

# Метод меченых нейтронов для анализа горных пород и минералов

Е.А.Разинков

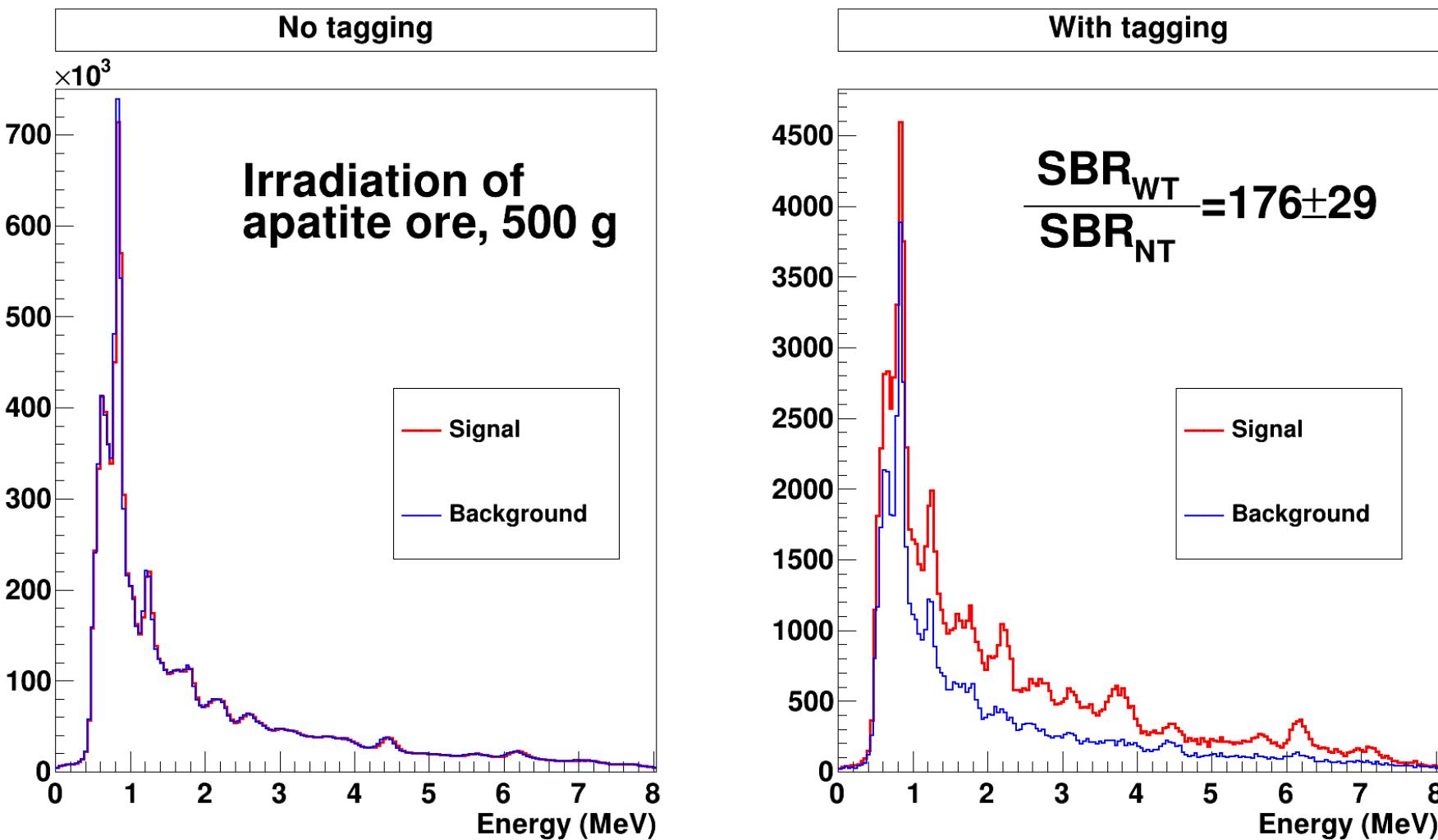


диамант

# Преимущества ММН

- Трудоемкая процедура пробоподготовки (сушка, дробление и т.д.)
- Нет методики определения хим.состава проб большой крупности
- Громоздкость существующих установок

