

Ядерная и радиационная физика

Д. ф.-м. н., проф. К. К. КАДЫРЖАНОВ

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНЕ

Введение. В сфере фундаментальных исследований в основном происходит увеличение объема знаний, тогда как в прикладной науке эти знания преимущественно используются для достижения практических целей, а также выявляются новые сферы применения результатов фундаментальных и прикладных исследований. В сфере разработок на основе достижений фундаментальных и прикладных исследований, а также практического опыта создаются новые материалы, продукты, процессы, услуги и т.п.

Одним из ярких примеров всестороннего использования совокупности фундаментальных знаний для разработки технологий, материалов является такая область применения, как ядерные технологии. На 52 ежегодной сессии МАГАТЭ отмечалась особая роль применения ядерных технологий в обеспечении устойчивой продовольственной безопасности, в расширении возможностей государств в удовлетворении потребностей, связанных с профилактикой, диагностикой и лечением болезней, в комплексном управлении водными ресурсами и в борьбе с деградацией почв.

В Послании Главы государства народу Казахстана от 28 февраля 2007 года «Новый Казахстан в новом мире» в числе важнейших направлений внутренней и внешней политики отмечена необходимость развития электроэнергетических ресурсов и создания основ атомной энергетики.

Эффективное решение комплекса проблем по созданию и развитию атомной отрасли возможно при ускоренном развитии атомной науки и техники, совершенствование системы подготовки и повышения квалификации кадров.

Государственная программа развития атомной отрасли в Республике Казахстан, разрабатываемая Министерством энергетики и минеральных ресурсов РК, способствует максимальному использованию результатов деятельности отечественных научных организаций, форсиро-

ванному формированию научно-технологического потенциала ядерно-энергетической отрасли, а также развитию ядерных технологий для использования в различных отраслях экономики.

Реализация Программы развития ядерно-энергетической отрасли в Казахстане позволит решить целый ряд актуальных проблем, таких как создания условий ускоренного индустриального развития страны за счет внедрения научно-технических ядерных технологий, развития смежных отраслей науки и производства, повышения профессионально-кадрового потенциала страны.

1. Краткий анализ современного состояния и тенденций развития ядерных технологий в мире [1-32]

Когда говорят об использовании атомной энергии или о ядерных технологиях, чаще всего имеют в виду атомные электростанции, энергетические реакторы, обогащенный уран и т.д. При этом остается в тени использование в хозяйстве ядерных и радиационных технологий, не связанных с производством энергии.

Между тем, «неэнергетические» ядерные технологии прочно заняли свое место в современной экономике, которую трудно представить без использования пучков заряженных частиц и нейtronов, искусственных радиоактивных изотопов, ампульных радиоактивных источников, радиационной обработки материалов. О масштабах применения этих технологий можно судить, например, по американским данным:

– из 330 млрд. долларов годового вклада всего ядерного сектора в экономику США (5% валового внутреннего продукта), 257 млрд. (почти 45%) составил вклад неэнергетических ядерных технологий, в которых было занято 3% работающего населения.

Такая ситуация обусловлена тем, что часть применяемых ядерных методов просто не имеет

замены, а другая часть имеет явные преимущества перед альтернативными методами (дешевле, качественнее, надежнее и т.д.).

Ниже приведены наиболее важные достижения в области развития ядерных технологий для различных отраслей народного хозяйства.

1.1. Ядерные технологии в продовольственной и сельскохозяйственной областях. Улучшение сельскохозяйственных культур. Индуцированные мутации сельскохозяйственных культур стали методом, выбранным для выведения более высококачественных сортов сельскохозяйственных культур, что позволило официально ввести в сельскохозяйственную практику приблизительно 3000 мутантных сортов (рис. 1). Мутанты “первого поколения” в соответствии состоявшими в свое время перед селекцией задачами решали проблему повышения урожайности посредством достижения более высокой эффективности использования питательных веществ и стойкости к биотическим и абиотическим стрессам.

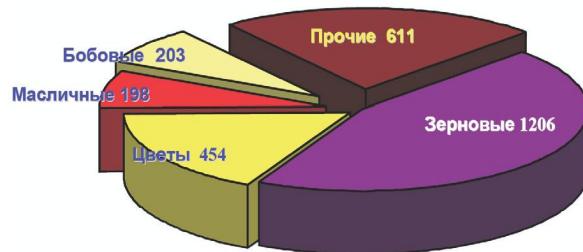


Рис. 1. Мутантные сорта (2007 год)
Источники: База данных ФАО/МАГАТЭ
по мутантным сортам

По достижении плато урожайности наиболее важных сельскохозяйственных культур основное внимание в селекционных программах теперь перенесено на введение ценных признаков, обеспечивающих диверсификацию конечного использования, более высокие доходы благодаря повышенной конкурентоспособности и выполнение специфических диетических требований. Для введения этих признаков требуются лишь незначительные изменения наследственных факторов (генов), и эта проблема особенно эффективно решается методами индуцированного мутагенеза.

К недавно выведенным методам индуцированных мутаций сортам сельскохозяйственных культур, обладающим высококачественными признаками, которые удовлетворяют вышеупомянутым специфическим требованиям, относятся два

высокопитательных сорта ячменя (пониженное содержание фитиновой кислоты потенциально увеличивает биодоступность железа, цинка и кальция), «Клирутер» и «Хералд». При использовании этих двух сортов, например, в качестве корма фермеры получают значительную экономию, избегая необходимости закупок дорогостоящих кормовых добавок, противодействующих эффектам фитиновой кислоты. Использование этих мутантных сортов также способствует сохранению более чистой окружающей среды, поскольку в значительной мере устраняется загрязнение подземных и поверхностных вод избыточным фосфором, связанным с кормлением сельскохозяйственных животных сортами ячменя с высоким содержанием фитиновой кислоты.

Индуцированные мутации также расширяют потенциальные возможности использования сои, повышая ее питательную ценность. Недавно выведенный в Японии сорт «Сакуки 4» обладает способностью связывать азот и тем самым, по существу, становится для себя источником удобрений, устранив необходимость во внесении других удобрений. Это приносит фермерам значительную экономию. К другим недавно выведенным сортам сои относятся сорт «Юменори», отличающийся высоким содержанием предшественника «хорошего» протеина, глицина, и сорт «Ичихиме», не содержащий липоксигеназы, природного растительного фермента, способствующего возникновению таких заболеваний, как астма и коронарные болезни сердца.

Совершенствование производства биотоплива. Многими странами установлены плановые цифры и графики перехода с бензина на топливо, производимое с использованием возобновляемых ресурсов. Для выполнения этих плановых цифр, многие из которых были установлены на ближайшее будущее, необходимо увеличить производство этилового спирта и дизельного биотоплива. Наряду с другими требуемыми мерами, при производстве этилового спирта необходимо будет перейти с использования крахмала на использование целлюлозы. Генетическое совершенствование сельскохозяйственных культур, являющихся источниками биомассы, позволяет повысить как общий выход биомассы, так и эффективность ее преобразования. Эффективным способом достижения этих целей является осуществление программы по селекции растений с использованием метода индуцирования

мутаций, причем выбор базируется на индивидуальных генах, а не на больших участках хромосом, содержащих конкретный признак. Недавно с помощью высокопродуктивного метода генетического скрининга была проведена оценка состава стенок клеток кукурузы, что позволило отобрать мутантные сорта, которые могут теперь быть оценены с точки зрения эффективности преобразования биомассы. Мутантные гены могут быть включены в селекционную программу, или же генная последовательность может быть использована для определения естественных разновидностей, представляющих интерес.

Повышение продуктивности и борьба с болезнями в животноводстве. Применения ядерных технологий, которые были разработаны с целью выполнения специфических и уникальных требований, все шире используются для количественного и качественного улучшения сельскохозяйственных животных и продукции животноводства. Как показывают современные тенденции, важную роль в совершенствовании питания, воспроизводства и здоровья животных будут играть передовые методы. Например, радиоиммуноанализ используется в настоящее время для измерения концентрации определенных молекул в биологических пробах, мечения микробов в рубце жвачных животных, оценки кормов для животных и анализа превращения кормов в питательные вещества и их поглощения. Твердофазный иммуноферментный анализ (ТИФА) широко используется для оценки, идентификации и наблюдения за целевыми антителами с целью обнаружения воздействия патогенов на животных. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) или последовательное выполнение операций ПЦР используется для обнаружения и характеризации на молекулярном уровне патогенов болезней животных путем прямой маркировки ДНК с целью выбора или подтверждения выбранных геномных признаков, являющихся желательными (более постное мясо, большие надои молока, болезнестойкость и т.д.), или для определения родословной или происхождения животного. Такие новые применения ядерных технологий постоянно внедряются в практическую ветеринарную деятельность.

