

Метод меченых нейтронов для анализа горных пород и минералов

Е.А.Разинков



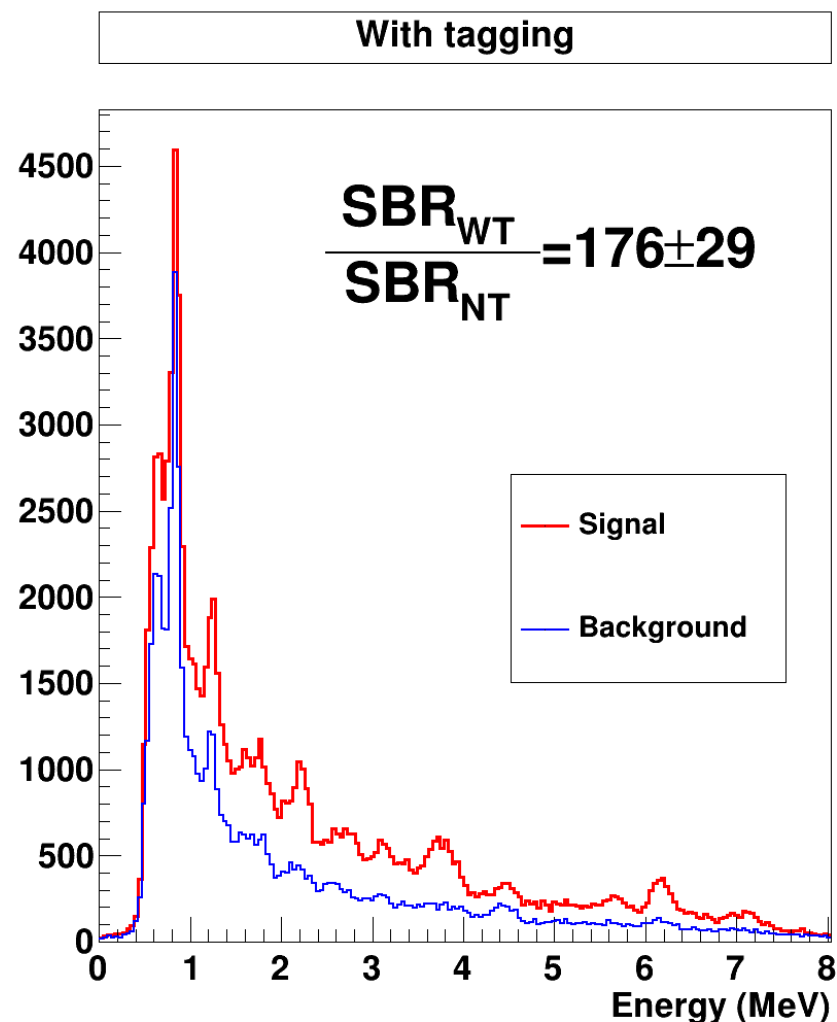
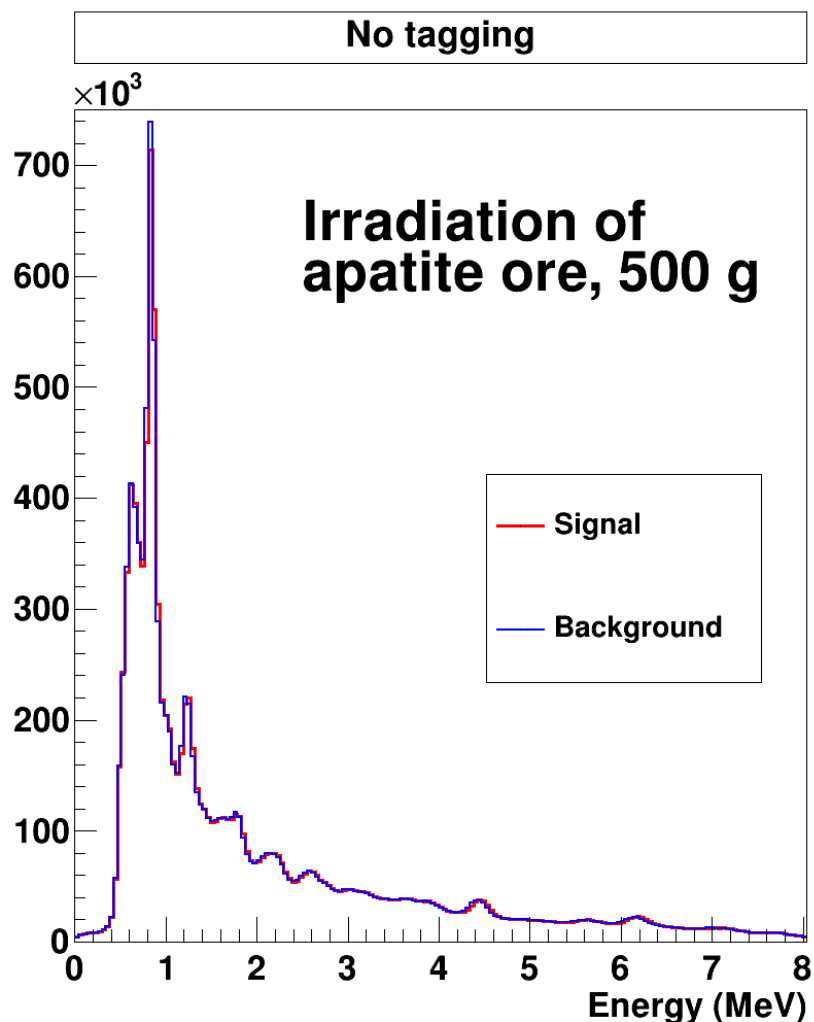
ДИАМАНТ



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

Почему фосфор?

