

Метод меченых нейтронов для обнаружения алмазов в кимберлите

М.Г.Сапожников

ООО «Диамант»
г.Дубна



ДИАМАНТ

Проблема:

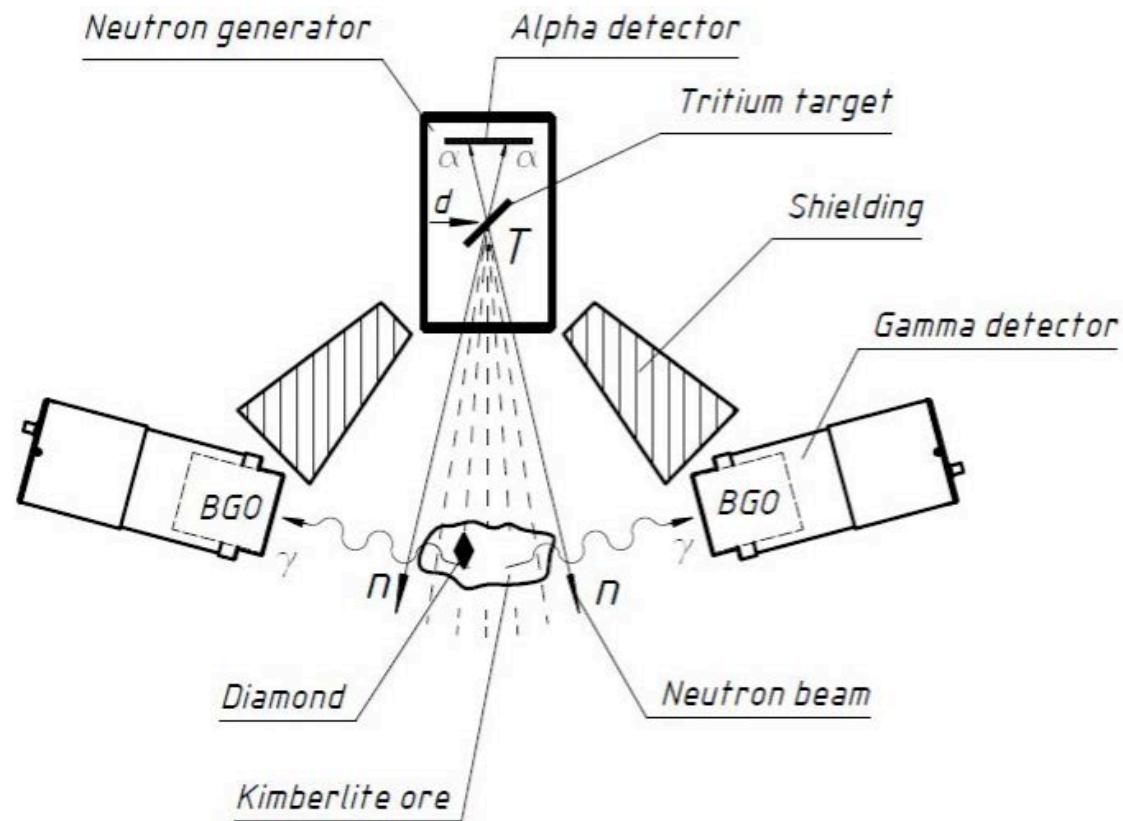
- Все современные технологии обнаружения алмаза подразумевают, что алмаз должен быть выделен из кимберлитовой руды - раскрыт.
- Для этого проводится дезинтеграция руды в дробилках или валковых прессах с последовательным измельчением в мельницах мокрого самоизмельчения до размера 0,2 мм.
- Проблема -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



Пример

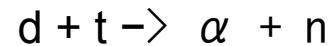
Алмаз 69 карат. Изначально его масса была \approx 100 карат (ясно видна линия скола). Потеря ценности \approx 1.3 млн. \$

Решение проблемы: метод меченых нейтронов

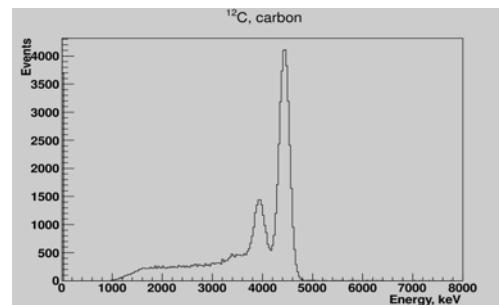


Метод меченых нейтронов (ММН) позволяет обнаружить алмаз в кимберлитовой породе без ее разрушения.