Использование стабильных изотопов, облученных вакцин и позитронно-эмиссионной технологии открывает возможности в будущем. Стабильные изотопы по-прежнему используются в животноводстве и ветеринарии. Мечение угле-

родом-13 или азотом-15 используется в методах экспериментального контроля метаболизма углеводов и усвоения белков и питательных веществ. Метод разбавления меченой стабильными изотопами водой (окисью дейтерия) все более широко используется для определения безжировой компоненты массы тела, жировой массы, композиционного состава тела и общего усвоения крупным рогатым скотом воды и молока. Концентрацию окиси дейтерия в жидкости организма измеряют с помощью методов изотопной масс-спектрометрии или инфракрасной спектроскопии. Изотопная масс-спектрометрия также используется в исследованиях патогенности и других физиологических исследованиях и при неинвазивном определении географического происхождения продукции животноводства. Имея возможность точно отслеживать географическое происхождение продукции животноводства, государства в состоянии расширить свои экономические возможности. Например, если та или иная болезнь может быть уничтожена во всех регионах страны, кроме конкретных небольших регионов, то экспорт продукции животноводства из других регионов может быть обосновано разрешен, если удастся точно доказать, что такая продукция была произведена в зонах, где нет болезни.

Кроме того, этот подход может быть потенциально использован для определения возможной роли, которую играют дикие животные как переносчики болезней животных, например, для определения влияния перелетных птиц на распространение птичьего гриппа из эндемических в незараженные зоны.

Инактивация вакцин облучением позволяет получить мертвые патогены, которые лучше имитируют модель индуцирования иммунного ответа живых патогенов. Это открывает новый подход к вакцинации против таких конкретных болезней, как малярия, ящур, энзоотический гепатит или неоспороз крупного рогатого скота, поскольку полученные с помощью методов генетической инженерии вакцины оказались малоэффективными. Начаты исследования на облученных вакцинах против паразитов крови сельскохозяйственных животных.

В последние годы происходит внедрение в ветеринарную практику многих медицинских технологий, разработанных для лечения людей. Одним из примеров является позитронно-эмиссионная

томография (ПЭТ). Ветеринары используют ПЭТ для диагностики опухолей и других нерегулярных тканевых образований у высокоценных животных, таких, как скаковые лошади и племенные быки. Благодаря использованию ПЭТ удается сократить расходы и обеспечить щадящее обращение с животными ввиду снижения необходимости применять диагностическую хирургию.

Облучение пищевых продуктов. Потери пищевых продуктов, связанные с насекомыми-вредителями, загрязнением и порчей продукции, громадны. Согласно оценке, 42% производства восьми основных пищевых продуктов и товарных культур мира теряются из-за насекомых-вредителей, а потери после сбора урожая добавляют к этой цифре еще 10%. Несмотря на использование современных систем производства и распределения пищевых продуктов, болезни, переносимые с пищевыми продуктами, также являются широко распространенной угрозой для здоровья человека, а также важным фактором снижения производительности экономики во всех странах. Поэтому обеспечение безопасности и качества пищевых продуктов и сельскохозяйственных товаров является одним из важнейших аспектов национальных подходов к решению двойной проблемы, связанной с ростом урбанизации и повышением уровня здравоохранения.

Облучение пищевых продуктов – ценный инструмент для решения проблемы сокращения потерь из-за порчи и ухудшения пищевых продуктов, борьбы с микробами и другими организмами, вызывающими болезни, передающиеся через пищевые продукты, и выполнения санитарных и фитосанитарных требований. Помимо продолжающегося использования облучения для санитарных целей, расширяется использование облучения для фитосанитарных применений, и особенно применений, связанных с карантинными мерами. Международные нормы и своды положений, направленные на содействие применению этой технологии производства пищевых продуктов, разработаны в сотрудничестве с совместной комиссией ФАО/ВОЗ по Codex Alimentarius и Международной конвенцией по защите растений.

1.2. Здоровье человека. Индивидуализированный подход к лечению рака с использованием методов ядерной медицины. Для успешного лечения рака необходимо всестороннее понимание сложного взаимодействия между различными факторами, приводящими к росту

раковых образований. Понимание специфических особенностей рака у отдельных лиц на клеточном, генетическом и молекулярном уровне играет важнейшую роль при определении метода лечения конкретного пациента и намного повышает шансы на излечение. Молекулярная визуализация в ядерной медицине с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) переопределила и модернизировала медицинский подход к лечению раковых больных. То, что рак классифицируется исключительно по его анатомическому месту нахождения, может быть одной из причин того, почему пациенты, которые, как предполагают, страдают одними и теми же раковыми заболеваниями, реагируют на лечение совершенно различным образом. В настоящее время имеются инструментальные средства, позволяющие понять на молекулярном уровне причины столь сильного различия реакций пациентов. Это позволяет выбрать правильные режимы лечения. Оказалось, что раковые образования, выявленные в удаленных друг от друга частях тела, могут быть более сходны, чем две опухоли, находящиеся в одном и том же органе, в зависимости от того, какой тип канцерогенных мутаций они вызывают. Детальное понимание патогенных процессов, обеспечиваемое благодаря ПЭТ, можно использовать для рациональной выработки лекарственных препаратов, обеспечивающих проведение целенаправленной терапии.

В области лечения рака гематологи, педиатры и онкологи начинают исследовать комплексные подходы к терапии с применением химиотерапии, иммуномодулирующих или модулирующих клеточную передачу сигнала агентов в сочетании с целевыми разыскивающими опухоли молекулами (пептидами, антителами или олигонуклеотидами), с тем, чтобы повысить возможности излечения раковых больных. Подходы к лечению на основе радиационного нацеливания с применением изотопов обладают многочисленными преимуществами при лечении как локализованных или распространенных солидных раков, так и переносимых с кровью злокачественных образований.

Радиационная онкология. Технологические достижения в областях планирования терапии и доставки радиации позволили принять стратегии облучения опухолей с использованием подхода трехмерной конформно-лучевой терапии (3D-CRT) и даже таких методов с высокой конформностью,

как стереотактическая радиотерапия (SRT) или лучевая терапия с модулированным по интенсивности пучком (IMRT). Конформная терапия описывает радиотерапевтический метод лечения, при котором создается высокодозный объем, точно соответствующий по форме желательному объему мишени, и в то же время в максимально возможной степени сводится к минимуму доза на критические нормальные ткани. Внедрение наиболее передовых методов таких, как SRT и IMRT, а также лучевой терапии под визуальным контролем (IGRT) и респираторно-синхронизированной радиотерапии (RGRT) привело к улучшению понимания важности запасов и перемещений органов. Кроме того, крупным достижением в области лучевой терапии в последние годы явилось введение в процесс планирования лечения функциональной информации, полученной методом визуализации. Например, использование сканирования методом ПЭТ в сочетании со сканированием методами традиционной компьютерной томографии позволяет получать изображения с биологическими/метаболическими маркерами, которые дают возможность более точно задавать зоны радиотерапевтического воздействия и дозы для индивидуальных пациентов, что приводит к лучшим результатам лечения.

Положительная оценка этих технологий вытекает из предположения о том, что более точная локализация опухоли, более прецизионное формирование распределения доз и более индивидуализированное их задание улучшат результаты лечения за счет снижения токсичности или улучшения локального контроля опухолей путем применения стратегий эскалации доз. Эти подходы активно изучаются во всем мире.

Первостепенное значение для широкого применения новых технологий имеют аспекты, связанные с обучением. Виртуальное обучение на базе Интернета может оказаться эффективным, поскольку оно позволяет снизить общие затраты и более быстро внедрять эти технологии в повседневную клиническую практику. В то же время в глобальных масштабах предпринимаются усилия, направленные на повышение стандартов образования медицинских физиков, обеспечивающих поддержку применения этих новых технологий лечения. Во многих странах созданы организации, определяющие компетенцию медицинских физиков и проводящие аккредитацию местных программ подготовки в условиях клиник.

Помимо достижений в области внешней лучевой радиотерапии, недавнее усовершенствование источников с высокой мощностью дозы (ВМД) на кобальте-60 может позволить проводить современные процедуры брахитерапии ВМД с менее частой заменой источников, чем это необходимо в случае других источников. Это позволит сделать радиотерапию более эффективной с точки зрения затрат и повысит доступность лечения для пациентов. Что касается мультимодального лечения, то в результате ряда высококачественных клинических испытаний было подтверждено, что сочетание радиотерапии с применением фармацевтических средств повышает выживаемость пациентов с множественными общими формами рака.

