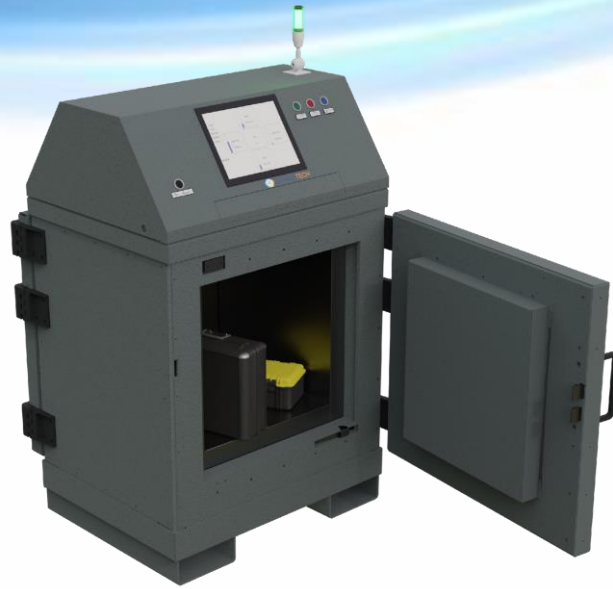




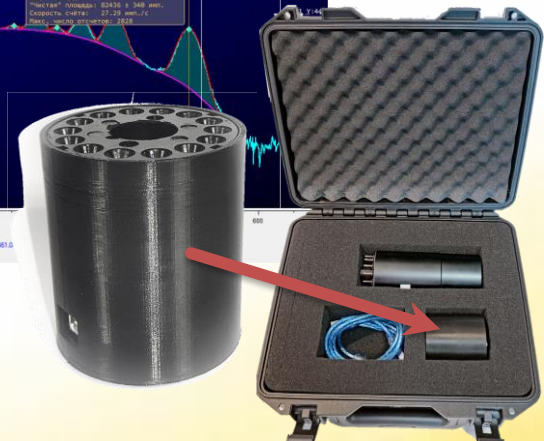
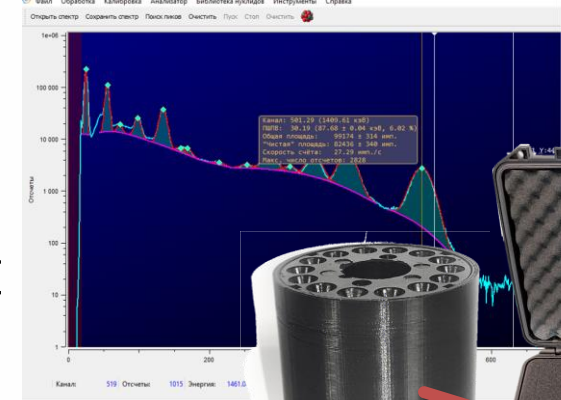
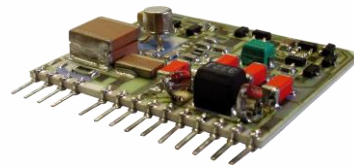
Разработка программно-
аппаратного комплекса для
поиска и идентификации
гамма-излучающих нуклидов
на основе машинного
обучения

Бредихин Иван
ООО «ГАММАТЕК»



- ВещеМер – контроль загрязнения
- Система учёта контроля помещений

- Цифровая электроника
- Нейтронные детекторы
- Программные решения



- Гамма-спектрометры
- Альфа-спектрометры



Задача гамма спектрометрии – измерение, анализ и разбор гамма-спектров с целью определения нуклидного состава и его количественных характеристик.

Необходимые составляющие для решения:

1. Выбор средства измерения: измерительного устройства, спектрометра и пр.
2. Правильный выбор методов обработки и алгоритмов для получения ответа

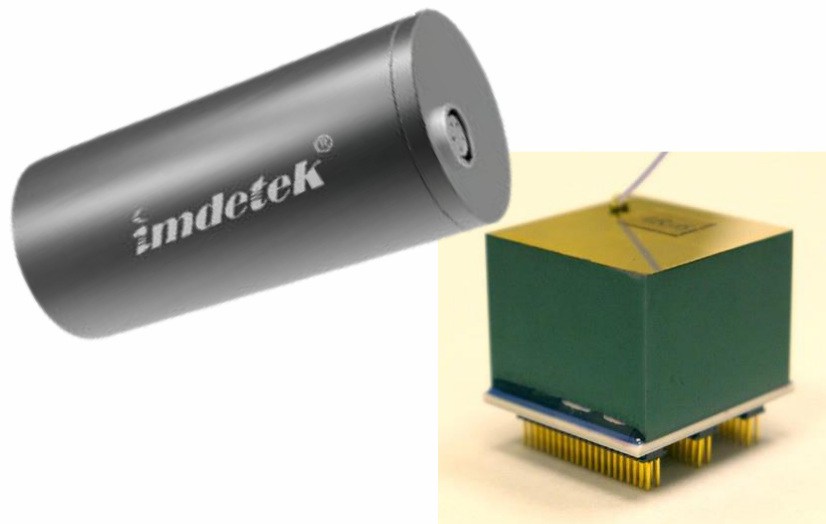


ОЧГ



0,1% – 0,2%

CdZnTe



0,6% – 2,5%

ПШПВ	1,1% @ Cs137	0,8% @ Cs137
Объём		0,65% совпадения отделены
4,5 см³	M100	M100-R08
19 см³	M400	M400-R08
29 см³	M400-15	M400-15-R08