# Преимущества ММН

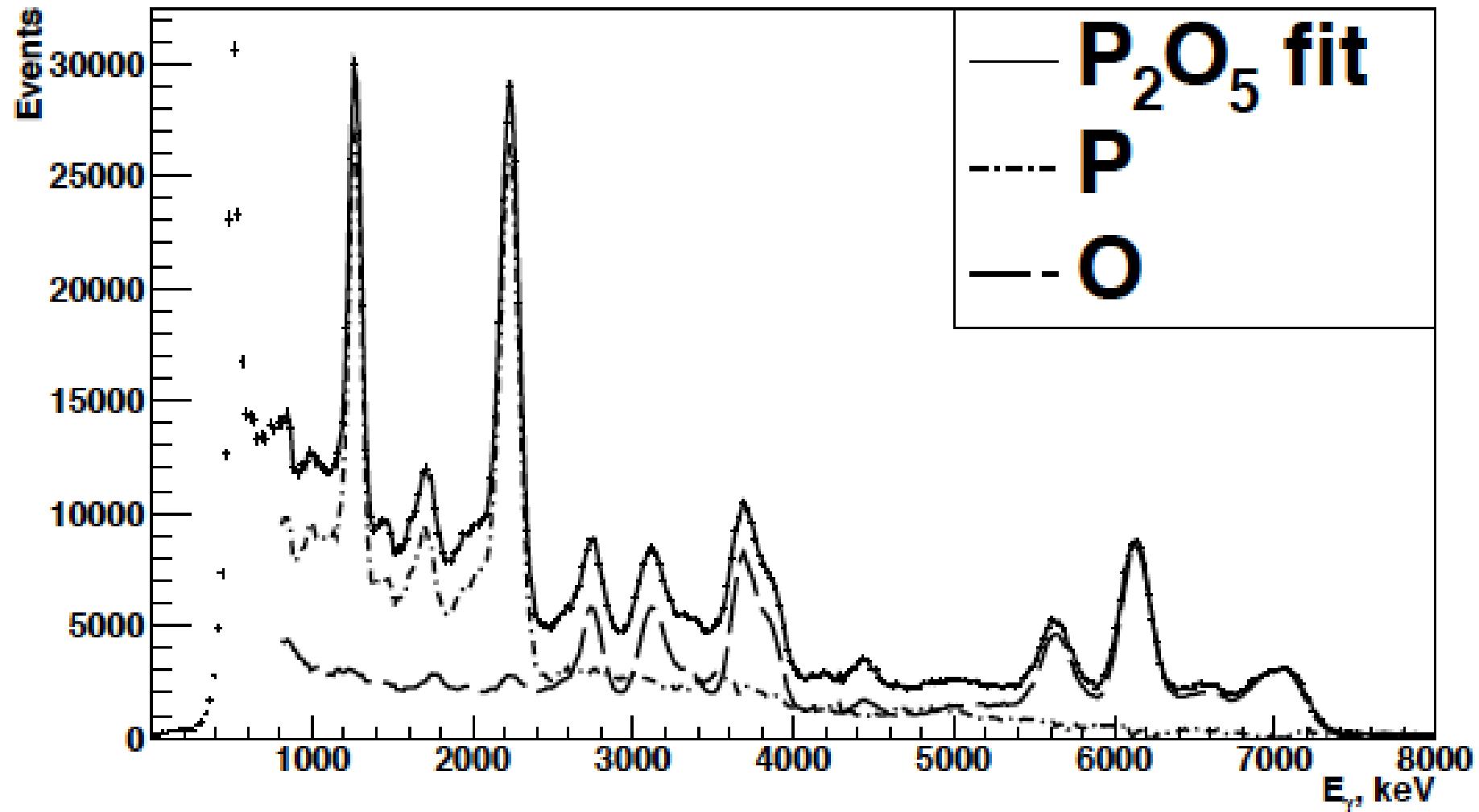


Отношение Сигнал/Шум для ММН в 176 раз лучше

2234 кэВ	367 мб
1266 кэВ	180 мб

# Почему фосфор?

$\text{P}_2\text{O}_5$



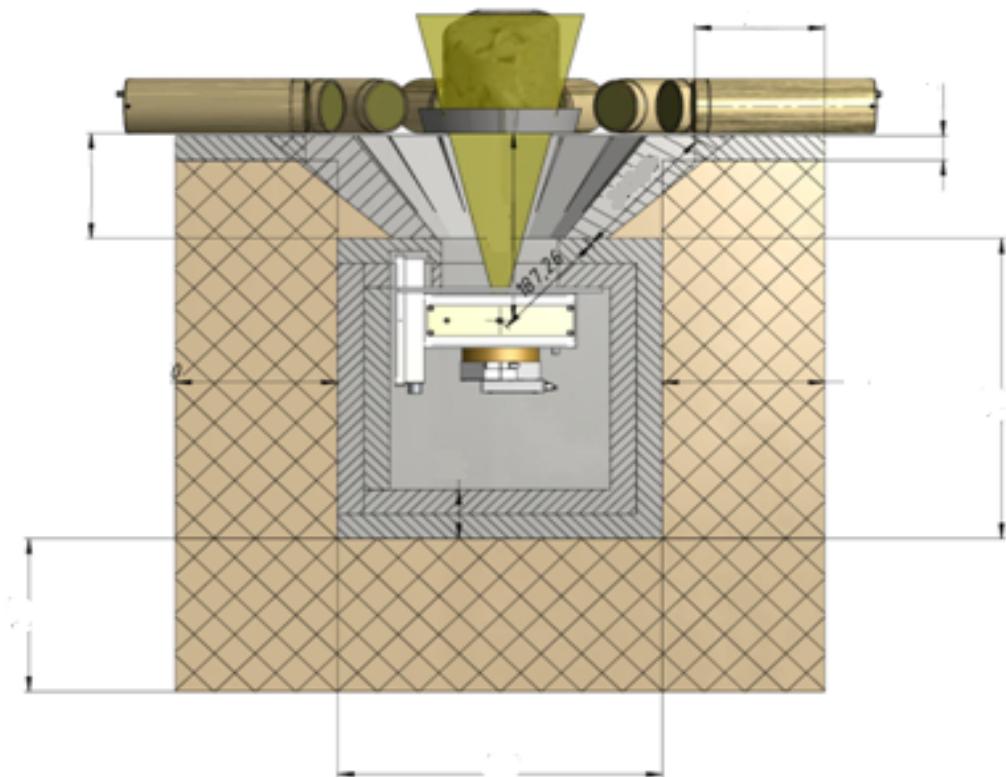
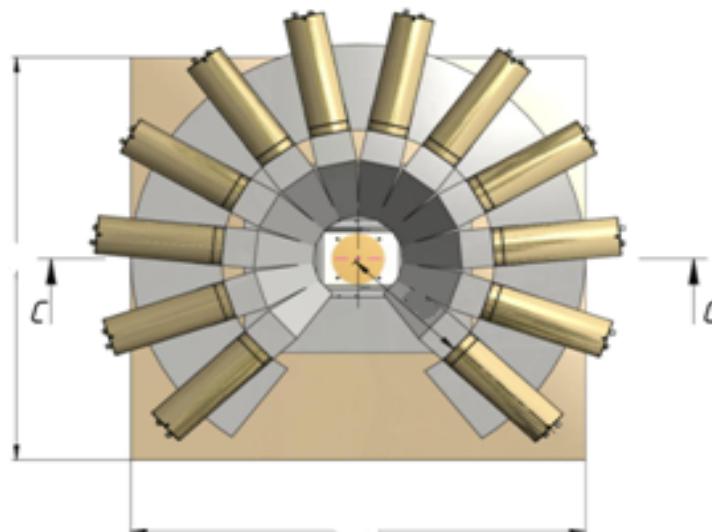
Характ. спектр с отдельными линиями с  
большими сечениями

# Нейтронный модуль АГП



- Габаритные размеры 1200x1200x1200 мм
- Нейтронный генератор ИНГ-27
- 9 мечевых пучков,
- $I=5\times10^7 \text{ c}^{-1}$
- 12 гамма-детекторов на основе BGO

# Нейтронный модуль АГП



# Испытания по договору с АО «Апатит»

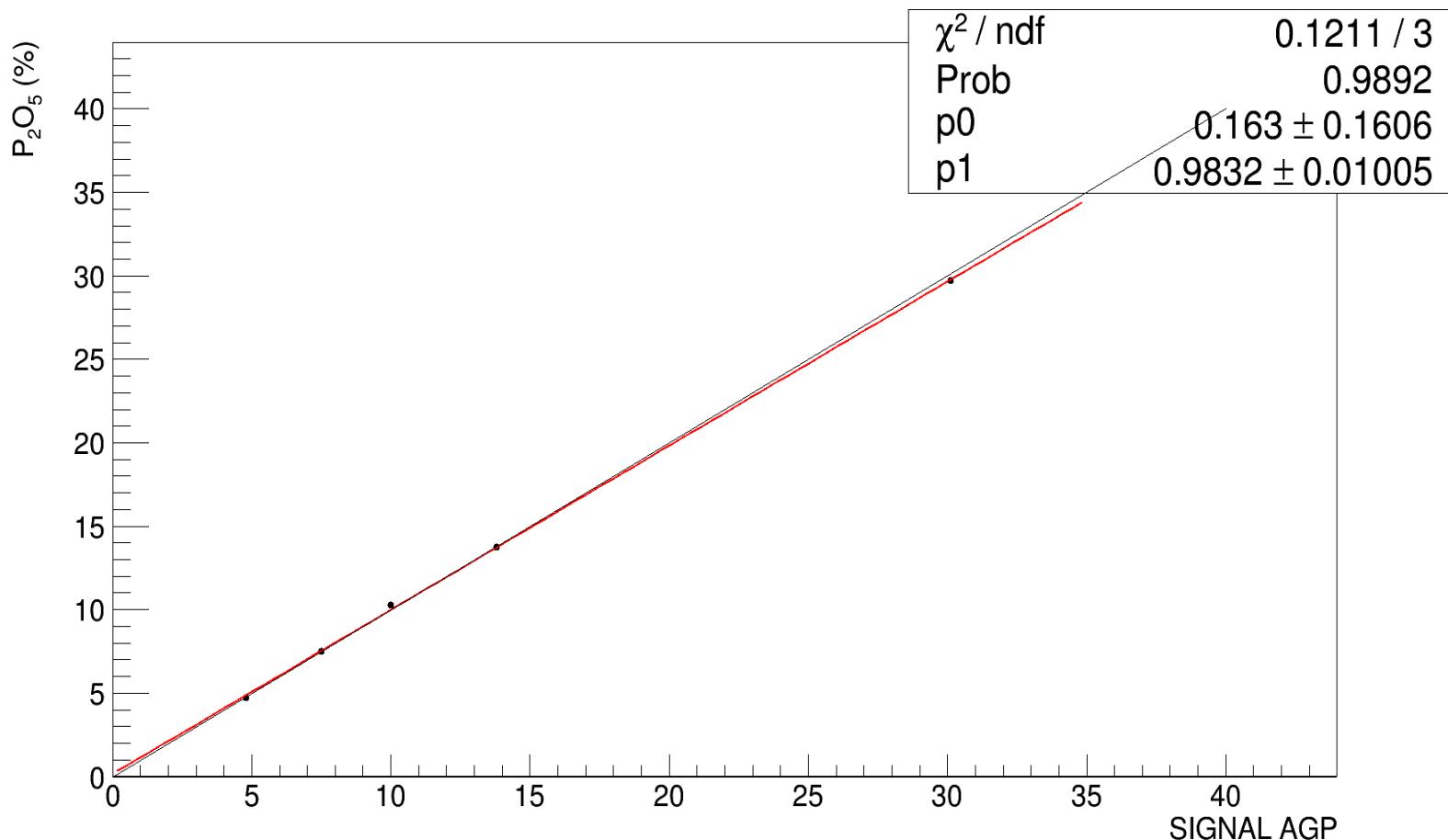


- 44 пробы крупностью -5 мм
- 4 пробы крупностью -100 мм
- СОП – массой 1.7 кг – 5 образцов