1.3. Радиационная технология в промышленности. Производство радиоизотопов. Проблемы обеспечения надежных поставок апробированных радиоизотопов для устойчивых медицинских и промышленных применений, а также разработки новых видов продукции, удовлетворяющих появляющимся новым требованиям, остаются актуальными во всем мире. Из числа почти 25-30 млн. процедур диагностической визуализации, выполненных в 2008 году, на долю процедур с использованием технеция- $99m$ и фтора-18 по-прежнему приходилось соответственно порядка 80% и 10%. В случае продукции для радионуклидной терапии, растущая популярность более легко и широкопроизводимого лютеция-177 и новая система генерации иттрия-90, основанная на электрохимическом разделении со стронцием-90, - это два заметных события в 2007 году. Еще одним важным событием является рост в некоторых государствах интереса к созданию новых установок для производства молибдена-99 с использованием НОУ (низко-обогащенный уран) мишеней. Важное совещание всех заинтересованных сторон, участвующих в настоящее время в производстве данного радиоизотопа, состоялось в декабре 2007 года в Сиднее (Австралия). Оно было организовано совместно с Национальным управлением по ядерной безопасности (ННСА) министерства энергетики США и Австралийской организацией по ядерной науке и технике (АНСТО). В докладе совещания были определены все аспекты, которые необходимо учитывать, и помочь, которая требуется для содействия использования технологии мишеней из НОУ таким образом, чтобы

это не сказалось на поставках молибдена-99 и тем самым привело к сокращению применения ВОУ (высокообогащенный уран) для крупномасштабного производства этого изотопа. В Австралии начато крупномасштабное регулярное производство молибдена-99 с использованием мишеней из НОУ.

Промышленные применения радиоизотопов и радиационной технологии. Широко развивается метод нейтронного облучения для легирования кремния с целью изготовления полупроводниковых материалов, усиления цвета низкосортных полудрагоценных ювелирных камней для увеличения их ценности, а также с целью производства трековых мембран для медицинских применений. Индия, Индонезия, Китай и Республика Корея уже разработали установки для нейтронно-трансмутационного легирования (НТЛ) кремния, и Индия планирует наладить производство в коммерческих масштабах. Индонезия и Таиланд начали коммерческую эксплуатацию оборудования по окрашиванию ювелирных камней, а Пакистан и Вьетнам приступили к испытаниям, направленным на развитие соответствующего потенциала. Проведены начальные исследования по изготовлению трековых мембран с использованием нейтронного облучения.

Кувейт приступил к внедрению межскважинной радиоиндикаторной технологии в целях под-

держки национальных усилий в осуществлении планов по увеличению нефтеотдачи пластов.

Природные полимеры. Природные полимеры существуют во многих формах, и многие из них могут быть подвергнуты радиационной обработке с целью получения ценных продуктов (рис. 2). К таким природным полимерам относятся крахмал (в картофеле и зерне), целлюлоза (в растениях и деревьях), хитин (в креветках, крабах и омарах), альгинаты (в морских водорослях) и полипептиды, такие, как шелк, кератин и волосы. Эти природные полимеры нетоксичны, разлагаются микроорганизмами и их можно получать с низкими затратами. Радиационная обработка является чистым и не вносящим примесей методом создания новых, более ценных материалов на основе этих природных полимеров. Например, продукция из хитина может использоваться в качестве гидрогелевых повязок на раны, не вызывающих пролежни постельных матрацев, очищающих кожу лица косметических масок, устройств для доставки лекарственных препаратов и адсорбентов загрязняющих веществ, таких, как ионы металлов, красители, белки, твердые частицы и другие. Продукты с низким молекулярным весом обладают особыми свойствами антибиотиков, антиоксидантов и агентов, активизирующих рост растений.

Радиационная обработка природных полимеров становится перспективной областью, поскольку

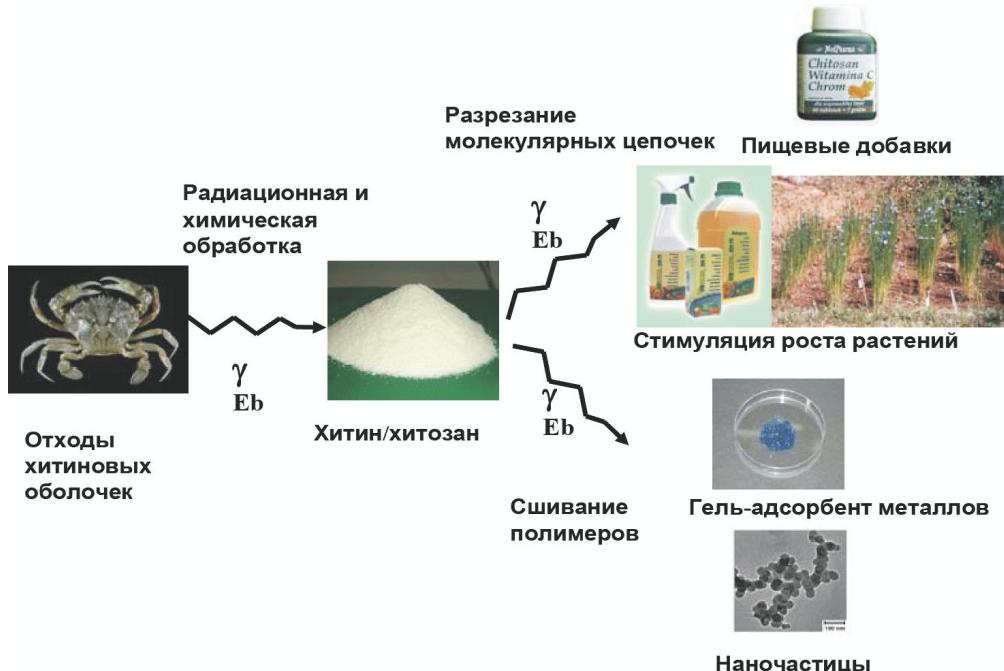


Рис. 2. Радиационная обработка природных полимеров

уникальные характеристики полимерных материалов могут быть использованы для практических применений в медицине, косметике, сельском хозяйстве, биотехнологии и охране окружающей среды.

Опасные биозагрязнители. Использование ионизирующих излучений для инактивации микробов является апробированной технологией в областях обеспечения гигиены пищевых продуктов, лучевой стерилизации изделий медицинского назначения и биологических тканей и, в более крупных масштабах, обработки шлама сточных вод. В последнее время было продемонстрировано использование радиационной технологии для снижения угрозы, создаваемой биологическими загрязнителями, такими, как сибирская язва в почтовых отправлениях. Результаты показывают полезность использования ионизирующих излучений для противодействия таким угрозам, как преднамеренное распространение биологических загрязнителей. Основные преимущества использования радиационной технологии по сравнению с другими методами заключаются в способности обеспечивать обработку материалов в самых различных масштабах - от малых до самых больших, и в том, что единственным параметром, который необходимо контролировать, является доза, действующая на целевой объект/зону. Представленные до настоящего времени результаты показывают, что в будущих разработках следует учесть некоторые дополнительные аспекты, например, аспекты обращения и обработки загрязненных продуктов и обучения работе в полевых условиях.

Автоматизированное компьютерное отслеживание радиоактивных частиц. Метод под названием «автоматизированное компьютерное отслеживание радиоактивных частиц» (CARPT) стал признанным методом исследования сложных многофазных потоков (например, газа и жидкости) в химической, нефтехимической и биоинженерной отраслях промышленности. В методе CARPT используются небольшая гамма излучающая частица радиоиндикатора такой плотности и размеров, что она увлекается исследуемой фазой, и ряд детекторов гамма-излучения, особым образом расположенных вокруг химического реактора и способных отслеживать положение частицы и таким образом надежно регистрировать перемещение фазы.

Метод отслеживания является неинвазивным и позволяет определять динамические параметры конкретной, представляющей интерес фазы. Полученные данные о структуре, скорости, турбулентности и других параметрах потока помогают оптимизировать процессы на уровне экспериментальной установки и, в свою очередь, предоставляют информацию для принятия решений относительно окончательной конструкции узлов реальной установки. Метод CARPT будет применяться прежде всего в нефтехимической промышленности, где используются псевдоожженные слои и барботажные колонны, и при производстве продукции на основе биопроцессов.

Еще один усовершенствованный метод предусматривает использование для отслеживания частиц радиоиндикаторов, испускающих позитроны. Этот метод под названием «отслеживание частиц, испускающих позитроны» (PEPT), обладает дополнительным преимуществом, заключающимся в регистрации совпадений излучения позитронной аннигиляции, что обеспечивает повышенную точность отслеживания частицы радиоиндикатора даже в системах с высокоскоростным потоком, обычно входящих в состав некоторых промышленных систем. Общая цель применения CARPT и PEPT сводится к обеспечению более высокой производительности и эффективности промышленных технологических процессов.