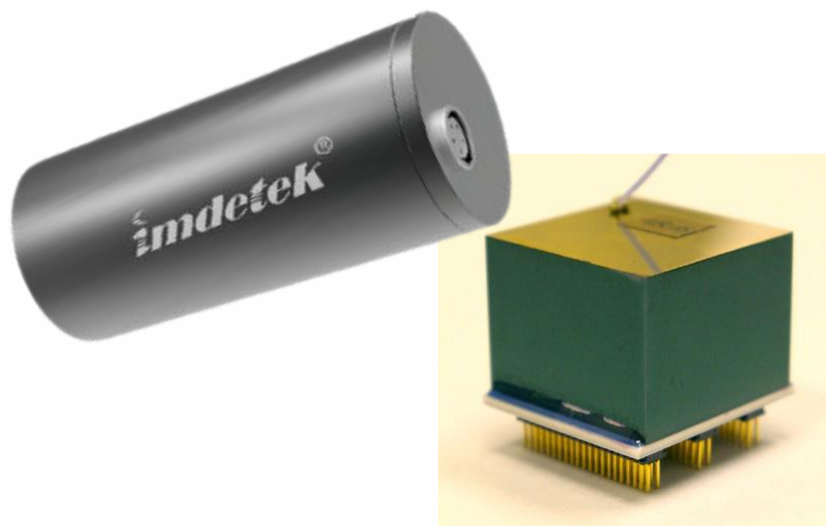
ПШПВ	2,0% @ Cs137
Объём	
0,5 см³	M050

ОЧГ



0,1% – 0,2%

CdZnTe



0,6% – 2,5%

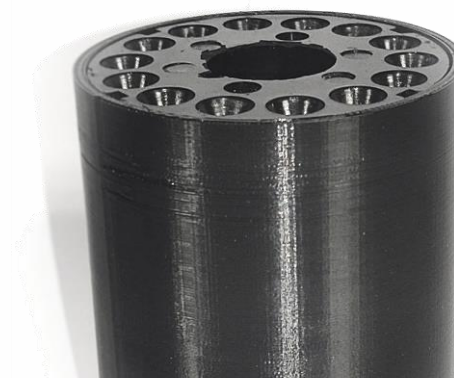
сцинтилляторы



2,5% – 10%

СЦИНТИЛЛЯТОРЫ

Материал	NaI(Tl)	SrI ₂ (Eu)	LaBr ₃ (Ce)
Типичное энергетическое разрешение, %	6,5 – 7,5	2,8 – 3,5	2,5 – 3,5
Время высвечивания, нс	250	1000 – 3000	16
Плотность, г/см ³	3,67	4,6	5,08

