

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
ПОДХОДА ИНТЕГРАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОН
ПОДТОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ
СНИМКОВ

Панкратов Д.А. аспирант
Еремеев С.В. к.т.н.

ПРОБЛЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ

Сейчас:

- Обнаружение зданий в зоне подтопления — одна из актуальных задач дистанционного зондирования Земли при оценке последствий стихийных бедствий
- Нейросетевые алгоритмы широко применяются для автоматизации этого процесса, однако их обучение с нуля требует огромных вычислительных затрат

Проблематика:

- Объединение моделей обычно требует дорогостоящего переобучения
- Потеря функциональности или точности при слиянии
- Отсутствие универсального решения для объединения разнородных архитектур

Цель работы:

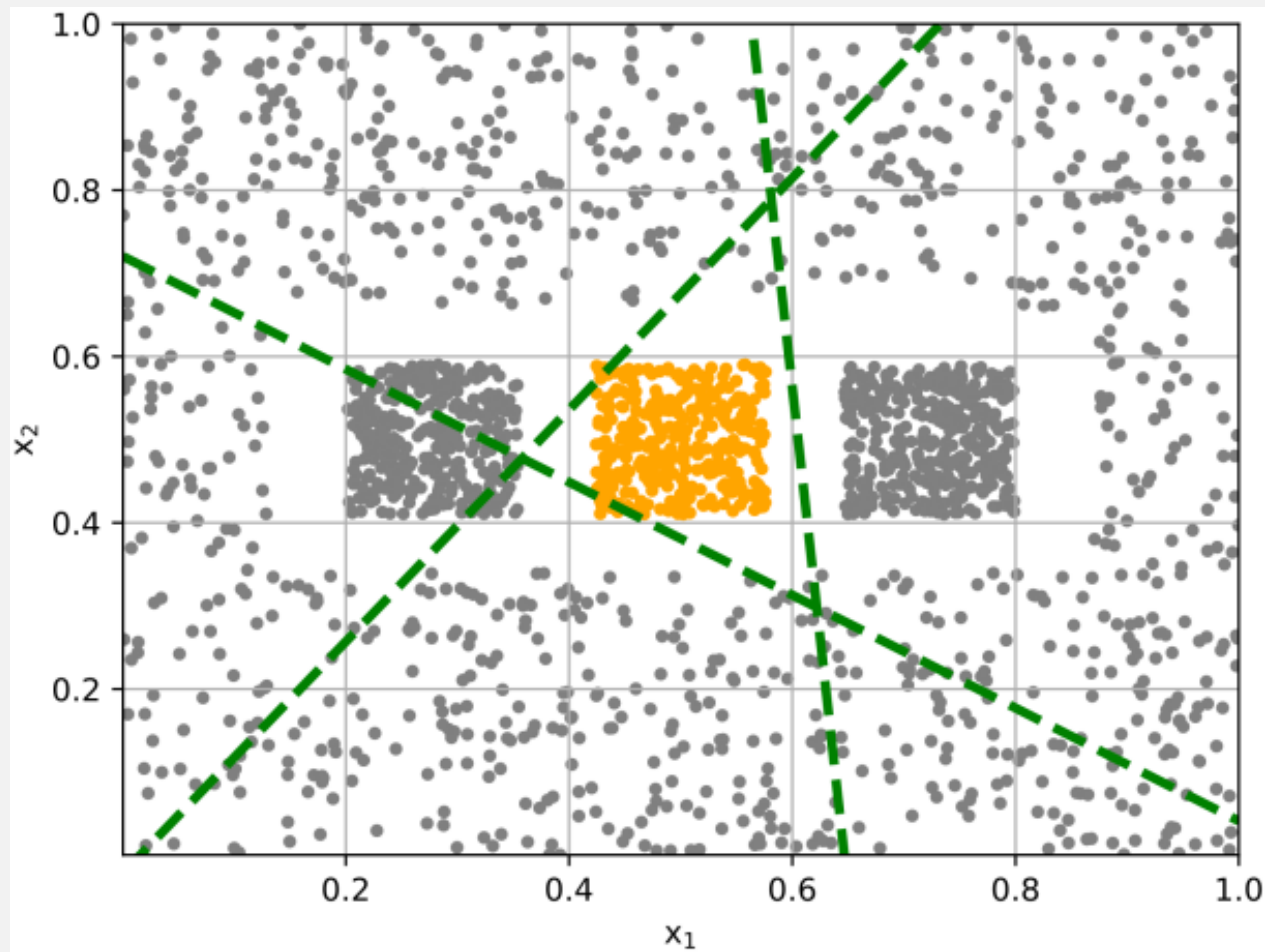
- Объединять готовые предварительно обученные модели без дорогостоящего переобучения
- Автоматически наследовать навыки моделей
- Существенно экономить время и вычислительные ресурсы