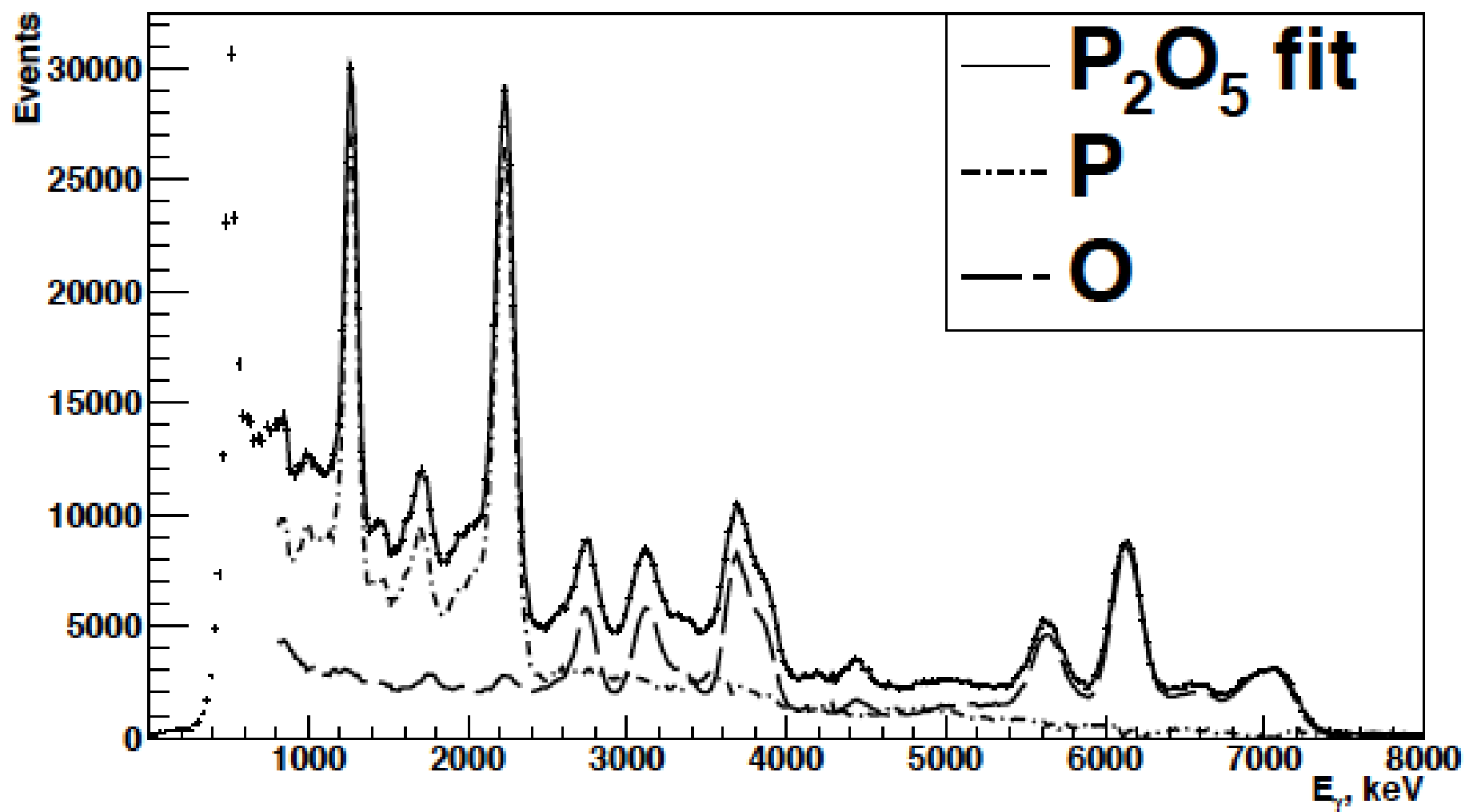
2234 кэВ

367 мб

1266 кэВ

180 мб

P_2O_5



Характ. спектр с отдельными линиями с
большими сечениями

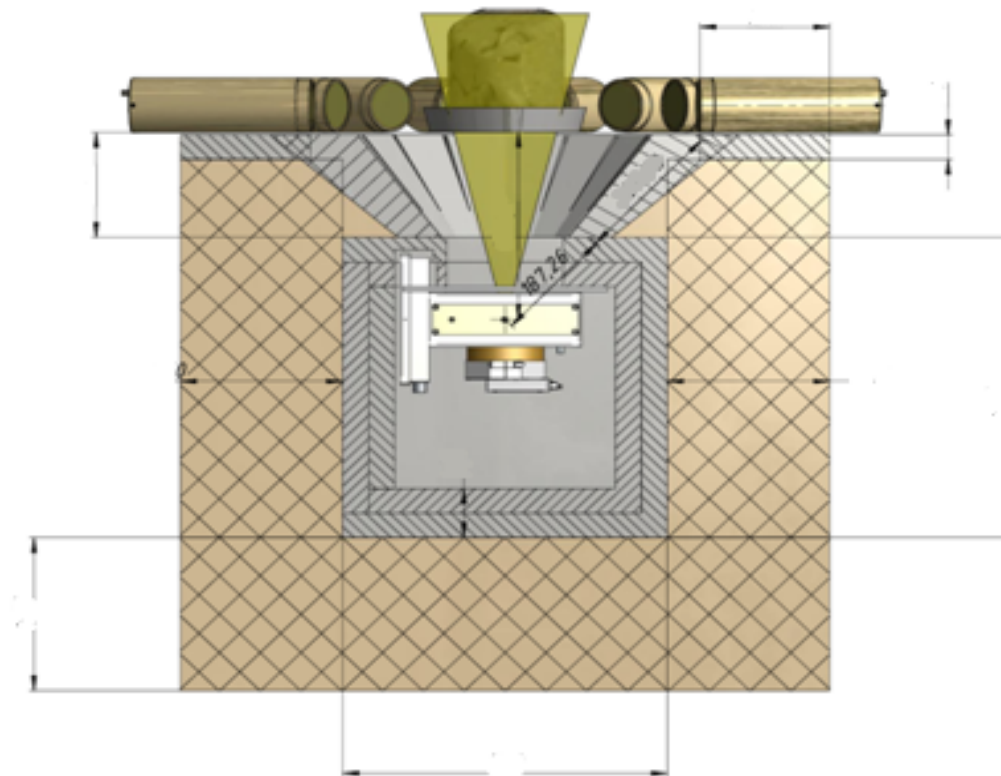
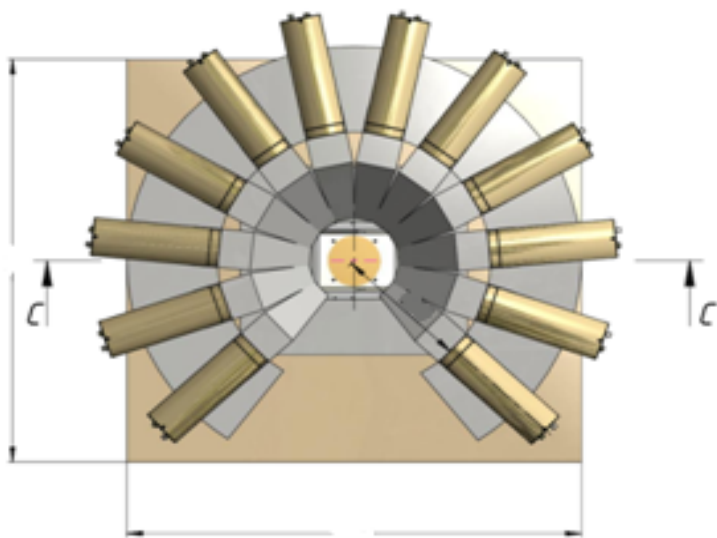
ООО "Диамант"

Нейтронный модуль АГП



- Габаритные размеры 1200x1200x1200 мм
- Нейтронный генератор ИНГ-27
- 9 меченых пучков,
- $I=5 \times 10^7 \text{ с}^{-1}$
- 12 гамма-детекторов на основе BGO

Нейтронный модуль АГП



Испытания по договору с АО «Апатит»

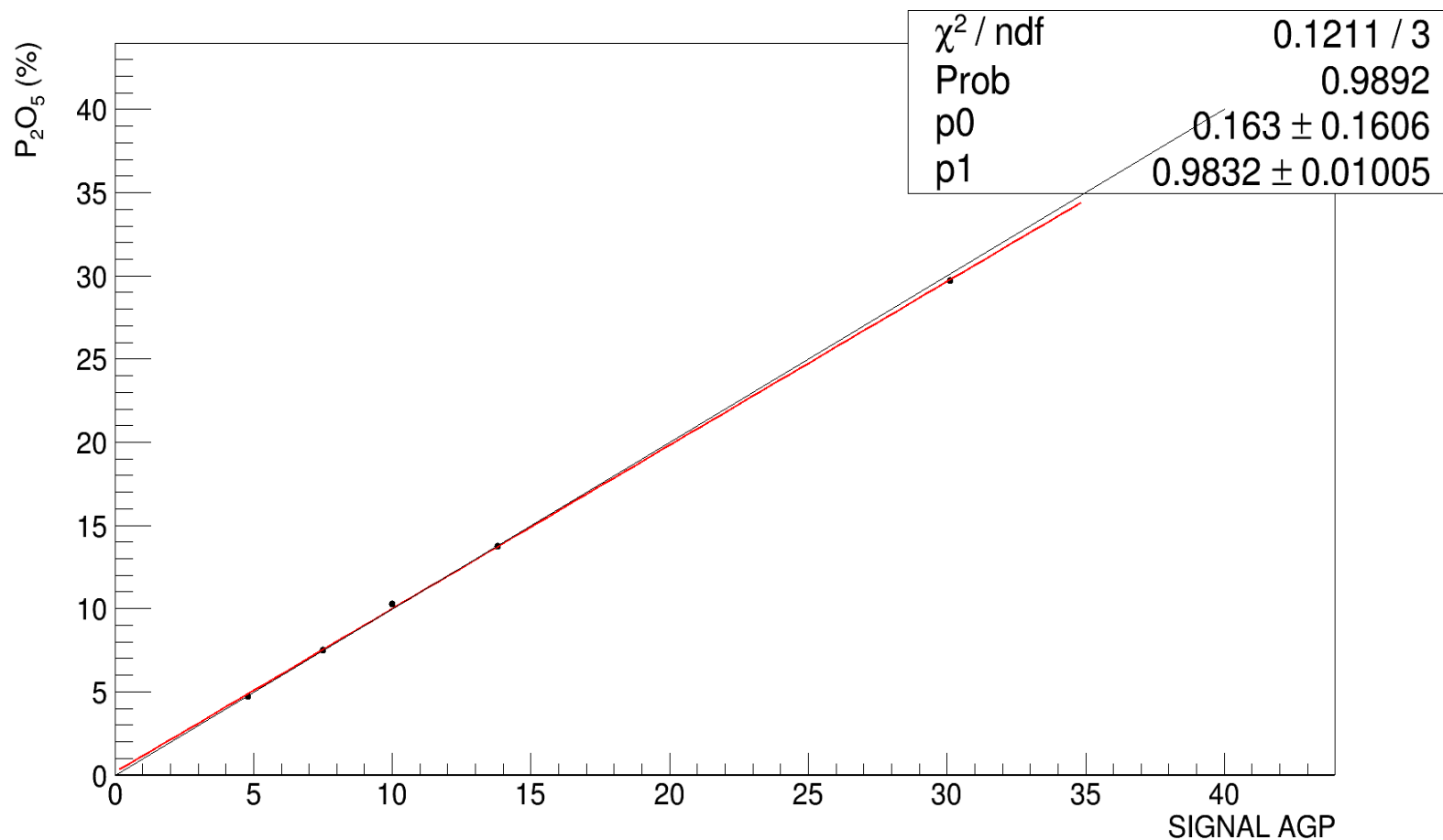


- 44 пробы
крупностью -5 мм
- 4 пробы
крупностью -100
мм
- СОП – массой 1.7
кг – 5 образцов

