

Метод меченых нейтронов для обнаружения алмазов в кимберлите

М.Г.Сапожников

ООО «Диамант»
г.Дубна



Проблема:

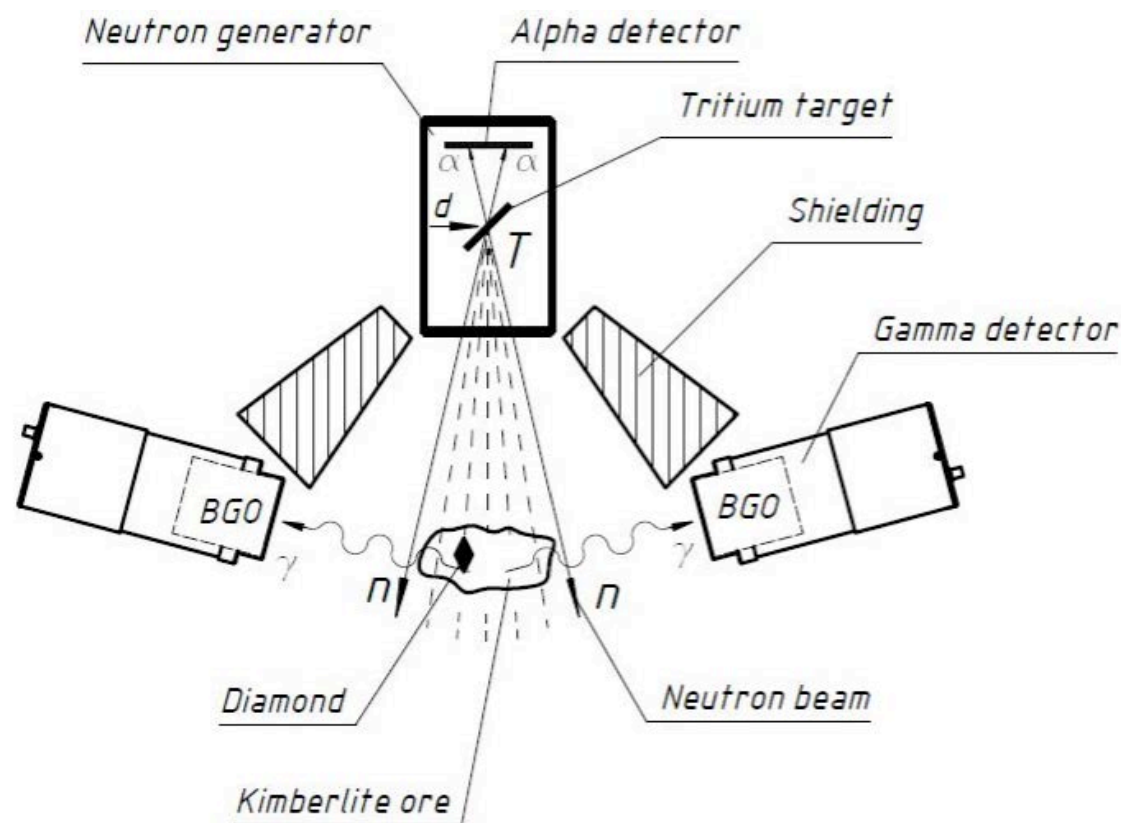
- Все современные технологии обнаружения алмаза подразумевают, что алмаз должен быть выделен из кимберлитовой руды - раскрыт.
- Для этого проводится дезинтеграция руды в дробилках или валковых прессах с последовательным измельчением в мельницах мокрого самоизмельчения до размера 0,2 мм.
- Проблема - при дроблении кусков кимберлита могут быть разрушены наиболее ценные крупные алмазы, массой от 5 карат и выше.



Пример

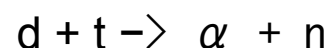
Алмаз 69 карат. Изначально его масса была ≈ 100 карат (ясно видна линия скола). Потеря ценности ≈ 1.3 млн.\$

Решение проблемы: метод меченых нейтронов

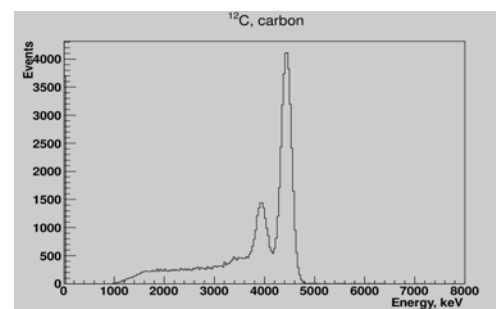


Метод меченых нейтронов (ММН) позволяет обнаружить алмаз в кимберлитовой породе без ее разрушения.