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

- Ключевая идея: каждый нейрон в полносвязном слое представляет собой гиперплоскость, разделяющую пространство признаков.
- Визуализация в 2D: для двух признаков нейрон — это прямая линия.
- Наш подход: мы анализируем пересечения этих линий (гиперплоскостей) из разных предварительно обученных моделей, чтобы построить новую без переобучения.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЙРОНА

$$z = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b$$



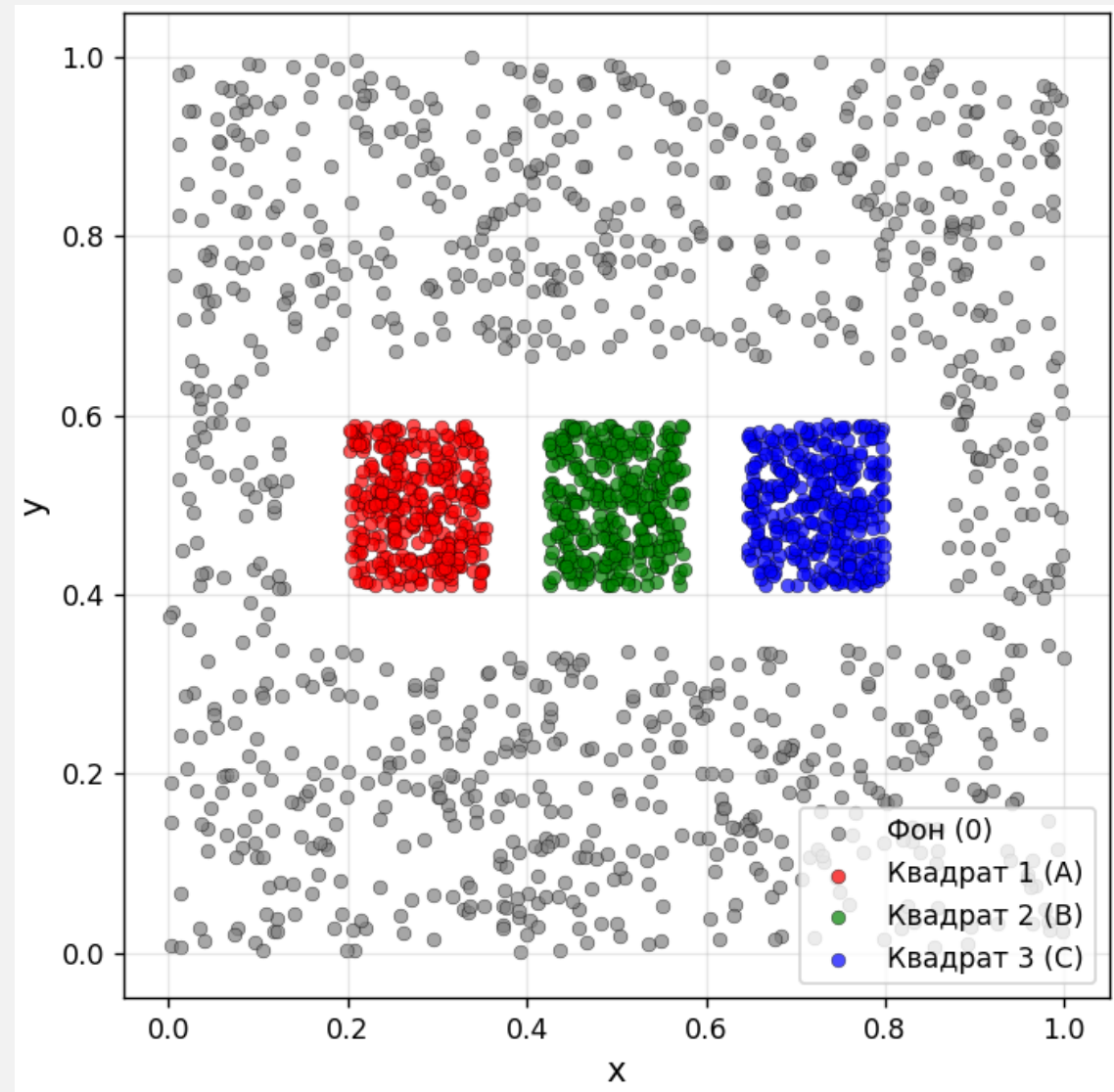
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

