



Лекция

Активационные методы

- *Активационный анализ* – метод определения качественного и количественного состава исследуемых объектов путем измерения радиоактивного излучения ядер, возбуждаемых в процессе индуцированных ядерных превращений.
- Для воздействия на ядра элементы облучают различными ядерными частицами и жесткими γ -квантами. Ядерные взаимодействия бомбардирующих частиц разных типов различаются по характеру и сложности протекающих процессов.

- Возбужденные ядра, образовавшиеся при облучении, в течение короткого времени (10^{-18} – 10^{-12} сек) переходят в основное состояние, испуская при этом характеристическое ядерное излучение.
- Конечными продуктами в зависимости от исходных ядер и протекающих ядерных процессов могут быть как стабильные, так и радиоактивные ядра. Последние распадаются с соответствующим периодом полураспада и по определенной схеме распада

- В практике активационного анализа для облучения образцов используют разнообразные источники нейтронов, в которых нейтроны обычно получаются в результате ядерных реакций. Основные характеристики источников нейтронов – мощность источника, определяемая числом нейтронов, испускаемых в единицу времени (*нейтрон/сек*), и энергетический спектр нейтронов.
- Нейтроны, равномерно распространяясь от источника во всех направлениях, создают в каждой точке пространства в окрестностях источника определенную плотность нейтронов n , равную числу нейтронов в единице объема (*нейтрон/см³*).

В настоящее время атомные реакторы являются наиболее мощными источниками нейтронов.



Ядерный реактор ИРТ (ТПУ)



Ядерный реактор ИРТ (МИФИ)



Свечение Вавилова-Черенкова



**Общий вид исследовательского
ядерного реактора ТПУ**

- ИНАА выполняется в аккредитованной (аттестат № РОСС RU.0001.511901) ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском реакторе ИРТ-Т Национального исследовательского Томского политехнического университета по аттестованным методикам (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ).

Нейтронно-активационный анализ (НАА)

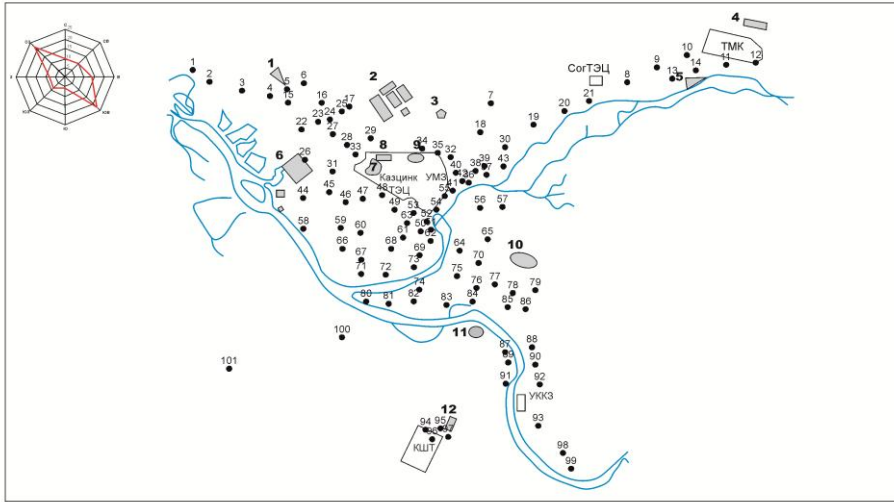
- В соответствии с энергией нейтронов, используемых для активации, различают три метода НАА: активационный анализ на тепловых, резонансных и быстрых нейтронах.
- Каждый из этих методов имеет определенные достоинства и в то же время сталкивается со специфическими трудностями, не свойственными другим методам нейтронного активационного анализа

- НАА обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. Отсутствует химическая подготовка пробы, что исключает погрешности за счёт привноса или удаления элементов вместе с реактивами.
- Методика НАА заключается в облучении исследуемых проб в реакторе потоком тепловых нейтронов и последующем измерении наведенной активности на гамма-спектрометре с полупроводниковыми детекторами.

- Из методов НАА наибольшее признание и применение получил активационный анализ на тепловых нейтронах.
- Такое значение этот метод приобрел, так как он применим к подавляющему числу элементов периодической системы, и в большинстве случаев отличается исключительно высокой чувствительностью определения.
- Анализ показывает, что из 84 стабильных и долгоживущих естественных радиоактивных (U и Th) элементов с помощью активации тепловыми нейтронами сравнительно просто и с высокой чувствительностью можно обнаружить и количественно определить 28 элемента в том числе уран и торий

- инструментальный нейтронно-активационный метод анализа на 28 элементов:
- Sm, Ce, Ca, Lu, U, Th, Cr, Yb, Au, Hf, Ba, Sr, Nd, As, Br, Cs, Ag, Tb, Sc, Rb, Fe, Zn, Ta, Co, Na, Eu, La, Sb.