Порода облучается быстрыми нейтронами 14 МэВ от реакции

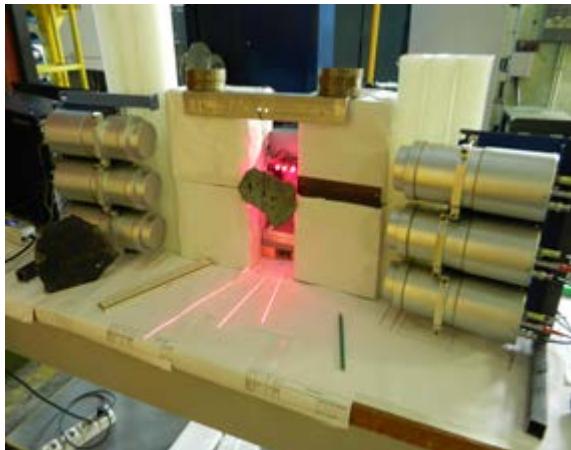


По гамма-линии 4.44 МэВ анализируется распределение углерода в породе.



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

Обнаружение алмазов



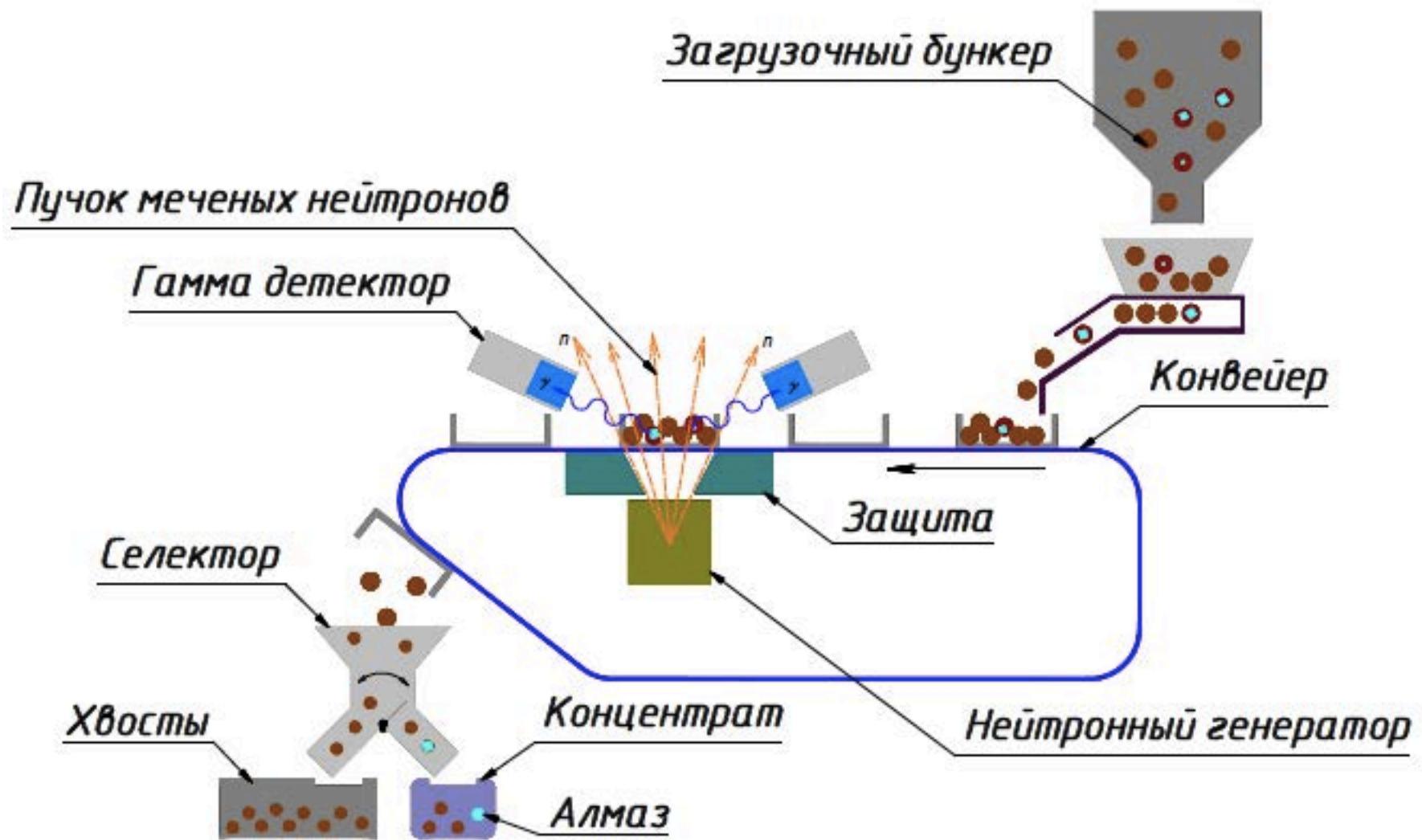
По заказу АК «АЛРОСА» (ПАО) выполнена научно-исследовательская работа, в ходе которой:

- ✓ Разработана методика обнаружения алмаза в кимберлите методом МНН.
- ✓ 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



Нейтронный
генератор



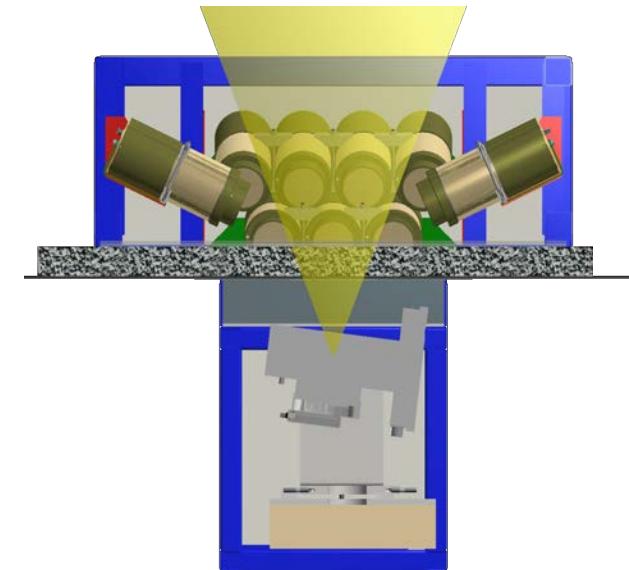
Гамма-детекторы



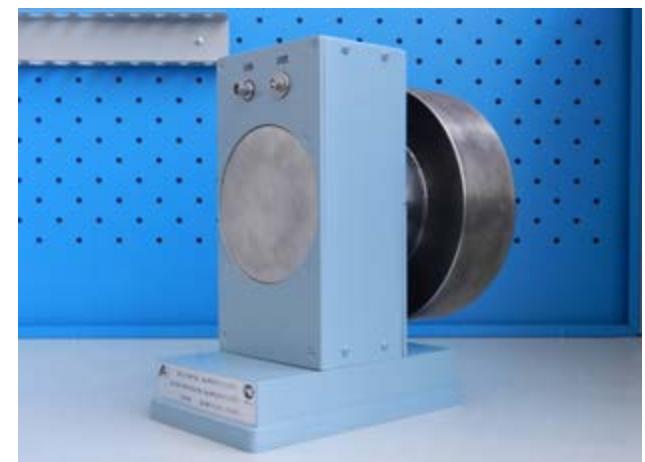
Нейтронный модуль

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.