$$X = \left\{ \left(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj} \right) \right\}_{j=1}^m -$$

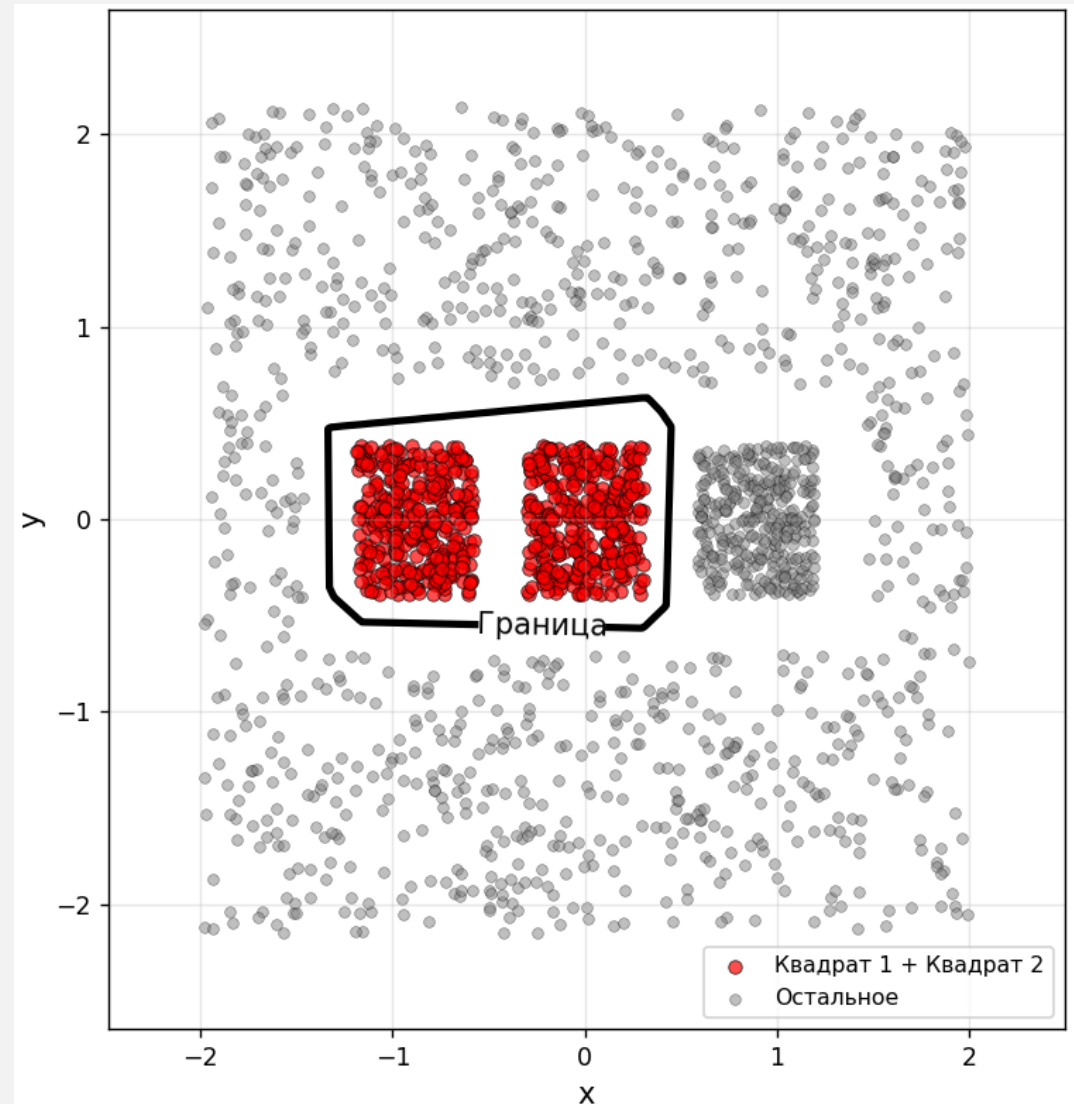
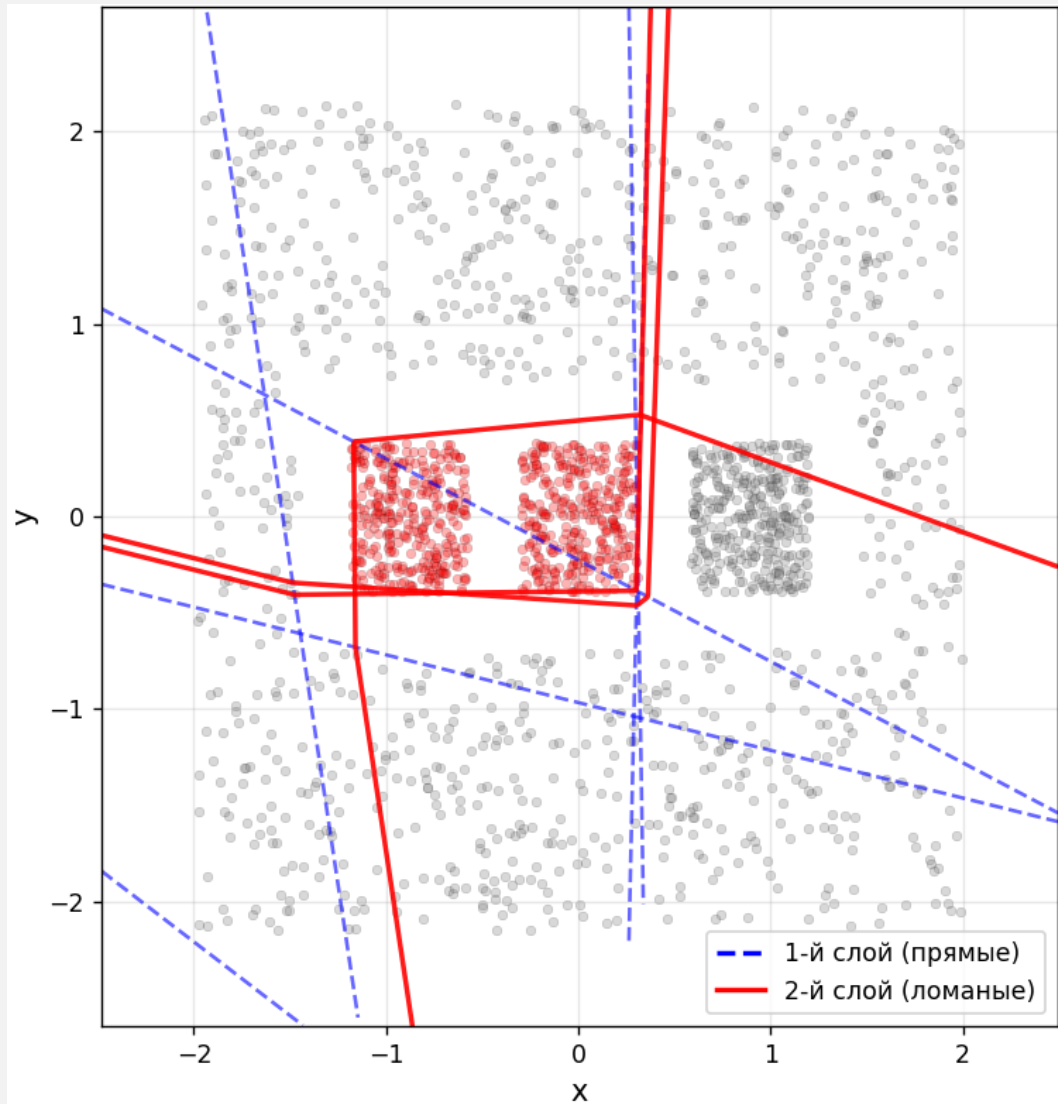
множество m точек в n -мерном пространстве.

