

9. Прикладные исследования

Активационный анализ и экологические исследования

Работы по нейтронному активационному анализу (НАА) начались в ЛНФ под руководством В.М.Назарова в конце 60-х годов, в период расцвета интереса к этому методу в реакторных центрах мира. Уже на реакторе ИБР-30 в ЛНФ простая пневмотранспортная установка использовалась для облучения геологических и медико-биологических образцов с целью изучения их элементного состава. Ввод в эксплуатацию реактора ИБР-2 с высокими потоками эпитепловых и быстрых нейтронов способствовал усовершенствованию методики многоэлементного инструментального НАА. Два канала облучения, один из которых снабжен кадмиевым экраном, связанные с современной быстрой пневмотранспортной установкой (ПТУ), обеспечивают оптимальные условия для массового анализа образцов при температуре 60–70 °С, что особенно важно при проведении НАА биологических и экологических материалов. Эпитепловой вариант НАА перспективен именно для такого класса образцов, поскольку позволяет свести к минимуму влияние матричных элементов, обладающих большими сечениями активации на тепловых нейтронах. Установка оборудована четырьмя спектрометрическими трактами с возможностью проведения циклического НАА для определения короткоживущих изотопов секундного диапазона. Автоматизированная система управления, сбора и обработки спектрометрической информации в совокупности с квалификацией персонала, а также участие во многих международных программах послужили основой для аккредитации радиоаналитической лаборатории на базе ПТУ «Регата» Госстандартом РФ.

На начальном этапе развития НАА в ЛНФ изучалась роль отдельных элементов в развитии онкологических опухолей у подопытных животных, а также проблемы нарушения минерального обмена веществ в невесомости, совместно со специалистами Онкологического центра и Института медико-биологических проблем (Москва). Когда в Советском Союзе еще только начинались работы по биотехнологии извлечения металлов из обедненных руд, в группе В.М.Назарова при участии Института биофизики (Одесса) полным ходом шли работы по изучению бактериального способа извлечения мелкодисперсного золота. На основе изотопного калифорниевых источника нейтронов в конце 80-х годов совместно с Всесоюзным институтом зерна был разработан и внедрен в производство прибор для определения азота (белка) в зерне, зернопродуктах и комбикормах. Впервые в Советском Союзе НАА применен для анализа особо чистого алюминия, получаемого методом зонной плавки во ВНИИ алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (г. Ленинград). Параллельно шли работы по анализу геологических образцов, арктических льдов, высокотемпературных полупроводников, конструкционных материалов и бетонов биологической защиты ядерных установок (В.М.Назаров, М.В.Фронтасьева, С.С.Павлов, В.Ф.Переседов, Н.А.Гундорин, С.Ф.Гундорица, Т.С.Островная, Л.П.Стрелкова, В.П.Чинаева и др.).

В 90-х годах в секторе формируется устойчивый интерес к экологическим исследованиям. НАА с успехом используется для анализа объектов окружающей среды (почва, вода, растительность, аэрозольные фильтры). Начиная с 1991 года, в тесном сотрудничестве с известным норвежским ученым-экологом профессором Э.Стейн-

несом в секторе стало развиваться новое направление — биомониторинг атмосферных выпадений тяжелых металлов и других элементов с помощью мхов.

Мхи-биомониторы (в основном, *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*), как аналоги аэрозольных фильтров, используются для контроля качества атмосферного воздуха. Тяжелые металлы относятся к наиболее опасным загрязнителям окружающей среды. В большинстве индустриально развитых стран Западной Европы потребность в изучении последствий их воздействия на окружающую среду и здоровье человека привела к созданию национальных и международных программ по биомониторингу атмосферных выпадений тяжелых металлов. Под эгидой Комиссии ООН по трансграничному переносу атмосферных выпадений в Европе (UNECE ICP Vegetation) каждые 5 лет издается «Атлас атмосферных выпадений тяжелых металлов», базирующийся на анализе образцов мха, собранных одновременно на больших территориях по утвержденной методике. С 1995 года сектор НАА принимает участие в Европейской программе «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов». В Атлас 2000 года переданы результаты исследований для некоторых регионов России (Центральная Россия, Южный Урал) и ряда стран Европы (Болгария, Польша, Румыния, Босния и Герцеговина, Сербия и Черногория, Македония, Словакия, Западная Украина). Наряду с Европой, в секторе ведутся работы по биомониторингу в Монголии, Турции, Китае и Южной Корее (М.В.Фронтасьева, Е.В.Ермакова, Л.И.Смирнов, О.А.Куликов-Стан и др.).

Качество пищевых продуктов, производимых в некоторых загрязненных областях России, изучается в рамках координационных программ и технической кооперации с МАГАТЭ.