Класс	Содержание Р2О5, %
1	2.00-6.99
2	7.00-14.99
3	15.00-24.99
4	25.00-40.00

# Градуировка по СОП

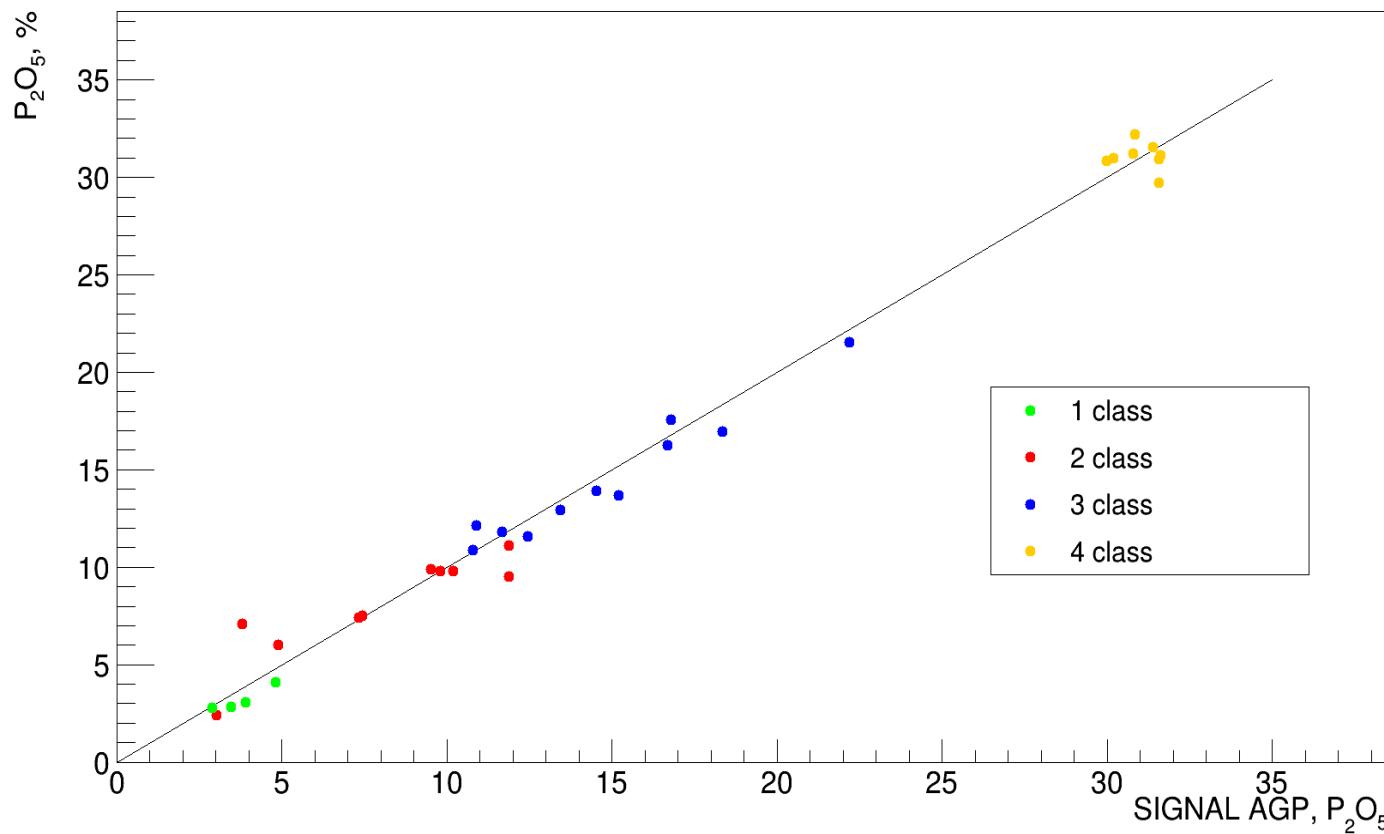
SOP  $2\sigma=0.348\%$



$$Y_{XA} = 0.9832 * X_{MMH} + 0.163$$

# 41 проба, -5 мм

$$\sigma_1=0.73, \sigma_2=0.95, \sigma_3=0.92, \sigma_4=1.04$$



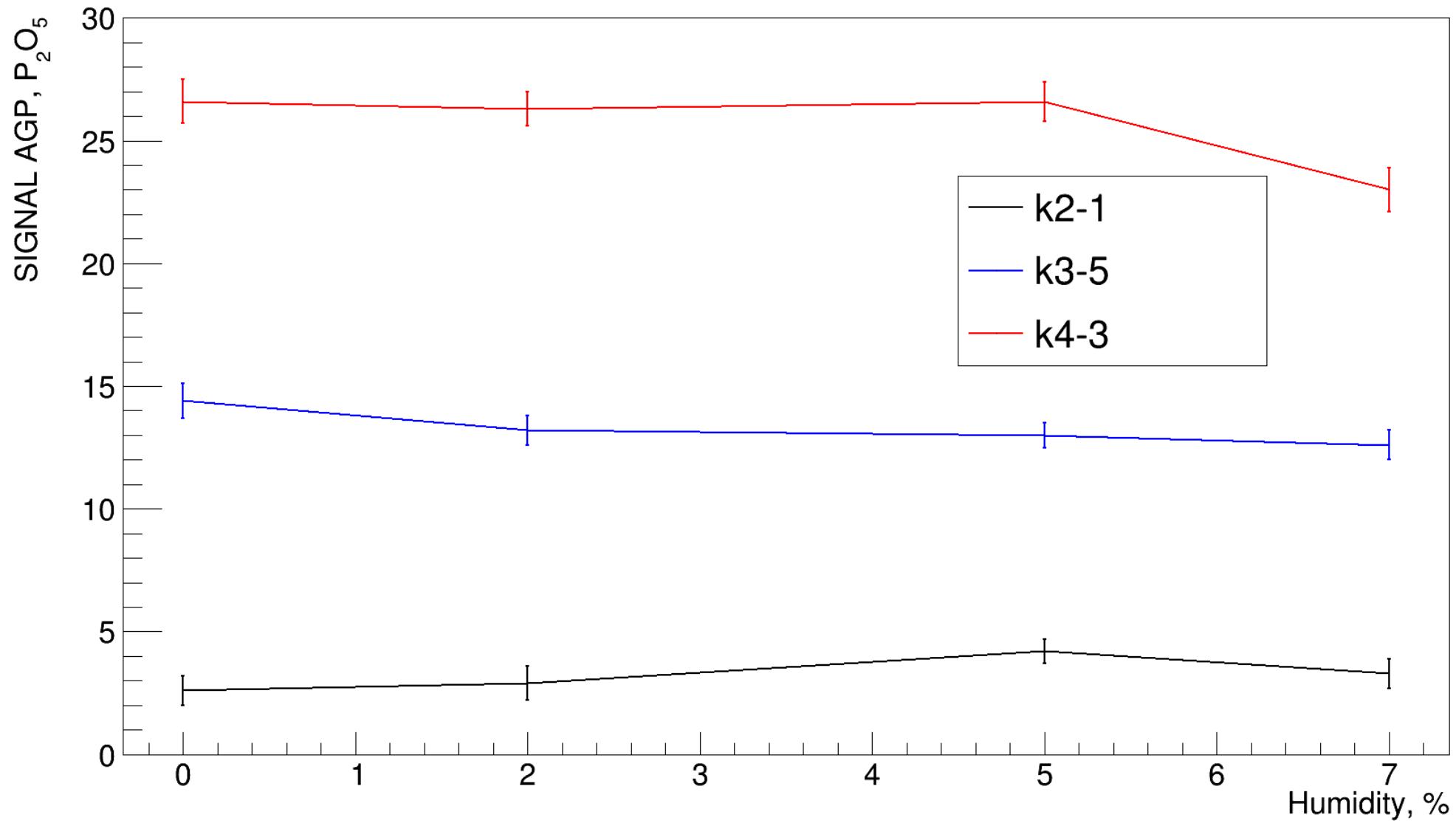
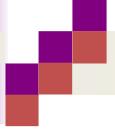
Погрешность измерений (диапазон  $2\sigma$ , уровень достоверности  $p=0.95$ ) составляет 2.24%,

# Предел обнаружения

- Измерены 11 образцов 1 класса с содержанием  $P_2O_5$  0.75 – 4.15 %
- $\sigma = 0.7 \%$
- Предел обнаружения:  $3\sigma = 2.1 \%$

# Зависимость от влажности

- Изучалось изменение влажности образцов на 2,5,7 %
- Для 4 проб в каждом классе содержаний
- Все изменения концентрации  $P_2O_5$  находятся в пределах повторяемости.
- Статистически достоверной зависимости результатов от изменения влажности не выявлено.