Анализ современного состояния развития ядерных технологий показывает, что в настоящее время расширяются области применения ядерной науки как средства для экономического развития, охраны окружающей среды и здоровья населения.

2. Ядерные технологии для экономики Казахстана XXI века

Практическое применение ядерных методов и технологий в промышленности, медицине и сельском хозяйстве вносит достойный вклад и в развитие экономики Казахстана. На протяжении ряда последних лет Институт ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан проводит работы в этом направлении, используя уникальную техническую базу, основу которой составляют комплекс исследовательского реактора ВВР-К и экспериментальные ускорительные комплексы (Приложение 1).

2.1. Радиоизотопы. Одной из важнейших задач института является организация производства отечественной радиоизотопной продукции.

1. Радиофармпрепараты – фармацевтические препараты на основе искусственных радиоизотопов, широко используемые в медицине для диагностики и лечения заболеваний различных внутренних органов и систем.

Радионуклидная диагностика основана на регистрации гамма-излучения изотопа, входящего в состав введенного пациенту препарата,

с помощью специального детектора, сканера, планарной гамма-камеры или ее более современного аналога – эмиссионного томографа (рис. 3).

Получаемые с помощью гамма-камеры динамические изображения органа дают информацию не только об его анатомических характеристиках, но и о параметрах его функционирования (рис. 4). Это является основным преимуществом радионуклидных методов диагностики, благодаря которому во многих случаях они являются незаменимыми.

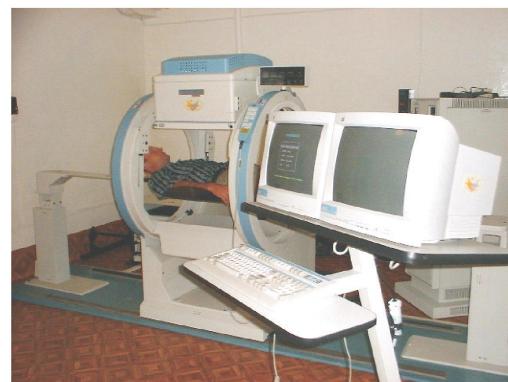
*a**b*

Рис. 3. *a* – Планарная гамма-камера (Научный центр хирургии им. А. Н. Сызганова, г. Алматы);
б – эмиссионный томограф (Республиканский клинический госпиталь инвалидов отечественной войны, г. Алматы)

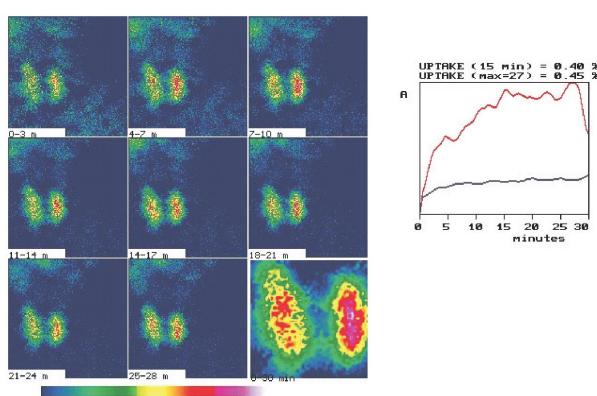
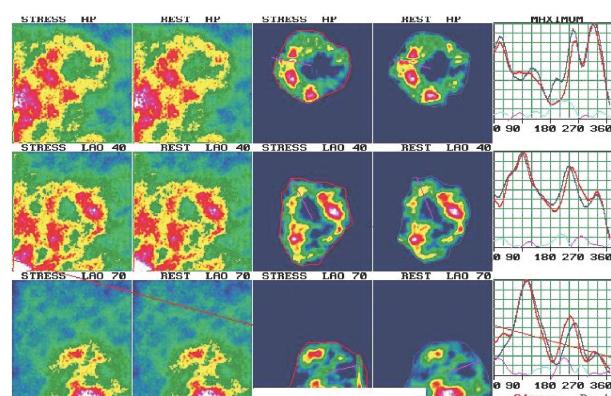
*a**b*

Рис. 4. *a* – Серия изображений щитовидной железы, полученная при радионуклидном обследовании;
б – серия изображений сердечной мышцы, полученная при радионуклидном обследовании

Для производства радиофармпрепаратов используются достаточно сложные технологии, включающие в общем случае облучение мишени, содержащей исходный материал, в реакторе или на циклотроне, радиохимическую переработку облученной мишени и выделение нужного изотопа, синтез, кондиционирование, фасовку и стерилизацию препарата, проведение многочисленных анализов для контроля его качества.

Работы с высокоактивными облученными материалами проводятся в защитных «горячих» камерах, что требует создания специальной дистанционно управляемой химической аппаратуры (рис. 5).

Усилия казахстанских ученых были сконцентрированы на четырех наиболее необходимых препаратах, по которым удалось добиться значительных результатов:

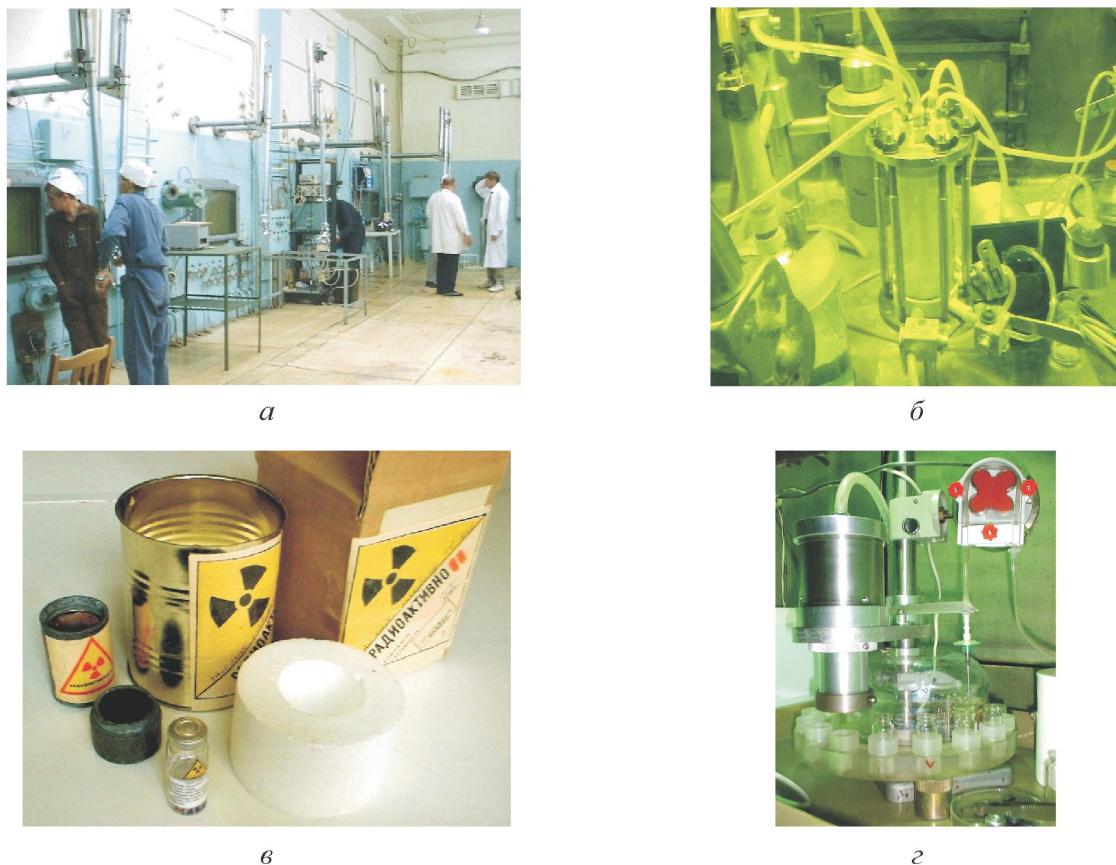


Рис. 5. Производство радиофармпрепаратов: *а* – цепочка горячих камер в здании реактора ВВР-К; *б* – установка для получения препарата Тс-99м в горячей камере; *в* – транспортно-упаковочный комплект для доставки готового препарата в клинику; *г* – устройство для фасовки готового радиофармпрепарата

Препарат *Таллия-201* (^{201}TI), используемый для ранней диагностики инфаркта миокарда, регулярно выпускается по заявкам клиник г. Алматы.

Препарат *Технеция-99м* ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, универсальный изотоп, используется в сочетании со специальными наборами реагентов для диагностики состояния печени, почек, сердца, легких, поджелудочной и щитовидной желез, гепатобилиарной, кровеносной, лимфатической и костной систем) в 2001 году успешно прошел доклинические и клинические испытания в нескольких медицинских центрах г. Алматы.