Класс	Содержание P ₂ O ₅ , %
1	2.00-6.99
2	7.00-14.99
3	15.00-24.99
4	25.00-40.00

Градуировка по СОП

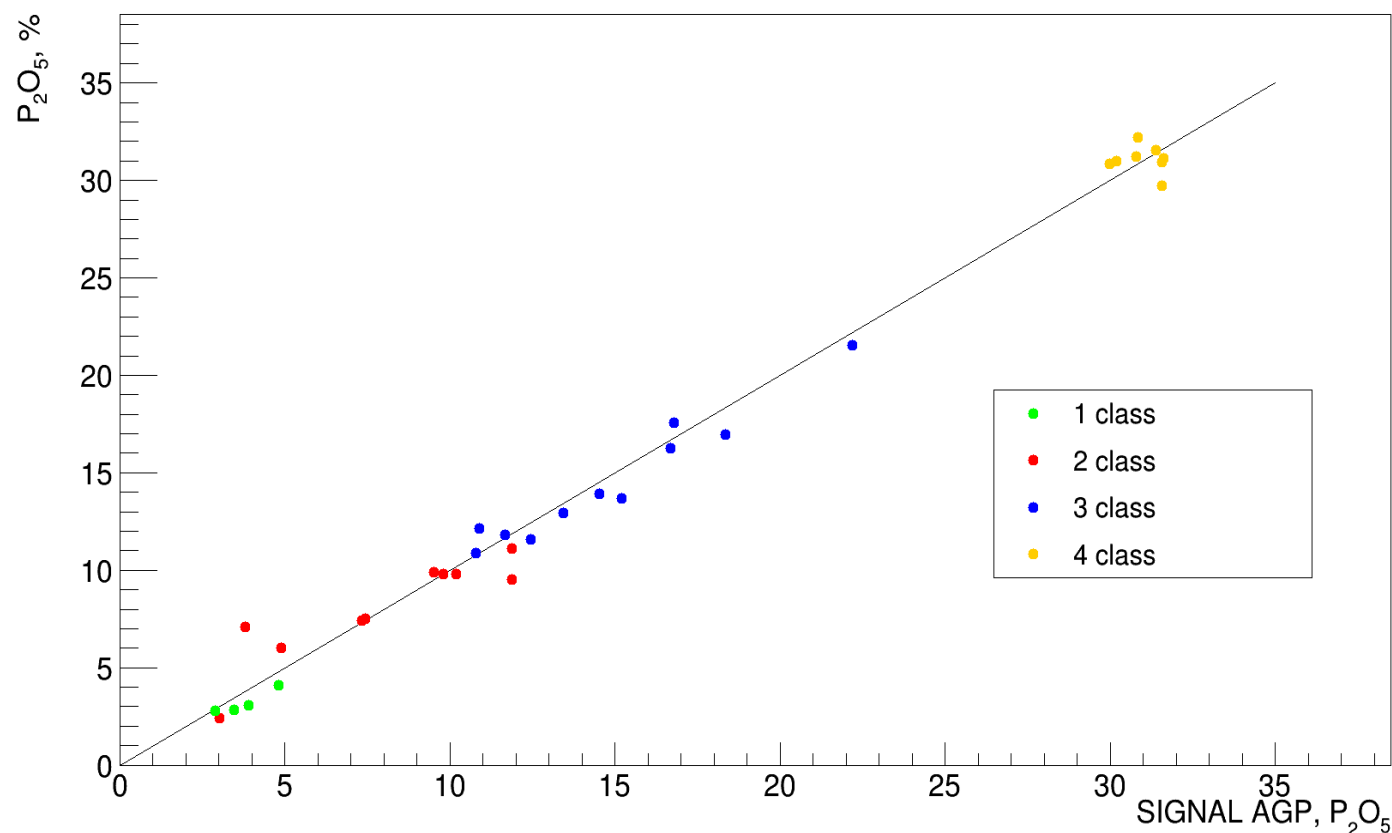
SOP $2\sigma=0.348\%$



$$Y_{XA} = 0.9832 \cdot x_{MMH} + 0.163$$

41 проба, -5 мм

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



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



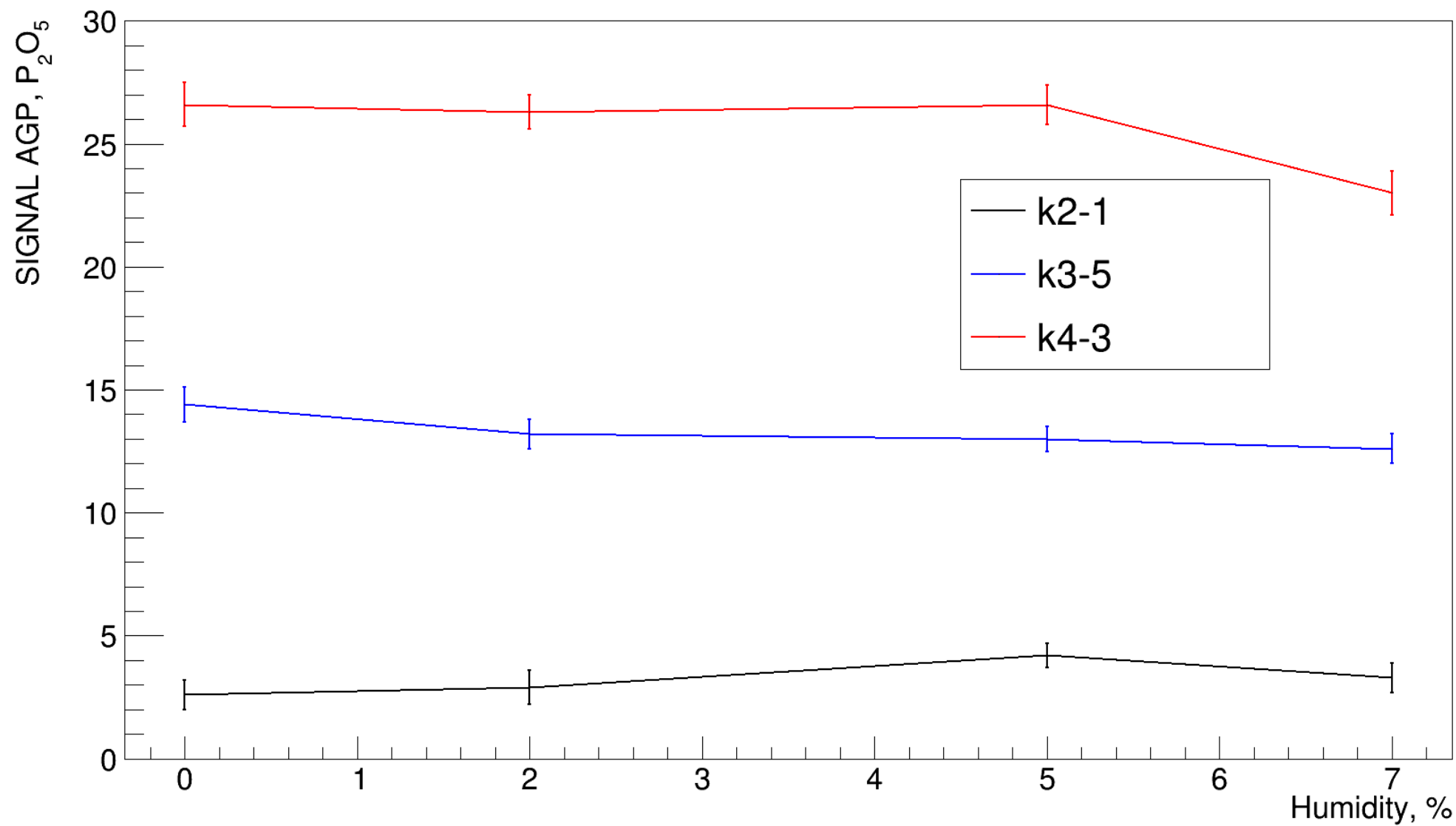
Предел обнаружения

- 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

