

На заседании секции были прослушаны два общих доклада: о радиационной технике для промышленного облучения пищевых продуктов (Н. И. Лещинский, Всесоюзный научно-исследовательский институт радиационной техники) и о действии ионизирующих излучений на полимерные упаковочные материалы (Я. Г. Муравин, ВНИИКОП). Обзорный доклад И. Киши

был посвящен работам по облучению пищевых продуктов, выполненным в Венгерской Народной Республике (облучение солода для подавления микрофлоры, радиуризация плодов, ягод и овощей, регулирование созревания перца, влияние ионизирующих излучений на физиологические и биохимические свойства микроорганизмов и др.).

Ядернофизические методы анализа

И. П. АЛИМАРИН, Б. Г. ЕГИАЗАРОВ, Г. И. КИРЬЯНОВ,
Ю. В. ЯКОВЛЕВ, А. Л. ЯКУБОВИЧ

На секции ядернофизических методов анализа было заслушано 120 докладов. В докладах рассматривались вопросы теории, разработки аппаратуры и многочисленные примеры применения в научных исследованиях и народном хозяйстве радиоактивационного анализа в его различных вариантах, нейтронного абсорбционного, фотоядерного метода, анализа по γ -излучению радиационного захвата, рентгено-радиометрического метода, гамма-резонансной спектроскопии и т. д.

Работа секции показала, что за 20 лет в СССР достигнуты значительные успехи в развитии и использовании ядернофизических методов анализа. Отличительными чертами ядернофизических методов являются большая чувствительность, экспрессность и точность анализа.

Большинство докладов на секции было посвящено различным вариантам радиоактивационного анализа, являющегося одним из самых высокочувствительных методов современной аналитической химии. Поэтому в большом числе докладов (Ю. В. Яковлев, О. Ф. Саункин, Е. М. Лобанов, А. И. Сухановская, В. Г. Ламбрев и др.) излагались результаты работ по радиоактивационному определению следов примесей в веществах высокой чистоты — уране, окислах редкоземельных элементов, титане и его солях, арсениде галлия и других полупроводниковых материалах и реактивах. Использование интенсивных потоков в ядерных реакторах для облучения образцов с последующим радиохимическим разделением, часто основанном на субстехиометрическом выделении определяемых элементов, и измерением активности на многоканальных гамма-спектрометрах позволило достичь высокой чувствительности определения большого числа примесей (примерно 10^{-5} — 10^{-10} %).

Как показали в докладах Е. М. Лобанов, И. Г. Берзина, А. К. Лаврухина, А. А. Абдул-

лаев, Г. С. Никаноров, А. А. Кист и др., нейтронный активационный анализ успешно применяется для определения следов элементов в горных породах, минералах, рудах и концентратах, метеоритах, биологических объектах, при геохимических и биогеохимических поисках рудных месторождений, в практике клинической и экспериментальной медицины.

Для определения элементного состава проб горных пород и руд с чувствительностью $\sim (10^{-3}$ — $10^{-5})$ % может быть с успехом применена активация γ -квантами, получающимися при использовании бетатронов, микротронов и линейных ускорителей (В. В. Сулин и др.). Гамма-активационный метод открывает большие возможности для решения важной задачи определения углерода, азота и кислорода в металлах и полупроводниковых материалах с чувствительностью до 10^{-4} — 10^{-5} %, особенно в сочетании с разработкой экспрессных методов радиохимического выделения углерода, азота (И. М. Пронман, Б. С. Кудинов и др.) и кислорода (Б. А. Чапыжников и др.).

Однако наивысшей чувствительности определения кислорода и углерода (примерно 10^{-6} — 10^{-7} %) удалось достичь при активации ионами He^3 (Г. И. Александрова и др.). Большой интерес представил доклад Н. Н. Краснова и др., в котором изложены экспериментальные данные о зависимости выхода изотопов от энергии заряженных частиц при активационном определении углерода и кислорода.