Также успешно проведены доклинические и клинические испытания препарата *Йода-131* (^{131}I), применяемого для диагностики и лечения щитовидной железы.

Препарат *Галлия-67* (^{67}Ga), используемый для выявления злокачественных опухолей, успешно прошел доклинические испытания.

2. Закрытые радиоактивные источники – компактные источники ионизирующих излучений, содержащие радиоактивные изотопы в герметич-

ных оболочках и применяемые в приборах для дефектоскопии, технологического контроля и экспрессного химического анализа в различных отраслях промышленности, в аппаратах для лучевой терапии в онкологии, в научных аналитических приборах (рис. 6).



Рис. 6

В ИЯФ НЯЦ РК получены опытные образцы источников на основе изотопов *Кадмий-109*, *Кобальт-57*; отрабатываются технологии изготовления источников с изотопами *Иридий-192*, *Кобальт-60*.

3. Радиоактивные метки (трассеры) – радиоизотопы, применяемые в ничтожно малых количествах в качестве радиоактивных меток в медицинских, биологических и экологических исследованиях.

В институте регулярно получают изотопы *Стронций-85* (^{85}Sr), *Иттрий-88* (^{88}Y), *Цезий-134* (^{134}Cs), *Плутоний-237* (^{237}Pu) для высокочувствительного анализа экологических проб. Планируется освоение выпуска радиоактивных меток и для медико-биологических исследований.

2.2. Радиационная обработка материалов. Институт успешно осваивает современные технологии радиационной обработки материалов с использованием электронных пучков и гамма-излучения.

1. На промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-4 (Приложение) на регулярную основу поставлена *радиационная стерилизация* партий медицинских изделий и материалов (шприцы, перчатки, катетеры, бинты, вата и т.д.), произведенных различными предприятиями Казахстана. Пучок высокоэнергетичных электронов мощностью 50 кВт создает стерилизующую дозу

облучения (25 кГр) за считанные секунды, что позволяет использовать конвейерную обработку материалов и обеспечивает высокую производительность процесса (рис. 7). Перед обработкой изделия упаковываются в герметичную оболочку, гарантирующую сохранение их стерильности в течение длительного времени.

В случаях, когда требуется высокая проникающая способность и однородность облучения (например, для стерилизации различных растворов, биологических материалов), используется гамма-излучение радиоизотопа ^{60}Co . Источники ^{60}Co с общей активностью ~20000 Ки в гамма-установке РХМ- γ -20 создают мощность дозы около 1 Гр/с в объеме 2 л, что позволяет, в частности, проводить стерилизацию небольших партий сыворотки для получения вакцин.

2. С использованием метода *радиационной сшивки полимеров* на электронном ускорителе налажено промышленное производство полимерного кровельного материала «Кровлен-2» (рис. 8), не уступающего по эксплуатационным характеристикам лучшим импортным аналогам при значительно более низкой цене.



а



б



в



г



д

Рис. 7. а – Зона загрузки; б – камера облучения; в – выгрузка готовой продукции; г – стерилизация медицинских изделий и материалов; д – стерилизация сыворотки крови КРС в гамма-установке РХМ- γ -20



Рис. 8. Кровлен: *а* – производство «Кровлена-2»; *б* – готовая продукция; *в* – ремонт мягкой кровли

Материал, получаемый из резиновой смеси на основе синтетических каучуков, приобретает в результате радиационной обработки высокую прочность, эластичность, стойкость к атмосферным воздействиям и солнечной радиации. Гарантированный срок службы кровли – 20 лет. Кроме того, материал может применяться для гидроизоляции строительных фундаментов, водоемов, хранилищ промышленных отходов. С 2001 года в ИЯФ начат серийный выпуск «Кровлена-2», производственная мощность – до 20 тысяч квадратных метров в месяц.

3. В сотрудничестве с учеными КазГУ им. аль-Фараби освоена оригинальная технология *радиационного синтеза полимерных гидрогелей* медицинского назначения на основе отечественного сырья (рис. 9).

Полимерные гидрогели используются в качестве контактной среды для ультразвуковой диагностики, гидрофильтральной основы для лекарственных средств, хирургических дренажей и т.д. Гидрогелевая композиция «Полигель», обеспечивающая акустический контакт между кожей пациента и поверхностью ультразвукового датчика, полностью соответствует гигиеническим требованиям и разрешена к применению в РК. Гидрогелевые мази обеспечивают оптимальный

контакт лекарственного средства с раневой поверхностью, не травмируют рану, сорбируют экссудат, легко удаляются и не требуют частой замены. В отличие от зарубежных аналогов, они наряду с водорастворимыми лекарственными веществами могут содержать масляные экстракты, что обуславливает их особую эффективность при лечении обширных ран, ожогов.

Технологические возможности ядерной науки далеко не исчерпываются приведенными примерами. Среди перспективных задач, стоящих перед Институтом ядерной физики, можно перечислить также использование пучков реакторных нейтронов для терапии злокачественных опухолей, освоение технологии нейтронного трансмутационного легирования кремния, производство термоусаживающихся полимерных пленок, радиационный синтез прочных, износостойких и химически стойких полимерных покрытий, производство мембранных фильтров с помощью ионных пучков, и ряд других, решение которых позволит поднять уровень отечественной медицины, преодолеть зависимость от импорта и открыть возможности экспорта соответствующей научноемкой продукции, в целом будет способствовать успешному социально-экономическому развитию Республики Казахстан.



Рис. 9. Образцы полимерных гидрогелей медицинского назначения

2.3 Ядерно-физические методы анализа состава материалов. Традиционно сильным направлением деятельности Института ядерной физики является развитие и применение методов анализа элементного и радионуклидного состава различных материалов. Наряду с широко распространенными методами, серьезное внимание уделяется применению уникальных возможностей имеющихся в Институте ядерно-физических установок. Так, на электростатическом ускорителе УКП-2-1 развивается комплекс методов анализа, использующих взаимодействие пучков ускоренных ионов с веществом (протон-индукционное рентгеновское излучение, резонансные ядерные реакции, резерфордовское обратное рассеяние). Действующий исследовательский атомный реактор ВВР-К дает возможность реализации одного из наиболее чувствительных методов анализа элементного состава – нейтронно-активационного анализа (НАА).

Проект создания коммерческого участка НАА. В условиях Казахстана практический интерес к НАА связан с применением в медицинских и биологических исследованиях, металлургии, экологии и геологии. Согласно предварительным оценкам наибольший коммерческий потенциал имеют последние две позиции. Особенности промышленной деятельности на территории Республики обусловили необходимость постоянного мониторинга состояния объектов окружающей среды, включая контроль содержания в них различных химических элементов. В последние годы на эти цели выделяются значительные средства. Переживает второе рождение и геология - развивающаяся экономика Казахстана испытывает растущую потребность в разведке и уточнении запасов минерального сырья.

Требуемая чувствительность анализа зависит от решаемой задачи и экономической целесообразности и лежит в диапазоне 10⁻⁴–10⁻⁸ %. Технологический процесс будет включать стадии пробоподготовки, облучения, выдержки образцов, измерения спектров и обработки результатов. Каждая из этих стадий должна быть организована так, чтобы обеспечить высокую производительность и экономическую эффективность. При этом одним из важнейших условий успеха является обеспечение гарантированного качества анализа, требующее внедрения соответствующих процедур. Планируемая производительность участка – 10 000 образцов в год.

2.4. Производство ядерных трековых мембран на базе ускорителя тяжелых ионов ДЦ-60. Проведенный мониторинг развития науки и техники за последнее десятилетие показал, что наибольшие возможности для создания собственных национальных научных школ по физике, материаловедению, химии, биологии и высоким технологиям в настоящее время представляет освоение технологий с использованием ядерных мембран. Ядерные мембранны («ядерные фильтры», «трековые мембранны») – это особый вид ультра- и микрофильтрационных мембран, получаемых из тонких полимерных пленок путем облучения высокоэнергетическими тяжелыми заряженными частицами и последующего химического травления. Получение ядерных мембран с помощью ускорителей тяжелых ионов является одним из важнейших направлений применения ядерных технологий, способным объединить различные дисциплины и отрасли и стать основой ряда нанотехнологий и научноемкого бизнеса.

Следует подчеркнуть, что технологический прорыв в производстве ядерных мембран стал возможным в результате отказа от устаревшей и практически не используемой (из-за низкого качества продукции и большого количества жидких радиоактивных отходов) реакторной технологии и перехода к более совершенным в технологическом и экологическом отношении технологиям производства ядерных мембран с использованием ускорителей тяжелых ионов. Возможность производства ядерных мембран на ускорителях появилась лишь при использовании пучков ускоренных ионов с энергиями не ниже 1,5 МэВ/нуклон.

