

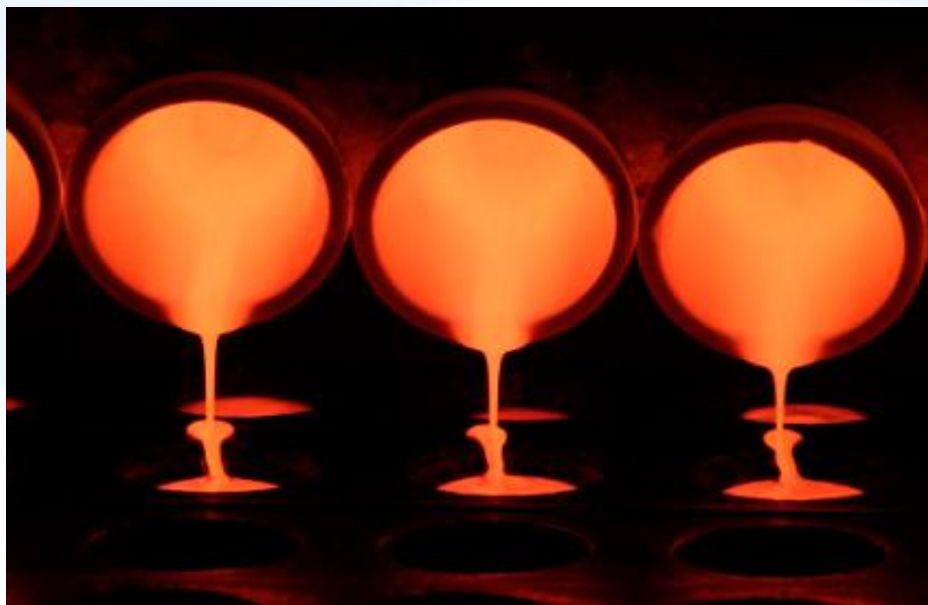
# Гамма-активационный метод с использованием детекторов из ОЧГ (особо чистого германия) для анализа золотосодержащих руд.

Соколов А.Д.<sup>1</sup>, Бурмистенко Ю. Н.<sup>2</sup> Гостило В.В.<sup>1</sup>, Титов В. Л.<sup>1</sup>

- <sup>1</sup> **Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия**
- <sup>2</sup> *Applied Physics Instruments, Эспоо, Финляндия*

# Пробирный анализ (Купелирование)

Опубликован в работе “*De Re Metallica*” (1556) и и используется до сих пор для анализа золота



Состоит из 3 этапов:

- 1. Подготовка**  
(Измельчение, предварительный анализ, смешивание)
- 2. Сбор** (Плавление свинца)
- 3. Разделение**  
(купелирование)

## Проблемы:

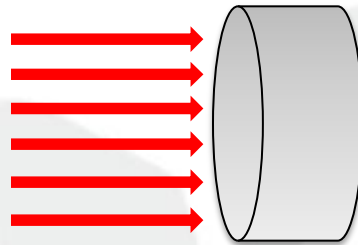
- Очень медленный (непрактично для быстрых процессов)
- Трудоемкий / Времязатратный
- Требуется большое количество квалифицированного персонала
- Низкая репрезентативность

# Гамма-активационный анализ

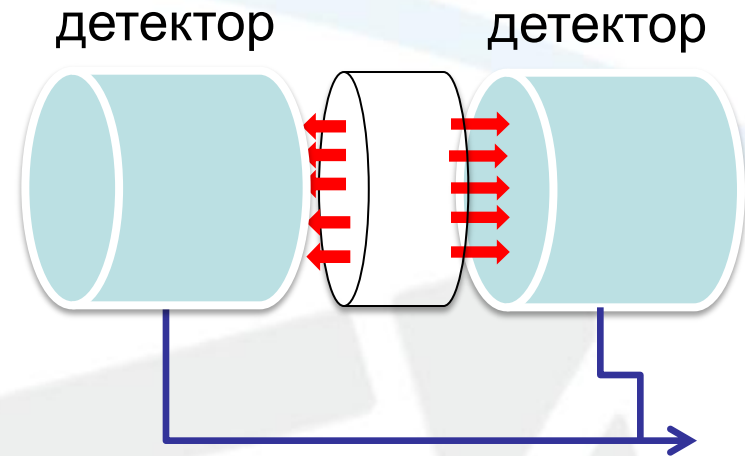
замечательно подходит для анализа руд в  
золотодобыче



1. Подготовка  
образца  
(несколько  
минут)



2. Активация  
образца  
(~ 15-20 сек)



3. Измерение  
(~ 15 секунд)

## Преимущества гамма-активационного анализа

- высокая проникающая способность гамма-радиации;
- благодаря короткому периоду полураспада активированных ядер золота, длительность анализа не превышает 20-30 секунд;
- обеспечивает хорошую чувствительность, точность, селективность, представительность, и производительность анализа;
- результаты анализа практически не зависят от химического состава пробы;
- метод намного экологичнее методов применяемых для анализа золота ранее;
- пробы не разрушаются в процессе анализа;
- метод позволяет проводить анализ сразу нескольких элементов за один цикл измерения;
- метод может быть полностью автоматизирован;
- Метод может являться основой для контроля качества на горнодобывающем руднике и при извлечении других материалов и элементов.

История (1976)