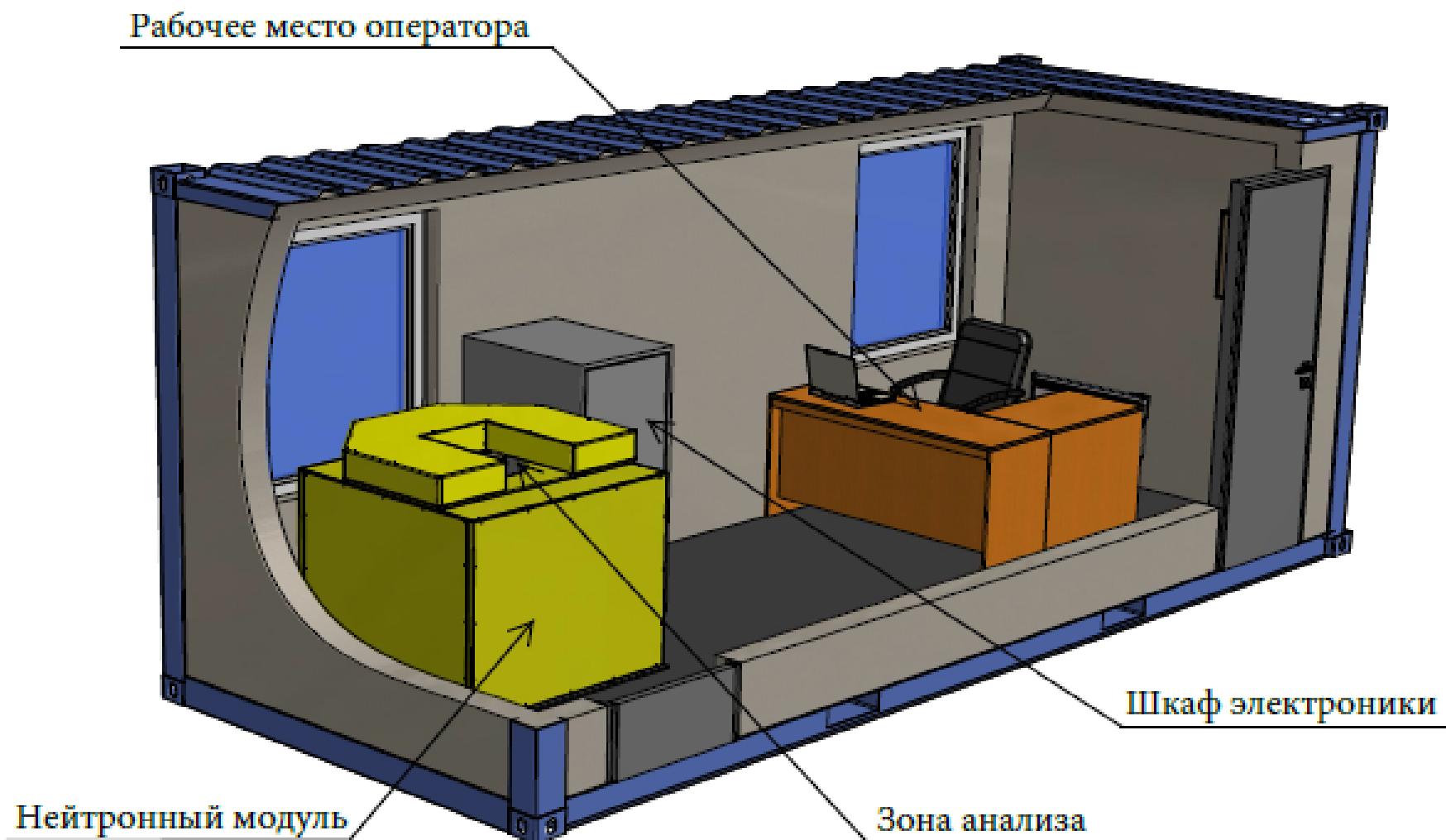
# Зависимость от влажности

Образец	Массовое содержание				
	влаги	Естественная	+2%	+5%	+7%
к2-1	2.6	2.9	4.2	3.3	
к3-6	9.5	12.2	10.5	11.0	
к3-5	14.4	13.2	13.0	12.6	
к4-3	26.6	26.3	26.6	23.0	

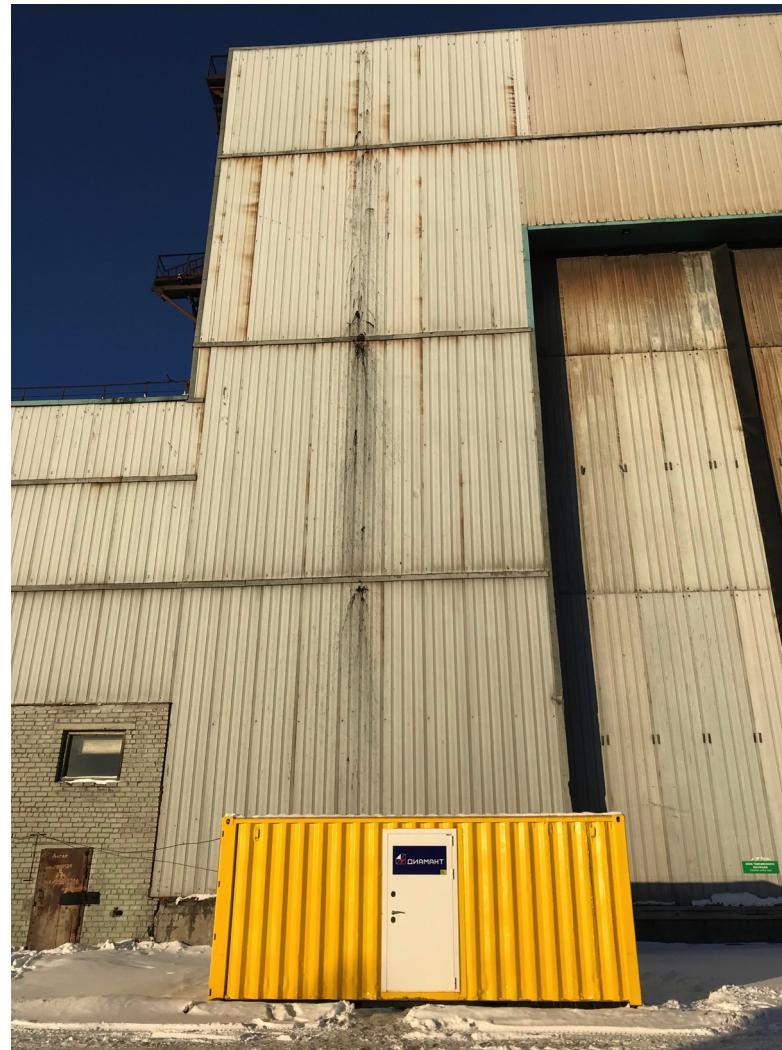
# Воспроизводимость и повторяемость

Массовая доля $P_2O_5$ , %	$\sigma_r$ , % отн.	$\sigma_R$ , % отн.
2.0 - 6.99	11.88	13.6
7.0 – 14.99	9.36	12.68
15.0 – 24.99	8.11	9.06
25.0 – 40.00	3.8	5.11

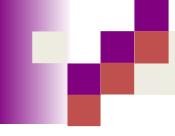
# Установка АГП



# Испытания на Восточном руднике



ООО "Диамант"



# Установка в контейнере



# Отбор проб

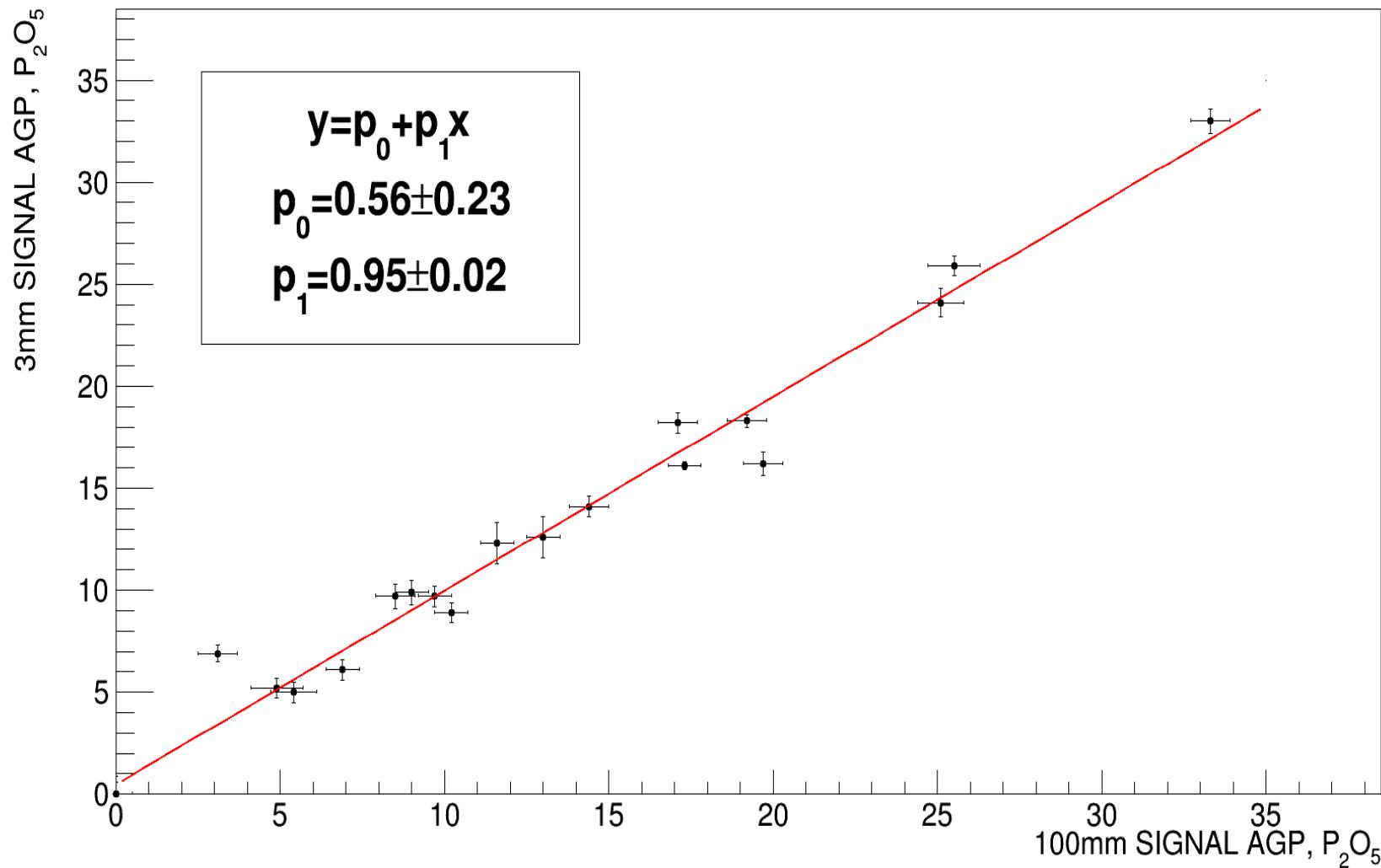


Пробы 5 кг из карьера -100 мм измерялись без какой-либо пробоподготовки. Затем дробились до -10 мм и – 3 мм.