Порода облучается быстрыми нейтронами 14 МэВ от реакции

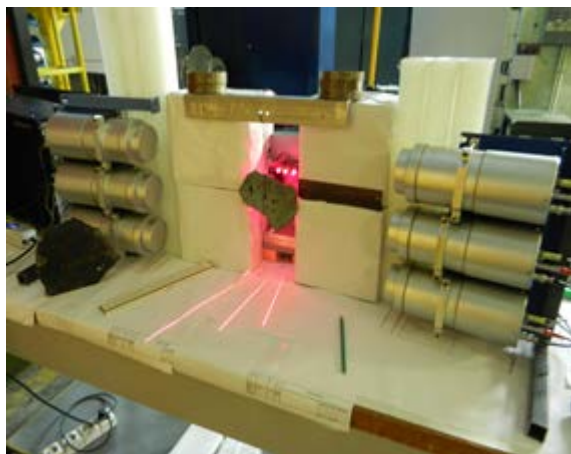


По гамма-линии 4.44 МэВ анализируется распределение углерода в породе.



- Признак алмаза - обнаружение повышенного локального содержания углерода.
- Определяется место расположения алмаза в образце кимберлита.

Обнаружение алмазов



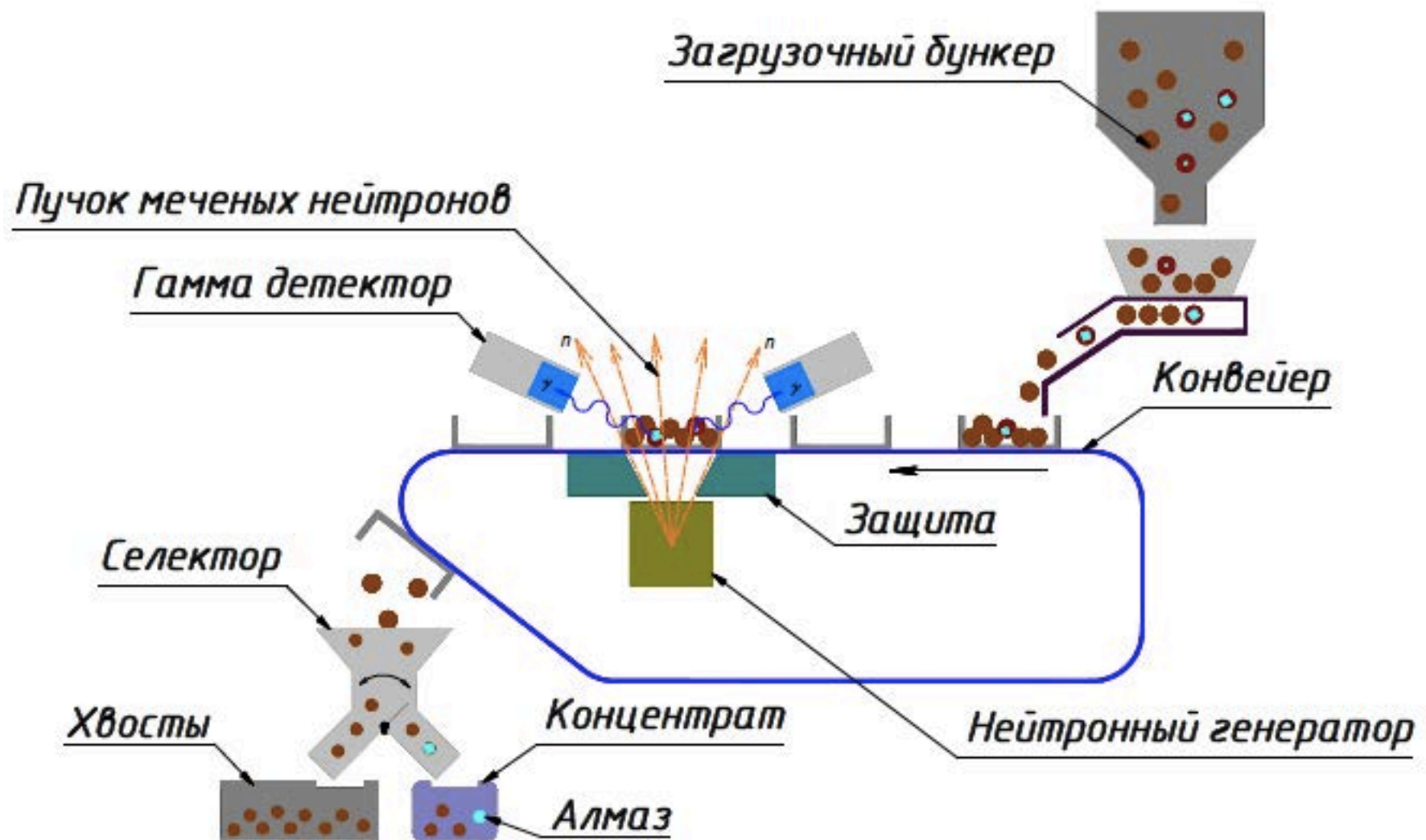
По заказу АК «АЛРОСА» (ПАО) выполнена научно-исследовательская работа, в ходе которой:

- ✓ Разработана методика обнаружения алмаза в кимберлите методом ММН.
- ✓ Создан лабораторный макет, на котором проведены исследования 50 кг образцов кимберлита.
- ✓ **Обнаружены реальные алмазы в образце кимберлита.**

В одном из 33 образцов было зафиксировано локальное превышение сигнала от углерода. Дополнительное обследование этого образца в г. Мирный позволило обнаружить в нем два неоднородных включения алмазов, размером до 7 мм, состоящих из мелких частиц от 1 до 2 мм

V.Alexakhin et al., Detection of Diamonds in Kimberlite by the Tagged Neutron Method, Nuclear Instruments and Methods A785 (2015) 9.

Схема установки по обнаружению алмазов



Установка на Поморском ОК



**Измерительный
модуль**

Испытание прототипа установки ММН проходили в июле-сентябре 2015 г. на кимберлитовой руде месторождения им. М.В. Ломоносова в условиях обогатительного комплекса Поморской ГРЭ ОАО «Севералмаз».

Установка ММН



Гамма-детекторы

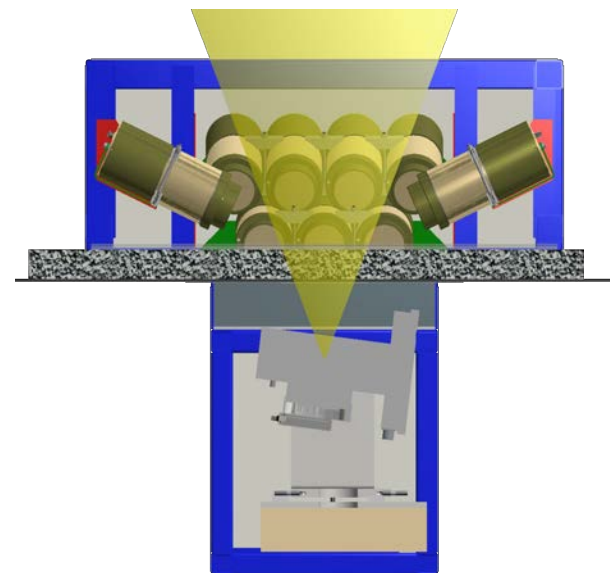


Нейтронный генератор

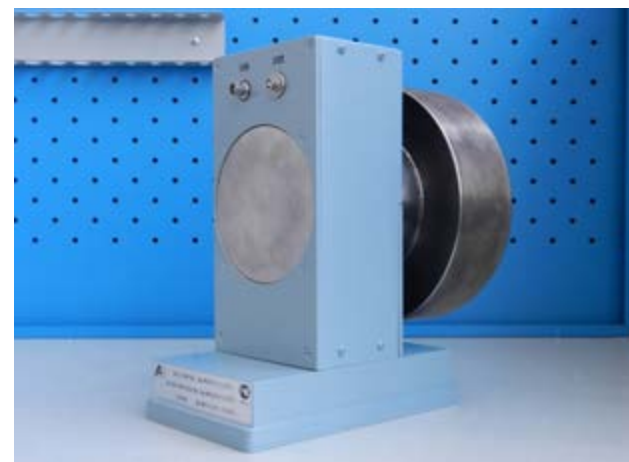
Нейтронный модуль

- ❑ Уникальный нейтронный генератор облучает зону досмотра 192 пучками меченых нейтронов. Разработан специально для данного проекта ВНИИА им.Н.Л.Духова (Москва).
- ❑ Излучение регистрирует система из 14 гамма-детекторов
- ❑ Альфа-детектор на 192 канала (обычно – 9 каналов).
- ❑ Зона досмотра в 3,5 раз больше, чем в стандартном генераторе.