## Гамма-активационный анализ

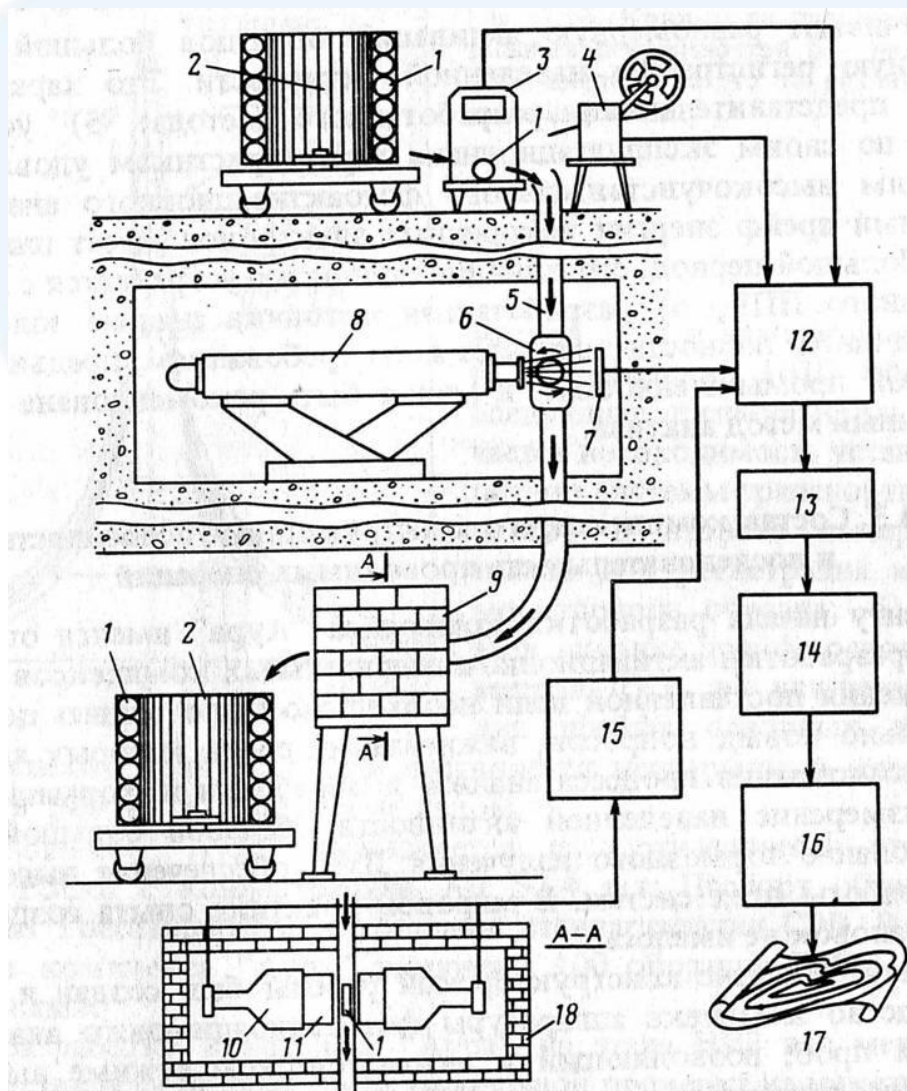


Первая лаборатория гамма-активационного  
анализа в Зарафшане (Узбекистан)

Бурмистенко Ю. Н. «Фотоядерный анализ состава  
вещества», М.: Энергоатомиздат, 1986.- стр.200.

## Гамма-активационный анализ

### Схема системы

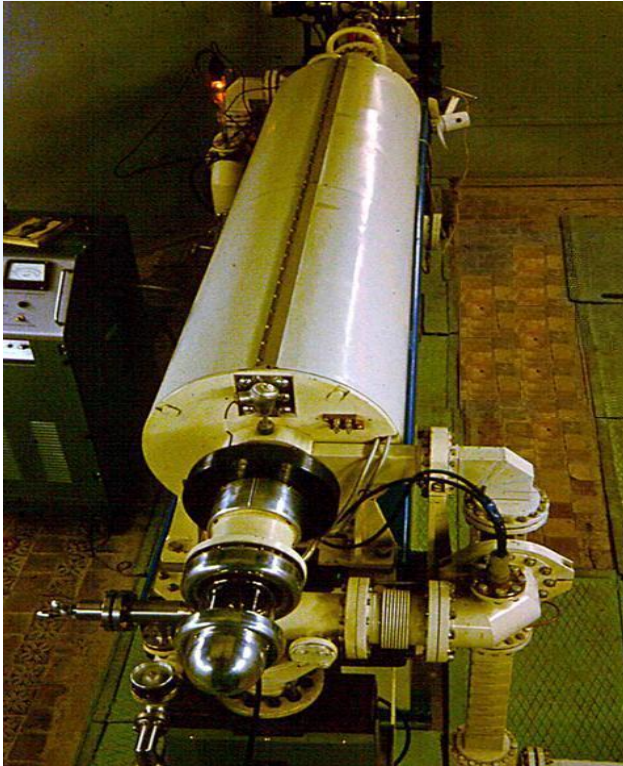


1. Пластиковые контейнеры с пробами
2. Загрузочный барабан
3. Весы
4. Устройство нанесения кодов
5. Канал для движения проб
6. Устройство активации
7. Устройство мониторинга радиоактивности
8. Линейный электронный ускоритель
9. Свинцовая защита детекторов
10. Фотоумножитель
11. NaI(Tl) кристалл
- 12,13,14,16,17 – Устройства сбора и обработки информации
15. Детекторы наведенной активности

Бурмистенко Ю. Н. «Фотоядерный анализ состава вещества», М.: Энергоатомиздат, 1986.- стр.200.

# Гамма-активационный анализ

История (1976)