По оценкам зарубежных специалистов технология производства ядерных мембран является самой перспективной ядерной технологией последних десяти лет, имеющей весьма широкое применение. Например, в Дубне (Россия) коммерческой организацией «Альфа» в настоящее время строится специализированный завод по производству ядерных мембран. Резкое увеличение выпуска продукции с использованием ядерных мембран имеет место практически во всех индустриально развитых странах. В Казахстане предполагается развернуть производство ядерных мембран на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60, обладающего подходящими для этого рабочими характеристиками.

Ядерные трековые мембранны на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и поликарбоната

(ПК) являются в настоящее время коммерческими продуктами. Технология их производства хорошо отработана. Для облучения ПЭТФ пленок применяют ускоренные ионы с удельными потерями энергии dE/dx на уровне 6-10 МэВ/мкм. В указанном диапазоне dE/dx скорость травления треков в ПЭТФ принимает максимальные значения. Пучки ионов Kr с энергиями около 1 МэВ/нуклон и 1,5 МэВ/нуклон могут считаться оптимальными для бомбардировки ПЭТФ пленок толщиной 10 и 20 мкм, соответственно. Поликарбонат более чувствителен к радиационным воздействиям, вследствие чего для производства трековых мембран из ПК пленок могут применяться более легкие ионы, например, Ar. Химическое травление облученных ионами ПЭТФ и ПК пленок проводят в растворах щелочи. Варьируя условия химической обработки, получают мембранны с диаметрами пор от ~ 0,01 мкм до 10-12 мкм. Данный тип мембран остается на мировом рынке уникальным в плане точности геометрического размера пор и узкого распределения пор по размерам (рис. 10). Области их применения связаны в основном с аналитическими приложениями, а также биологическими и медицинскими задачами. Мембранны характеризуются умеренной химической стойкостью и неплохой теплостойкостью (до 120-150°C).

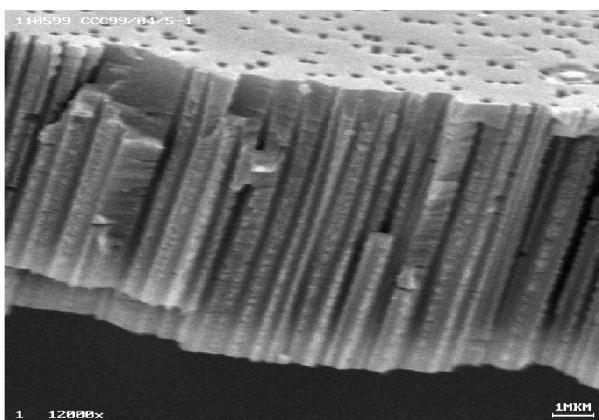


Рис. 10. Ядерная трековая мембрана

Для фильтрации агрессивных технологических сред были разработаны трековые мембранны из полипропилена (ПП) и поливинилиденфторида (ПВДФ). Эти полимеры отличаются высокой химической стойкостью, что позволяет использовать мембранны для очистки растворов крепких минеральных кислот и щелочей. С другой стороны, это же свойство существенно

усложняет технологию травления. Химическое проявление треков проводится в растворах сильных окислителей при высоких температурах. Технические сложности, высокая токсичность отходов и конкуренция с другими типами химстойких фильтрующих материалов не позволили к настоящему времени организовать промышленное производство ПП или ПВДФ трековых мембран. Аналогичная ситуация имеет место в случае полиимидных мембранны. Полиимид является чрезвычайно перспективным материалом, производство и потребление которого быстро растет. На основе полиимида были разработаны трековые мембранны с уникальной термической и радиационной стойкостью. Удовлетворительное качество мембранны достигается лишь при облучении достаточно тяжелыми ионами (не легче криптона).

2.5. Создание центра ядерной медицины и биофизики. В настоящее время наблюдается серьезное отставание Казахстана по показателям применения методов ядерной медицины для диагностики и лечения социально-значимых заболеваний. Как никогда остро ощущается потребность здравоохранения в отечественных технологиях современного уровня. Но проблема вовсе не в отсутствии нужных отечественных технологий. В 2004 году Институт ядерной физики по решению Правительства Республики Казахстан начал работу по созданию в Алматы Центра ядерной медицины и биофизики (рис. 11). В центре будет налажено производство широкого



Рис. 11. Общий вид лечебно-диагностического комплекса Центра ядерной медицины и биофизики

спектра радиоизотопной продукции медицинского назначения; внедрены современные методы радионуклидной диагностики и терапии заболеваний; разработка и испытание новых радиофармпрепаратов, подготовка Казахстанских специалистов в области радионуклидной диагностики и терапии.

Уникальность Центра ядерной медицины и биофизики заключается в том, что именно здесь планируется впервые в Казахстане внедрить метод позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ) - один из самых современных и эффективных методов радионуклидной диагностики, а также создать отделение радионуклидной терапии для лечения онкологических и ряда других заболеваний.

Выводы и рекомендации

Обзор и анализ состояния и развития ядерных технологий показал возрастающую роль инновационных, научноемких технологий в успешном развитии экономики страны и улучшении благосостояния жителей планеты.

Миллионы людей получают пользу от самых различных применений ядерных технологий. В число этих применений входят повышение продовольственной безопасности, эффективное управление водными ресурсами и медицинские процедуры, направленные на спасение жизни.

В Казахстане, благодаря имеющейся инфраструктуре и наличию научно-технического потенциала РГП Национальный ядерный центр РК, развитие ядерных технологий охватывает почти все области жизнедеятельности.

Однако отсутствие широкого взаимодействия институтов развития и научных институтов тормозит полномасштабное внедрение научноемких технологий в производство. Финансирование в рамках научных прикладных задач позволяет только разработать технологии, а их дальнейшее внедрение и совершенствование возможно только в рамках проектов, финансируемых либо частным капиталом, либо институтами развития.

Опыт зарубежных стран показывает, что только тесное взаимодействие науки и производства позволит успешно продвигать разработки ученых.

В мире на сегодняшний день сложилось большое разнообразие различных структур, объединяющих умы ученых и государственный, частный капитал.

Одним из распространенных форм взаимодействия науки и капитала является создание научных технопарков.

Выступая 4 апреля 2003 года с Посланием к народу Казахстана об основных направлениях внутренней и внешней политики на 2004 год, Президент Назарбаев отметил, что целью стимулирования развития инновационного потенциала страны предполагается создание технопарков: в поселке Алатау – центра информационных технологий, в Степногорске – биотехнологического центра, и в Курчатове – центра ядерных технологий.

Во исполнение пункта постановления Правительства Республики Казахстан от 1 марта 2004 года №256 «Об утверждении Плана действий по реализации первоочередных задач индустриально-инновационной политики на 2004 год» Министерством промышленности и торговли Республики Казахстан разработана и утверждена «Концепция развития сети технопарков в Республике Казахстан».

Указанная Концепция предусматривает создание в Казахстане технопарков на двух уровнях:

- 1) национальные технопарки;
- 2) региональные технопарки.

Национальные технопарки должны быть ориентированы на создание в Казахстане новых отраслей, которые будут способствовать обеспечению будущей конкурентоспособности казахстанской экономики, и должны иметь выраженную отраслевую, секторальную специализацию. С развитием системообразующих отраслей, каждой из которых является ядерная отрасль, создается база для развития в Казахстане и других производств.

Создание специализированных технопарков позволит, во-первых, сэкономить затраты по инфраструктуре, так как предприятия, работающие в одной отрасли используют одни и те же объекты инфраструктуры.

Стратегия создания национальных технопарков, обозначенная в Концепции, ориентируется на привлечение в технопарки крупных транснациональных корпораций (ТНК), производящих высокотехнологичную и научноемкую продукцию, вокруг которых государство может выстроить малый и средний бизнес, направленный на выпуск инновационной продукции. При этом возможна совместная реализация проектов с государственными институтами развития (Инвестиционный фонд Казахстана, Банк развития Казахстана) и

крупным казахстанским частным бизнесом (банки второго уровня, инвестиционные компании и т.д.).

Источники экономической активности в виде ТНК создадут благоприятную среду для создания предприятий национального малого и среднего бизнеса. Усилия государства должны быть направлены на стимулирование роста национальных предприятий и абсорбирования ими технологий, применяемых ТНК.

В процессе формирования на территории технопарков казахстанских компаний, производящих продукцию с использованием компонентов системообразующей отрасли, должны сыграть значительную роль государственные институты развития.