Нейтронный модуль

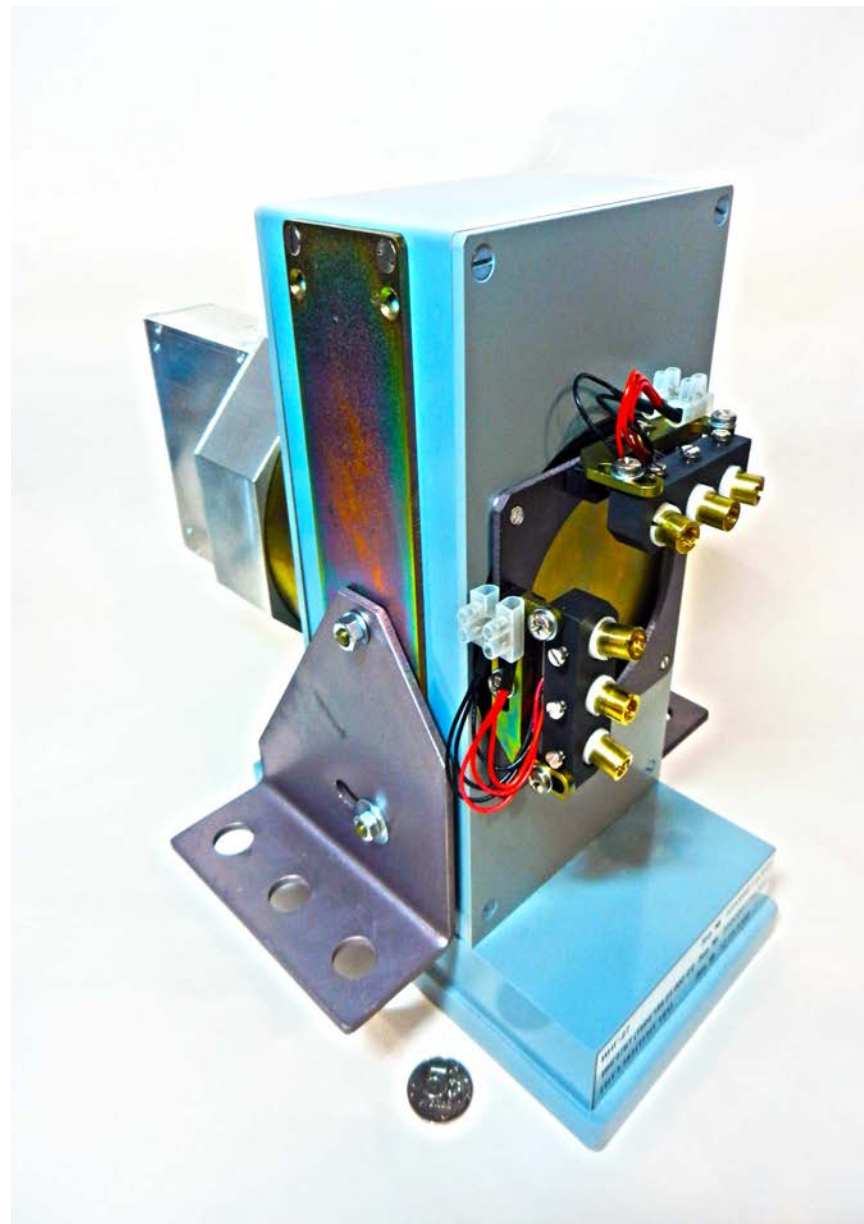


Нейтронный генератор





Нейтронный генератор ЛНФ
ОИЯИ (Дубна), 6 этажей



Нейтронный генератор ВНИИА
им.Н.Л.Духова, 300 мм

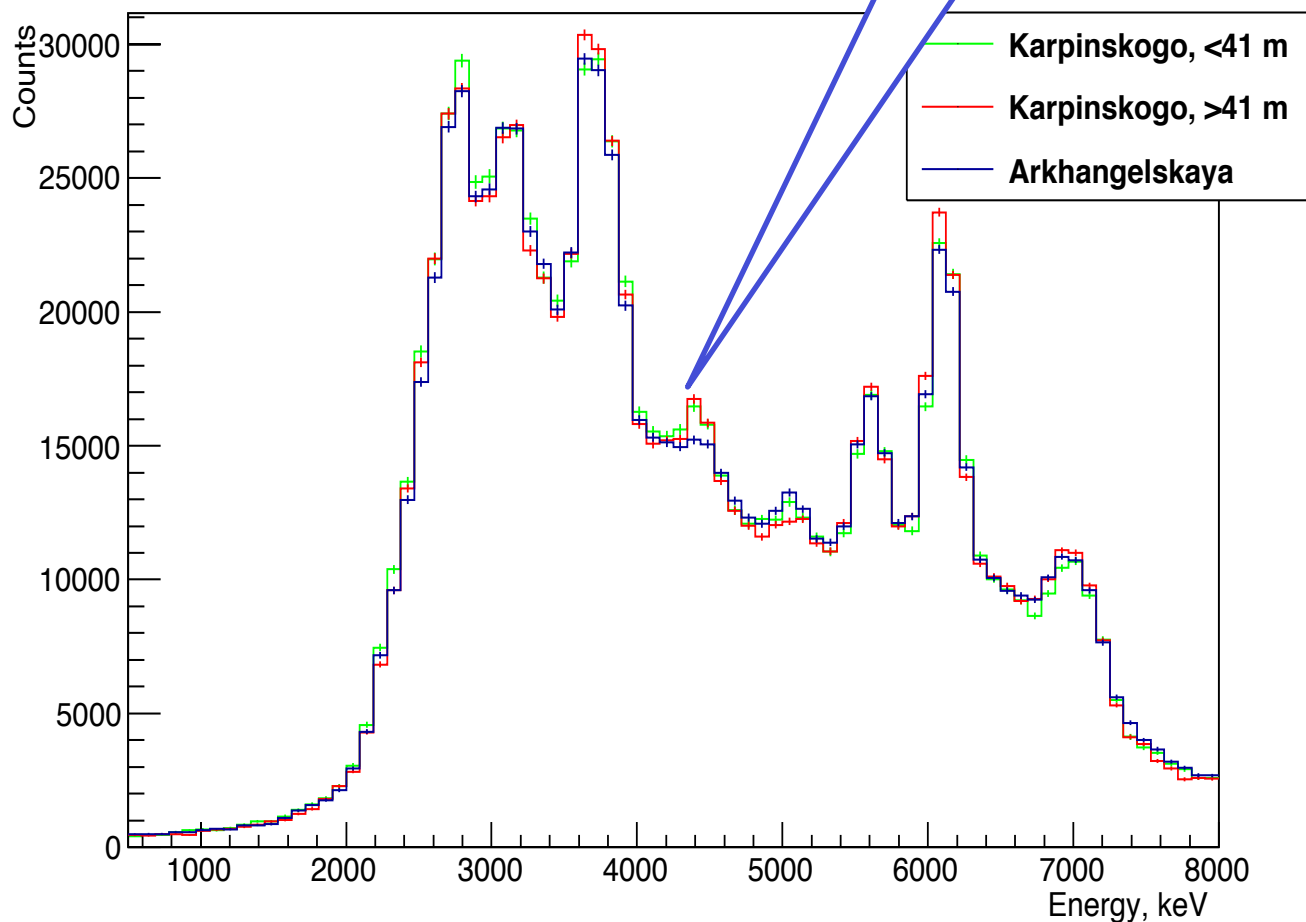
Керновый материал



Просмотрено 1036 кг кернового материала :

- ❑ Проба К6062/26-14 из трубки Карпинского с глубины 35-41,5 м.
- ❑ Проба К6062/26-15 из трубки Карпинского с глубины 41,5-48,5 м.
- ❑ Проба Э102/-18-30 из трубки Архангельская с глубины 124,3-130,0 м.
- ❑ Проба Э102/-18-20 из трубки Архангельская с глубины 66.1–74.1 м
- ❑ Проба Э102/-18-26 из трубки Архангельская с глубины 104,1-109,6 м.
- ❑ Проба Э116/10-24 из трубки Архангельская с глубины 85,0-91.0 м