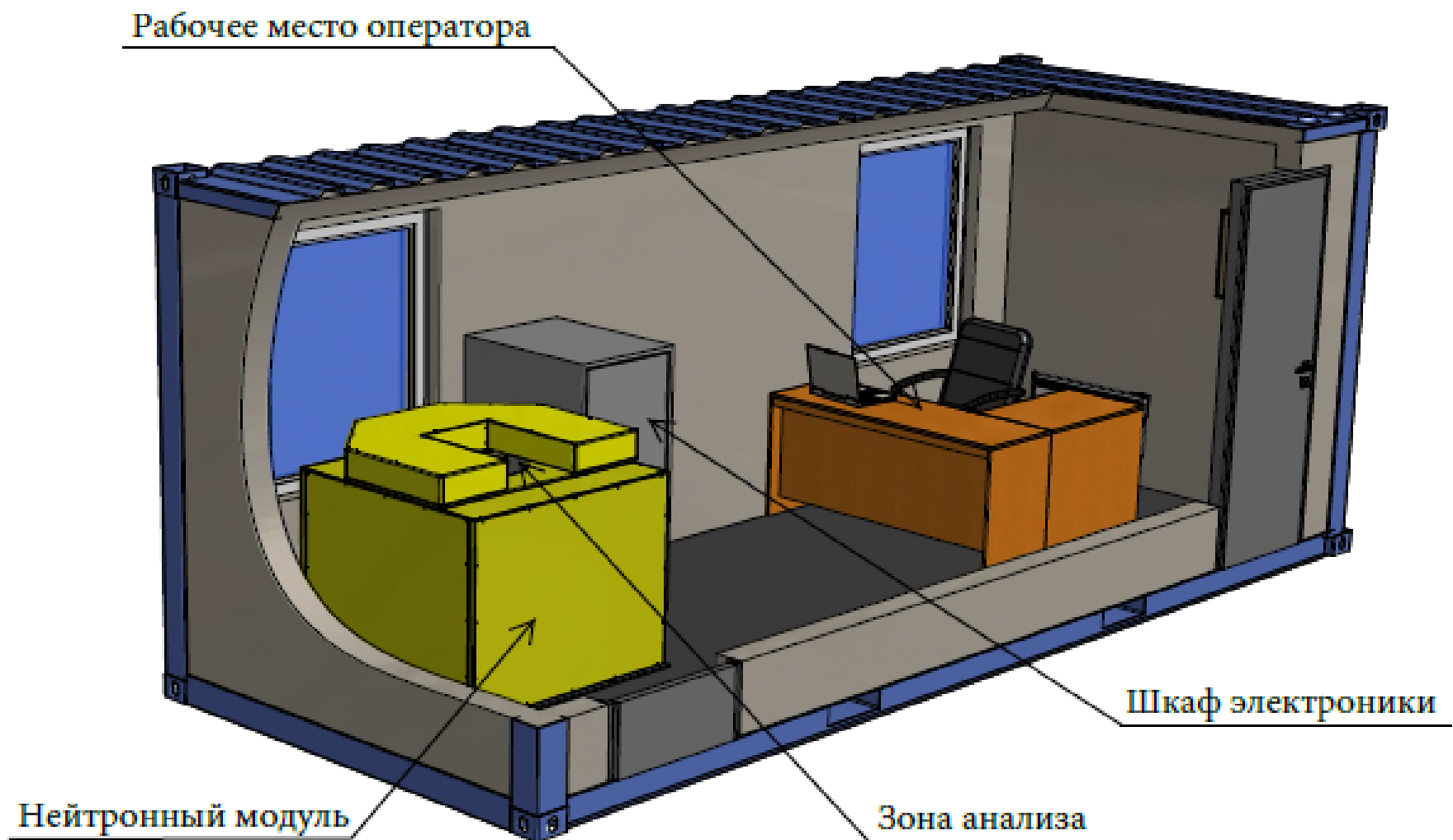
Образец	Массовое содержание влаги			
	Естественная	+2%	+5%	+7%
к2-1	2.6	2.9	4.2	3.3
к3-6	9.5	12.2	10.5	11.0
к3-5	14.4	13.2	13.0	12.6
к4-3	26.6	26.3	26.6	23.0



Воспроизводимость и повторяемость

Массовая доля P_2O_5 , %	σ_r , % ОТН.	σ_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

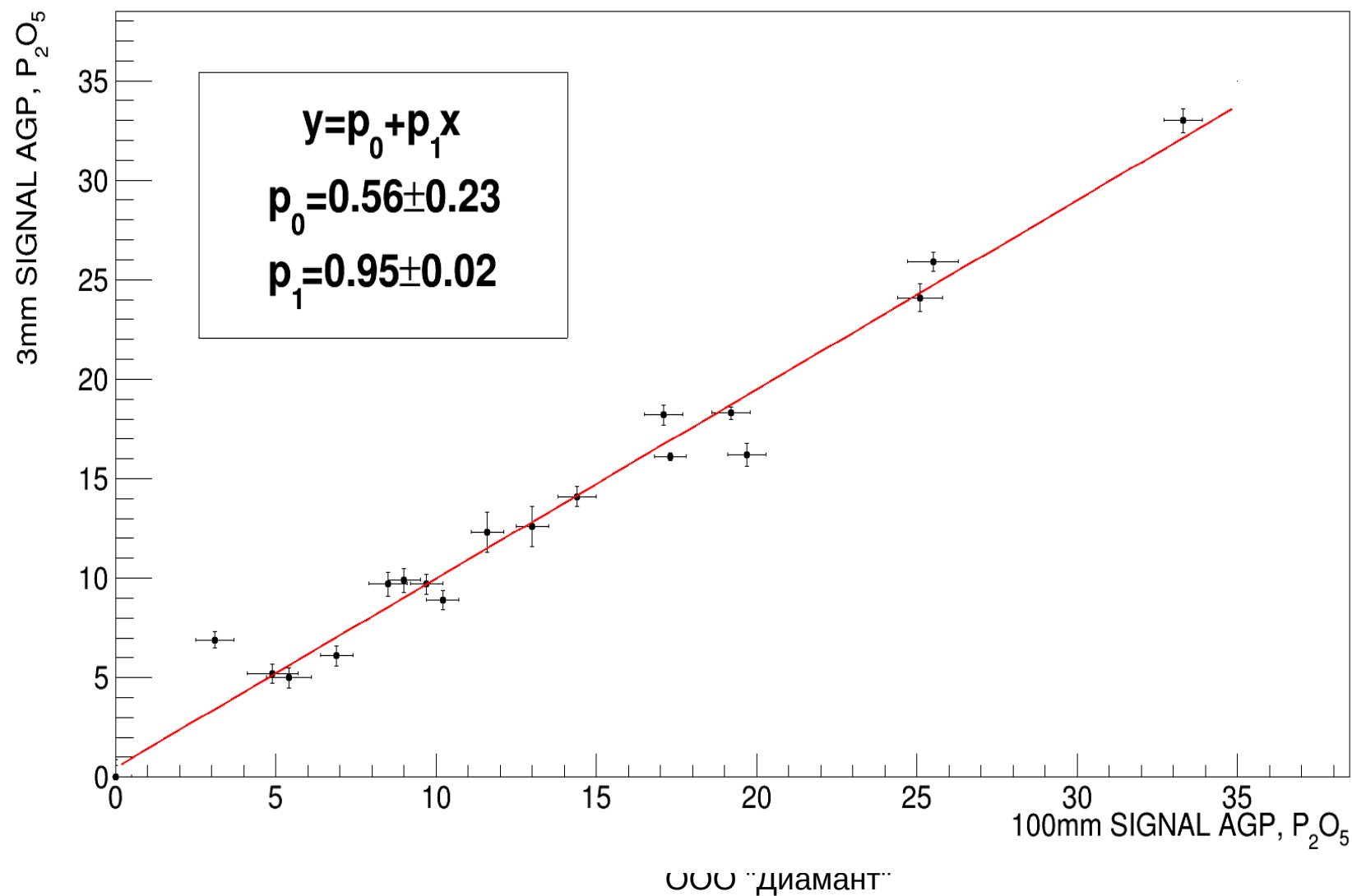


Пробы 5 кг из карьера -100 мм измерялись без какой-либо пробоподготовки. Затем дробились до -10 мм и – 3 мм.