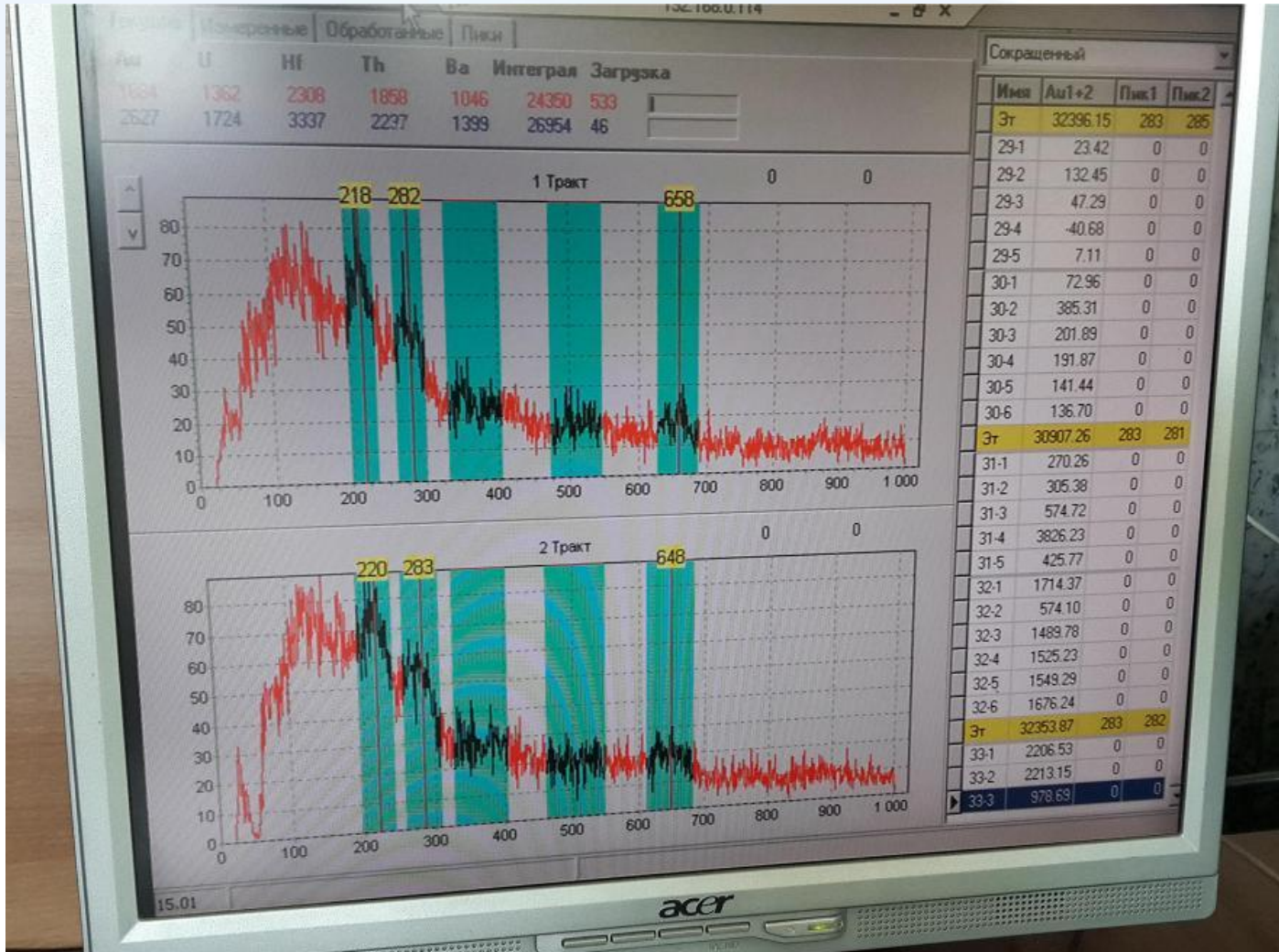
Линейный ускоритель



Сцинтилляционные детекторы

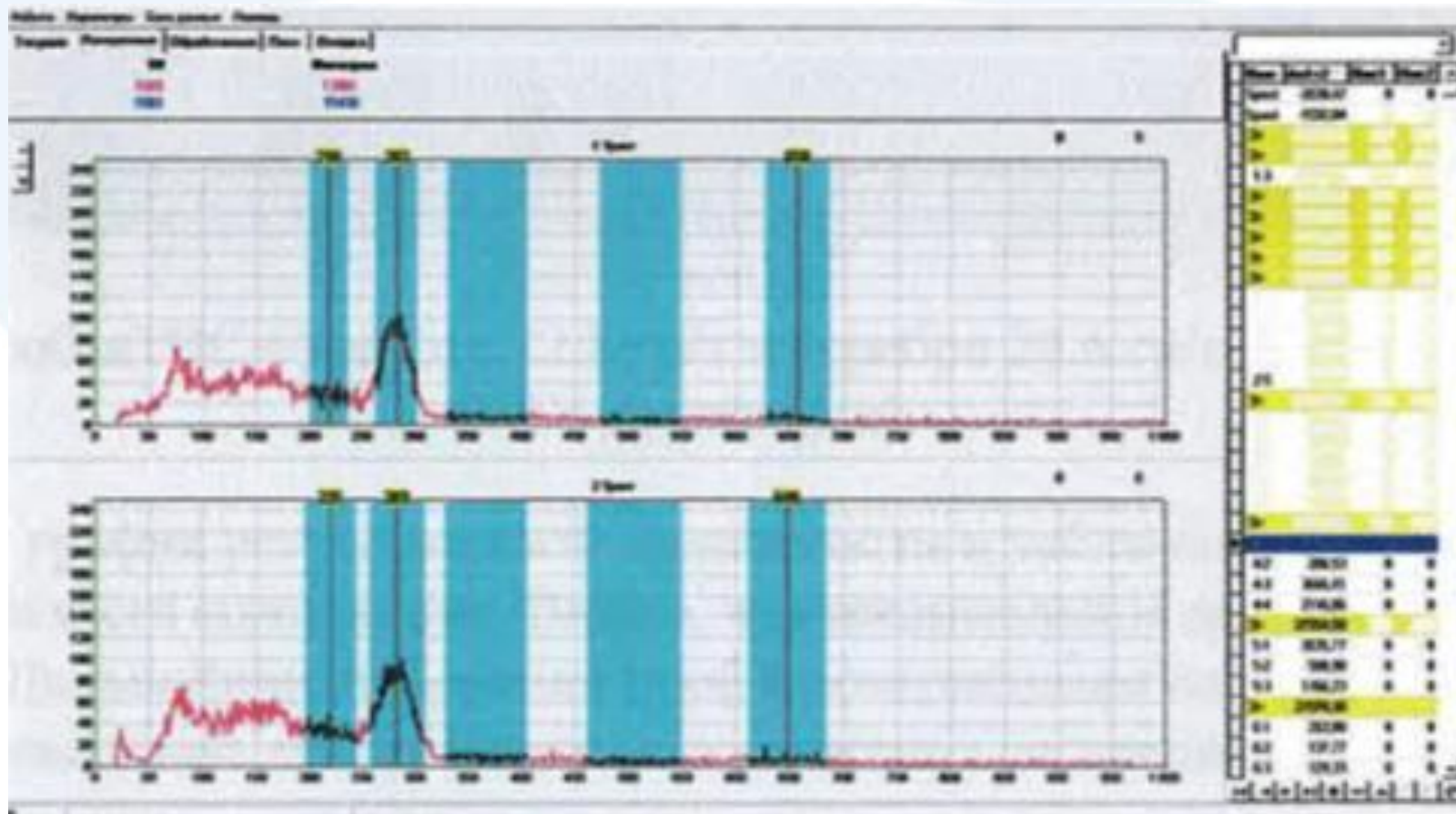
# История (1976)

