и метастазов рака щитовидной железы

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
5.	Технология изготовления РФП натрий йодид, ^{131}I в изотоническом растворе	Технические характеристики препарата: состав: ^{131}I 740–1 850 МБк, фосфор 3,3–3,9 мг, вода для инъекций не >1 мл; внешний вид – прозрачная, бесцветная жидкость pH 6–7; радионуклидная чистота соответствует радионуклидной чистоте исходного сырья раствора натрия йодида с ^{131}I без носителя; радиохимическая чистота не < 95 %; содержание неактивных примесей такое же, как и в растворе йодида (^{131}I) натрия без носителя; фасовка: препарат фасуется во флаконах для лекарственных средств порциями 40; 120; 200; 400; 1 000; 2 000; 4 000 МБк/мл; препарат стерилен и апирогенен	Ядерная медицина: используется для диагностики и лечения щитовидной железы
6.	Технология изготовления РФП натрия о-йодгиппурат, ^{131}I	Технические характеристики препарата: состав: ^{131}I 4–40 МБк, натрия йодгиппурат 9–12 мг, бензиловый спирт 8–10 мг, натрий хлорид 8–10 мг, вода для инъекций не >1 мл; внешний вид – бесцветная или желтоватая прозрачная жидкость pH 5,5–8,5; радионуклидная чистота соответствует чистоте исходного натрия йодида с ^{131}I без носителя; радиохимическая чистота не < 98 %; содержание неактивных примесей такое же, как и в растворе йодида (^{131}I) натрия без носителя; фасовка: препарат фасуется во флаконах для лекарственных средств порциями 20, 40, 80, 200 МБк, на установленную дату поставки; препарат стерилен и апирогенен	Ядерная медицина: используется для диагностики заболеваний почек

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
7.	Технология изготовления РФП «Уреакапс, ^{14}C »	Технические характеристики препарата: внешний вид – твердая желатиновая капсула с крышечками белого цвета с желтоватым оттенком, содержащая порошок белого цвета, 40 мг, размер № 4; состав желатиновой капсулы: ^{14}C в виде водного раствора мочевины ^{14}C, 37 кБк, натрий фосфорнокислый (пиро в пересчете на безводный) 200 мг; радиохимическая чистота не < 99 %; распадаемость желатиновой капсулы в воде при $T\ 37\pm 2\ ^\circ\text{C}$ не > 20 мин.; фасовка: 25 капсул с активностью 37 кБк во флаконе для лекарственных средств вместительностью 15 мл, герметически укупоренные резиновыми пробками, медицинскими и алюминиевым колпачком; удельная активность $1,64\ 10^{11}$ Бк/г; номинальное значение активности ^{14}C в капсулах для диагностических целей 37 кБк; хранение препарата в сухом месте вдали от источников тепла в соответствии с ОСПОРБ-99, капсулы хранят при температуре от +15 до +30 $^\circ\text{C}$; срок годности 2 года с даты приготовления	Ядерная медицина: препарат предназначен для: ранней неинвазивной диагностики язвенных и онкологических заболеваний желудочно-кишечного тракта; скрининг-диагностики обсемененности <i>Helicobacter pylori</i> при заболеваниях желудочно-кишечного тракта (в том числе язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, онкологических заболеваний); контроль за эффективностью эрадикационной терапии
8.	Технология изготовления РФП «Железа сульфат, ^{59}Fe »	Технические характеристики препарата: внешний вид – драже округлой формы светло-коричневого цвета; размеры, мм: диаметр – 10, высота – 5,5; химическая форма – железа сульфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, гемофер пролонгатум, драже 325 мг (НД 42-3775-99); активность одного драже 24–34 кБк; относительное содержание радионуклидных примесей к активности ^{59}Fe на дату изготовления не >: ^{51}Cr 5 %, ^{54}Mn 5 %, ^{60}Co 1,4 %; наиболее интенсивные гамма-линии ^{59}Fe, 0,143 МэВ; 0,192 МэВ; 1,099 МэВ; 1,292 МэВ; период полураспада ^{59}Fe 44,5 суток; фасовки: по 15. драже с активностью 29 кБк на дату поставки, во флаконах для лекарственных средств вместимостью 15 мл, герметично укупоренные резиновыми пробками медицинского типа I-I и обжатые алюминиевыми колпачками	Ядерная медицина: диагностический РФП «Железа сульфат, ^{59}Fe» предназначен для раннего выявления различного рода патологических изменений молочной железы при использовании двухканальной гамма-спектрометрической установки. Данный препарат удобно использовать для массового обследования женщин (скрининг-метод) с целью обнаружения заболеваний на доклинической стадии, в том числе выявления злокачественных опухолей, дисгормональных и воспалительных заболеваний молочной железы