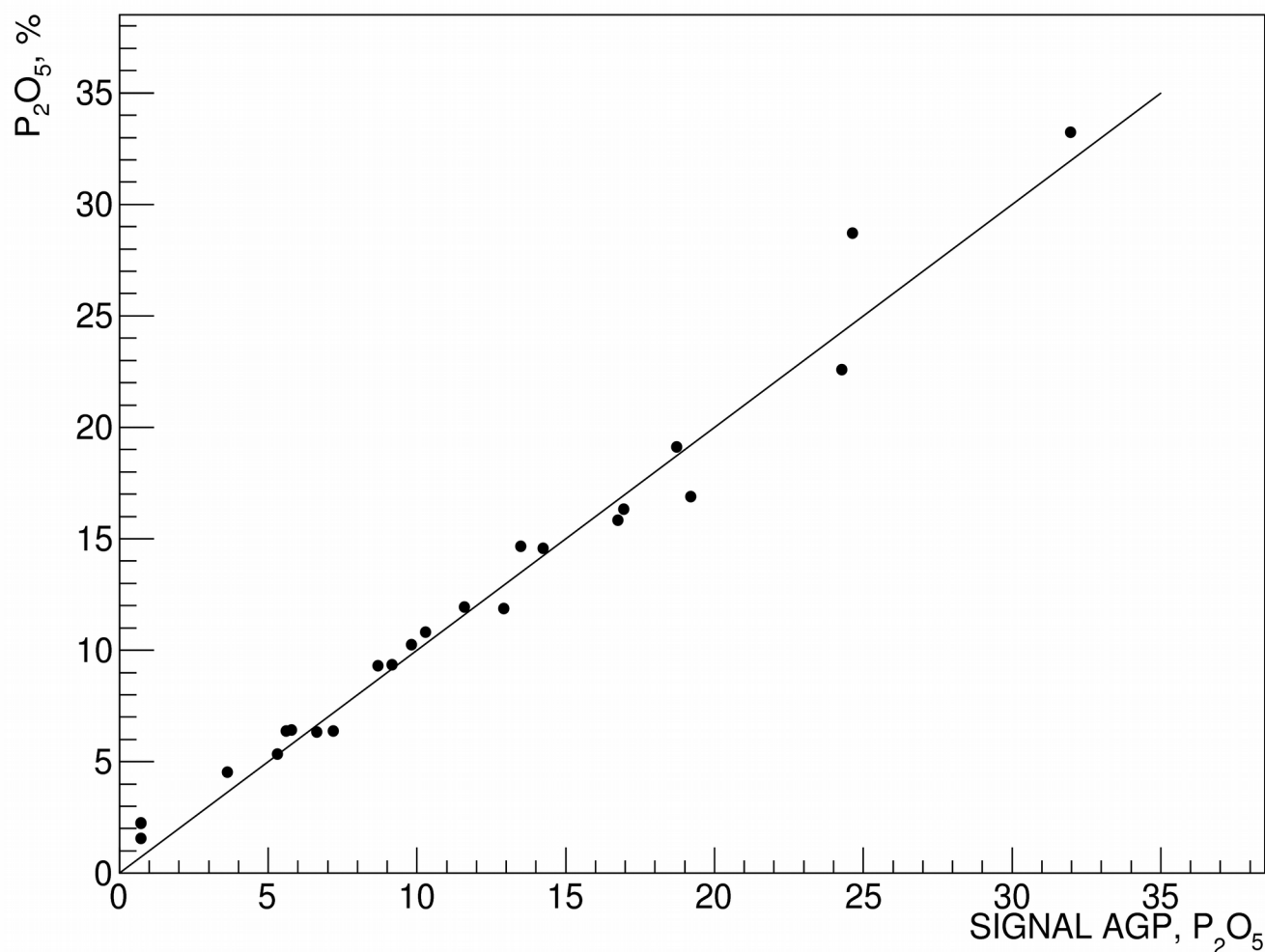
ООО "Диамант"