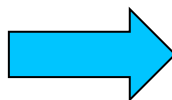
Спектры кернов



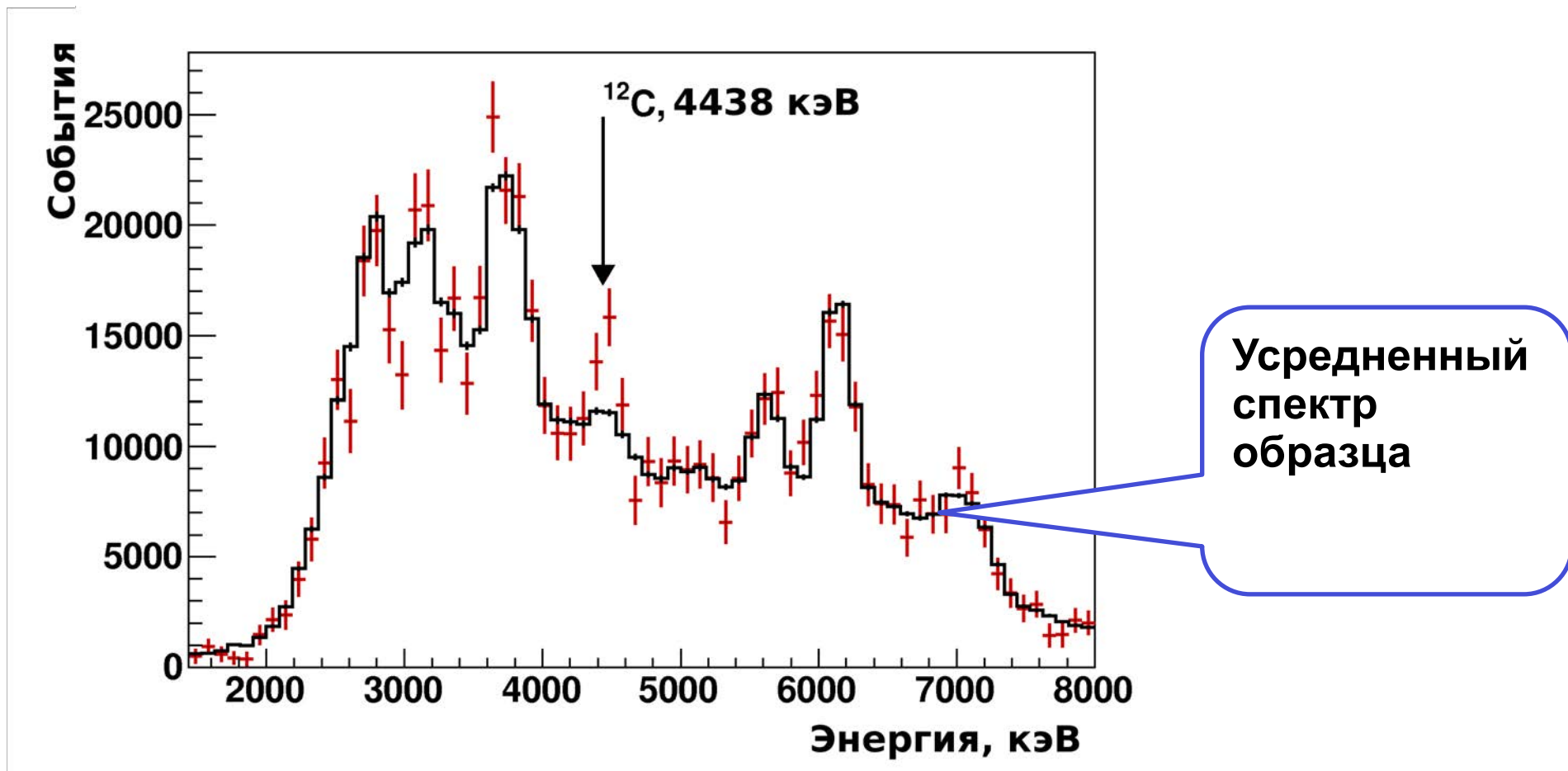
Керны из трубки им. Карпинского и Архангельская

Методика проверки

Имитаторы алмаза 6,8,10,12 мм
были вставлены внутрь
камней различной крупности
-50+20, -40+20, -30+10 мм
и перемешаны с основной
рудой