Мировой опыт инновационного развития как развитых, так и новых индустриальных стран подчеркивает важное место государства в построении комплексной системы инновационного развития страны. Признанные эксперты в данной области отмечают, что инновации не являются одномоментным процессом. Во всех странах на становление технопарков уходит 10-15 лет, при этом важным является создание комплексных мероприятий по обеспечению непрерывности процесса инновационного развития. Государство посредством целенаправленной государственной политики способно обеспечить такую непрерывность.

Как отмечено в Концепции, опыт западных стран и стран Юго-Восточной Азии свидетельствует о том, что для успешного развития технопарка и, самое главное, компаний в технопарках необходимы значительные государственные инвестиции в виде бюджетных программ или средств финансовых институтов развития, ассициирующих частным компаниям в становлении, обучении, внедрении стандартов, реализации НИОКР.

В своей деятельности технопарк взаимодействует с высшими учебными заведениями, ведущими научными организациями, научно-исследовательскими центрами, расположенными на данной территории.

На сегодня в Казахстане функционируют порядка 43 специализированных объектов инфраструктуры поддержки, из них 39 бизнес-инкубаторов и 4 технопарка. Технопарки в нынешнем виде представляют собой, в основном, места сконцентрированной стандартной инфраструктурной поддержки, где компании

арендуют помещения, оплачивают коммунальные услуги, а не места поддержки роста предприятий, основанных на новых технологиях.

Государство ассигнует на развитие науки и передовых технологий достаточные суммы. Однако расходуются эти деньги далеко не наилучшим образом. Это следствие как бюрократических структур, так и чисто человеческих факторов. Оценкой проектов в венчурных фондах и технопарках часто заняты малокомпетентные люди, которые не вступая в дискуссию с авторами предложений, конфиденциально дают рекомендации руководству (а во главе технопарков стоят не ученые, а администраторы) свои заключения, основанные не на интересах государства и общества, а на своих поверхностных суждениях, симпатиях и антипатиях.

Ученые-разработчики, как правило, не обладают способностями бизнесмена или пробивной машины. Возможности и жизнь человека ограничены и просто невозможно совместить талант настоящего ученого и энергию бизнесмена.

В последние годы в мире наблюдается новый подход в отношении мобилизации материально-технических и кадровых ресурсов для развития науки и наукоемких технологий. Сюда относится, прежде всего, межрегиональные проекты, международные программы, научно-исследовательские коалиции, международные базы данных.

Целью межрегиональных проектов является удовлетворение общих потребностей нескольких государств-членов в различных регионах. Межрегиональные проекты могут включать трансрегиональную, глобальную или совместную деятельность. В рамках трансрегиональных проектов решаются вопросы, которые касаются стран из нескольких, но не обязательно из всех регионов, такие, как, например, координация национальной деятельности по оценке радионуклидов в бассейне Средиземного моря. Глобальные проекты используются для обеспечения равного участия всех государств-членов в разработке материалов и развитии знаний, которые будут применяться в глобальных масштабах. Такие проекты могут включать разработку руководящих принципов, норм, учебных планов, учебных материалов и документации по образцовой практике. К этой категории относятся проекты, осуществляемые совместно с МЦТФ в Триесте

(STEP), Всемирным ядерным университетом (ВЯУ) или SESAME.

В 2007 году в Карлсруэ, Германия, было начато осуществление нового проекта под названием EFNUDAT (Европейские установки для измерения ядерных данных) - комплексной инфраструктурной инициативы, финансируемой Европейской комиссией. Главная цель EFNUDAT состоит в том, чтобы содействовать согласованному использованию и интеграции связанных с инфраструктурой услуг посредством создания сетей, обеспечения транснационального доступа к принимающим участие установкам для измерений ядерных данных и проведения совместной исследовательской деятельности.

В области развития технологий МАГАТЭ играет роль международного форума по обмену идеями и информацией, обеспечивает подготовку кадров и содействует передаче технологий. Эта деятельность осуществляется в рамках технических рабочих групп (ТРГ) и ПКИ.

Международная система ИНИС продолжает играть весьма важную роль в управлении ядерной информацией и ее сохранении и по-прежнему остается единственным источником ядерной информации для некоторых государств-членов. Число членов ИНИС составляет 141 (118 стран и 23 международных организаций). Расширяется свободный доступ университетов к базе данных ИНИС. В 2007 году в общей сложности 354 университетам в 63 государствах-членах был предоставлен свободный доступ через Интернет к библиографической и полнотекстовой информации.

МАГАТЭ обеспечивает функционирование обширного комплекса ядерных, атомных и молекулярных баз данных, которые предоставляются всем государствам-членам в рамках онлайновых и традиционных услуг.

В лаборатории Дейрсбери, Соединенное Королевство, начато строительство первого в мире ускорителя с «нефиксированным» постоянным полем и переменным градиентом (NS-FFAG). Ускоритель NS-FFAG, изобретенный в 1999 году, как ожидают, будет широко применяться в клинических ускорителях следующего поколения на базе лечебных учреждений для лечения раковых заболеваний с использованием пучков протонов и ионов углерода. Он меньше по размерам, проще в эксплуатации и дешевле, чем соответствующие циклотронные и синхротронные ускорители, используемые при лечении рака. Этот ускоритель

электронов NS-FFAG позволит получить информацию для окончательного проектирования и строительства прототипа ускорителя для медицинских применений и знания, дающие возможность оценить его потенциал как источника протонов для использования в электроядерных системах, для трансмутации отходов и в исследованиях материалов. Этот первый ускоритель NS-FFAG проектируется в рамках международного сотрудничества с участием Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL), Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН), Национальной лаборатории ускорителей им. Ферми (Fermilab), Лаборатории субатомной физики и космологии (LPSC), лаборатории «TRIUMF» и научных центров по ускорителям в Соединенном Королевстве и, как ожидается, будет введен в эксплуатацию в 2009 году и будет использоваться как международная лаборатория.

Во Франции в марте 2007 года начато строительство материаловедческого реактора мощностью 100 МВт (тепл.) им. Жюля Оровица. Этот реактор, который станет ключевой установкой в рамках инфраструктуры ЕС по поддержке развития ядерной энергетики и обеспечит производство радиоизотопов и облучение кремния для использования в электронике, сооружается французской Комиссией по атомной энергии (КАЭ) и финансируется международным консорциумом.

МАГАТЭ предпринята новая инициатива по содействию коалициям исследовательских реакторов, играющим роль международных пользовательских центров, которые позволят странам, не имеющим исследовательских реакторов или рассматривающим вопрос о закрытии старого реактора, использовать близлежащие установки с современным техническим потенциалом. Предпринятые в 2007 году усилия привели к созданию ряда потенциальных коалиций исследовательских реакторов. Необходимость таких коалиций получила решительную поддержку в заключительном докладе Международной конференции Агентства «Исследовательские реакторы: безопасное управление и эффективное использование», проведенной в Сиднее.

Международные усилия, направленные на использование термоядерного синтеза как будущего источника энергии, получили серьезную поддержку со стороны семи стран (Европейского союза, Индии, Китая, Республики Корея, Российской Федерации, США и Японии), участвующих

в осуществлении проекта Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР), когда 21 ноября 2006 года на совещании министров в Париже было завершено и подписано Соглашение о совместной реализации проекта ИТЭР (ССР). Это соглашение было впоследствии ратифицировано всеми соответствующими правительствами. ССР вступило в силу 24 октября 2007 года, и Международная организация ИТЭР по термоядерной энергии стала официальным юридическим лицом.

Можно привести еще ряд примеров успешного международного сотрудничества и сделать вывод о том, что международное сотрудничество является ключом к успеху в деле удовлетворения потребностей ученых и пользователей и что консорциумы, коалиции могут развивать и поддерживать эффективное использование эксплуатирующих исследовательских комплексов.

В настоящее время казахстанские ученые не имеют полного доступа к работе на имеющихся международных комплексах. Государству необходимо пересмотреть политику участия Казахстана в международных организациях и программах. Небольшой финансовый взнос Казахстана позволит тысячам ученых иметь хорошую инфраструктуру для продолжения своих исследований. Ярким примером успешного международного сотрудничества является участие Республики Казахстан в Объединенном институте ядерных исследований. За прошедшие годы благодаря этому сотрудничеству в нашей стране достигнуты заметные успехи в развитии различных направлений исследований в ядерной физике, ядерных технологиях и подготовке кадров. Совместными усилиями ученых Казахстана и Дубны создан уникальный Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс Института ядерной физики НЯЦ РК в г. Астане, функционирует международная кафедра ядерной физики при Евразийском государственном университете им. Л.Н. Гумилева.

Участие Казахстана, как страны-партнера в таких международных программах позволит получить новые материалы, продукцию и решить вопросы инновационного развития страны.