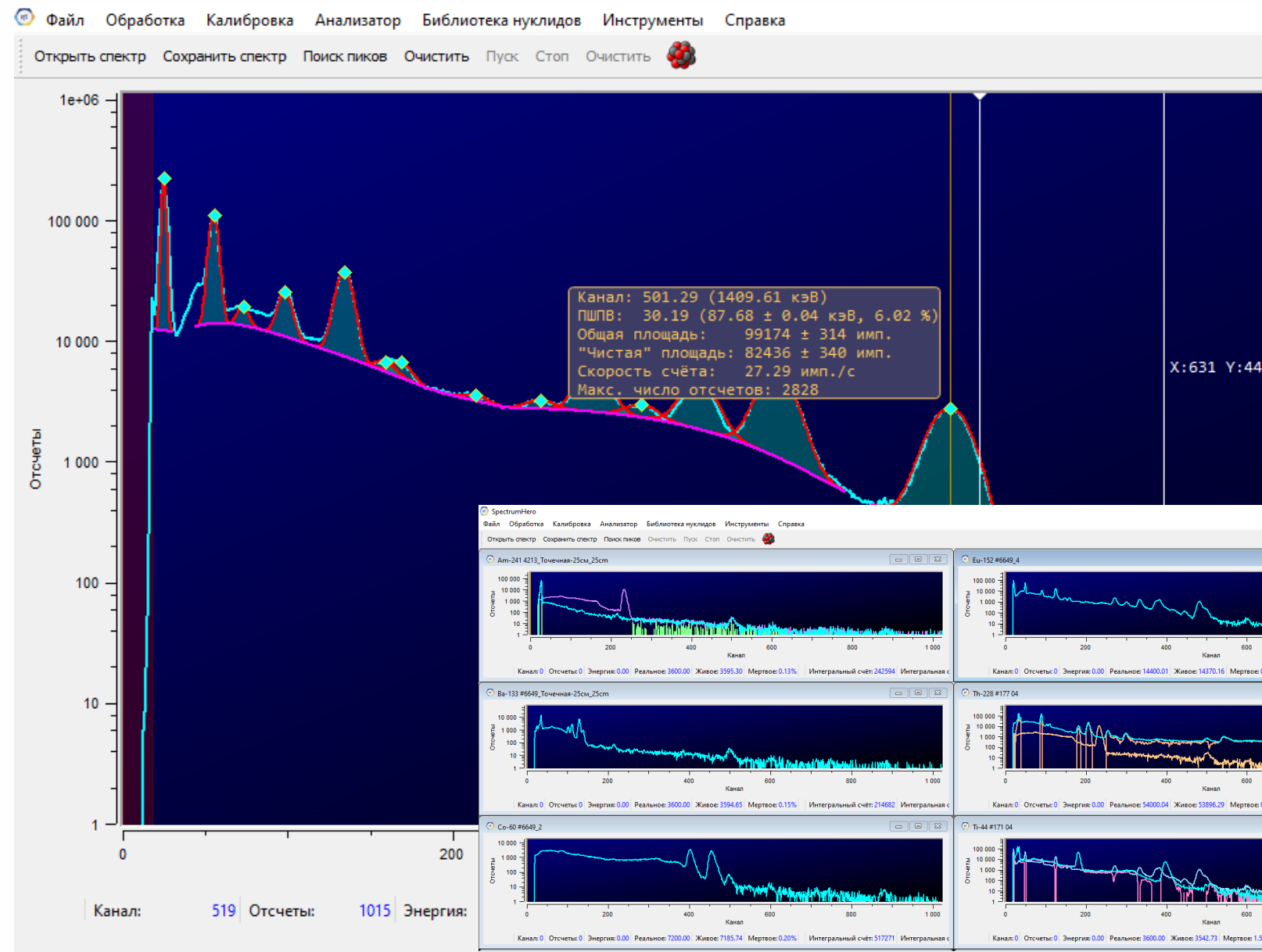


2,5% – 10%

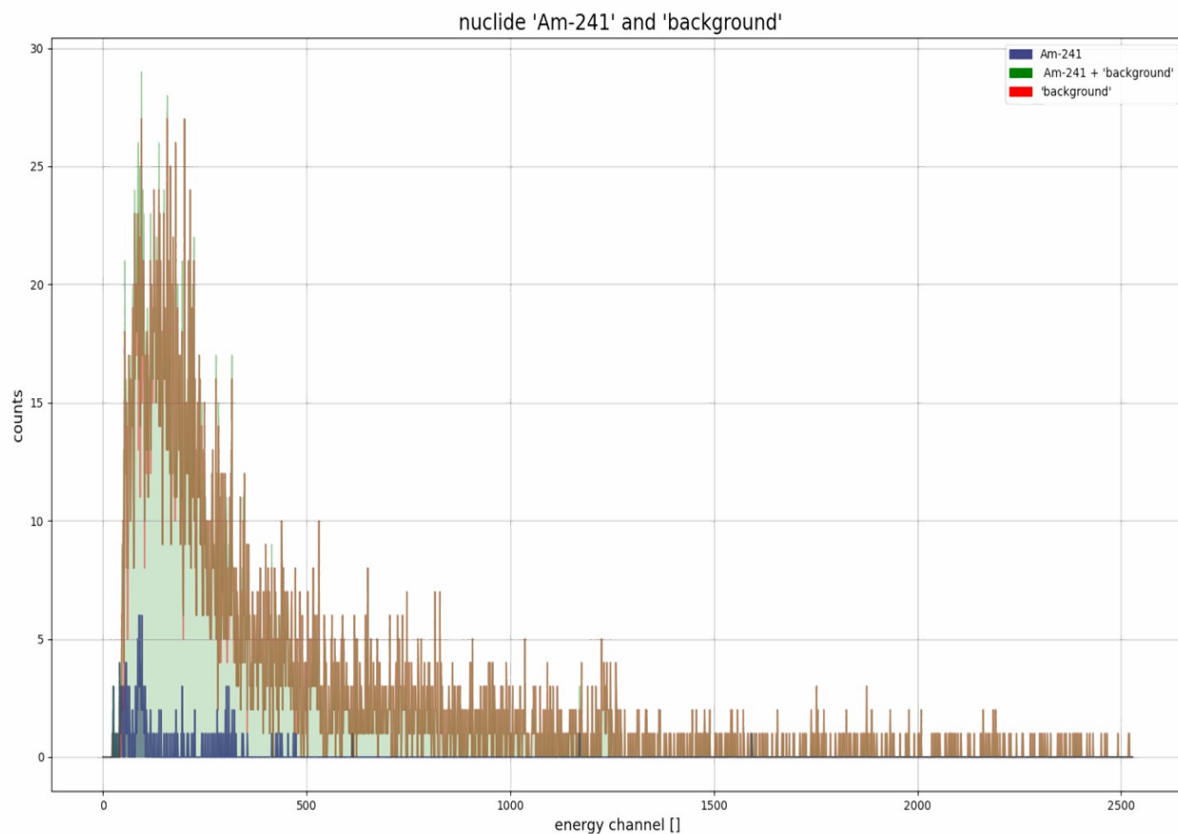
Проблематика и постановка задачи

ПО: SpectrumHero

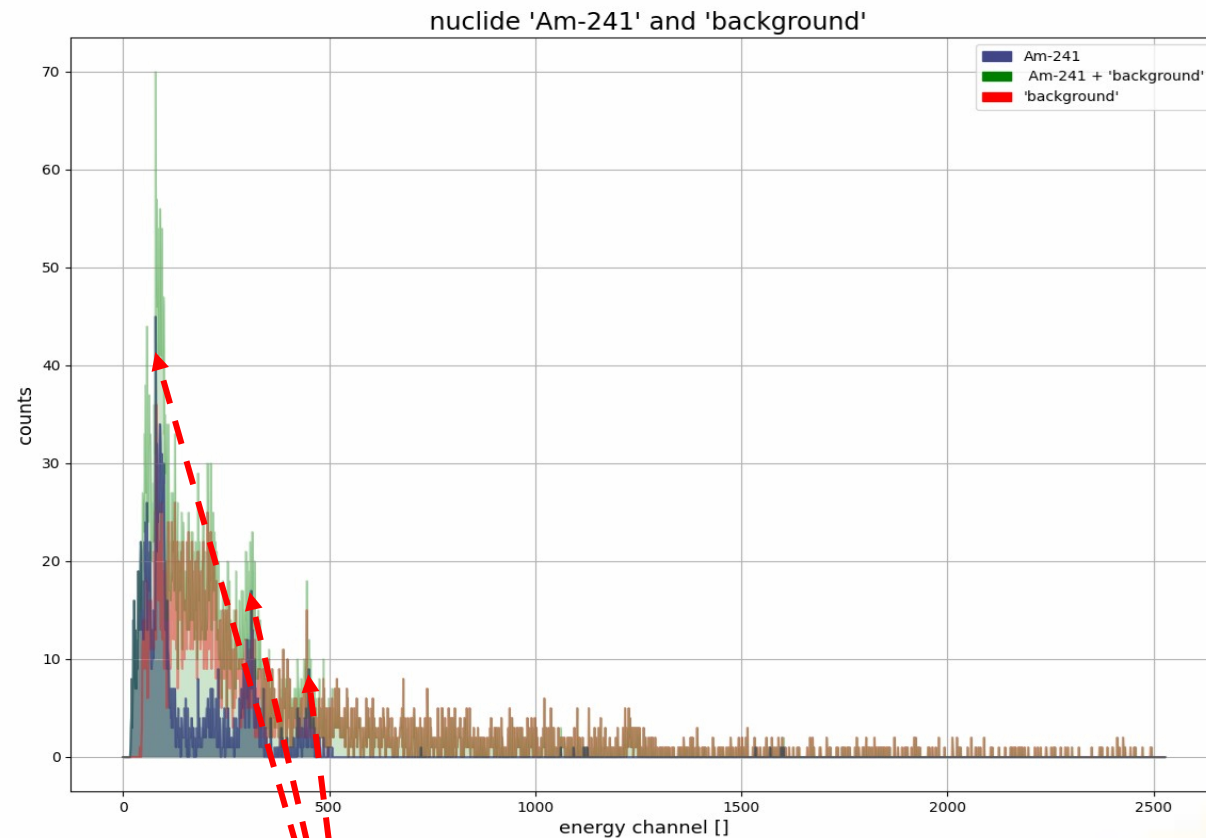
- Автоматический поиск пиков: 1-я производная, Марискотти, Робертсон, Блок;
- Сглаживания спектра;
- Вычисление подложки;
- Калибровки: энергия, форма пика, ПШПВ, эффективность;
- Идентификация матричным методом;
- Вычисление активности.



Малая статистика: сложность выделения пиков / идентификации



«Малая» статистика:
пики от фона и искомого нуклида
сливаются



«Достаточная» статистика:
(в x2.5 раза больше)
все пики можно разделить

Обычный матричный метод обработки спектров состоит в решении системы линейных уравнений

$$A[i] = \sum_j Q_j * B_j[i],$$

$A[i]$ – измеренный спектр,

$B_j[i]$ – спектры стандартов, образующие матрицу отклика,

Q_j – активности радионуклидов в измеряемом образце.

Сложность вычисления результата классическим методом $O(n^2)$

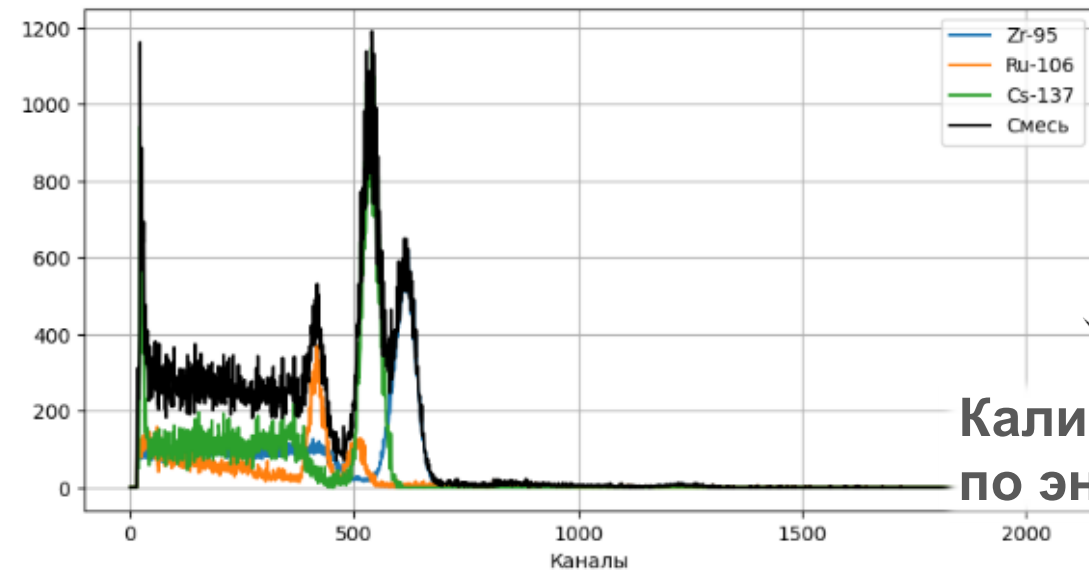
Увеличенное время от измерения до получения ответа