## NaI спектры





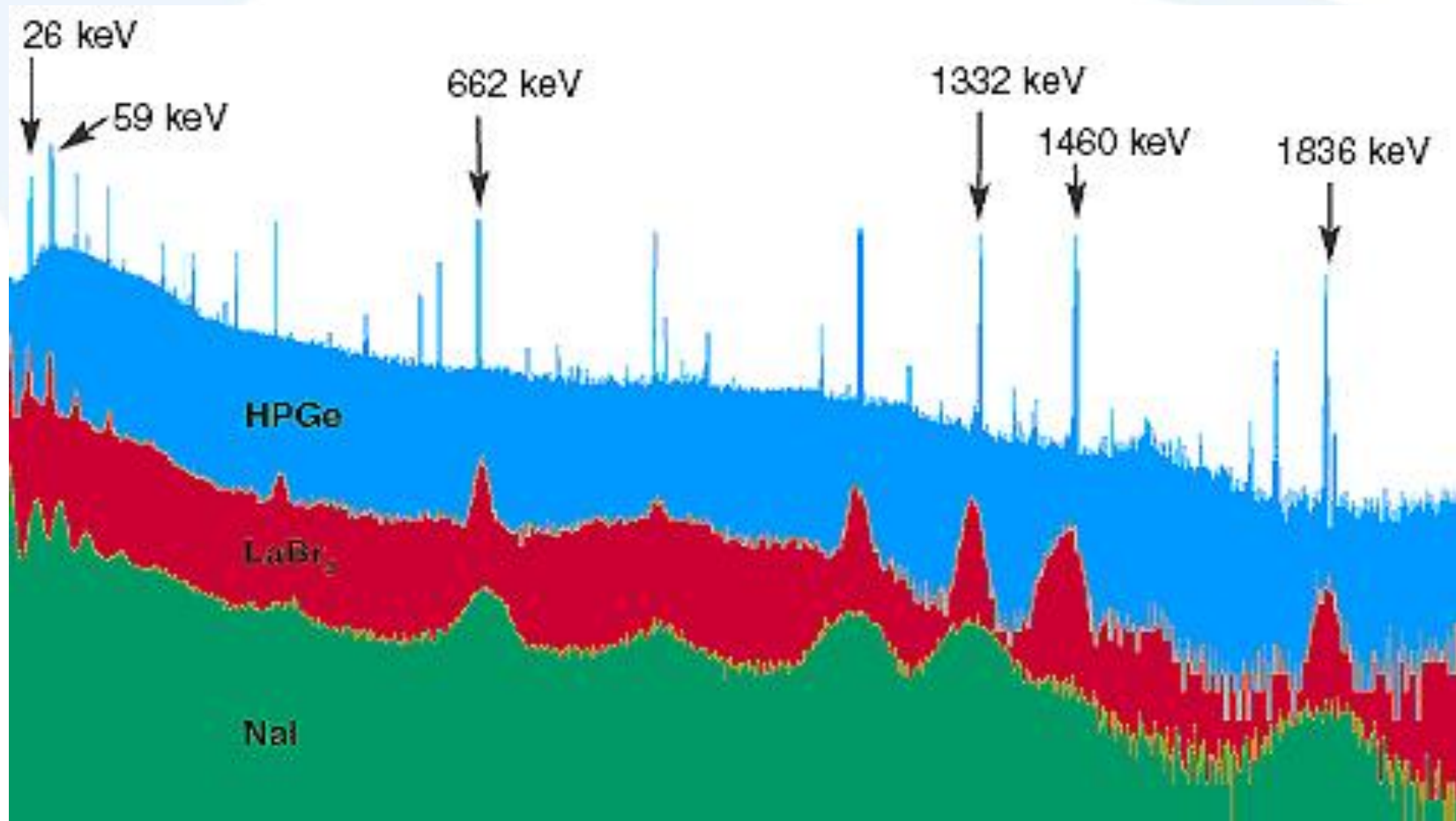
# История (1976) NaI спектры



## Карьер открытой добычи



# Сравнение различных детекторов



# 1-й этап

## Усовершенствование (2016)

Линейный  
ускоритель

ЛУЭ-8-5А

$E=8$  МэВ;  
 $P=5$  кВт



# 1-й этап

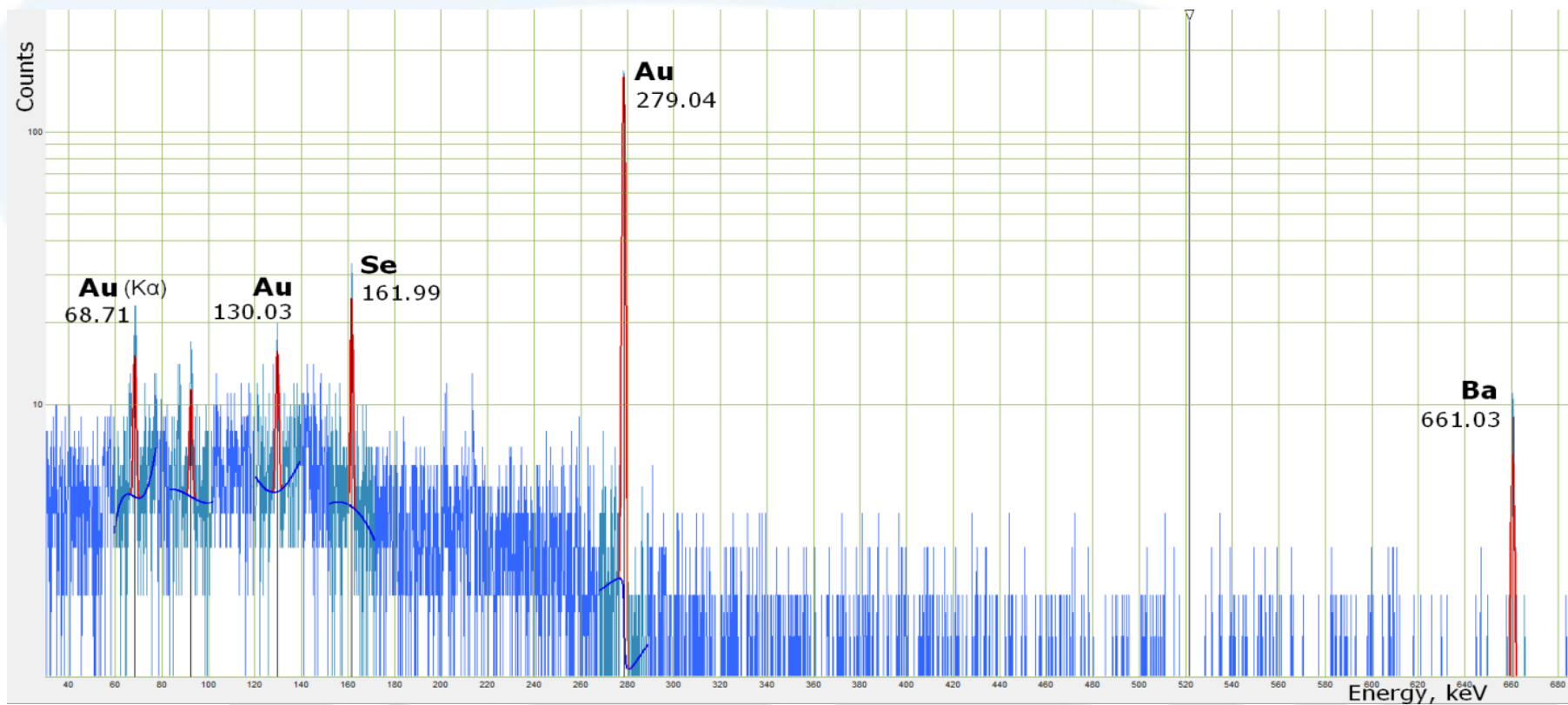
## Усовершенствование (2016)



Измерительная часть гамма-активационной системы: 1 – многокристалльные ОЧГ детекторы; 2 – электроника и спектрометрическая часть; 3 – свинцовая защита для уменьшения радиационного фона от ускорителя.