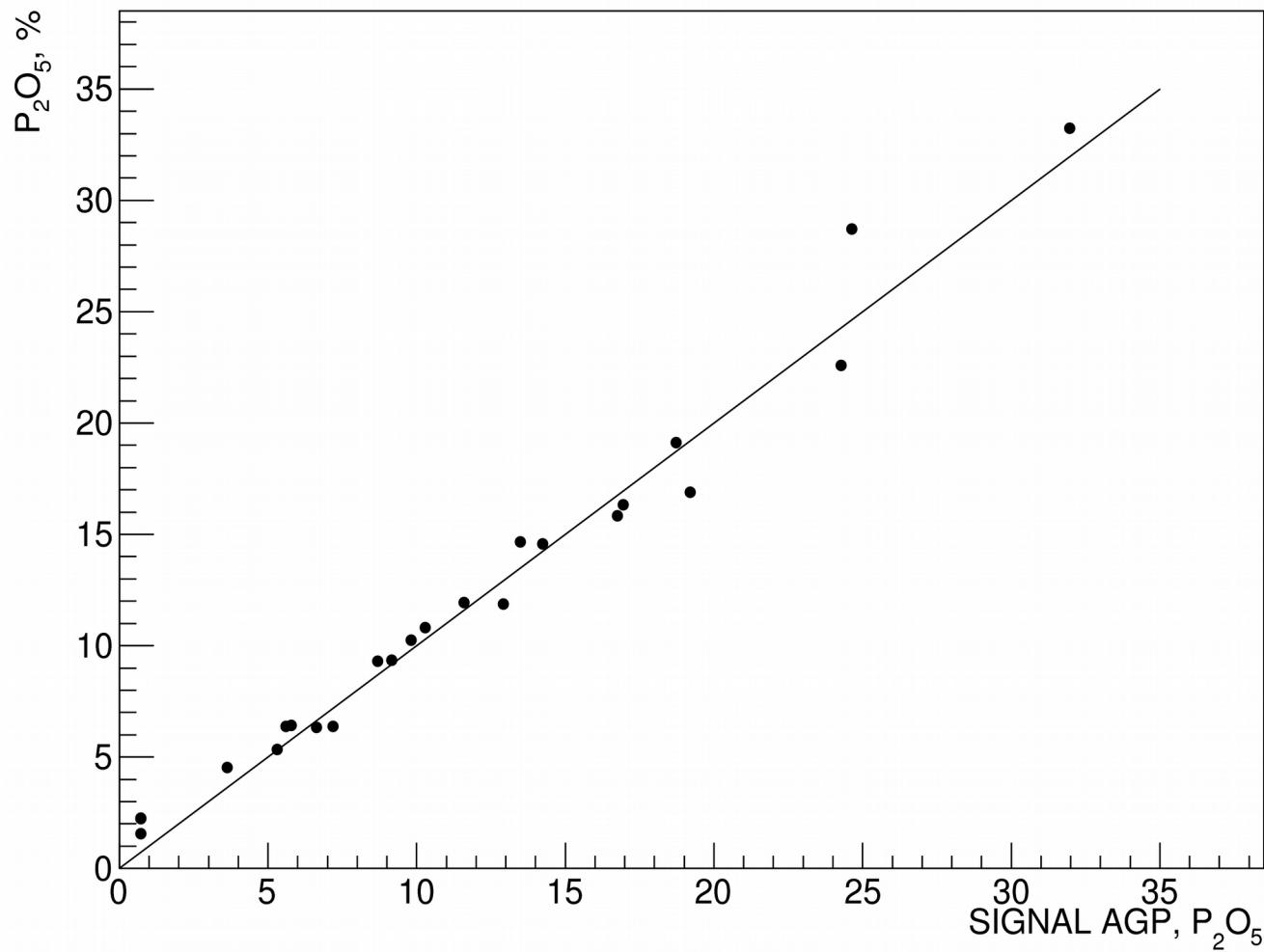
ООО "Диамант"