Необходимость «тонкой настройки» параметров разбора

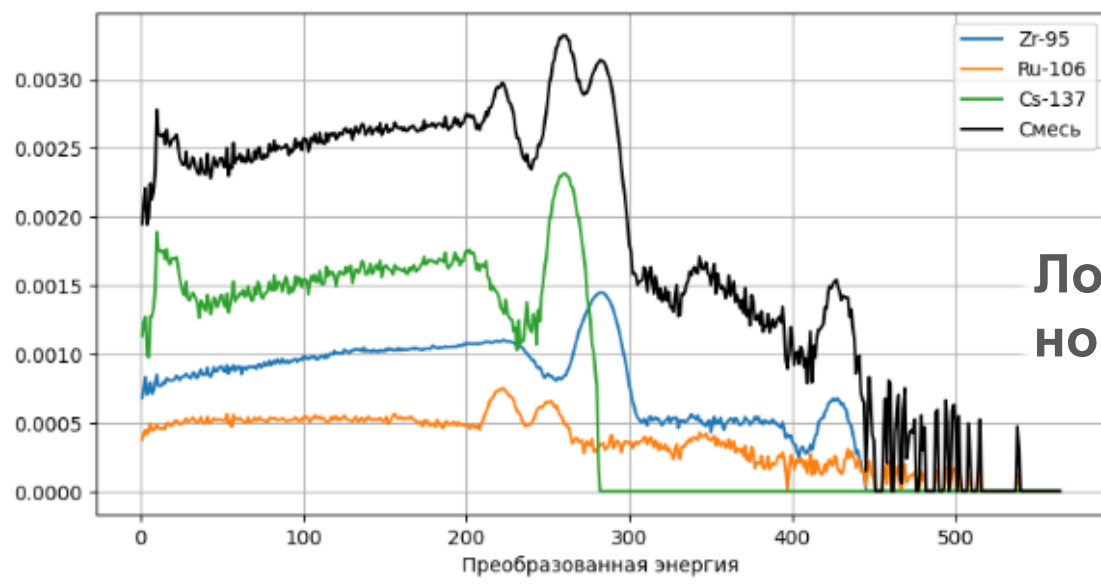
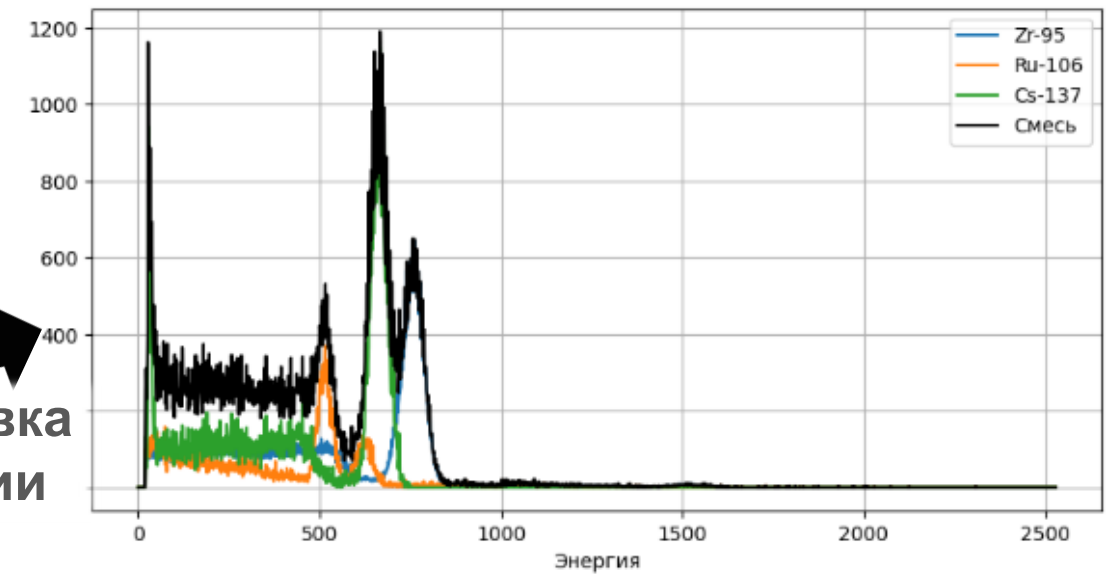
Альтернатива классическим методам: машинное обучение

- Методы глубокого обучения пробуют имитировать работу человека и головного мозга (нейроны, нейронные связи, обучение и поиск паттернов)
- Методы особенно хорошо работают там, где в решаемой задаче имеется плохо формализованный математически поиск паттернов