# 1-й этап

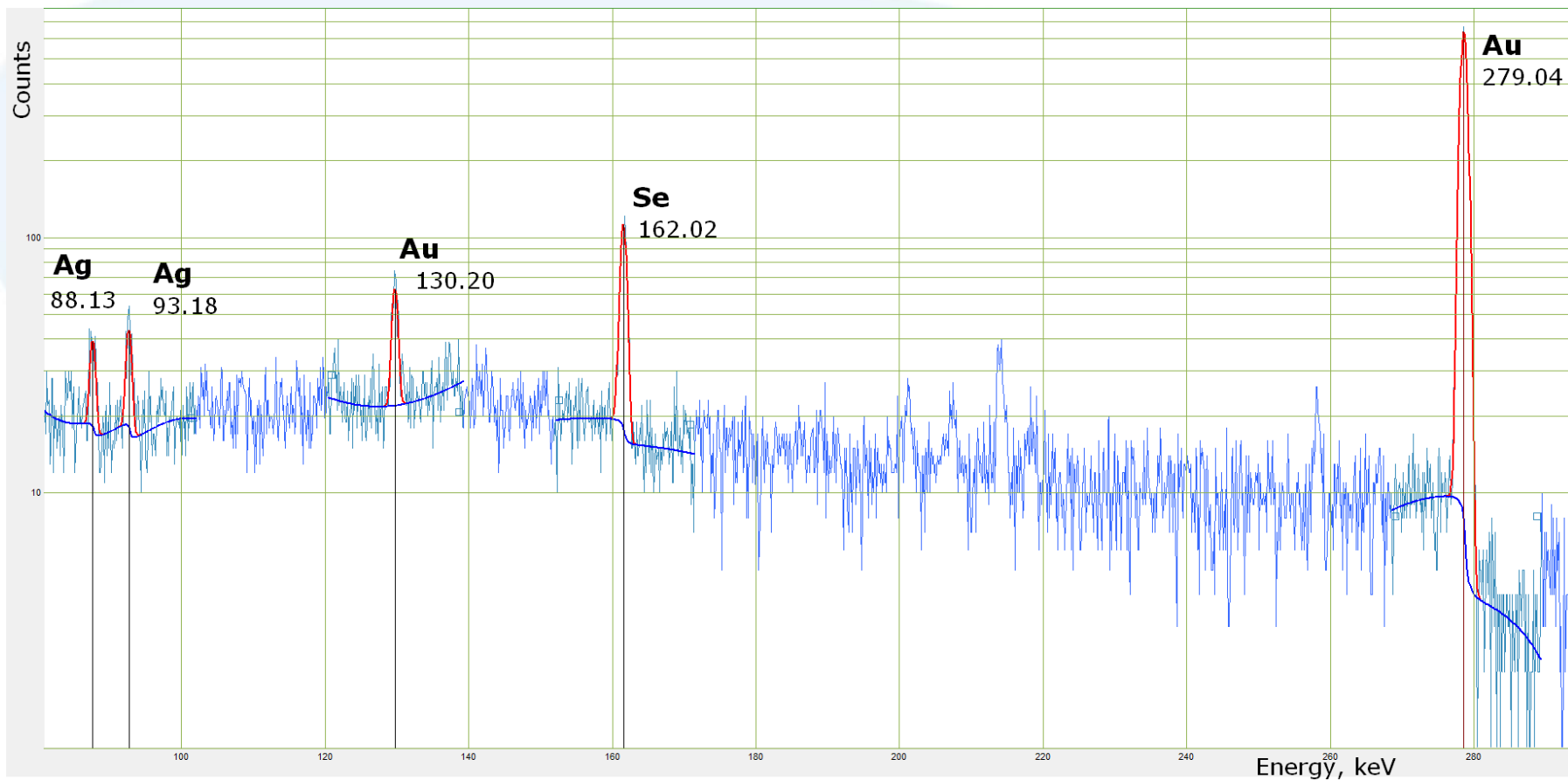
## Усовершенствование (2016)



Спектр образца золота 12.8 г/т.  
Мощность ускорителя 8 kW; время облучения - 10 сек; время измерения - 15 сек.

# 1-й этап

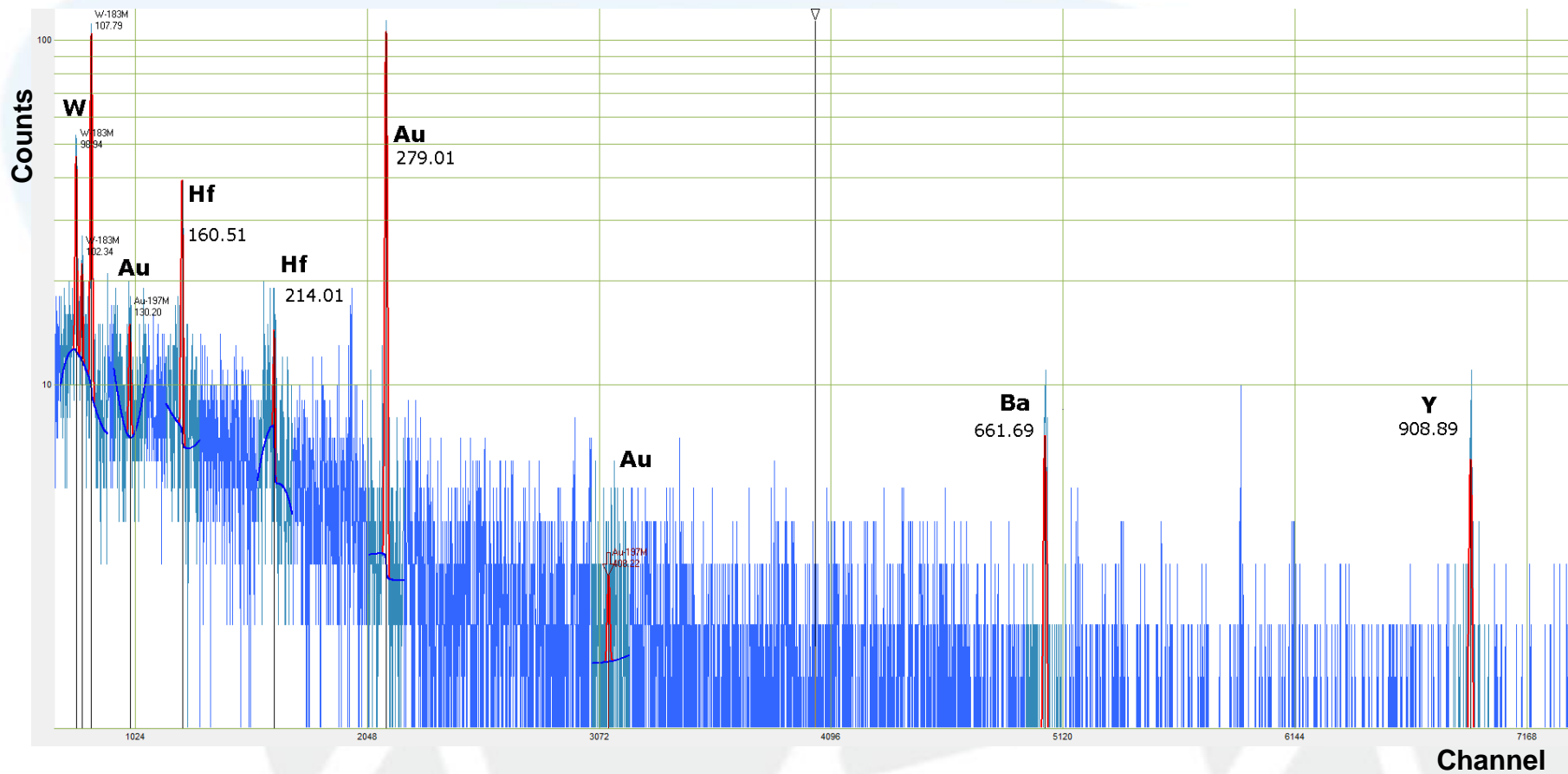
## Усовершенствование (2016)



Спектр образца золота 12.8 г/т и серебра 24.6 г/т.  
Мощность ускорителя 8 kW; время облучения -10 сек; время измерения - 15 сек.