Sampling scheme of poplar leaves on the territory of Ust-Kamenogorsk city



- Legend:
- - storage of waste
 - - enterprise
 - - river
 - - site

of silk combine (ЗК)
 field of ПМБ: 10 - near zone of fertilizers and pesticides; 11 - storage pond
 1 - waste bank of „Kazakhstan“; 8 - dump field of „Kazakhstan“; 9 - near filling
 area of zodiac power plant; 6 - separate area near of UK power plant;
 4 - landfill and ashbank of metallurgical plant (ПМБ); 2 - separate area
 metallurgical plant; (ПМБ); 3 - storage pond of condensed steam (ПМКБ);
 1 - separate area near of UK power plant; 5 - filling field of „Usta“



drying



manual pulverizing



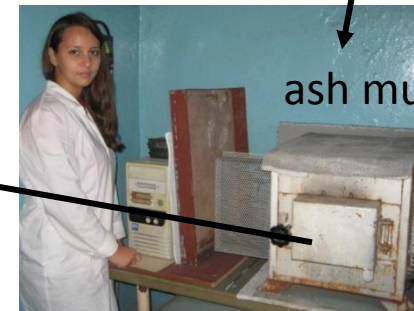
ceramic crucible



INAA



Agate mortar



ash muffle

550°C
2 hours

- Для упаковки навески проб золы используют алюминиевую фольгу высокой чистоты марки А-995 (алюминий образует продукты активации с очень малым периодом полураспада).

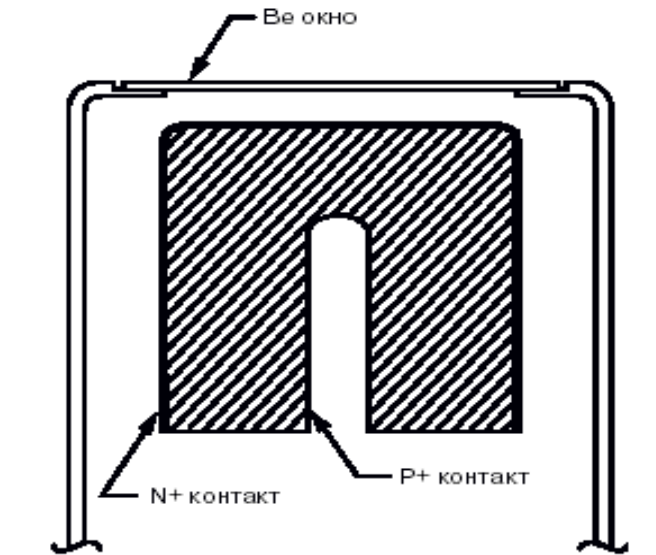


- Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла $2 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Продолжительность облучения проб от 10 до 20 часов.
- После окончания облучения пробы выдерживались некоторое время и после спада наведенной активности и направлялись на гамма-спектрометр для измерений интенсивности излучения радиоактивных изотопов.

- Измерения производятся на многоканальном анализаторе импульсов Canberra полупроводниковым Ge детектором GX3518.
- Сравнивая интенсивность гамма-линий соответствующих радионуклидов с интенсивностью стандартных образцов или контрольных проб, рассчитывают содержание определяемых элементов.



Детекторы (Canberra)



Конструкция германиевого детектора (Canberra)



Многоканальные
анализаторы (Canberra)



Лабораторная измерительная
система (Canberra)

Метод запаздывающих нейтронов (МЗН)

- Метод определения по запаздывающим нейтронам основан на явления испускания этих нейтронов при делении тяжелых элементов.
- Методика разработана Е.Г. Вертманом, Ю.М. Столбовым и Р.П. Мещеряковым в Томском политехническом университете и заключается в регистрации запаздывающих нейтронов, которые, в отличие от мгновенных нейтронов, сопровождающих деление ядер тяжелых элементов, испускаются с запаздыванием на время, определяемое периодом полураспада изотопов, так называемых “предшественников запаздывающих нейтронов”.
- Предшественники запаздывающих нейтронов являются осколками деления ядер ^{235}U , ^{238}U и ^{232}Th . Периоды полураспада основных шести групп запаздывающих нейтронов составляют от десятых долей секунды до минуты.

- МЗН позволяет определять уран, торий и золото.
- Содержание урана определяют, регистрируя запаздывающие нейтроны, испускаемые продуктами деления ^{235}U , который делится тепловыми нейтронами.
- Методика рекомендуется для определения урана при его содержании от 0,00005 до 1 % в различных магматических, осадочных, метаморфических породах, рудах и минералах, содержание тория в которых не более чем в десять раз превышает содержание урана.
- Предел обнаружения МЗН значительно ниже, чем у традиционных методов анализа и равен $2 \cdot 10^{-7}$ % для U и $4 \cdot 10^{-5}$ % для Th.



Благодарю за внимание!