Для экспрессного определения сравнительно больших содержаний элементов (более 10^{-2} — 10^{-3} %) с успехом применяются не реакторные методы нейтронного активационного анализа, основанные на использовании радиоизотопных источников и особенно нейтронных генераторов. На их основе созданы автоматические установки для определения индия и кадмия в потоке раствора в ходе технологического процесса,

бора в пульше, фтора в рудах и концентратах, кислорода в различных металлах и сталях (А. С. Штань, М. А. Беляков, А. И. Чанышев, О. К. Николаенко, И. М. Пронман и др.). Как показали Р. Г. Гамбарян, Б. С. Вахтин и др., при использовании нейтронно-резонансных методов значительно повышается селективность определения некоторых элементов.

Большое внимание в работе секции было уделено различным видам аппаратуры, используемой в активационном анализе.

Главным средством облучения при активационном анализе остаются источники нейтронов. За последнее время наряду с использованием ядерных реакторов, нейтронных размножителей и радиоизотопных источников наиболее широкое распространение получили генераторы нейтронов, разработка которых шла по следующим двум направлениям: а) создание портативных генераторов нейтронов на запаянных трубках для решения ограниченного числа аналитических задач, возникающих в промышленности; б) создание мощных генераторов нейтронов с откачиваемой ускорительной камерой для проведения широкого круга исследований в области активационного анализа.

Для решения большинства промышленных задач методом активационного анализа требуются генераторы нейтронов с потоком 10^9 — 10^{10} нейтр/сек. Помимо обычных требований высокого выхода нейтронов и большого срока службы к таким генераторам предъявляются требования малых габаритов, надежности и удобства эксплуатации в промышленных условиях. За последние годы во Всесоюзном научно-исследовательском институте радиационной техники разработано несколько моделей портативных импульсных генераторов нейтронов НГИ-1, НГИ-4, НГИ-5, использующих в качестве источника нейтронов запаянную вакуумную трубку и предназначенных для проведения активационного анализа в условиях заводов, обогатительных фабрик, горнорудных предприятий, геологических партий (Г. И. Кирьянов). Импульсный генератор нейтронов с заземленной мишенью НГИ-5 имеет нейтронный поток $\sim 10^9$ нейтр/сек при частоте следования импульсов 10 гц. Амплитуда ускоряющего напряжения достигает 155 кэ при длительности импульса 1,5—2 мксек. Питание генератора осуществляется от сети переменного тока частотой 50 гц, напряжение 220 в, потребляемая мощность не более 300 вт. В лаборатории ядерной физики Киевского государственного университета (В. И. Стрижак) разработан и из-

готовлен нейтронный генератор с откачиваемой ускорительной трубкой, работающий на смеси ионов дейтерия и трития в импульсном и стационарном режимах. Ускоряющее напряжение до 200 кэ, частота повторения импульсов от 10 гц до 100 кгц. При работе в стационарном режиме поток нейтронов с энергией 14 Мэв достигает величины 10^{11} нейтр/сек. В Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры разработаны две модели генераторов нейтронов с откачиваемой трубкой: НГ-160 и НГ-150. Величины тока ускоренных дейтронов позволяют получить потоки нейтронов до 10^{11} нейтр/сек.

Создан мощный источник нейтронов — импульсный растворный реактор типа ИИН, описанный в докладе В. М. Галызина и др. Реактор представляет собой жидкостную подкритическую сборку, которая переводится на короткий период времени (~ 1 мсек) в надкритичный режим, при этом плотность потока за импульс достигает величины 10^{14} нейтр/см²·сек. Габариты такой установки невелики, и она проста в эксплуатации.

Несколько докладов Г. И. Кирьянова и др. посвящено вопросам измерения параметров импульсных генераторов. Задача измерения потоков нейтронов высокой интенсивности (до 10^{14} нейтр/сек) в коротком импульсе ($\tau = 1 \div 2$ мксек) довольно сложна. Описан измеритель импульсных потоков быстрых нейтронов, который регистрирует суммарный эффект, представляющий собой огибающую отдельных актов взаимодействия нейтронов с детектором. Показана возможность измерения импульсных потоков в диапазоне 10^6 — 10^{11} нейтр/сек с частотой следования импульсов 0—50 гц. В нескольких докладах обсуждались вопросы исследования поля нейтронов вблизи мишени. Указано на возможность увеличения равномерности облучения образцов при использовании вогнутых и полых цилиндрических мишеней, причем в обоих случаях зона максимальной плотности нейтронного потока достигается не на поверхности мишени, а в области, где располагается облучаемый образец. Предложен метод экспериментального исследования пространственного распределения плотности потока нейтронов с использованием алюминиевых дисков в качестве активационных детекторов. Предложен и математически обоснован способ прокладочного эталонирования, при котором каждый образец помещается между двумя эталонами (Н. А. Крыженкова и др.).