Крупность -100 / -3 мм

3mm vs 100mm



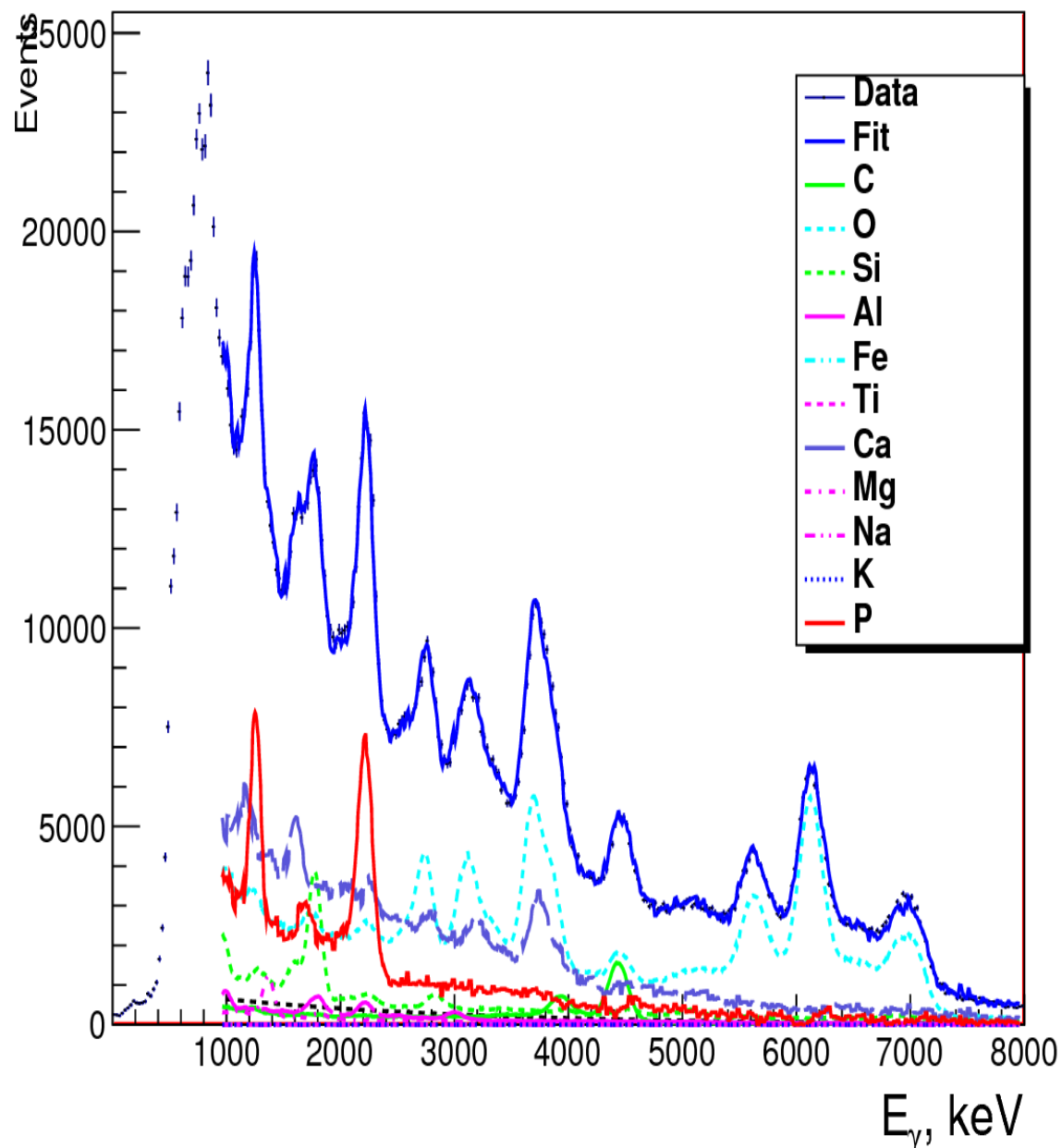
Сравнение с ХА



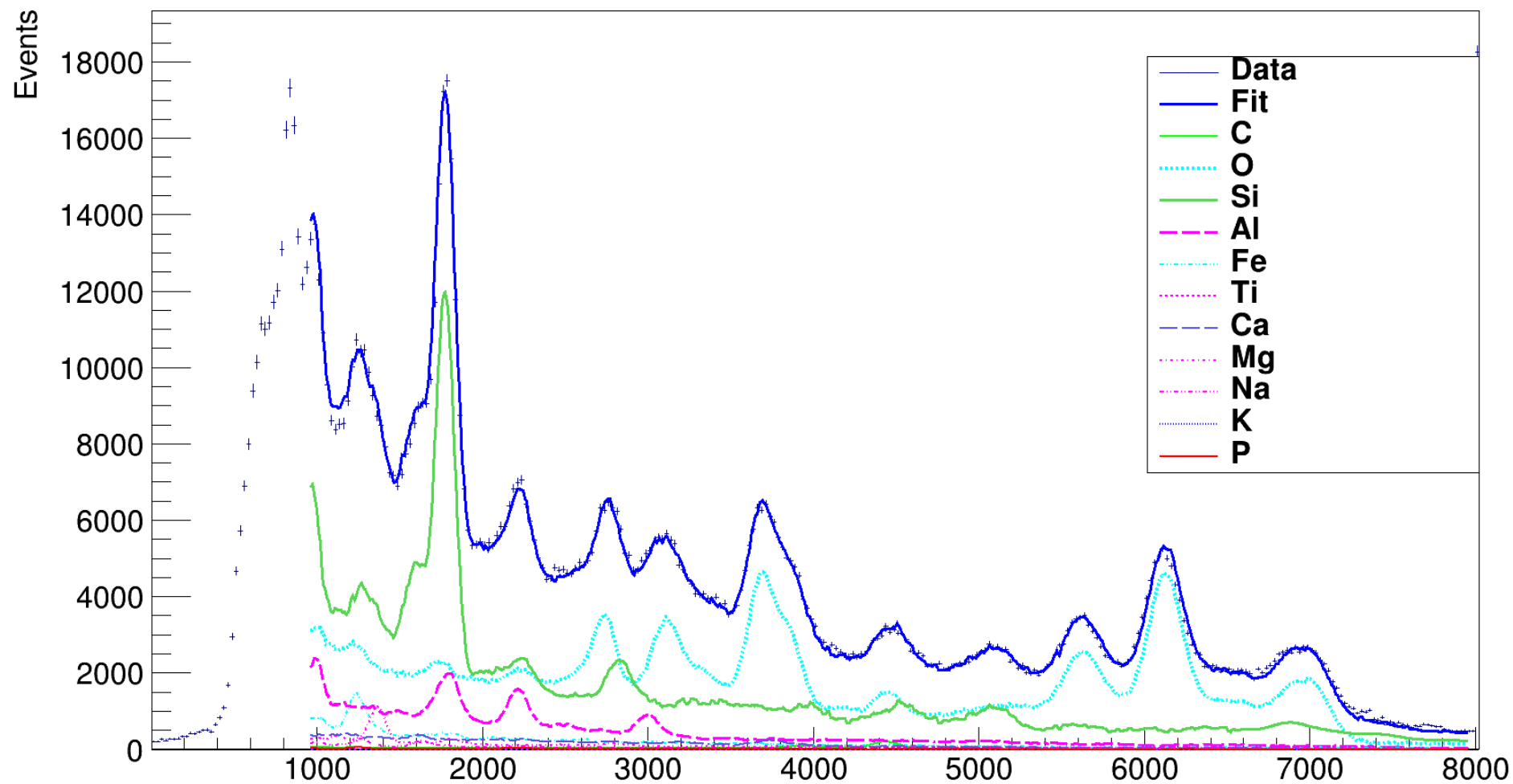
Погрешность измерений (диапазон 2σ) составляет 2.62% для кл. 1-4 и 1.98% для кл. 2-3.

ООО "Диамант"

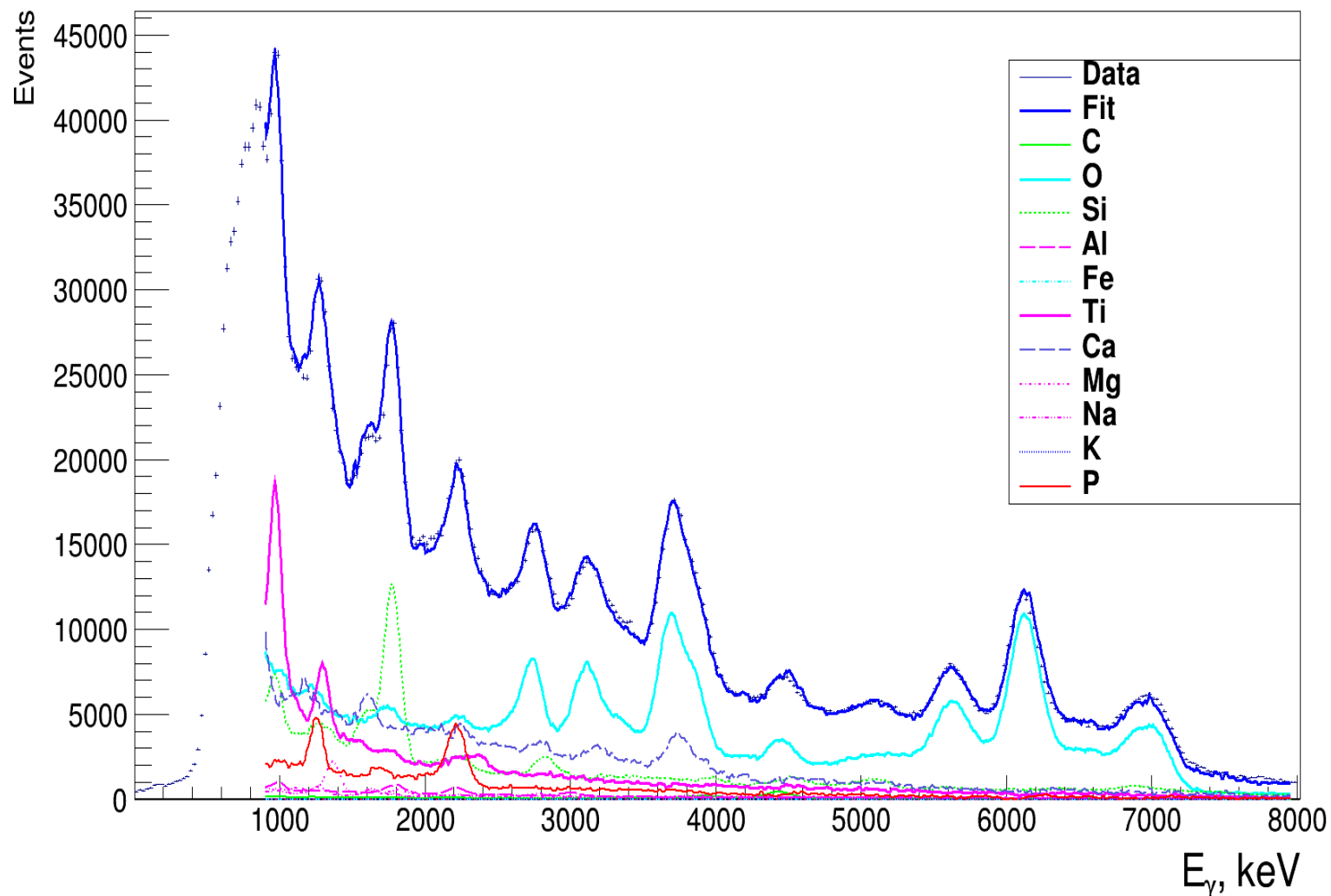
Концентрации других элементов (Na, Mg, C, O, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe)