# Крупность -100 / -3 мм

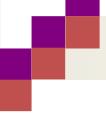
3mm vs 100mm



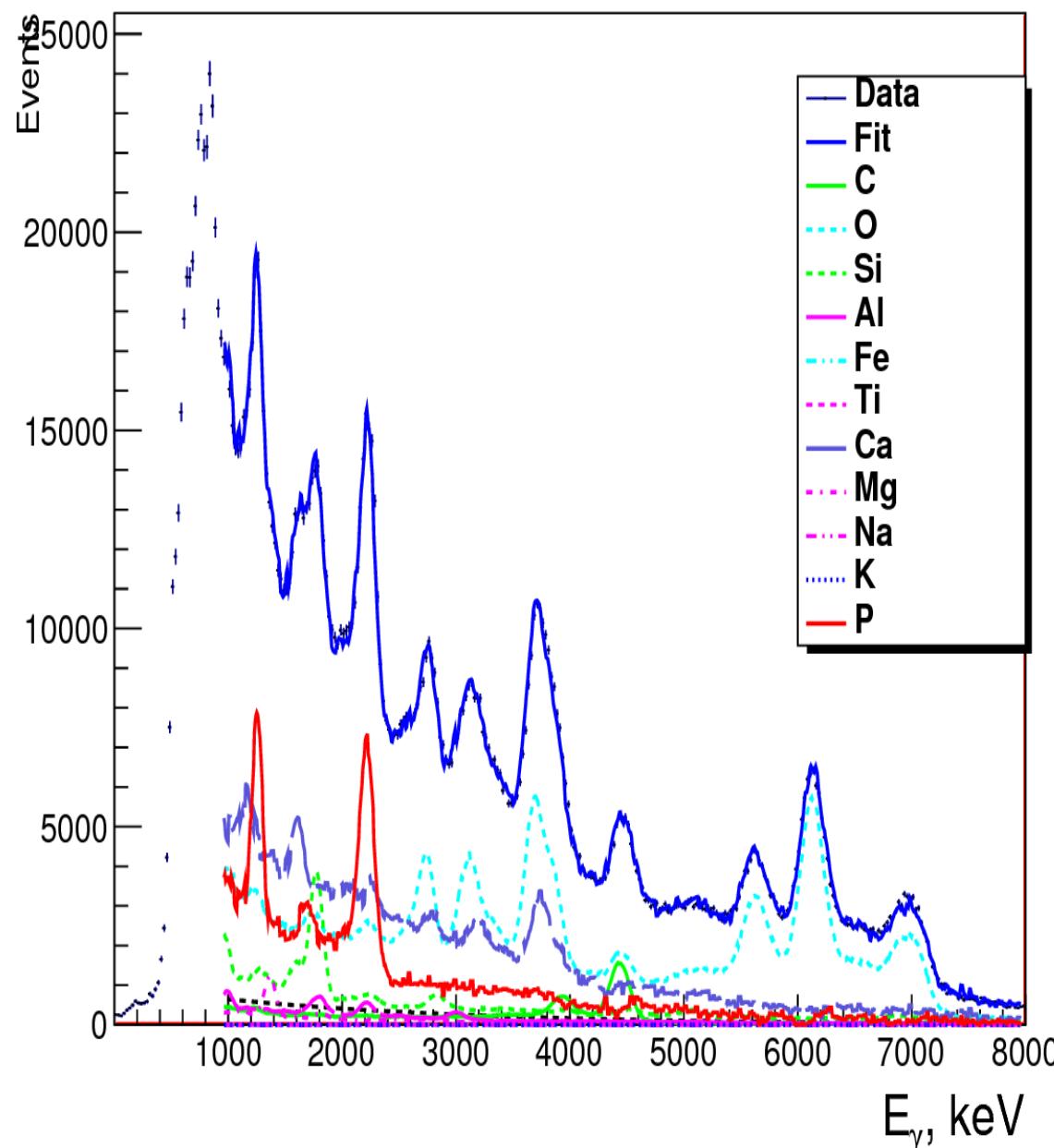
# Сравнение с ХА



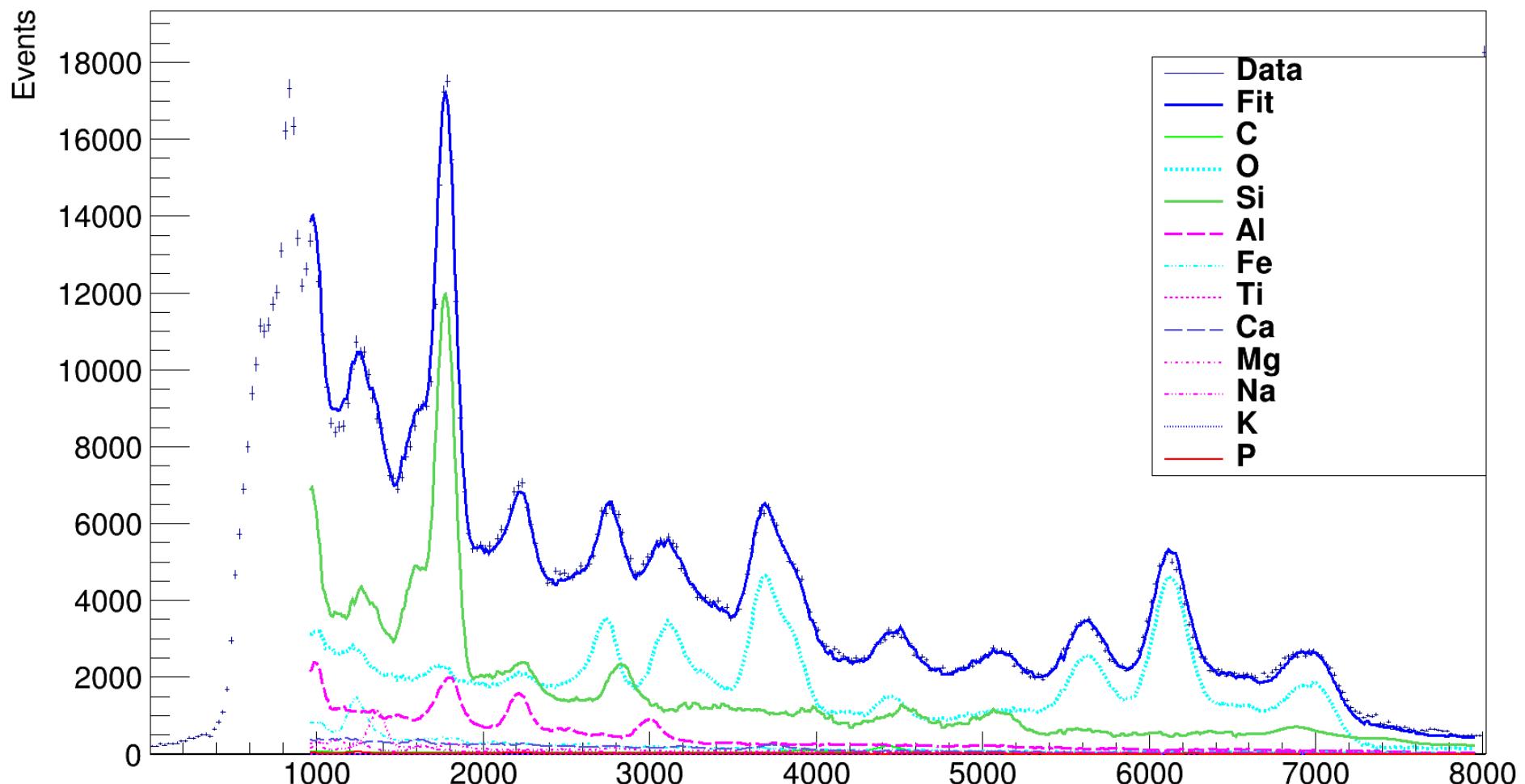
Погрешность измерений (диапазон  $2\sigma$ ) составляет 2.62% для кл. 1-4 и 1.98% для кл. 2-3.



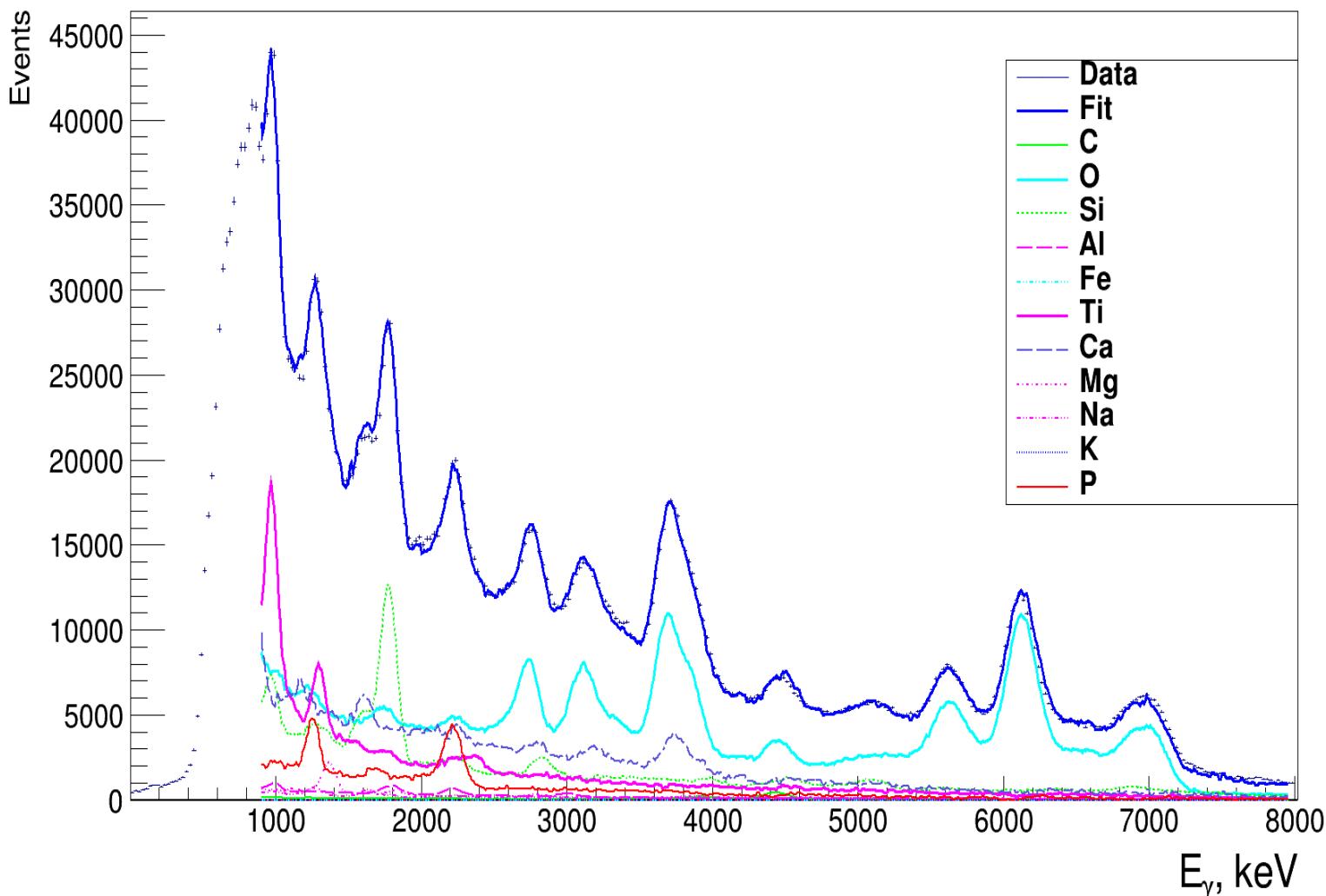
# Концентрации других элементов (Na, Mg, C, O, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe)