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
9.	Технология изготовления РФП «Самарий, ^{153}Sm оксабифор»	Технические характеристики препарата: состав: ^{153}Sm 240–1 500 МБк/мл, содержание NaCl 5 мг/мл, содержание натрия оксабифор 20 мг/мл, содержание самария 62,5 мкг/мл; внешний вид – прозрачная бесцветная жидкость, pH 5–7; радиохимическая чистота не < 90 %; период полураспада 46,7 часа; фасовки: препарат фасуется во флаконах для лекарственных средств по 500, 1 000, 2 000 МБк на установленную дату поставки; препарат стерилен и апирогенен	Ядерная медицина: используется в терапии костных опухолей и метастазов. Препарат является эффективным для паллиативной терапии больных с метастатическим поражением костей. Кроме того, он показал высокую эффективность при лечении ревматических заболеваний. Низкоэнергетичные бета-частицы (ср. 225, макс. 810 кэВ) ^{153}Sm лишь в небольшой степени создают нежелательную нагрузку на костный мозг. Наличие мягкого гамма-излучения изотопа ^{153}Sm позволяет регистрировать накопление и распределение препарата в тканях при помощи гамма-камер
10.	Технология изготовления РФП «Йодкапс, ^{131}I »	Технические характеристики препарата: состав: ^{131}I 0,2 МБк; 0,4 МБк; 2 МБк; 4 МБк; натрий фосфорнокислый пиро в пересчете на безводный 540 мг, кислота аскорбиновая 60 мг, натрий тиосульфат 3,2 мг, Д-фруктоза 10 мг; внешний вид – твердые желатиновые капсулы 90 мг с крышечками, размер № 0, корпус белого цвета, крышечка – желтого цвета; распадаемость желатиновой капсулы в воде при T 37 °C не > 20 мин.; основное содержание радионуклидных примесей на дату изготовления не > 0,01 %; период полураспада 8,054 суток; фасовки: капсулы одного номинала с активностью 0,2; 0,4; 2; 4 ГБк на установленную дату поставки в количестве 1–10 штук помещают во флаконы для лекарственных средств, вместимостью 15 мл, или по одной капсуле с активностью 1 850–4 000 МБк во флаконы для лекарственных средств вместимостью 10 мл, герметически укупоренные и обжаты алюминиевыми колпачками; хранение препарата осуществляется в соответствии с основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)	Ядерная медицина: используется для диагностики и терапии заболеваний щитовидной железы

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
11.	Технология изготовления контейнеров транспортных КТ-1-5, КТ-1-10, КТ-1-15, КТ-1-20	Технические характеристики: контейнер должен сохранять прочность и защитные свойства при воздействии следующих факторов внешней среды: интервал температур от -40 до +70 °С; давление до 25 кПа; удар груза массой 50 г с высоты 1 м; вибрация три цикла по 10 мин. с частотой от 25 до 500 Гц при скорости 4,9 м/с ² ; средний срок службы изделия не менее 10 лет	Ядерная медицина: предназначены для транспортирования радиоактивных веществ в ампулах, флаконах или пеналах и применяются для комплектования транспортной упаковки
12.	Технология изготовления препарата ¹⁹² Ir	Технические характеристики: удельная активность изделия на дату изготовления не < 1,4 (50) ГБк/мг (мКи/мг); назначенный срок хранения 10–20 суток; навеска металлического иридия 0,4–0,5 мг	Радиационная техника: используется в качестве радиотрейсеров
13.	Технология изготовления препарата ⁹⁵ Zr	Технические характеристики: активность изделия на бумаге 0,51 ГБк; активность шар-изделия (гранулы с ⁹⁵ Zr) в одной фасовке 0,74–3,7 ГБк; назначенный срок хранения 30–40 суток; диаметр шар-изделия 0,1–0,3 мм	Радиационная техника: используется в качестве радиотрейсеров