- Задача 1 — классификация квадрата А и В
- Задача 2 — классификация квадрата В и С
- Задача интеграции — классификация квадрата В

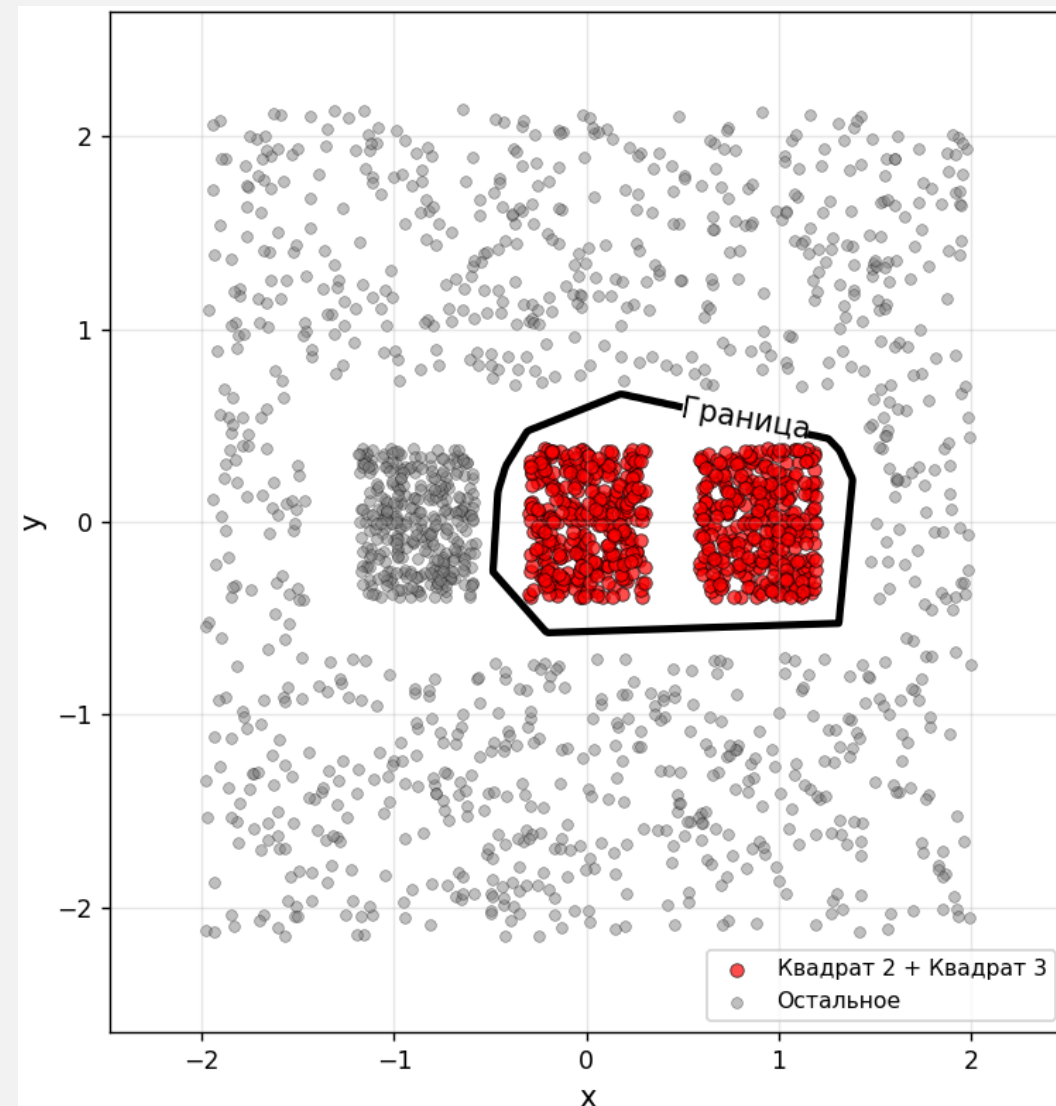