С 1999 года плодотворно развивается сотрудничество с грузинскими учеными в области биотехнологий. Возможности НАА были продемонстрированы в разработке Se, I, Sr-содержащих фармацевтических препаратов на основе синезеленой микроводоросли *Spirulina Platensis*. НАА эффективно использовался при разработке методики бактериального выщелачивания металлов (включая уран и торий) из бедных руд, пород и отходов производств Грузии.

Прикладные исследования на ЭГ-5

В 90-х годах аналитические методики использовались для решения многих прикладных задач, таких как исследование возможности прецизионного измерения глубинных профилей кислорода, используя резонансное рассеяние ионов, изучение глубинных профилей элементов в сверхпроводящих и алмазоподобных пленках (Л.П.Черненко, А.П.Кобзев, Д.А.Корнеев, Д.М.Широков). Каналирование использовалось для исследования кристаллической структуры высокотемпературных сверхпроводников совместно с сотрудниками университета Ростова-на-Дону (А.С.Боровик, А.А.Епифанов, С.Н.Потапов), а также для определения местоположения примесных атомов бора в кристаллической решетке арсенида галлия совместно с Вэй Лунчаном из Китая.

Исследования глубинных профилей элементов в различных конструкционных материалах проводилось в сотрудничестве с физиками из Словакии и Украины. Элементный состав и структура многослойных нейтрон-поляризирующих зеркал были исследованы с помощью ядерно-физических аналитических методик при участии со-

трудников из ИЯФ РАН (г. Гатчина). Предельное разрешение методики резерфордовского обратного рассеяния исследовалось совместно с сотрудниками Института физики металлов Уральского отделения РАН. Исследования имплантированных образцов, а также пористого кремния проводились в сотрудничестве с университетом им. М.Склодовской-Кюри в Люблине.

Быстрые нейтроны из DT-реакции используются для разработки установок, базирующихся на принципе сопутствующих частиц и позволяющих обнаруживать скрытые запрещенные вещества типа взрывчатки и наркотиков. Сотрудники нескольких лабораторий ОИЯИ принимают участие в этой работе: М.Г.Сапожников, В.А.Будилов, Н.И.Замятин, В.А.Никитин, Ю.Рогов (ЛФЧ), В.М.Слепнев (ЛВЭ), В.М.Быстрицкий, В.А.Столупин, В.А.Уткин (ЛЯП), А.П.Кобзев, И.А.Чепурченко и др. (ЛНФ).

Различные калибровки детекторов на пучках нейтронов также выполнялись и, в частности, нейтронные детекторы прибора «HEND», направленного к Марсу 7 апреля 2001 года по программе НАСА «2001 MARS ODYSSEY», калибровались на ускорителе ЭГ-5. От ЛНФ в работе участвовали Л.Б.Пикельнер, Ю.П.Попов, В.Н.Швецов, Ю.Д.Мареев, А.П.Кобзев, И.А.Чепурченко.

10. Сотрудничество

Первый в мире импульсный реактор ИБР стал центром притяжения физиков из стран-участниц ОИЯИ. Становление и развитие Лаборатории нейтронной физики проходило при активных контактах с институтами стран-участниц, при этом формы международного сотрудничества менялись, но ЛНФ была и остается одной из наиболее интернациональных по составу лабораторий ОИЯИ.

С момента возникновения лаборатории в работах, связанных с подготовкой пучка реактора ИБР и первых экспериментов на нем, деятельное участие принимали сотрудники из стран-участниц ОИЯИ. Среди них были уже опытные физики: Ким Хен Бон, Н.Кашукеев, В.Христов. В разных группах трудились Содном Намсрай, Зыонг Чонг Бай, Ким Хи Сан, М.Пшитула. В старт ядерно-физических исследований значительный вклад внесли венгерские физики Д.Киш, И.Визи, Б.Кардон, чехи Я.Урбанец и И.Квитек, румыны Н.Илиеску, Т.Стадников, Д.Дорчоман, китайские сотрудники Ван Най-янь, Ван Ши-ди, Яо Чу-чуань, Чен Лин-янь, Ван Юн-чан, Чжан Пэ-шу. Развитие экспериментов по физике конденсированных сред обязано польским физикам А. Шкатуле, З.Огжевальскому, И.Жуковской, К.Парлински, А.Байореку, И. Сосновской, Е. Сосновскому, А. Холосу, которых опекали профессора Е.Яник и Б.Бурас. Именно благодаря их участию в постановке первых экспериментов развивалось сотрудничество с научными центрами в Будапеште, Кракове, Сверке, Ржеже.

В какой-то мере формой сотрудничества была подготовка научных кадров в области физики ядра и ядерных методов исследования конденсированных сред. Школу научных исследований на первоклассных установках лаборатории прошли многие физики Болгарии, Венгрии, ДРВ, ГДР, КНДР, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии. Монгольскому государственному университету ЛНФ поставила электростатический нейтронный генератор и вместе с лабораториями ЛЯП и ЛЯР ока-