АО «Институт реакторных материалов, г. Заречный, Свердловская область»

1.	Технология производства ¹⁹² Ir высокой удельной активности на среднепоточном исследовательском реакторе	Диски иридия диаметром 2–3 мм толщиной 0,125–0,15 мм. Удельная активность: ≥500 Ки/г у заказчика (10–12-й день после окончания облучения); ≥900 Ки/г для иридия, обогащенного до 80 % по ¹⁹¹ Ir	Радиационные технологии: изготовление источников для дефектоскопии
2.	Технология производства ¹⁴ C с использованием нитрида алюминия AlN для облучения	¹⁴ C в виде карбоната бария Ba ¹⁴ CO ₃ : удельная активность ≥58 Ки/моль; радиохимическая чистота ≥98 %	Ядерная медицина: производство меченых соединений для фармакологии
3.	Технология производства ¹⁴ C с использованием нитрата кальция Ca(NO ₃) ₂ для облучения	¹⁴ C в виде карбоната бария Ba ¹⁴ CO ₃ : удельная активность ≥58 Ки/моль; радиохимическая чистота ≥98 %	Ядерная медицина: производство меченых соединений для фармакологии

№ п/п	Наименование технологий	Краткое описание продукции	Область применения продукции
4.	Технология производства меченых ^{14}C соединений – прекурсоров	Цианиды: K^{14}CN, Na^{14}CN, Cu^{14}CN, $\text{Zn}^{14}\text{CN}_2$ и др.: удельная активность >55 Ки/моль, для $\text{Zn}^{14}\text{CN}_2 >110$ Ки/моль; радиохимическая чистота $\geq 97\%$. Метанол $^{14}\text{CH}_3\text{OH}$: удельная активность >55 Ки/моль; радиохимическая чистота $\geq 97\%$. Бензол $^{14}\text{C}_6\text{H}_6$: удельная активность $60\text{--}120$ Ки/моль; радиохимическая чистота $\geq 97\%$. Анилина гидрохлорид $^{14}\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2\cdot\text{HCl}$: удельная активность $60\text{--}120$ Ки/моль; радиохимическая чистота $\geq 97\%$. Мочевина $(\text{NH}_2)_2^{14}\text{CO}$: удельная активность >55 Ки/моль; радиохимическая чистота $\geq 98\%$ $^{14}\text{CO}_2$ и др.	Ядерная медицина: производство меченых соединений для фармакологии
5.	Технология производства ^{131}Cs с использованием для облучения карбоната бария природного состава	Сухая водорастворимая соль ^{131}Cs : активность до 100 Ки в неделю (у заказчика); радиохимическая чистота 99,99 %	Ядерная медицина: изготовление микроисточников для брахитерапии
6.	Технология изготовления препарата на основе радионуклида ^{177}Lu с носителем	Характеристика препарата на дату отправки: химическая форма хлорид лютеция (LuCl_3); удельная активность ≥ 30 Ки/мг Lu; объемная активность 3 Ки/мл; отношение активностей $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 0,006 %	Ядерная медицина: изготовление РФП пептидной природы, используемых для лечения нейроэндокринных опухолей
7.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{192}Ir	Источники представляют собой однокапсульную герметичную конструкцию. Внутри капсулы находится активный сердечник из металлического ^{192}Ir в виде набора дисков или стержня. Материал капсулы – коррозионно-стойкая сталь или титан	Радиационные технологии: источники для радиографии
8.	Технология изготовления закрытых источников гамма-излучения на основе ^{75}Se	Источники имеют двухкапсульную конструкцию. Во внутренней капсуле, изготовленной из титана или ванадия, находится радионуклид ^{75}Se . Внешняя капсула изготовлена из коррозионно-стойкой стали и имеет модификации с хвостовиком и без него	Радиационные технологии: источники для радиографии