# Главный тест: кирпич



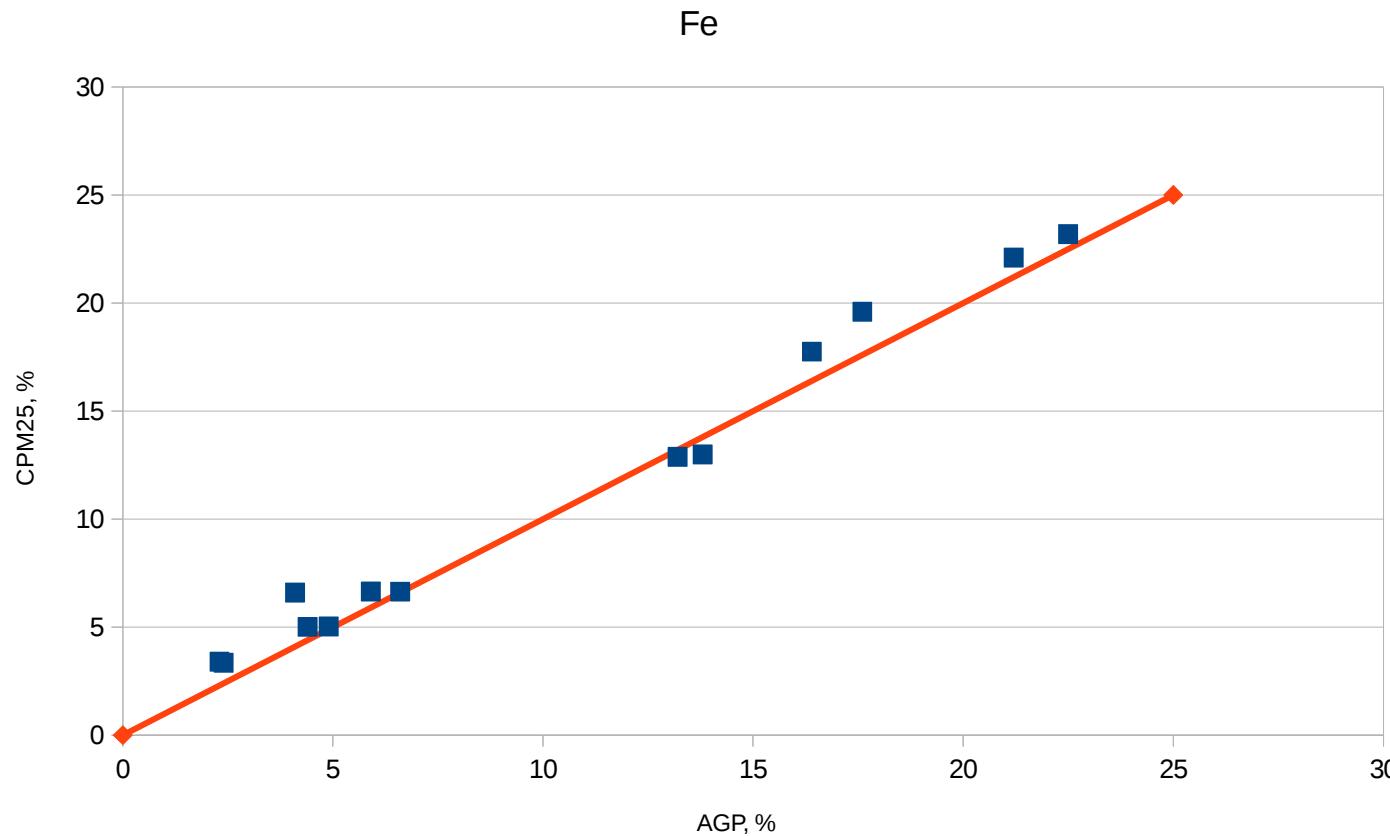
# Титан



Образец №18

23% TiO<sub>2</sub>

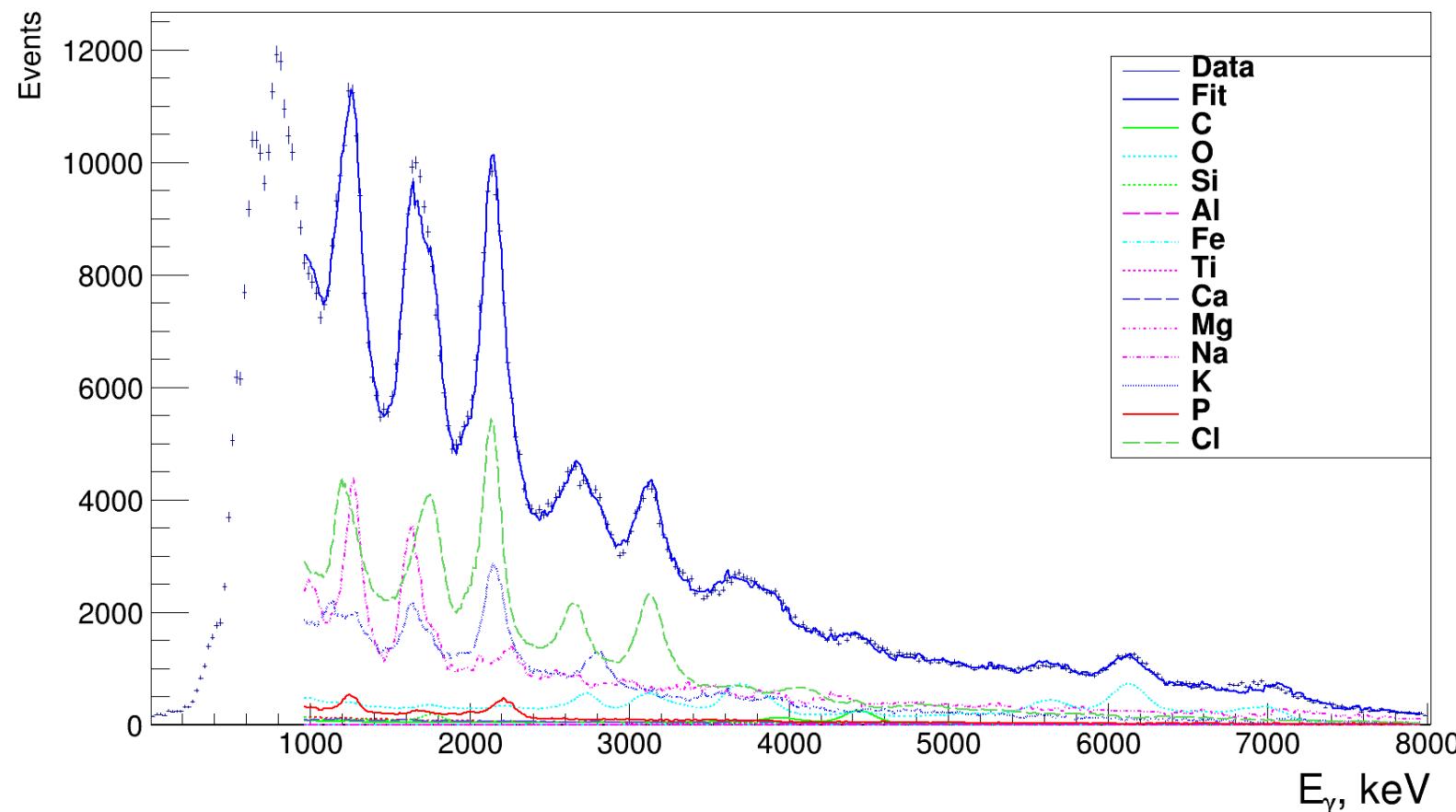
# Пробы руды с Ковдорского ГОК



Погрешность измерений (диапазон 2  $\sigma$ ) составляет 1.8%

# Калийная соль

apr20-11

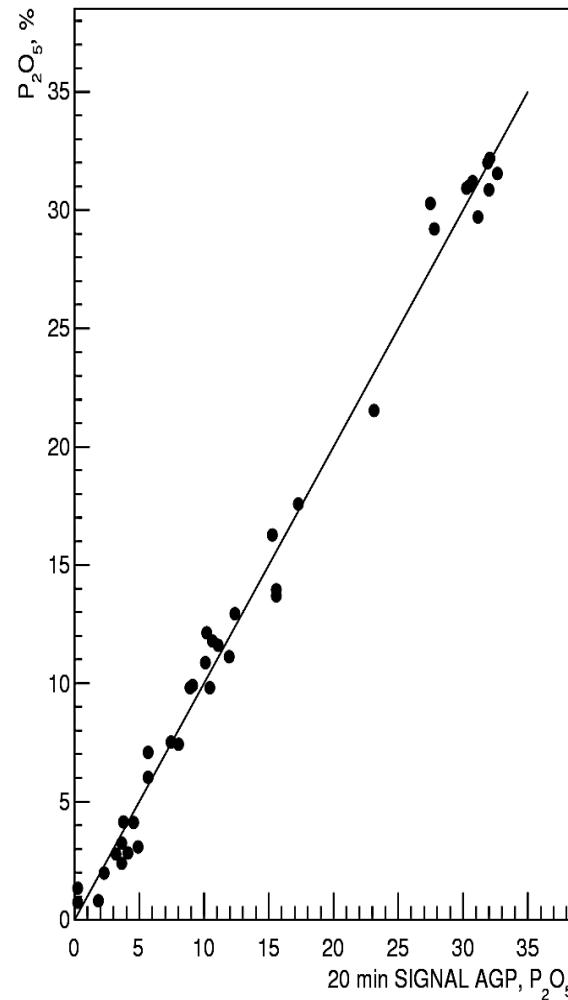


Al, %	C, %	Ca, %	Cl, %	Fe, %	K, %	Mg, %	Na, %	O, %	P, %	Si, %	Ti, %
0	$2.1 \pm 0.1$	$2.8 \pm 0.9$	$39.6 \pm 0.7$	0	$22.3 \pm 0.6$	0	$18.6 \pm 0.5$	$11.8 \pm 0.3$	$2.2 \pm 0.3$	$0.5 \pm 0.2$	0