Пример сигнала имитатора алмаза



Имитатор алмаза 8 мм в руде -50+20 мм

Анализ по классам крупности

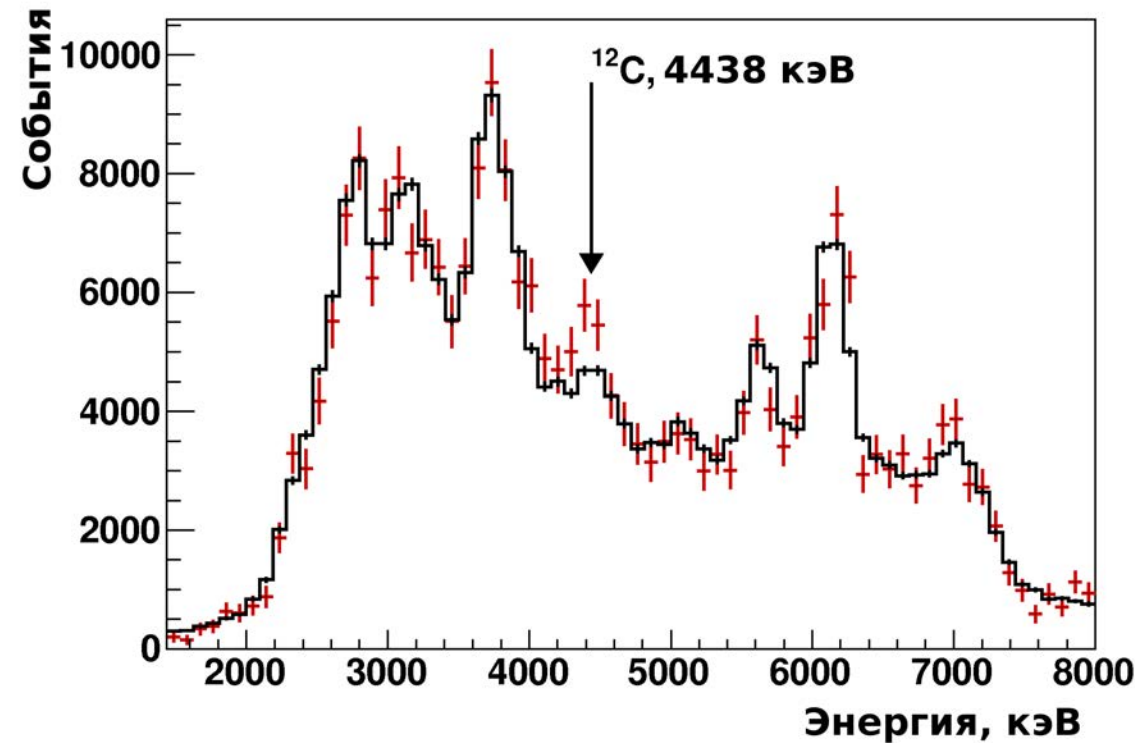


Проверено обнаружение алмазов в руде разной крупности:

- **-150+100 мм**
- **-50+20 мм**
- **-40+20 мм**
- **-25+10 мм**

Образец руды
100x100x70 мм с
имитатором алмаза
12 мм

Возможность анализа руды большой крупности



- Образец руды -160x90x90 мм.
- Отношение крупности алмаза к крупности руды 1:10

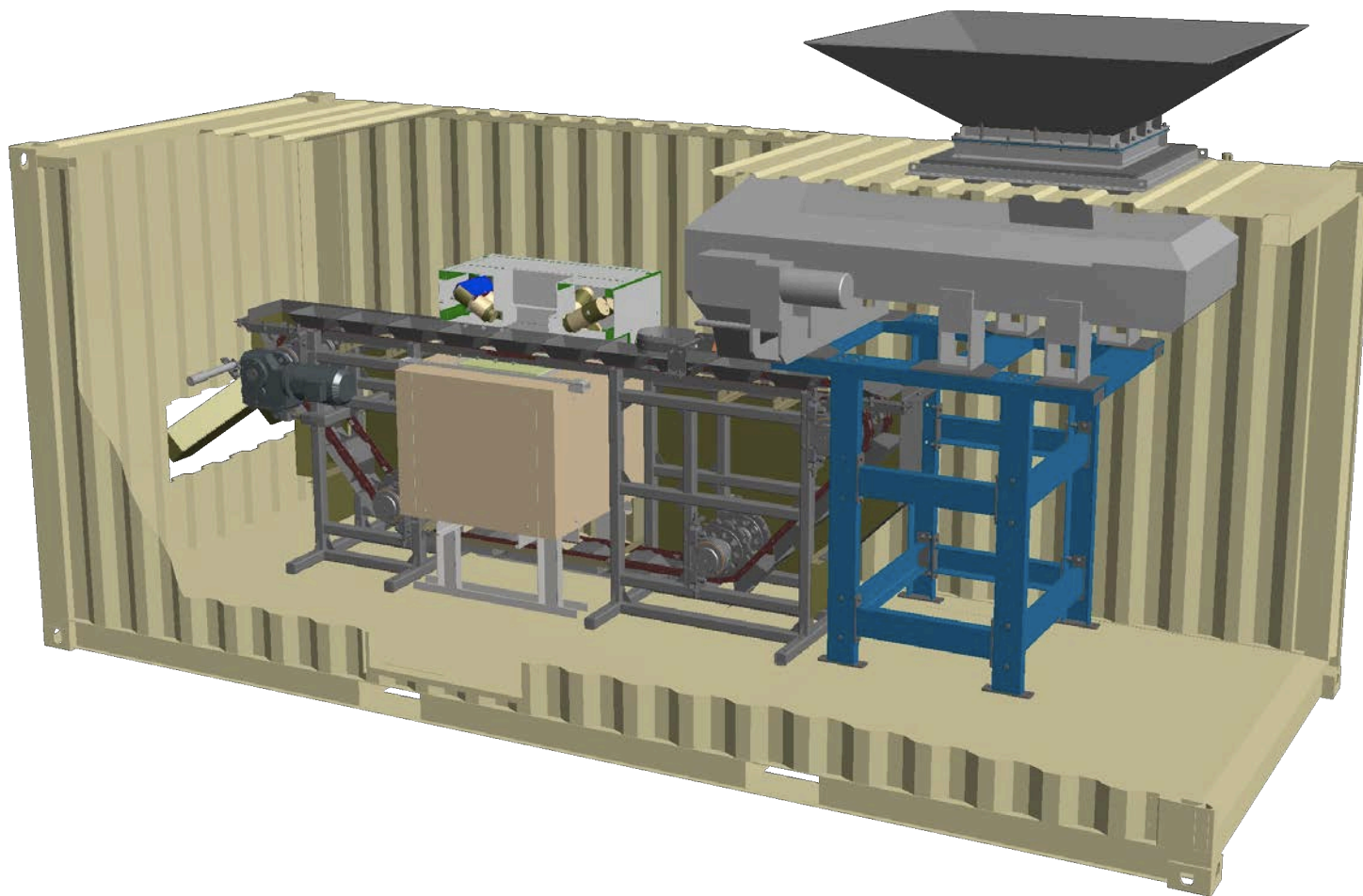
ИТОГИ И ВЫВОДЫ

- ❑ Прототип опытной установки испытан в полевых условиях (июль-сентябрь 2015 г).
- ❑ Все системы нейтронного модуля работали штатно.
 - ❑ Нейтронный генератор отработал 218 ч.
- ❑ Энергопотребление установки – 500 Вт.
- ❑ Радиационные условия:
 - На месте оператора во время работы – 0.11 мкЗв/час
 - Образец керна после окончания облучения – 0.17 мкЗв/час
 - В транспортном контейнере при выключенном НГ – 0.11-0.17 мкЗв/час
 - Естественный фон на Поморской ГРЭ – 0.09-0.11 мкЗв/час

ИТОГИ И ВЫВОДЫ

- ❑ Определены основные характеристики прототипа:
 - ❑ Максимальная крупность руды -150+100 мм
 - ❑ Оптимальная крупность руды - 50+20 мм
 - ❑ Производительность для руды оптимальной крупности – 102 кг/час
 - ❑ Выход в концентрат – 3 %
 - ❑ Выход полезного компонента – 97 %

Опытная установка для сухого обогащения кимберлита



❑ Производительность опытной установки – 1 т/час

Перспективы

- ❑ Разработка нейтронного сепаратора по методу меченых нейтронов включена в программу Инновационного развития АК «АЛРОСА».
- ❑ Финансирование создания опытной установки осуществляется при поддержке фонда «Сколково».
- ❑ Испытания опытной установки будут проведены в ноябре 2016 на Ломоносовском ГОК ПАО «Севералмаз».
- ❑ Разрабатывается проект промышленного сепаратора по методу меченых нейтронов с производительностью до 30 т/час.

Перспективы метода меченых нейтронов

- ❑ Поиск алмаза в кимберлите = поиск ^{12}C внутри объекта
- ❑ Детектор взрывчатых и наркотических веществ = поиск C, N, O внутри объекта
- ❑ Разработана методика определения концентраций 24 элементов:

Na, Mg, C,N,O, F, Al, Si, P, S, Cl,K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Zr, Pb, Sn, Bi

- ❑ Разработан детектор для определения концентраций этих элементов в полевых условиях