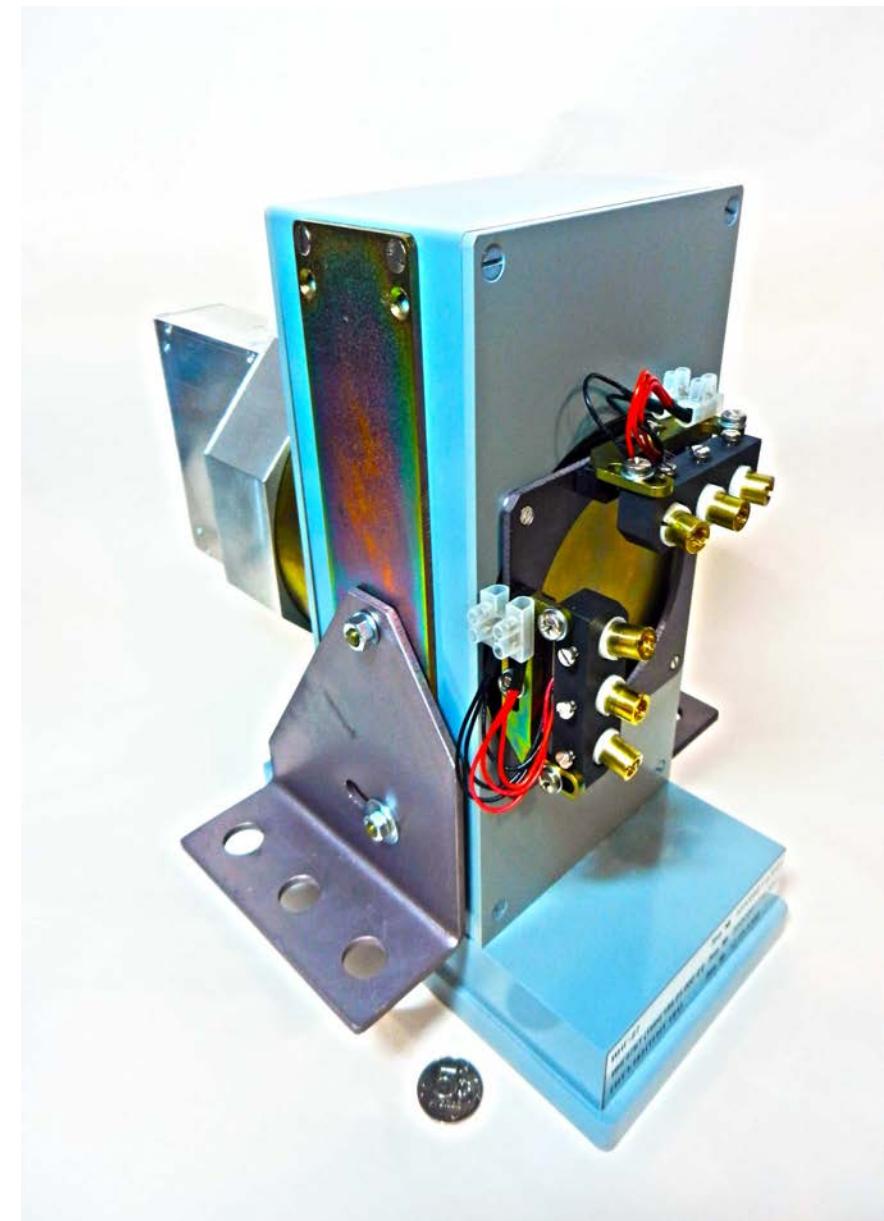


Нейтронный генератор





Нейтронный генератор ЛНФ
ОИЯИ (Дубна), 6 этажей