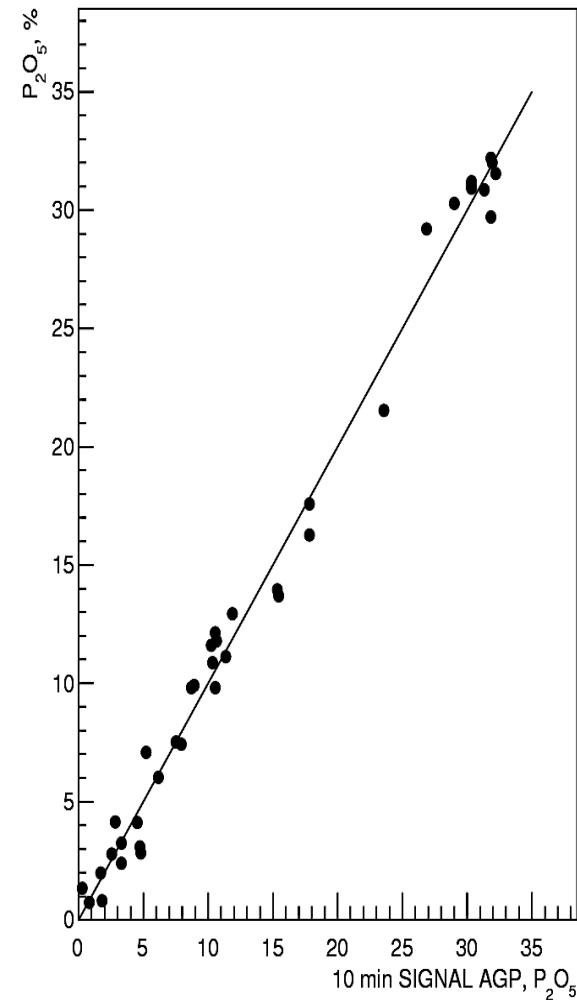


# Уменьшение времени анализа

20 min, -5 mm,  $2\sigma=2.18$



10 min, -5 mm,  $2\sigma=2.32$

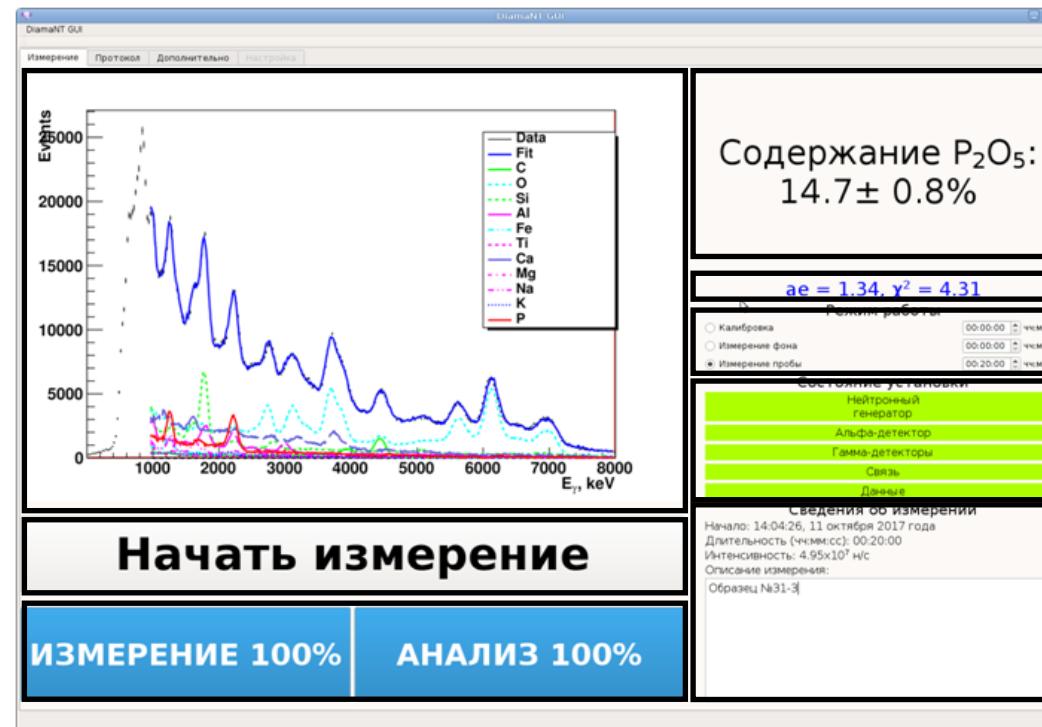


# Радиационная безопасность

- Получено заключение головного института Роспотребнадзора НИИРГ им.Рамзаева (Санкт-Петербург) о выполнении требований радиационной безопасности персонала при эксплуатации установки в течение года.

Проведённое радиационное обследование при работе анализатора (протокол ИЛ ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева № 060/17и от 11.10.2017) подтвердило его соответствие требованиям радиационной безопасности. Максимальное значение суммарной мощности дозы фотонного и нейтронного излучения на рабочем месте персонала не превышает 8 мкЗв/ч, что обеспечивает выполнение ограничений годовой эффективной дозы персонала группы А за счет работы анализатора в соответствии с требованиями НРБ-99/2009. Максимальное значение суммарной мощности дозы фотонного и

# Эксплуатация установки

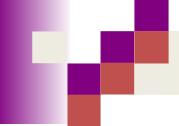


- Положить пробу в мешке из карьера в приемный лоток.
- Включить нейтронный генератор.
- Включить набор данных.

# Выводы

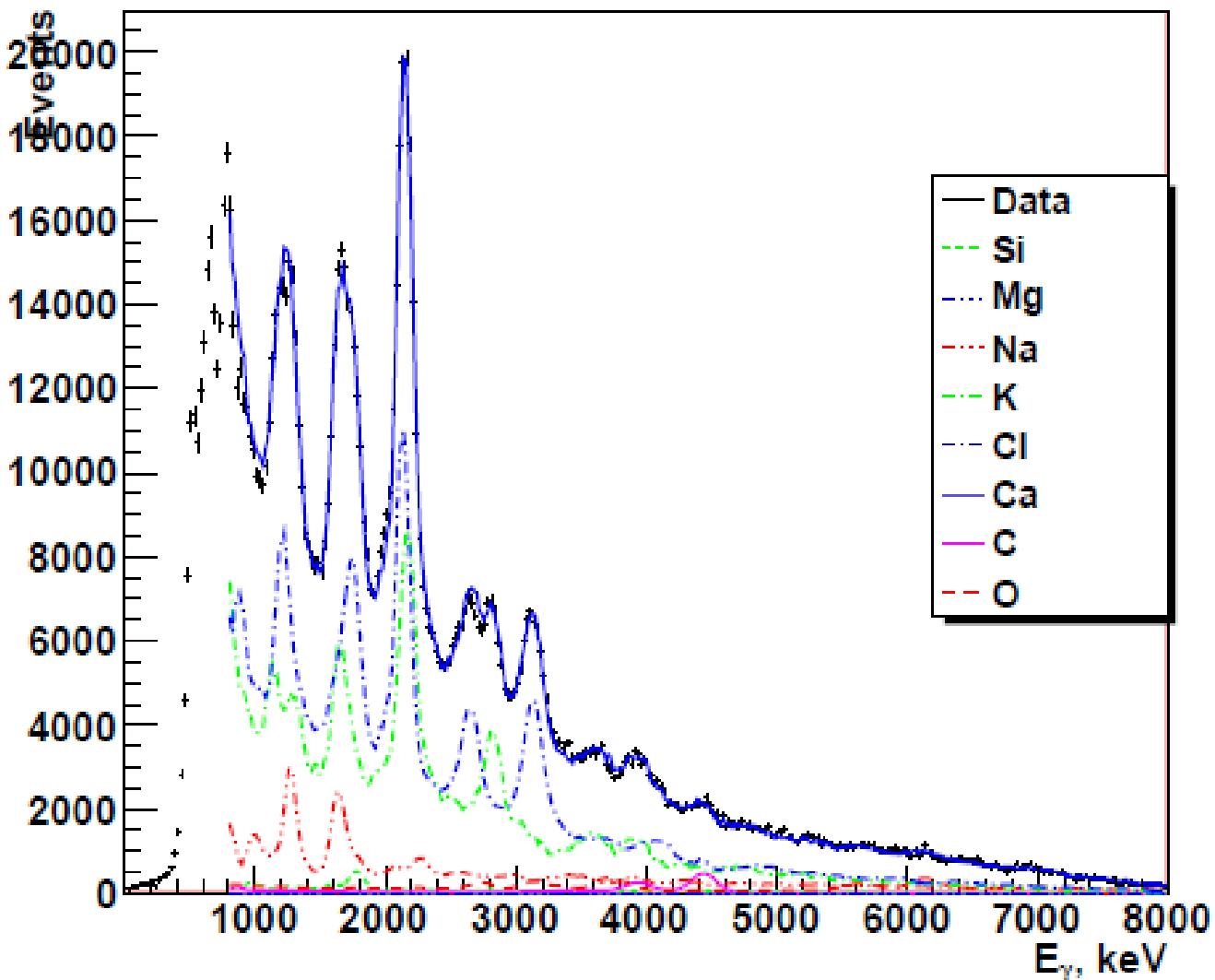
Проведены опытно-промышленные испытания установки АГП-Ф.

- Погрешность измерений (диапазон  $2\sigma$ , уровень достоверности  $p=0.95$ ) составляет 2.24%
- Минимально регистрируемая концентрация 2.12 %  $P_2O_5$
- Зависимость величины концентрации  $P_2O_5$  от содержания влаги в образце до 7% отсутствует.
- Сигнала АГП для крупности руды -100 мм и -3 мм с хорошей точностью одинаков.
- Сигнал АГП для крупности руды -100 мм хорошо совпадает с результатами химического анализа КГИЛЦ ( $2\sigma = 1.98\%$  для кл.2-3).
- Получено заключение Роспотребнадзора о соответствии эксплуатационных характеристик установки требованиям РБ.



ООО "Диамант"

# СИЛЬВИНИТЫ



# Временные распределения