Главный тест: кирпич



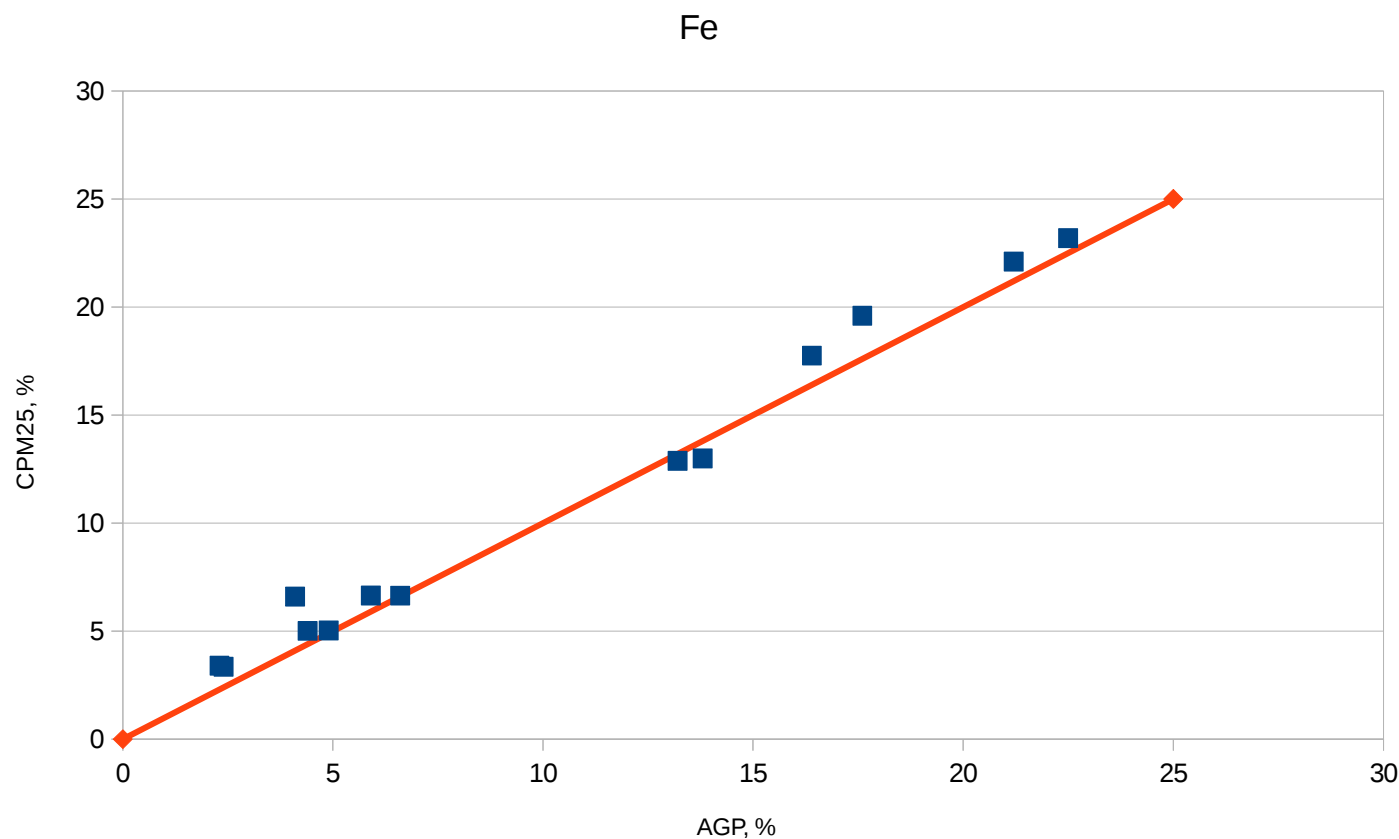
Титан



Образец №18

23% TiO₂

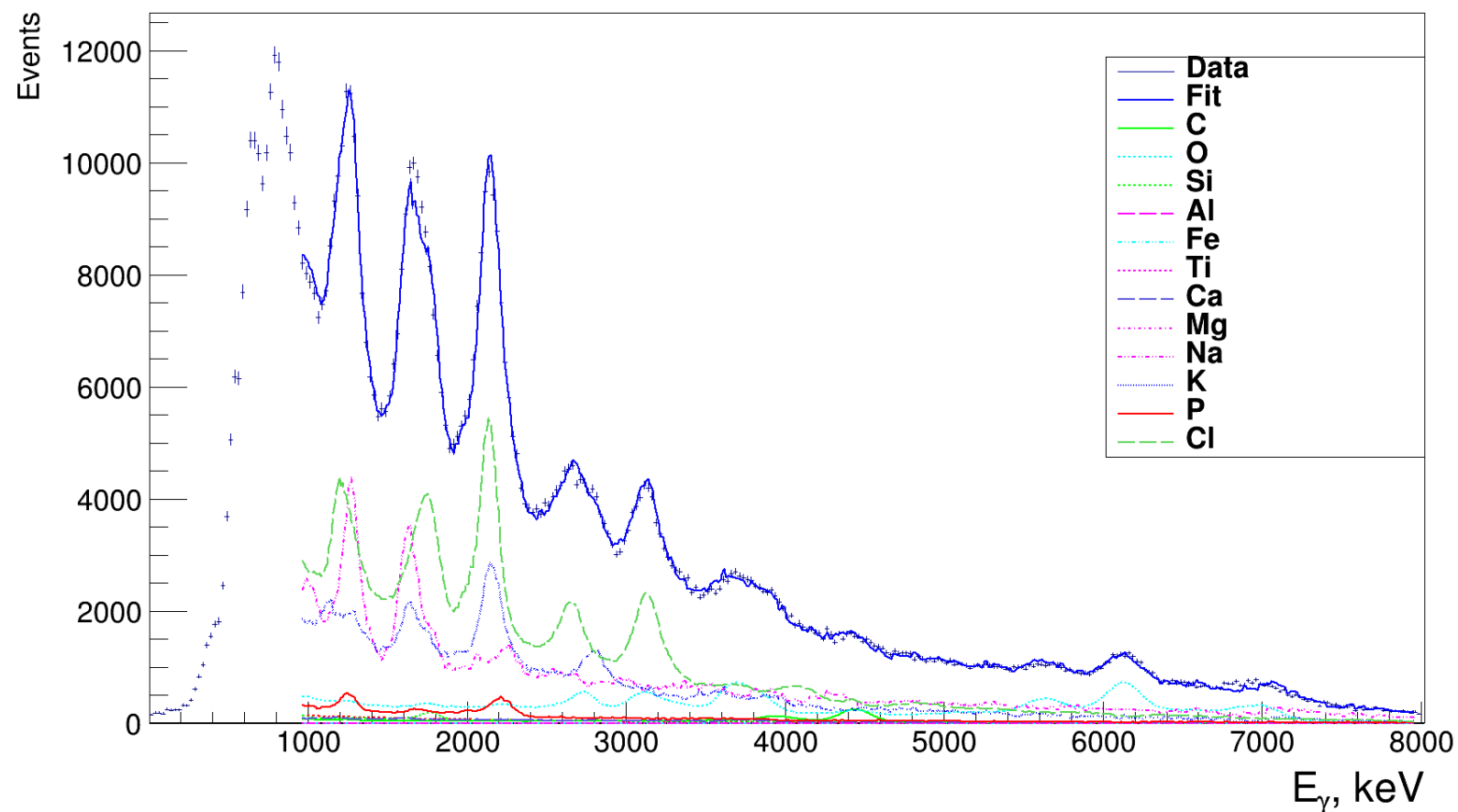
Пробы руды с Ковдорского ГОК



Погрешность измерений (диапазон 2σ) составляет 1.8%

Калийная соль

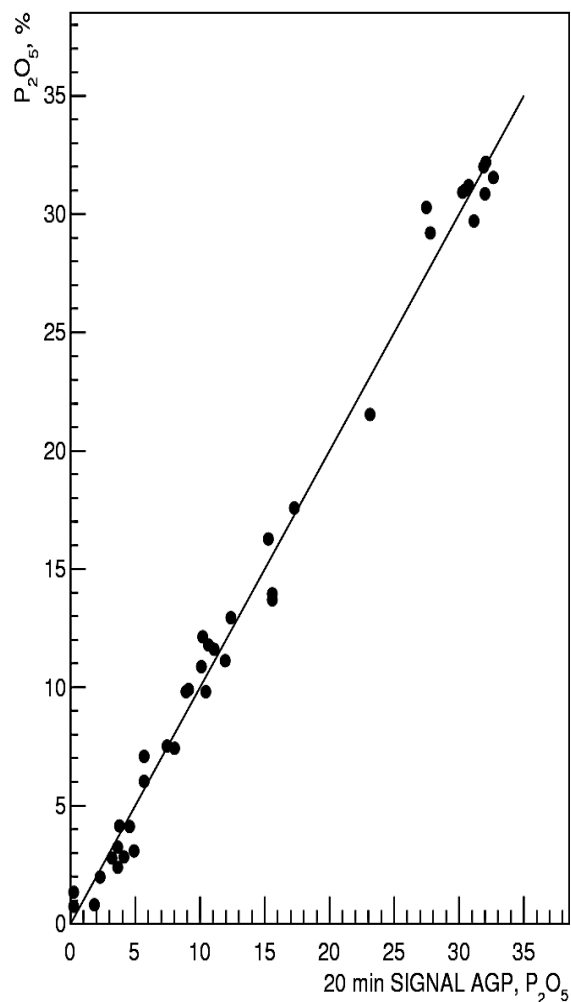
apr20-11



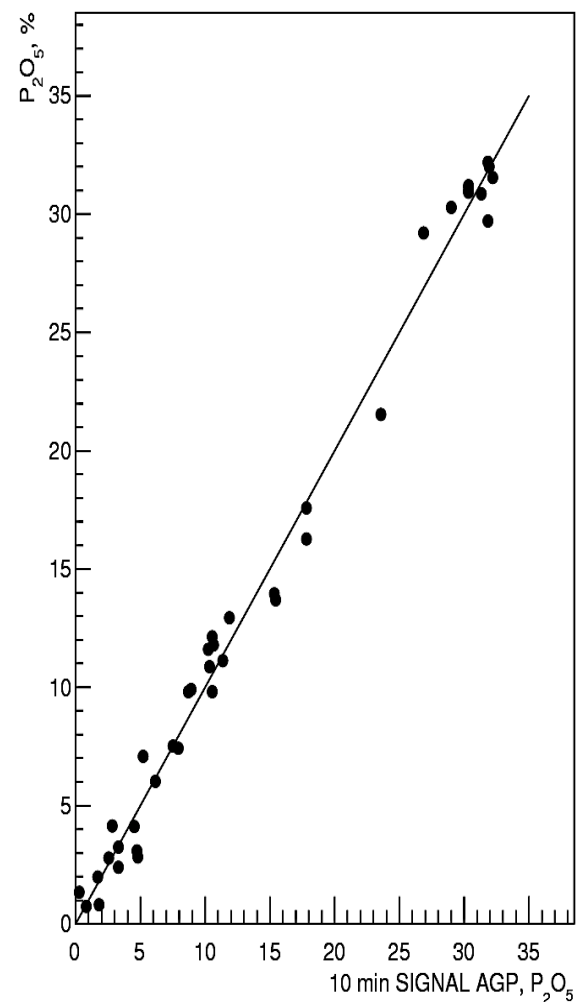
Al, %	C, %	Ca, %	Cl, %	Fe, %	K, %	Mg, %	Na, %	O, %	P, %	Si, %	Ti, %
0	2.1±0.1	2.8±0.9	39.6±0.7	0	22.3±0.6	0	18.6±0.5	11.8±0.3	2.2±0.3	0.5±0.2	0

Уменьшение времени анализа

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