# 1-й этап

## Усовершенствование (2016)

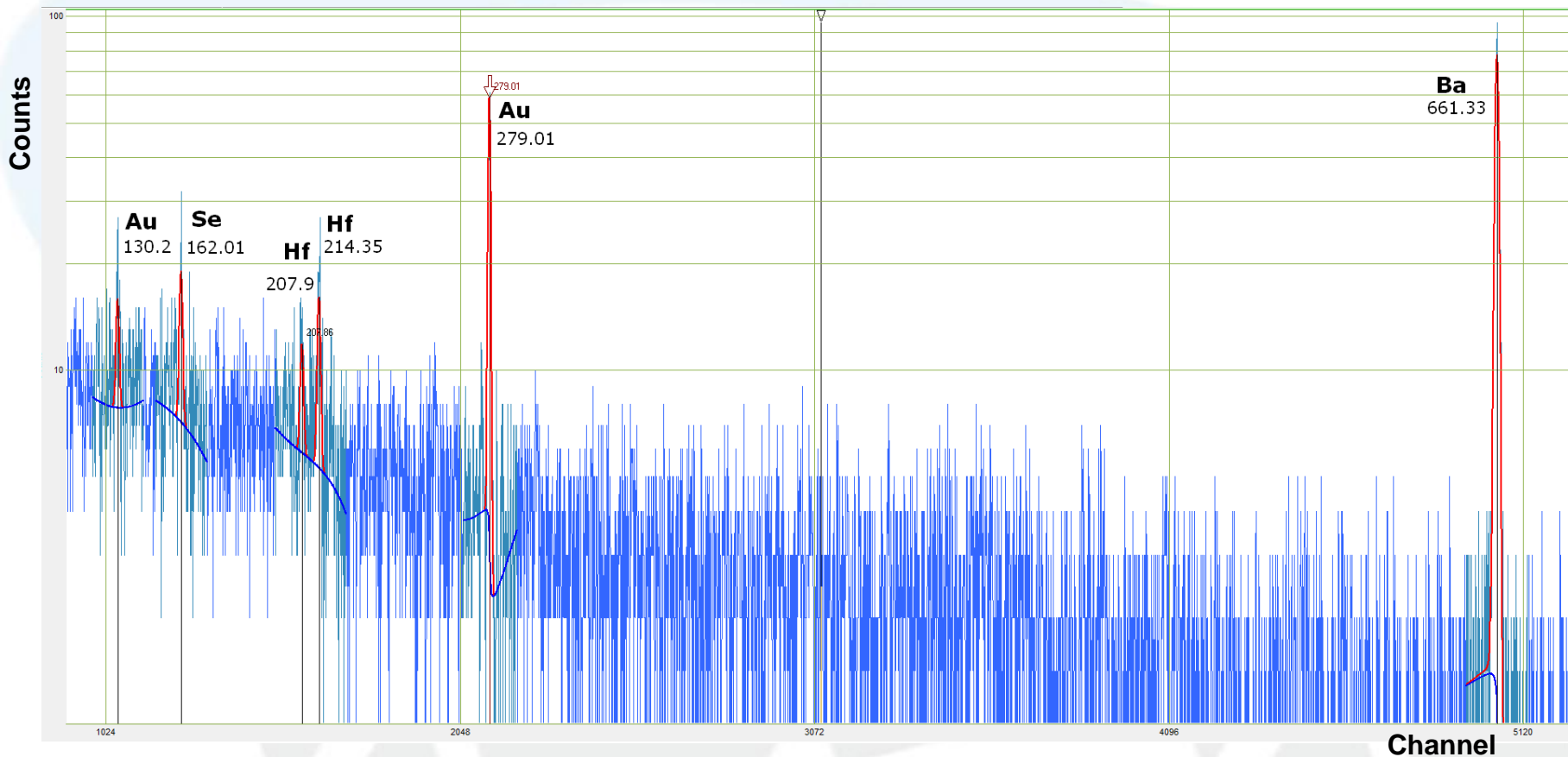


Спектр образца золота 4.6 г/т. Мощность ускорителя 8 kW;  
время облучения -10 сек; время измерения - 15 сек.



# 1-й этап

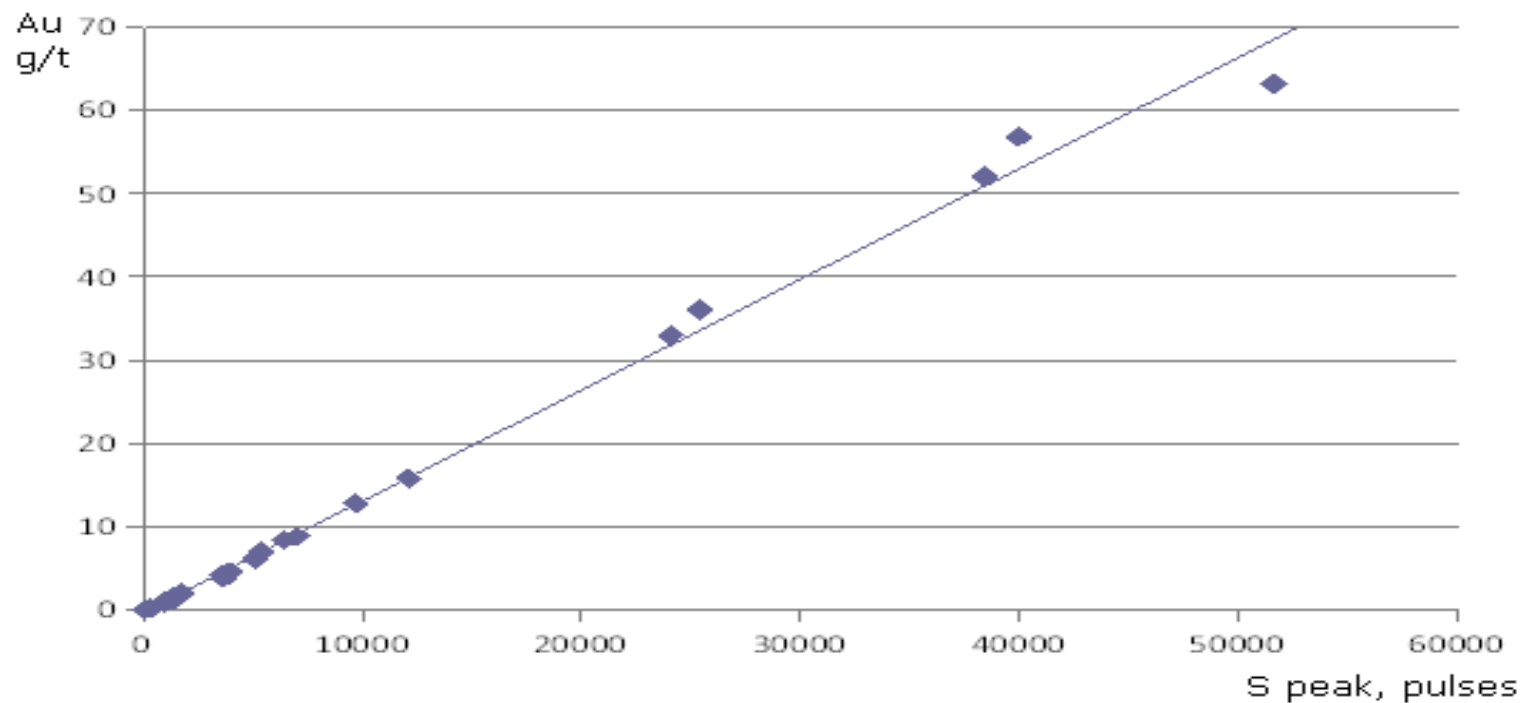
## Усовершенствование (2016)



Спектр образца золота 1.1 г/т. Мощность ускорителя 8 kW;  
время облучения -10 сек; время измерения - 15 сек.