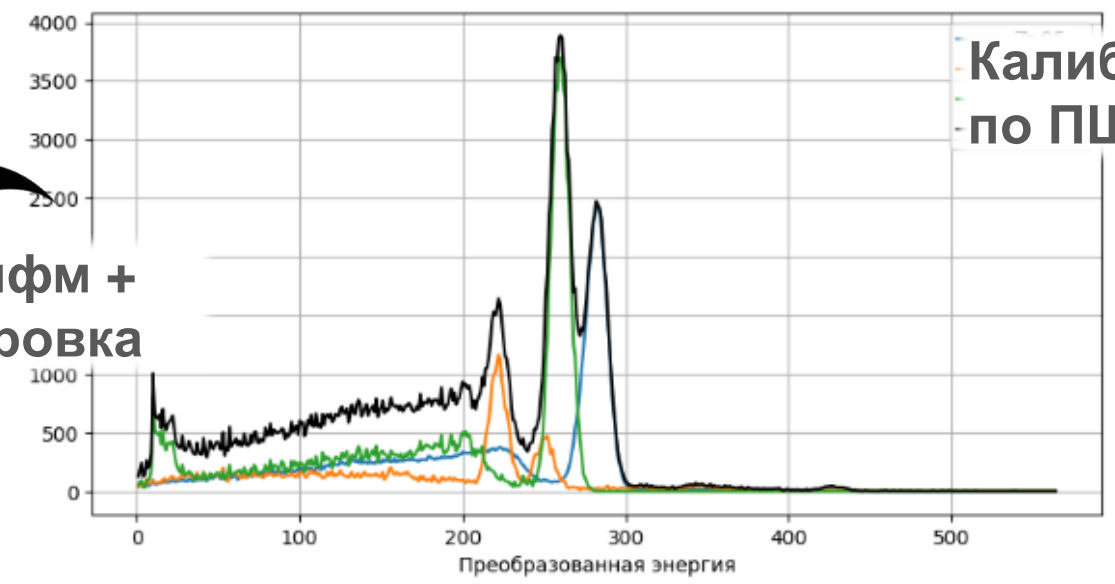
Разработанные методы



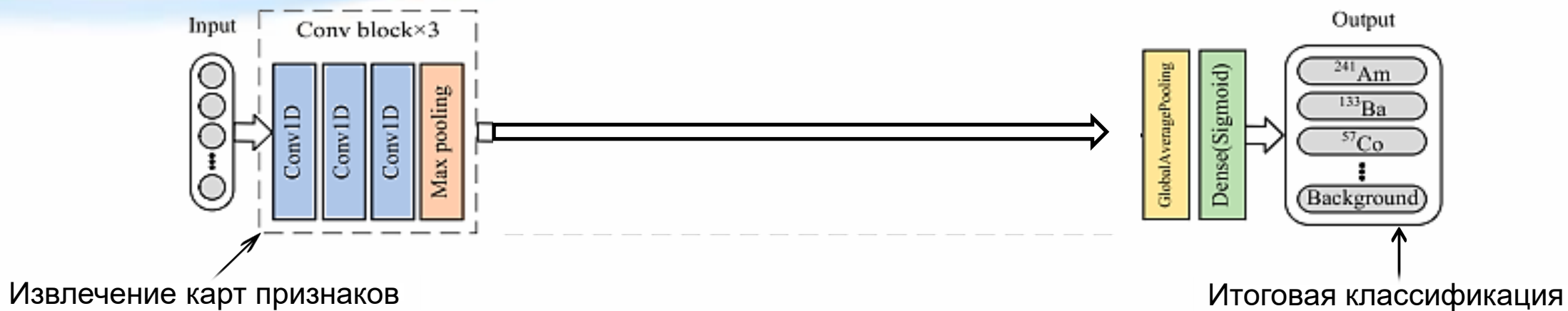
Калибровка
по энергии



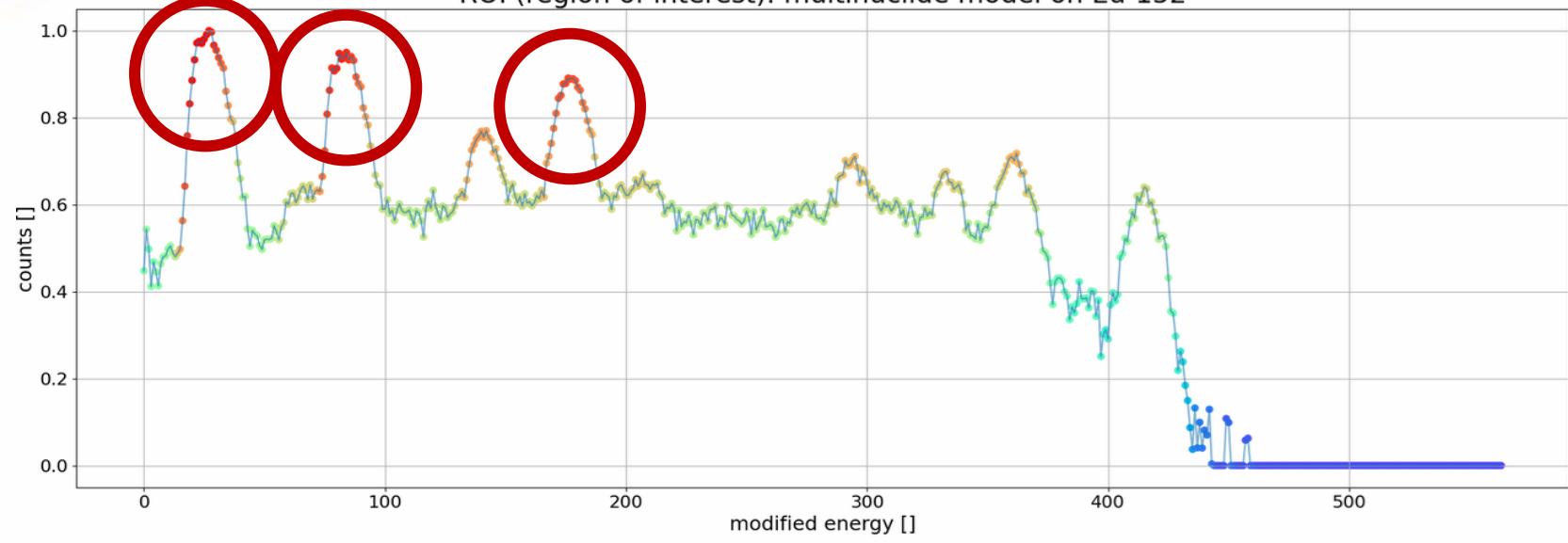
Логарифм +
нормировка



Калибровка
по ПШПВ

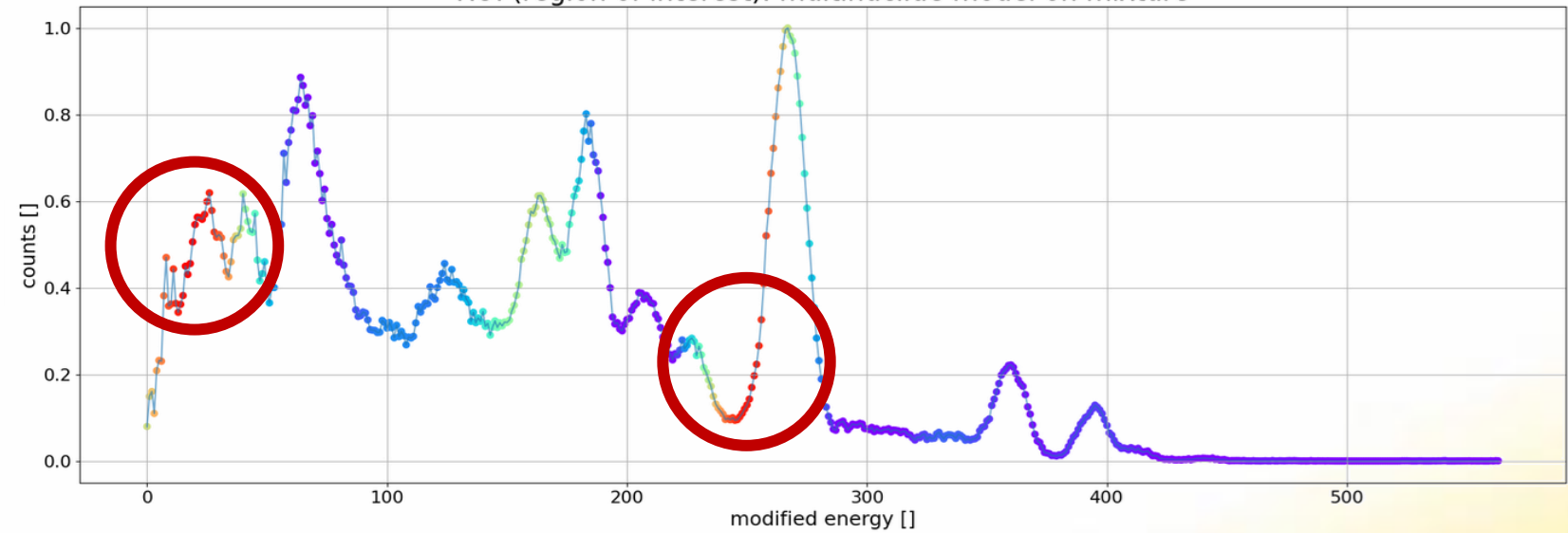


ROI (region of interest): multinuclide model on Eu-152