В десяти докладах основное внимание было уделено описанию новой аппаратуры для нейтронного активационного анализа или оценке эффективности ранее разработанной.

В четырех из них приведены данные по различным установкам для определения кислорода, азота и других легких элементов по короткоживущим изотопам, образующимся при активации в потоке быстрых нейтронов от нейтронных генераторов. Большое число подобных аппаратурных разработок свидетельствует о потребности различных отраслей промышленности в производительных автоматизированных установках для определения газов в различных веществах. Относительно простая установка, разработанная на базе генератора нейтронов с отпаянной трубкой, в которой облучение и измерение наведенной активности образцов проводится одновременно, описана в докладе О. К. Николаенко и А. С. Штань. Для повышения чувствительности определения кислорода ниже $10^{-2}\%$ предусмотрен циклический режим работы установки. Более сложная установка для определения кислорода, азота, водорода, фтора и других легких элементов с использованием откатного генератора нейтронов описана в докладе С. Н. Венкова и др. Аппаратурная чувствительность определения, например, кислорода при потоке нейтронов 10^{11} нейтр/сек в однократном цикле облучения не хуже $10^{-4}\%$. Вычислительное устройство и его программа обеспечивают возможность учета в автоматизированном режиме измерений вклада от фоновой активности (делящиеся материалы и др.). В докладе И. М. Пронмана и А. В. Андреева показано, что требования, предъявляемые к автоматизированным установкам для нейтронно-активационного определения следов кислорода в высокочистых веществах, значительно отличаются от требований к установкам для определения более высоких содержаний кислорода.

Несколько докладов было посвящено вопросам разработки комплексных измерительных систем и другого оборудования для лабораторий активационного анализа.

В докладе А. Ф. Белова и др. описаны разработанные в 1961—1965 гг. в Союзном научно-исследовательском институте приборостроения комплексы аппаратуры для лабораторий различных назначений (стационарная; транспортная — смонтированная в кузове автомашины). Сообщаются данные о разрабатываемом комплексе, включающем 4λ -спектрометр суммарных совпадений, спектрометр с использова-

нием полупроводникового детектора, устройство для вывода данных из многоканального анализатора импульсов на перфоленту и т. д. Возможности 4λ -спектрометра суммарных совпадений иллюстрируются в докладе Н. Н. Родина и М. А. Дембровского.

К сожалению, в докладах данной конференции, за исключением докладов Г. В. Сухова и др., не сообщалось сведений о разработке и применению очень перспективных для активационного анализа спектрометров с использованием отечественных полупроводниковых детекторов.

Общие соображения и некоторые результаты исследований по универсальным системам автоматического активационного анализа изложены в докладах И. Н. Иванова, Е. И. Мамонова и др. Тенденция эффективного использования математических методов и ЭВМ в активационном анализе для расшифровки γ -спектров и обработки результатов, в частности в малоисследованной области выбора и оптимизации аналитической методики, проявилась в докладах Б. Г. Егiazарова, И. И. Иванова и др.

Серия докладов была посвящена гамма-резонансным методам и аппаратуре. Начато внедрение в народное хозяйство нескольких приборов для определения олова по гамма-резонансу на Sn^{119} . Об этих работах доложено в докладах В. И. Гольданского, А. В. Доленко и др. Разработка методов и приборов для определения железа по гамма-резонансу на Fe^{57} находится на стадии исследования возможностей и эффективных приложений (см., например, доклад В. М. Запорожца и другие, включая сообщение группы советских и кубинских специалистов). Значительный интерес представляют доклады, в которых сообщается о разработке резонансных детекторов, в частности, доклад К. П. Митрофанова и др. о резонансном счетчике γ -квантов Co^{57} и сообщение Е. Ф. Макарова и др. о резонансных ионизационных камерах. Результаты разработки гамма-резонансных исследовательских спектров, предназначенных для промышленного внедрения, были изложены в докладе Б. Г. Егiazарова и др.