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

Керновый материал

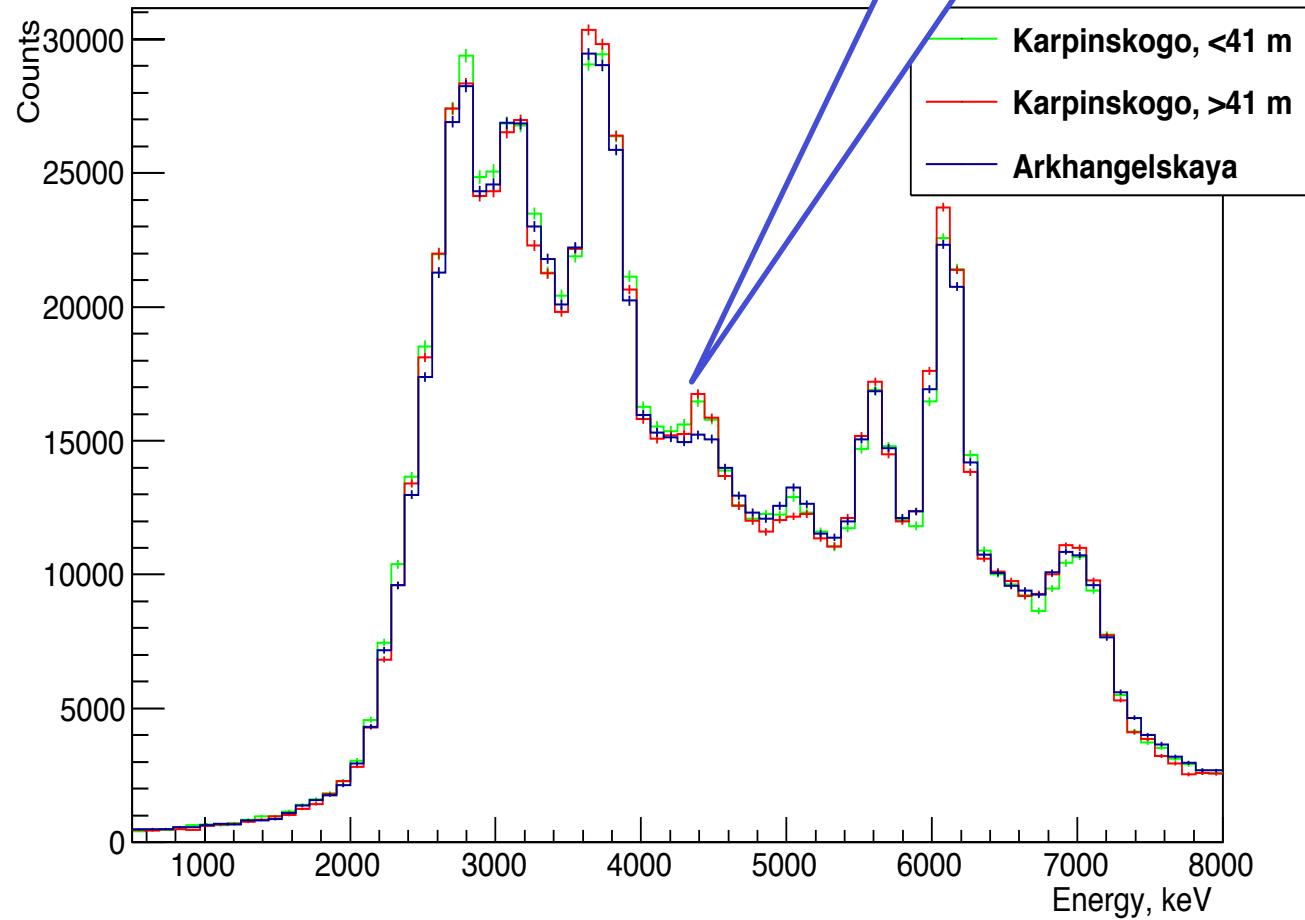


Просмотрено 1036 кг кернового материала :