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

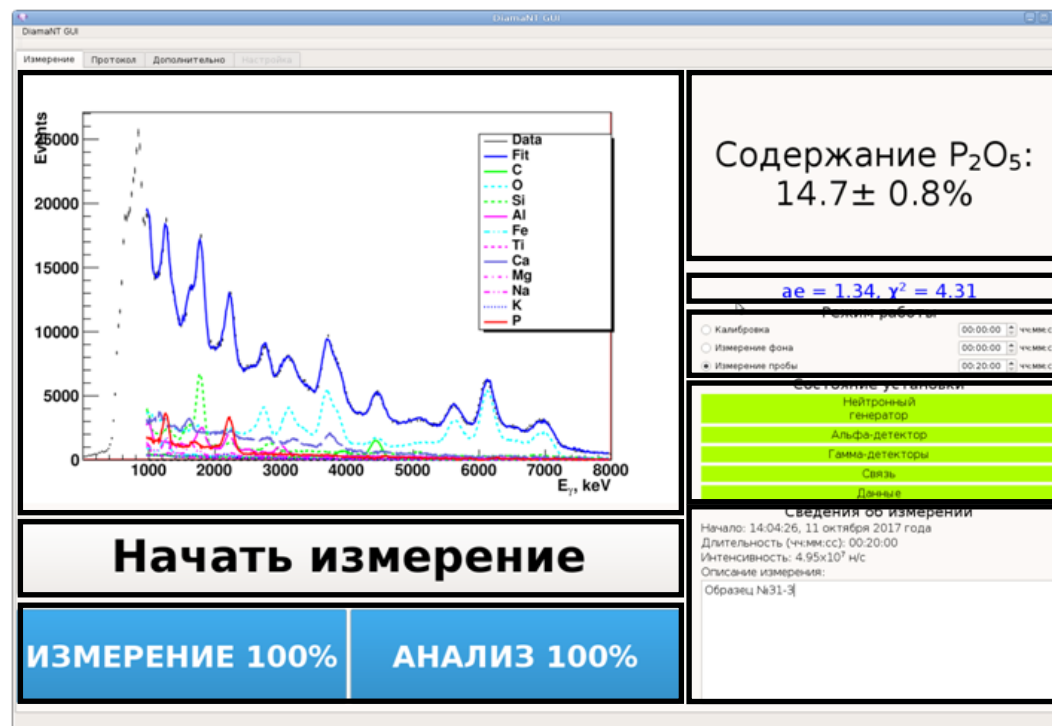


Радиационная безопасность

- 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.

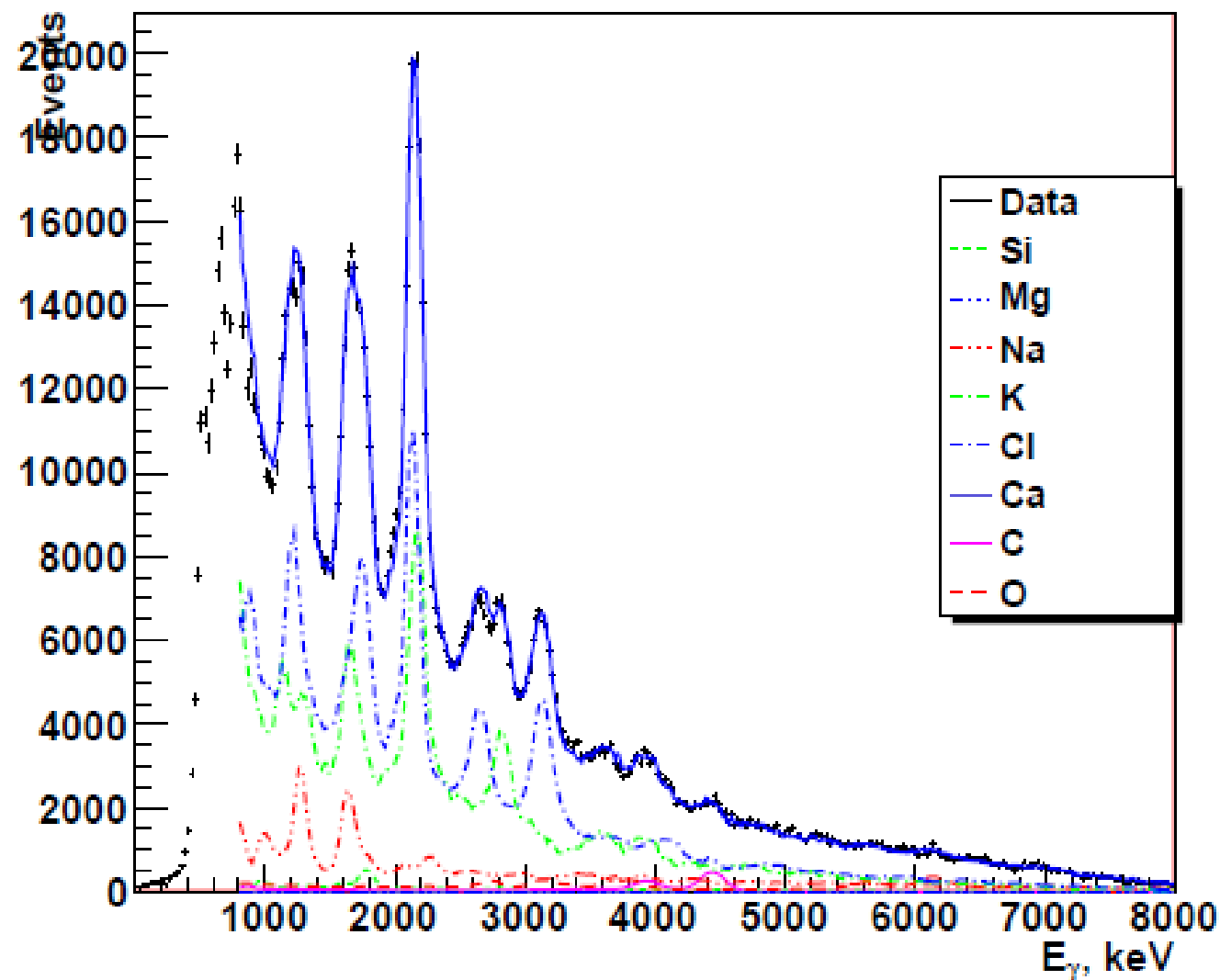
Выводы

Проведены опытно-промышленные испытания установки АГП-Ф.

- Погрешность измерений (диапазон 2σ , 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.



Сильвиниты



Cl: 44.7 ± 0.6
 Na: 9.1 ± 0.4
 K: 39.4 ± 0.6
 Si: 1.1 ± 0.2
 Mg: 0.0 ± 0.1
 Fe: 0.1 ± 0.0
 Al: 0.0 ± 0.1
 Ca: 0.0 ± 0.1
 Ti: 0.0 ± 0.0
 C: 2.1 ± 0.1
 O: 3.5 ± 0.2

Временные распределения