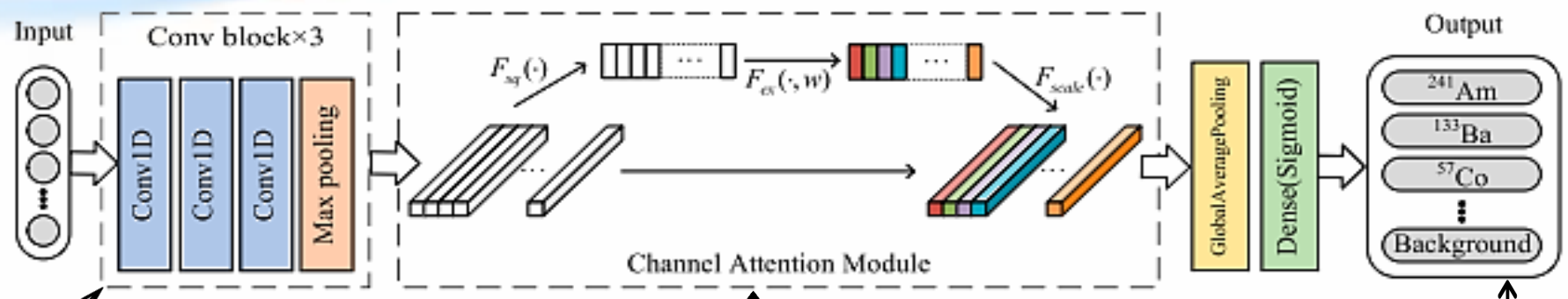


Внимание на пики

ROI (region of interest): multinuclide model on mixture



Внимание на другие элементы спектра

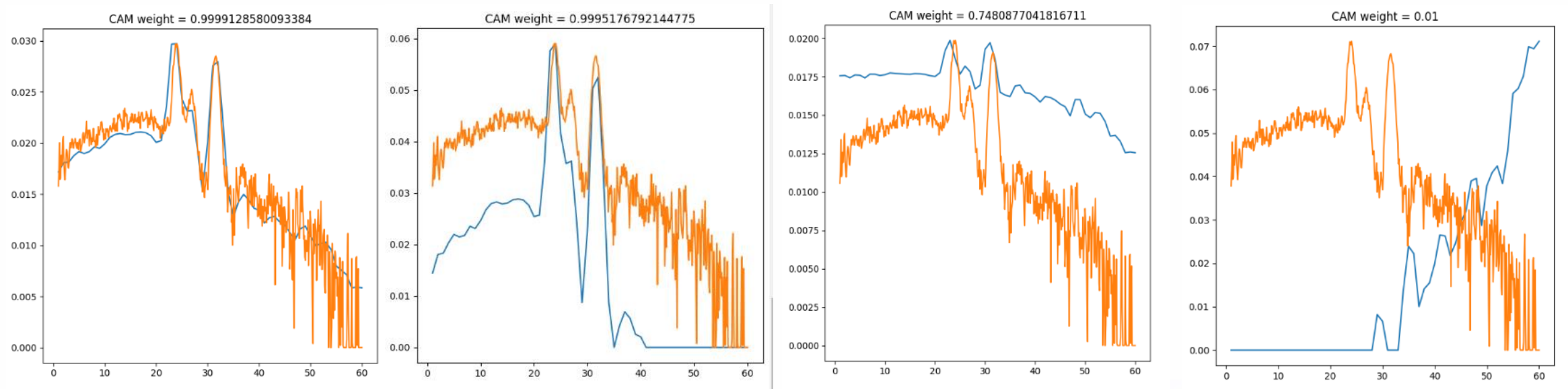


Извлечение карт признаков

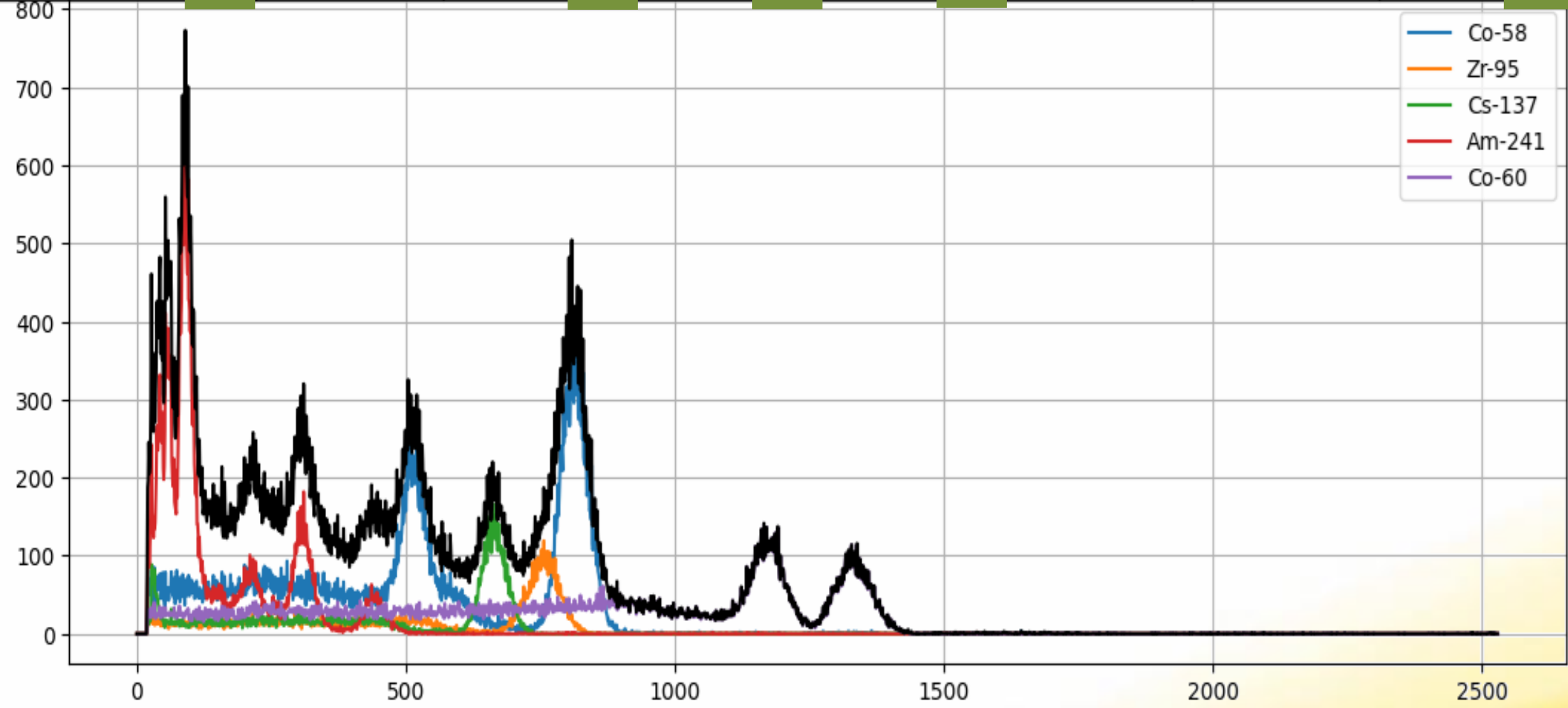
Взвешивание карт признаков