- 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

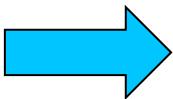
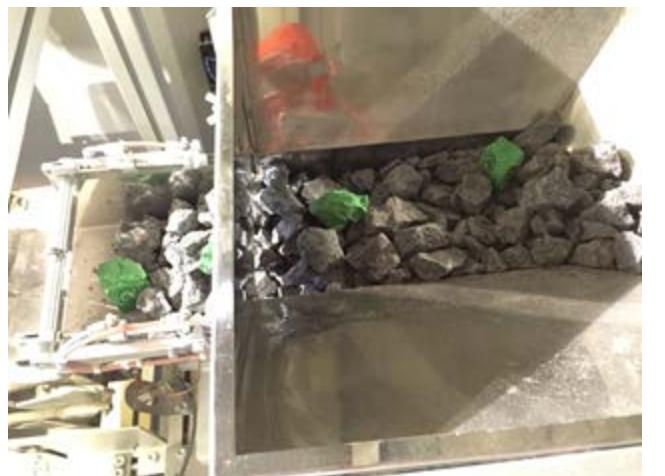
Пик углерода



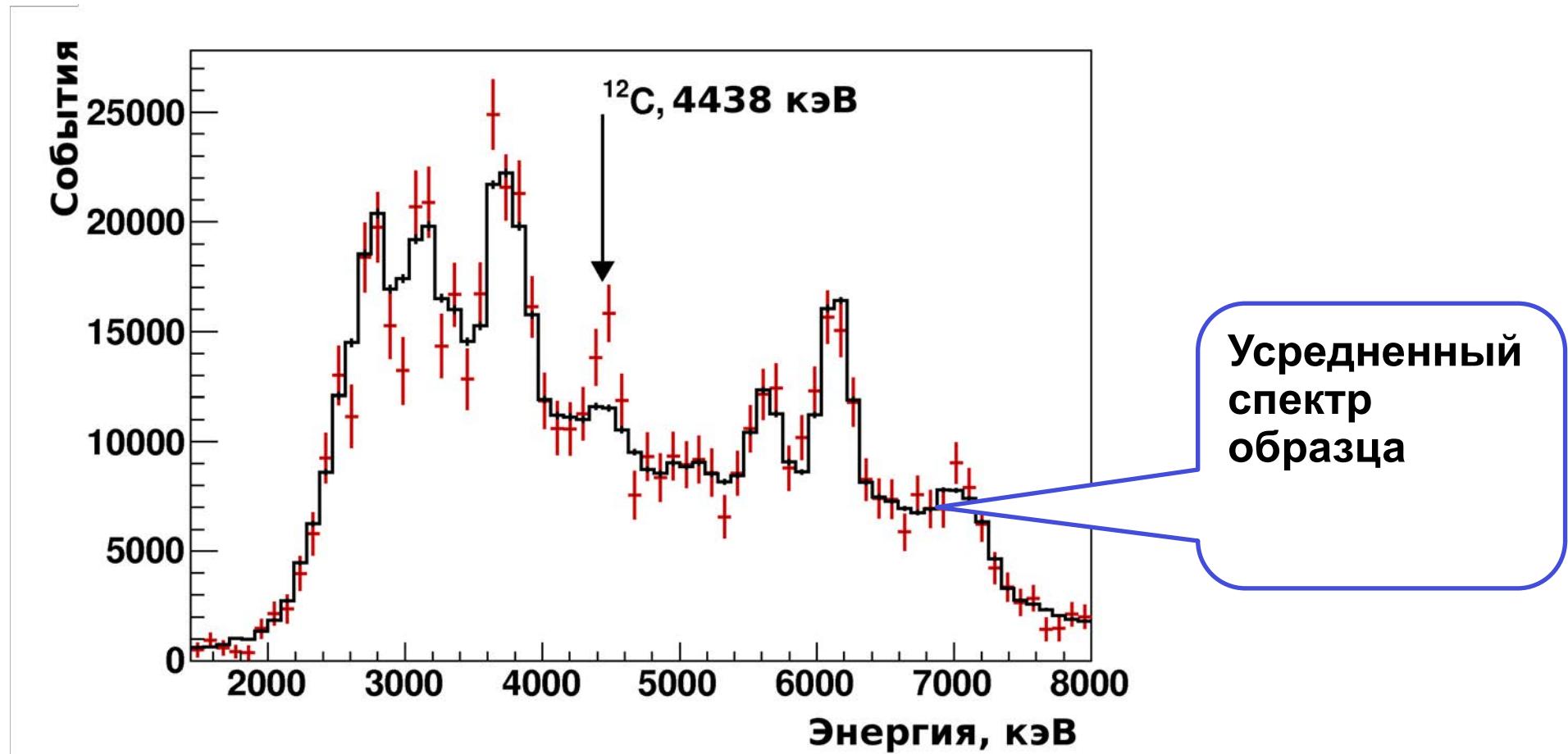
Керны из трубки им. Карпинского и Архангельская