# 1-й этап

## Усовершенствование (2016)



Регрессионная зависимость площади пика от содержания золота в образцах.  
 $y = 0.0013x - 0.2401$

# 1-й этап



## Усовершенствование (2016)

### Заключения исследования

- Результаты исследования указали на возможность определять концентрацию многих элементов в рудных образцах: Au, Ag, As, Ba, Br, Cd, Er, Ge, Hf, Hg, In, Ir, Lu, Pb, Pt, Rh, Se, Sn, Th, U, Y, W;
- Предел обнаружения для золота за 15 секунд измерения составлял примерно 0.08-0.20 г/т в зависимости от примесей мешающих элементов;
- Чувствительность регистрации на 1 г/т за 15 секунд измерения составляла примерно от 500 до 650 импульсов;
- Система продемонстрировала возможность анализировать до 120 проб в час;
- На основании оценок, инвестиции в систему гамма-активационного анализа могут окупиться менее чем 2 года.

## 2-й этап

Усовершенствование (2017)



## 2-й этап

### Усовершенствование (2017)



## 2-й этап

Усовершенствование (2017)



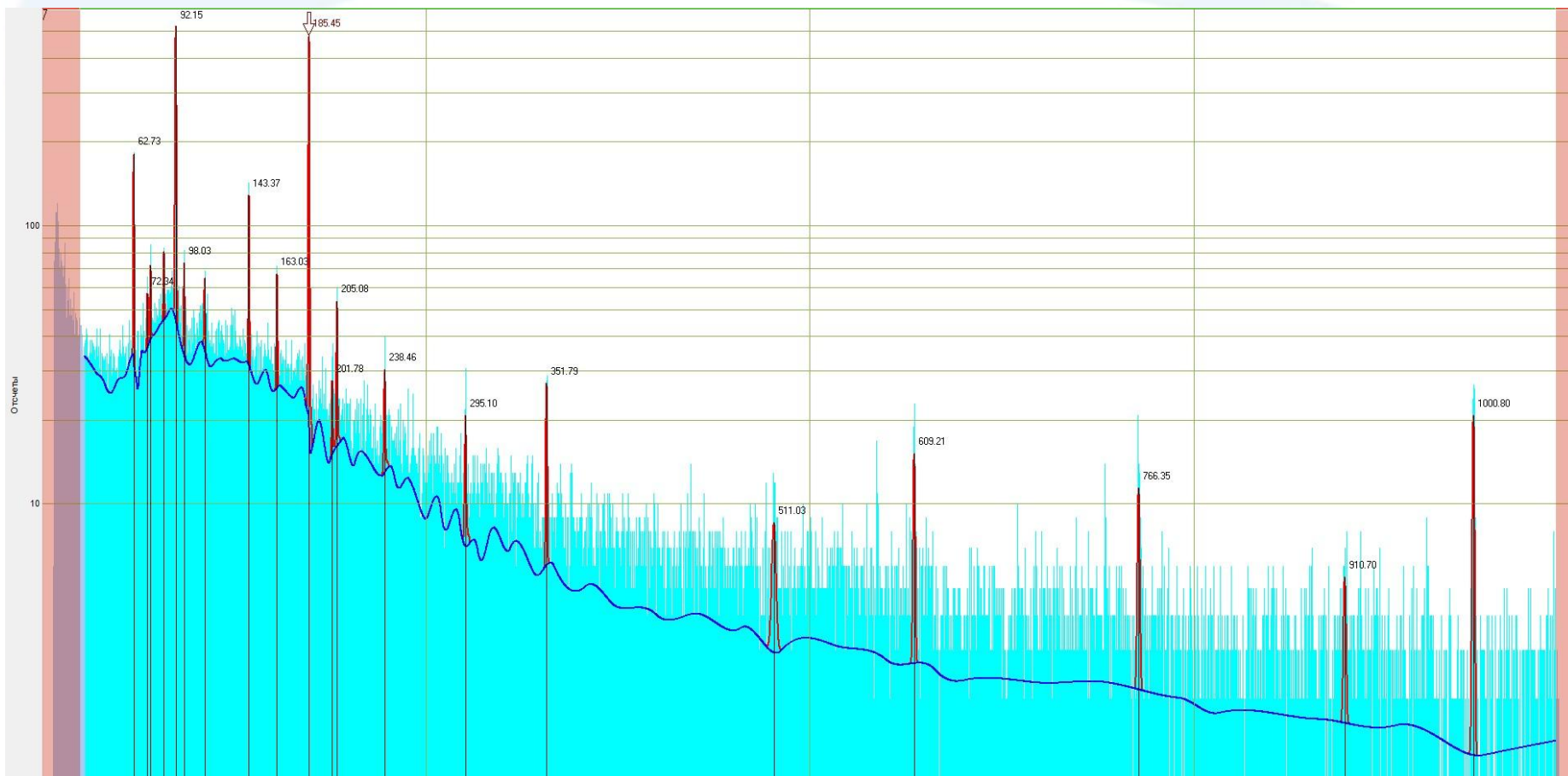
## 2-й этап

### Окно программа проведения расчетов



## 2-й этап

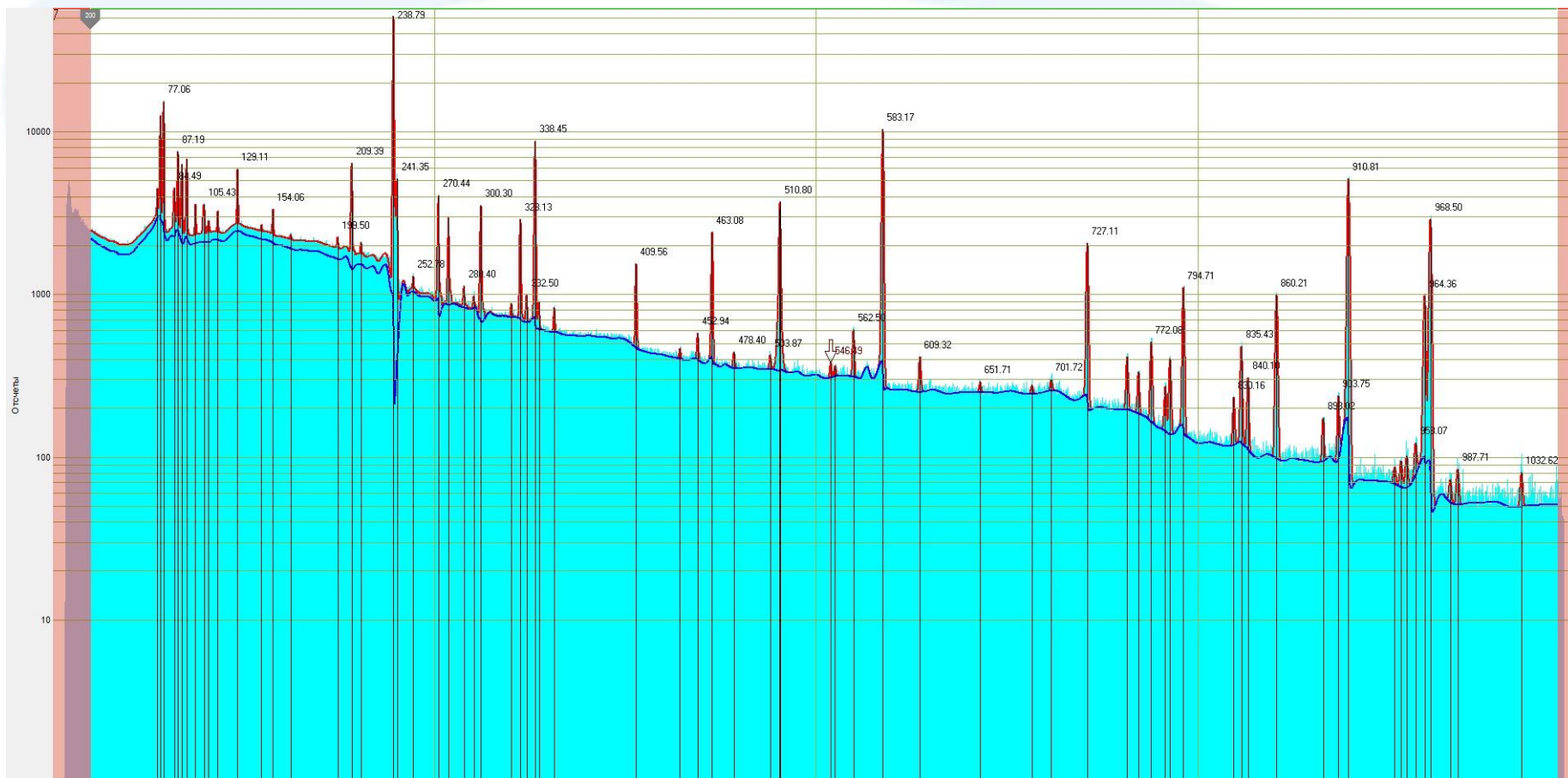
### Спектр руды с содержанием U-238 (~15-20%)