Итоговая классификация

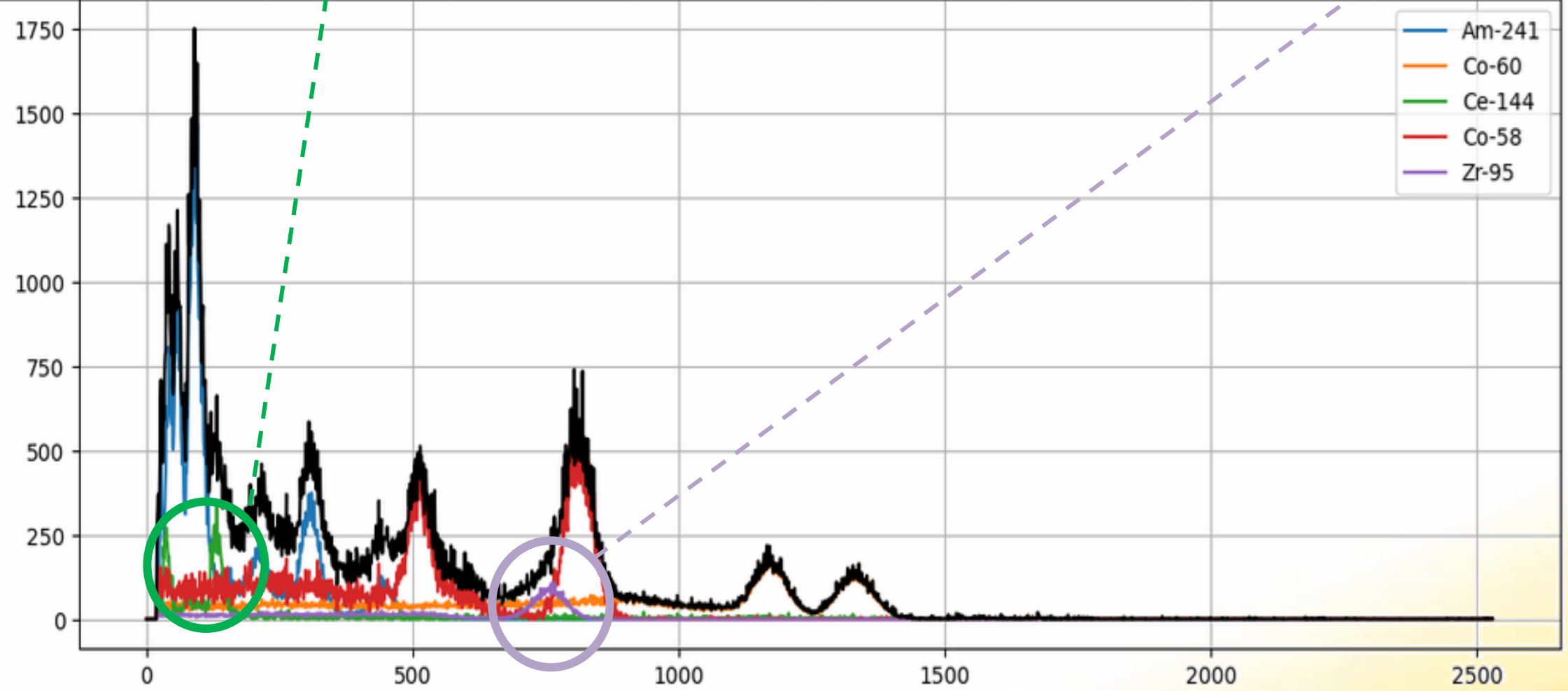
Примеры карт признаков с их весами



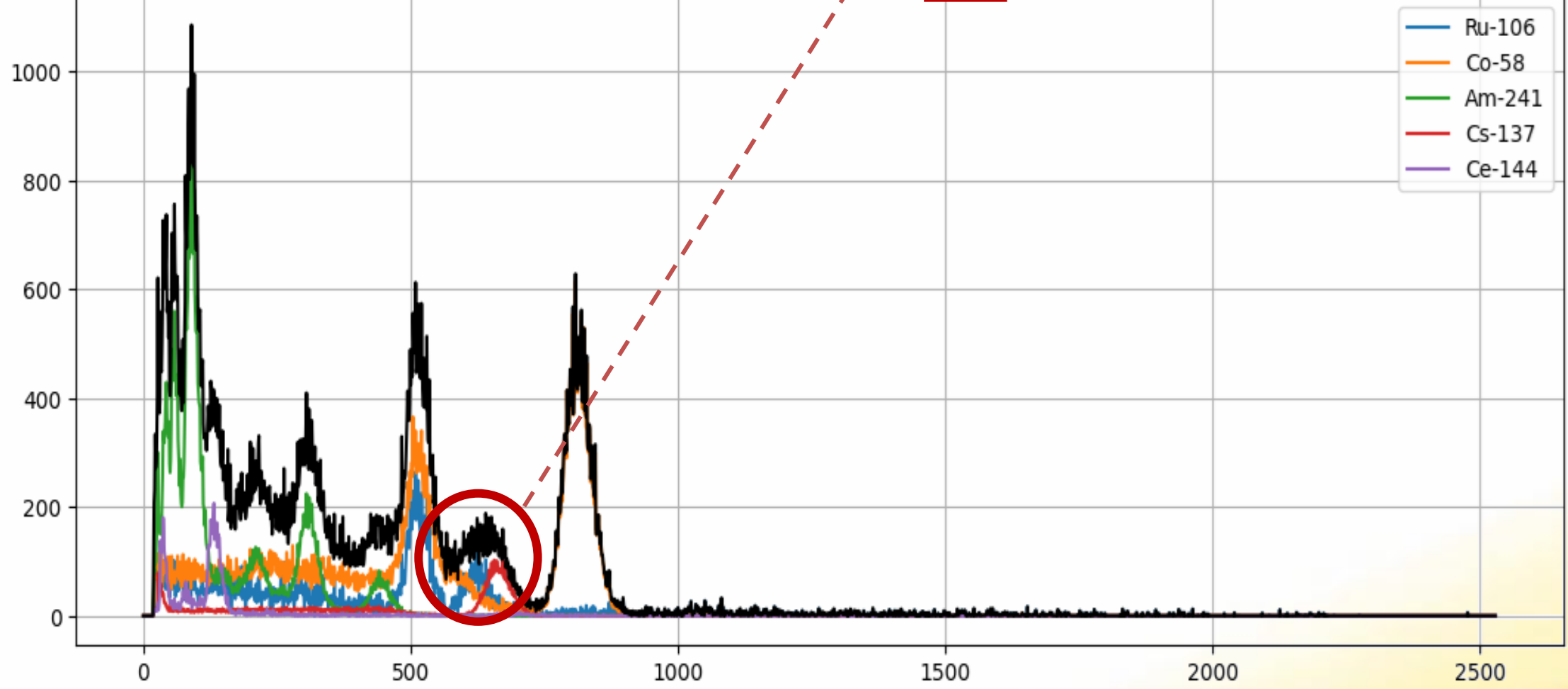
	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Вес в смеси	0.23	0	0.34	0.26	0.08	0	0	0.08
Наличие	1	0	1	1	1	0	0	1
Вероятность наличия	1	0.00	1	1	1	0.00	0.00	1