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



Анализ по классам крупности

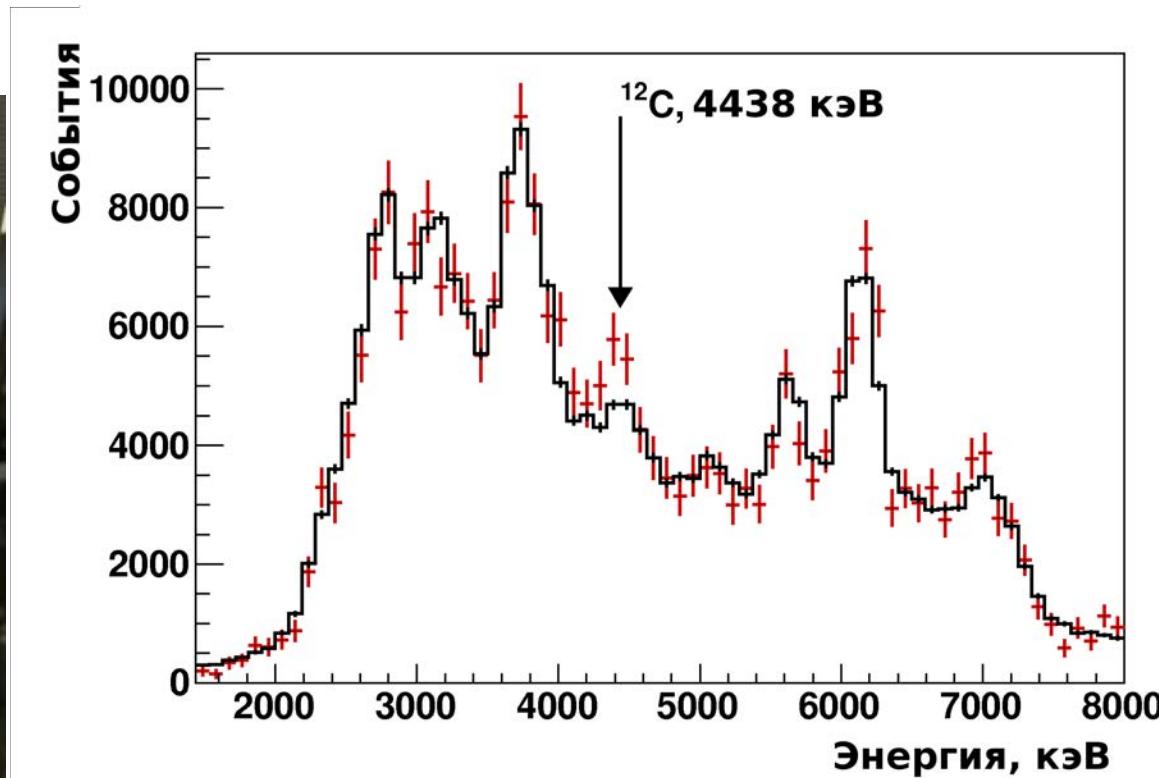


Проверено обнаружение алмазов в руде разной крупности:

- **-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

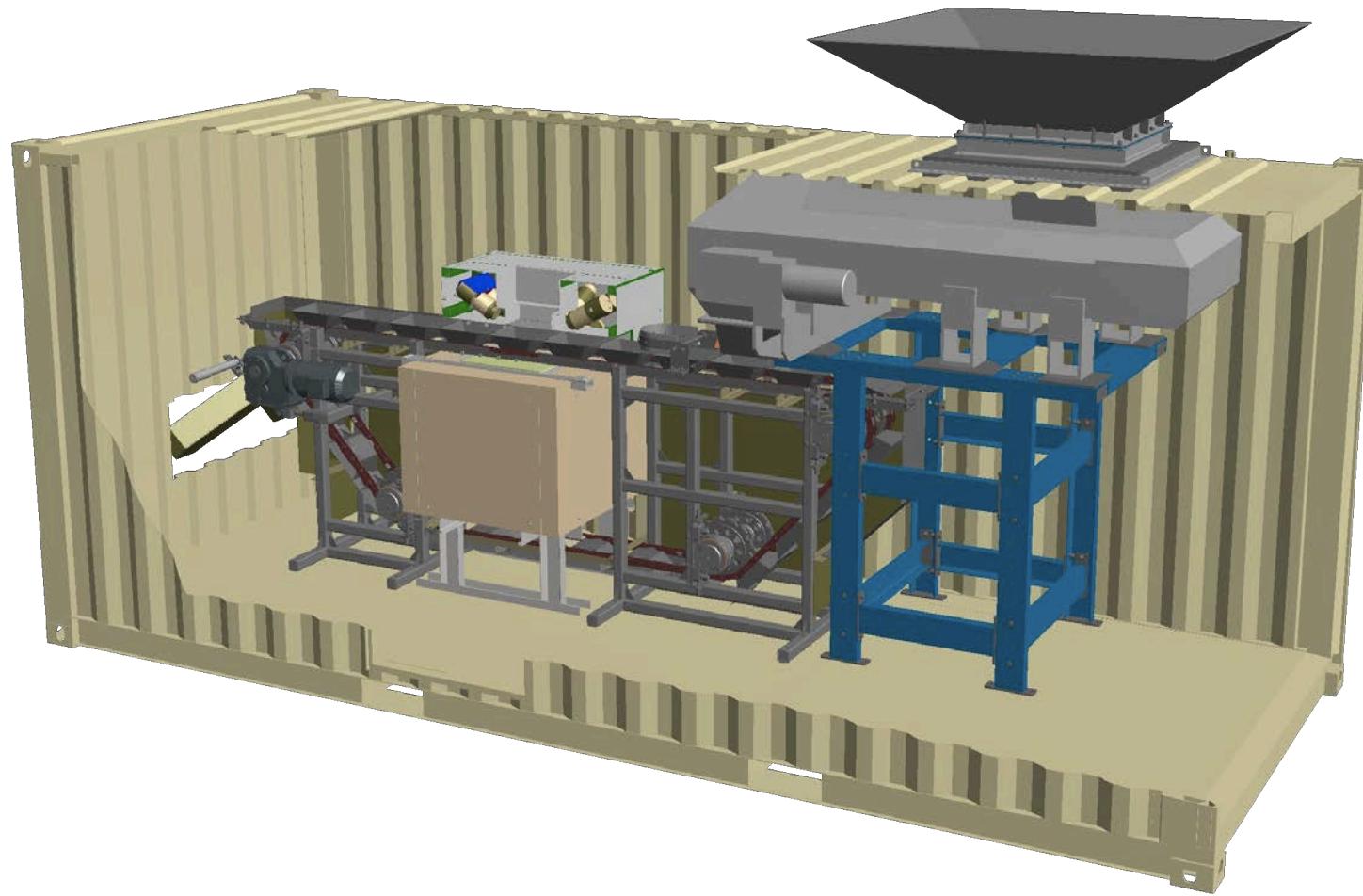
- Прототип опытной установки испытан в полевых условиях (июль-сентябрь 2015 г.).
- Все системы нейтронного модуля работали штатно.
 - Нейтронный генератор отработал 218 ч.
- Энергопотребление установки – 500 Вт.
- Радиационные условия:
 - На месте оператора во время работы – 0.11 мкЗв/час
 - Образец 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 С, 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