Значительное число докладов было посвящено рентгенорадиометрическому методу анализа, получающему в последние годы все большее распространение и признание аналитиков.

К настоящему времени разработаны два варианта этого метода — флуоресцентный и абсорбционный. Физическая сущность первого из них заключается в возбуждении атомов определяемых элементов с помощью радиоизотопного

источника и последующем анализе характеристического излучения возбужденных атомов с помощью специальной радиометрической аппаратуры. Абсорбционный анализ основан на резком изменении коэффициента фотоэлектрического поглощения при просвечивании пробы пучками фотонов с энергиями близкими, но расположенными по разные стороны от K - или L -края поглощения определяемого элемента. В докладе А. Л. Якубовича о состоянии и перспективах развития рентгенорадиометрического метода анализа были подчеркнуты достоинства метода: его большая универсальность (метод рассчитан на определение широкого круга элементов — от легких порообразующих элементов до элементов конца таблицы Менделеева), большая экспрессность (длительность анализа в зависимости от применяемой методики лежит в пределах 1—20 мин), достаточная точность (не уступающая точности рядовых химических определений), простота проведения анализа, полная безопасность для обслуживающего персонала с точки зрения влияния ионизирующих излучений при работе в условиях неспециально оборудованных лабораторий, компактность и экономичность анализирующей аппаратуры. Метод может служить надежной основой для автоматизации контроля технологических процессов и управления ими на предприятиях горнорудной, металлургической, химической промышленности и других отраслей народного хозяйства. Несомненны перспективы применения метода при космических исследованиях

для изучения элементного состава планет, и в частности Луны, где наличие вакуума создает идеальные условия для определения рентгенорадиометрическим методом даже самых легких элементов.

В настоящее время рентгенорадиометрический метод широко применяется при поисково-разведочных работах для экспрессных определений таких элементов, как олово, ниобий, тантал, вольфрам, молибден, титан, железо и многие другие, с чувствительностью $n \cdot 10^{-1}$ — $n \cdot 10^{-3}\%$ (верхний предел содержания не ограничен). Этот метод находит применение и для ускоренной оценки содержания некоторых элементов в рудах и продуктах их переработки без отбора проб, а также при каротаже скважин.

Расширить возможности метода позволяет переход в анализирующей аппаратуре к полупроводниковым детекторам для регистрации характеристического излучения близких по атомным номерам элементов. Обсуждению возможностей усовершенствования рентгенорадиометрического метода и аппаратуры и примерам его применения для решения конкретных аналитических задач были посвящены доклады С. М. Пржиялговского, Г. В. Остроумова, И. А. Рощиной, В. И. Смирнова, Е. И. Зайцева и др.

В докладах и дискуссии на заседаниях секции были подведены итоги и намечены перспективы дальнейшего развития ядернофизических методов анализа.

Ядерная геофизика

М. Г. ЕВТЕЕВ, В. И. ФЕРРОНСКИЙ

Из докладов, обсужденных на секции, можно сделать вывод, что радиоактивные изотопы и источники ионизирующих излучений широко применяются при исследовании многих миллионов погонных метров бурящихся скважин, анализе содержания полезных компонентов сотен тысяч геологических образцов, решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач и других важных практических вопросов поисков и разведки минерального сырья.

О широте применения методов ядерной геофизики свидетельствует тот факт, что только за 1960—1966 гг. изготовлено и передано для серийного производства свыше 4,5 тыс. ядерно-геофизических приборов 25 наименований, позволивших осуществить на практике новые методики.

В системе Министерства геологии СССР созданы специализированные научно-исследовательские организации, разрабатывающие новые методы и аппаратуру ядерной геофизики. Некоторые проблемы изучаются также и в ряде геологических институтов. Апробирование методов на практике и их внедрение на производстве осуществляется тематическими партиями.

В настоящее время ядернофизические методы используются практически на всех этапах поисково-разведочных работ. Значительная часть докладов была посвящена различным аспектам применения ядернофизических методов при исследовании нефтяных месторождений. Отмечалось, что создание различной по своему назначению ядернофизической аппаратуры, например скважинных генераторов нейтронов