	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Вес в смеси	0.34	0.06	0.32	0.23	0	0	0	0.05
Наличие	1	1	1	1	0	0	0	1
Вероятность наличия	1	1.00	1	1	0.00	0.00	0.00	1.00



	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Вес в смеси	0.29	0.05	0.43	0	0.05	0	0.18	0
Наличие	1	1	1	0	1	0	1	0
Вероятность наличия	1	1	1	0.00	0.01	0.00	1	0.00



Нуклиды	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Наличие	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Вероятность наличия	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.989789	0.0



Нуклиды	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Наличие	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0
Вероятность наличия	0.998432	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0



Нуклиды	Am-241	Ce-144	Co-58	Co-60	Cs-137	I-131	Ru-106	Zr-95
Наличие	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0
Вероятность наличия	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0

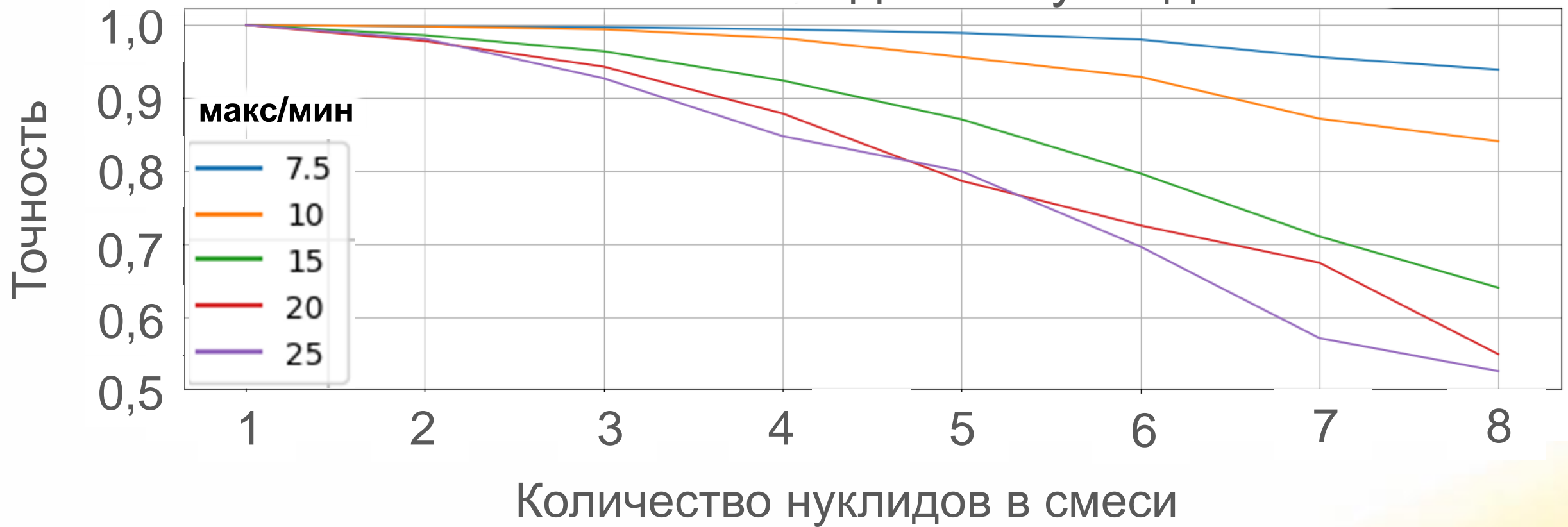


Стандартная метрика Наша метрика «честная»

8/8	1
8/8	1
7/8	0
Итог: 23/24	2/3

Критерий успеха для “честной” метрики: вероятность наличия > 0.5

Точность в зависимости от кол-ва нуклидов и соотношения макс/мин долей нуклидов




Использование 1D U-net для выделения спектра выбранного нуклида из смеси mix из 15 нуклидов: **декомпозиция для Cr-51**




Cr-51
Ru-106
Fe-59
Ce-144
Cs-137
I-131
Ce-141
Mn-54
Ru-103
Co-58
Co-60
Zn-65
Cs-134
Eu-152
Am-241

Выделение спектра выбранного нуклида из смеси (1D U-NET): **Декомпозиция для Cr-51**







Валидация
результатов
классическими
методами



До-обучение на
реальных
экспериментальных
данных



Расширение границ
применимости моделей –
работа на «неизвестных»
детекторах



Новые вызовы:
Дополнительные
области
применения

ANSI N42.34-2021

American National Standard Performance Criteria for Handheld Instruments for the Detection and Identification of Radionuclides

<https://standards.ieee.org/ieee/N42.34/10557/>
<https://www.doc88.com/p-61873077427382.html>

Domestic Nuclear Detection Office (DNDO)

Technical Capability Standard for Handheld Instruments Used for the Detection and Identification of Radionuclides

<https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/dndo-tcs-for%20handheld.pdf>

**Отсутствие российского стандарта на
«идентификацию»**

Отсутствие российского стандарта на «идентификацию»

- 1) Сформировать наборы сличительных тестов:
 - Синтетические (свободно распространяемые)
 - Модельные с описанием схемы сравнения

- 2) Организовать «игры» по сличению результатов, получаемых на устройствах.

Возможная структура синтетических спектров:

1. Несколько «типов» детекторов (NaI(Tl), LaBr₃(Ce), SrI₂(Eu)) и размеров (1", 1,5",);
2. Несколько групп «библиотек» - различные применения:
 - Техногенные нуклиды (АЭС и РАО)
 - Природные (радиоэкология, мониторинг)
 - Медицина (терапия, диагностика)
 - Безопасность
 - Оружейные
3. Параметры детектора задаются через серию «калибровочных» мононуклидных спектров в заданных точках относительно прибора.
4. Разнообразные смеси по кол-ву нуклидов (1-8) в смеси и по их статистике «MAX/MIN» (от 1 до 20)
5. Согласованная единая метрика оценки результатов



Иван Бредихин

Ivan.Bredikhin@gammatech.pro

www.gammatech.pro

+7-905-765-0009