В заключении необходимо выделить главную проблему в развитии любой области знаний – это **кадровый потенциал**. Индустриально-инновационный путь развития экономики страны делает чрезвычайно актуальным переход на новый,

качественно иной уровень развитие образовательных технологий. Одним из необходимых этапов этого перехода является интеграция науки и образования на основе сотрудничества вузов и научно-исследовательских центров и институтов. Яркими примерами такого сотрудничества являются такие всемирно известные административно-территориальные образования, центрами которых были и являются Оксфорд и Кембридж в Англии. Такими примерами могут служить созданные в бывшем СССР такие научные центры, как Обнинск, Пущино, Протвино и др. В советские времена в Казахстане был создан как научный центр поселок Алатау под Алматы, были сформированы научные центры, работавшие в оборонных отраслях в Курчатове, Ленинске, Степногорске и т.д. Сейчас Национальный ядерный центр делает первые шаги на этом пути. На базе экспериментальных комплексов и лабораторий предприятий РГП НЯЦ РК организованы филиалы кафедр ядерной физики ЕНУ им. Л. Н. Гумилева и технической физики СГУ им. Шакарима, подписаны трехсторонние договоры между РГП НЯЦ РК, вузами Казахстана и Томским политехническим университетом, а также Японским агентством по атомной энергии.

Список использования источников

1. <http://www.bipm.org/en/committees/cc/ccqm/>
2. <http://www.copenhagencoconsensus.com/>
3. <http://www.fao.org/docrep/007/y5686e/y5686e00.htm>
4. <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>
5. <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>
6. <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/>
7. <http://www.iaea.org/programmes/>
8. <http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/>
9. <http://www.iaea.org/water>
10. <http://www.ingentaconnect.com/content/klu/jofe>
11. http://www.ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf
12. <http://www.iupac.org/divisions/II/II.1/index.html>
13. http://www.jaif.or.jp/english/ajj/ajj_index.html
14. <http://www.kernenergie.de/kernenergie/Service/Fachzeitschrift-atw/>
15. <http://www.nea.fr/html/trw/docs/neastatus99/>
16. <http://www.neutron.kth.se/publications/library/KamilPhD.pdf>
17. <http://www.new.ans.org/pubs/journals>
18. <http://www.nuclearplantjournal.com/>
19. <http://www.nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/Applications/FICdb/FoodIrradiationClearances.jsp?module=cif>
20. <http://www.nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/index.jsp>
21. <http://www.nwtrb.gov/meetings/2007/may/laidler.pdf>

22. <http://www.ornl.gov/info/ornlreview/>
23. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=as>
24. <http://www.rpop.iaea.org>
25. <http://www.sfen.org/>
26. <http://www.siteresources.worldbank.org/NUTRITION/Resources/2818461131636806329/NutritionStrategy.pdf>
27. http://www.tc.iaea.org/tcweb/participation/recipient-country/nlo_roles/nv_eng_2008-02-28.pdf
28. http://www.unfccc.int/files/meetings/cop_13/application/pdf/cp_bali_action.pdf
29. <http://www.unsystem.org/SCN/Publications/AnnualMeeting/SCN31/SCN5Report.pdf>
30. http://www.who.int/child-adolescenthealth/publications/NUTRITION/WHO_FCH_CAH_01.24.htm
31. <http://www-mvd.iaea.org>
32. <http://www-naweb.iaea.org/nafa/emergency/index.html>
33. <http://www-naweb.iaea.org/nahu/nahres/default.shtml>
34. <http://www-nfcis.iaea.org/>
35. <http://www-ns.iaea.org/>
36. <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/Meetings.asp>
37. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/p1310_start.pdf
38. Жотабаев Ж.Р., Сеилова К.С., Даукеев Д.К. Применение плазменно-десорбционной времязролетной масс-спектрометрии в медицине и биологии // Препринт ИЯФ АН КазССР. 1991. 31 с.
39. Лунин В.Т., Абрамович С.Н., Бузоверя М.Э., Чулков В.В., Морозов А.П., Довжик И.А. (ВНИИЭФ), Горлачёв И.Д., Лысухин С.Н. (ИЯФ НИЦ РК). Возможности метода РФА для диагностики некоторых патологий глаза // Тр. 2-ой междун. конф. по ядерной и радиационной физике. Алматы, 1999. С. 278-281.
40. Арзуманов А.А., Борисенко А.Н., Горлачёв И.Д., Лысухин С.Н., Платов А.В., Елисеев А. Использование ускорительного комплекса УКП-2-1 в ядерно-физических исследованиях // Препринт №20! УДК: 621.384,6.5, 2002 г.
41. Арзуманов А.А., Борисенко А.Н., Гикаев Б.Н., Имкис М.Г., Дмитриев С.Н., Гульбекян Г.Г., Франко Й., Ка-дыржанов К.К., Лысухин С.Н. Проект специализированного ускорителя ДП-60 для междисциплинарного лабораторного комплекса при Евразийском государственном университете им. Л. Н. Гумилева // 3 Межд. конф. «Ядерная и радиационная физика». Алматы, 2001.
42. Arzumanov A.A., Batischev V.N., Berdinova N., Borisenko A., Chumikov G., Gorodisskaya N., Knyazev A., Koptev V., Lyssukhin S., Popov Yu., Sychikov G.I., Zheltov D. Radioisotope production at the Kazakhstan cyclotron // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2003. V. 257, N 1. P. 215-218; Arzumanov A.A., Alexandrenko V.V., Borisenko A., Ignatenko D.N., Koptev V.K., Lyssukhin S.N., Popov Yu., Sychikov G.I., Volkov B.A. «Technique for irradiation of Nb-Ga targets at Kazakhstan isochronous cyclotron». Proc. XVII Int. Conf. on Cycl. and Their Appl. 2004. Tokyo, Japan. P. 28-30.
43. Ка-дыржанов К.К., Жотабаев Ж.Р. Ядерно-энергетическая отрасль Республики Казахстан. Монография. Курчатов, 2007.
44. Arzumanov A.A., Batischev V.N., Berdinova N., Borisenko A., Chumikov G., Lukashenko S.N., Lyssukhin S., Sychikov G.I. «Development of cyclotron based high beam current technique for Ga-67 production», 7-th EPAC, 2000. Vienna, Austria. P. 2498-2499.
45. Arzumanov A.A., Batischev V.N., Berdinova N., Borisenko A., Chumikov G., Lukashenko S.N., Lyssukhin S., Popov Yu., Sychikov G.I. Production of Plutonium, Yttrium and Strontium tracers for using in environmental research», Proc. XVI Int. Conf. On Cycl. and Their Appl. 2001. East Lansing, USA. P. 34-36.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Легководный реактор бассейнового типа

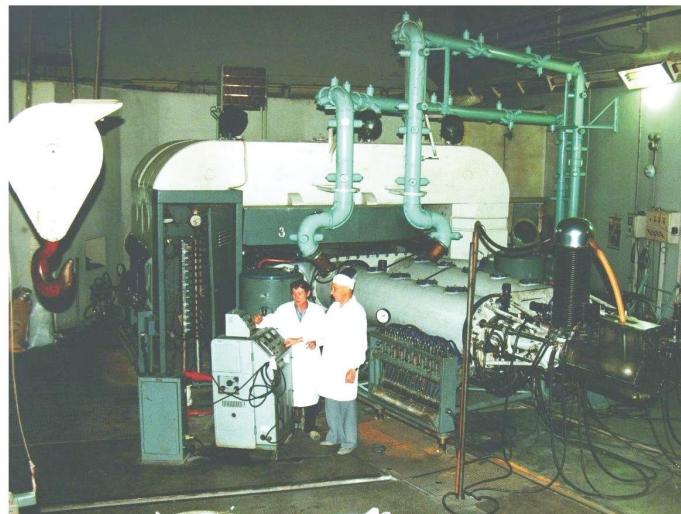
Эксплуатация возобновлена в 1998 году

Тепловая мощность – 6 МВт

Поток тепловых нейтронов – до $1,4 \cdot 10^{14}$ н/см²с

Диаметр каналов в активной зоне – 62 мм

Рис. П-1. Исследовательский реактор ВВР-К



Регулируемая энергия ионов:

протоны – до 30 МэВ,

дейтероны – до 25 МэВ,

альфа-частицы – до 50 МэВ

Ток пучка на внутренней мишени – до 300 мкА

Рис. П-2. Изохронный циклотрон У-150М



Рис. П-3. Междисциплинарный научно-исследовательский комплекс на базе ускорителя тяжелых металлов ДС-60



Рис. П-4. Промышленный электронный ускоритель ЭЛВ-4