## 2-й этап

### Спектр руды с содержанием Th



## “АУРА-6”

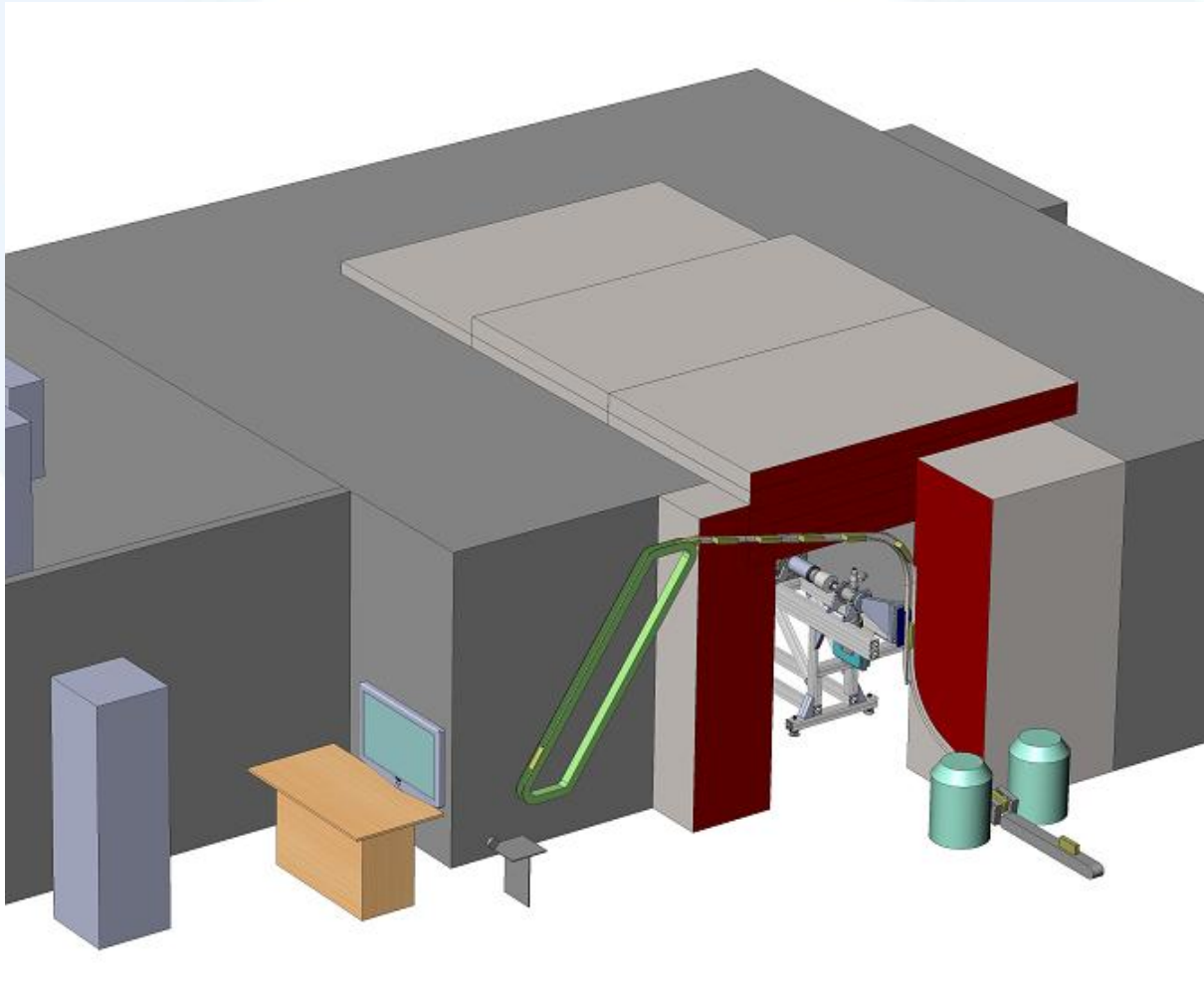
**Индустриальная система гамма-активационного анализа  
для для анализа золотосодержащих руд – стандартное  
решение.**



Source: YamanaGold

## “АУРА-6”

**Индустриальная система гамма-активационного анализа  
для для анализа золотосодержащих руд**



## “АУРА-6”

Индустриальная система гамма-активационного анализа для анализа золотосодержащих руд – стандартное решение.



Вся система может быть размещена в небольшом бетонном здании. Например, в таком, как показано на рисунке (высота около 2,3 м)

## “АУРА-6”

Индустриальная система гамма-активационного анализа для анализа золотосодержащих руд – стандартное решение.



Линейный ускоритель УЭЛР-8-10А  
(LINAC, 8 MeV, 10 kW)



Клистрон-модулятор и источник электронов

## “АУРА-6”

Индустриальная система гамма-активационного анализа для анализа золотосодержащих руд – стандартное решение.



Измерительная часть гамма-активационной системы: 1 – многокристалльные ОЧГ детекторы; 2 – электроника и спектрометрическая часть; 3 – свинцовая защита для уменьшения радиационного фона от ускорителя.

## “АУРА-6”

Индустриальная система гамма-активационного анализа для анализа золотосодержащих руд – стандартное решение.



Параметры	Значение
Измеряемые элементы (в зависимости от конфигурации системы, состава руды):	Au, Ag, As, Ba, Br, Cd, Er, Ge, Hf, Hg, In, Ir, Lu, Pb, Pt, Rh, Se, Sn, Th, U, Y, W,
Вес пробы, граммы	500-1000
Источник возбуждения	Линейный ускоритель (7-9 MeV)
Производительность системы анализа золота (анализируемые пробы в час)	120
Минимальный предел обнаружения (для золота), г/т	(0,07 - 0,15)