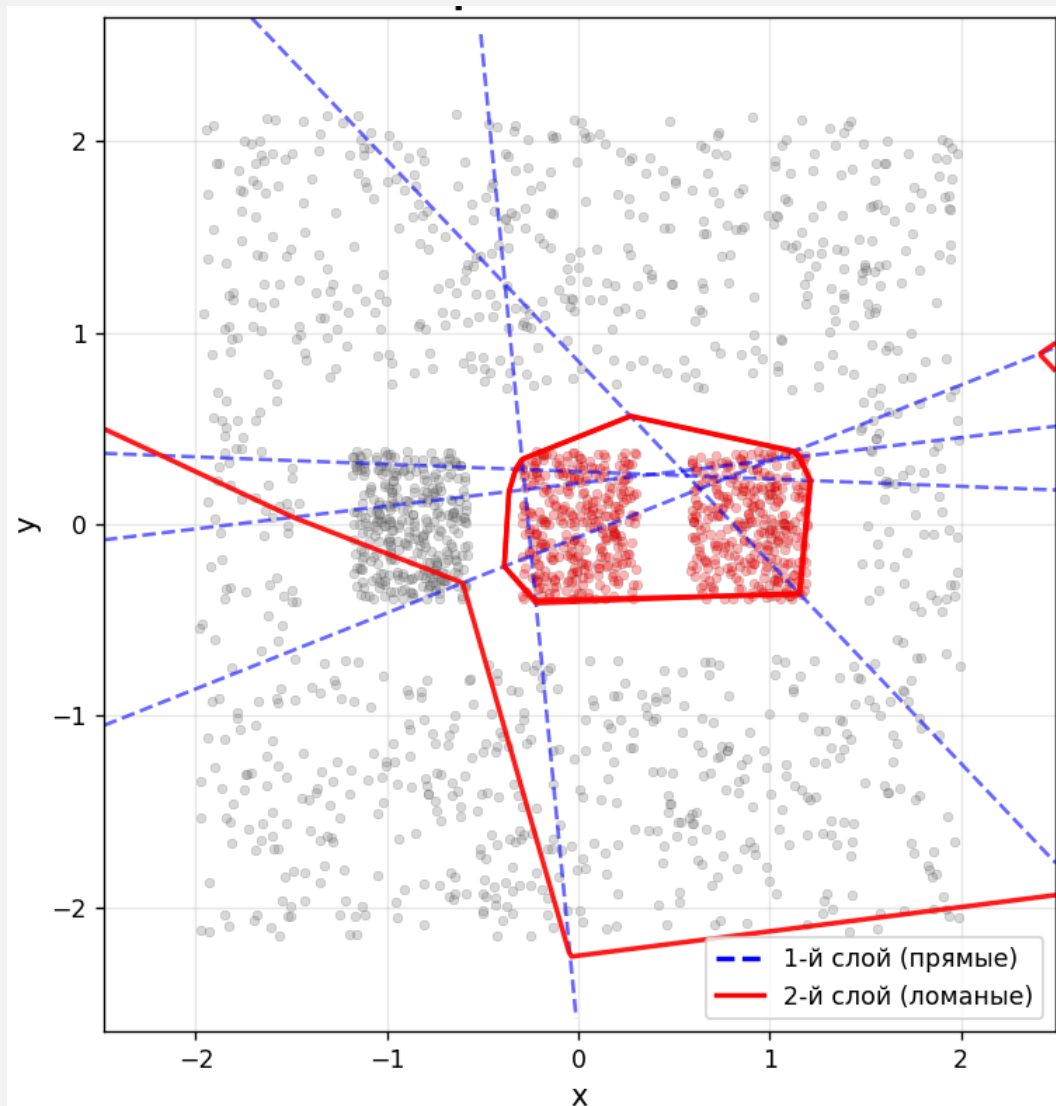
Функция активации - RELU



ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ $Y_1 = M_1(X)$



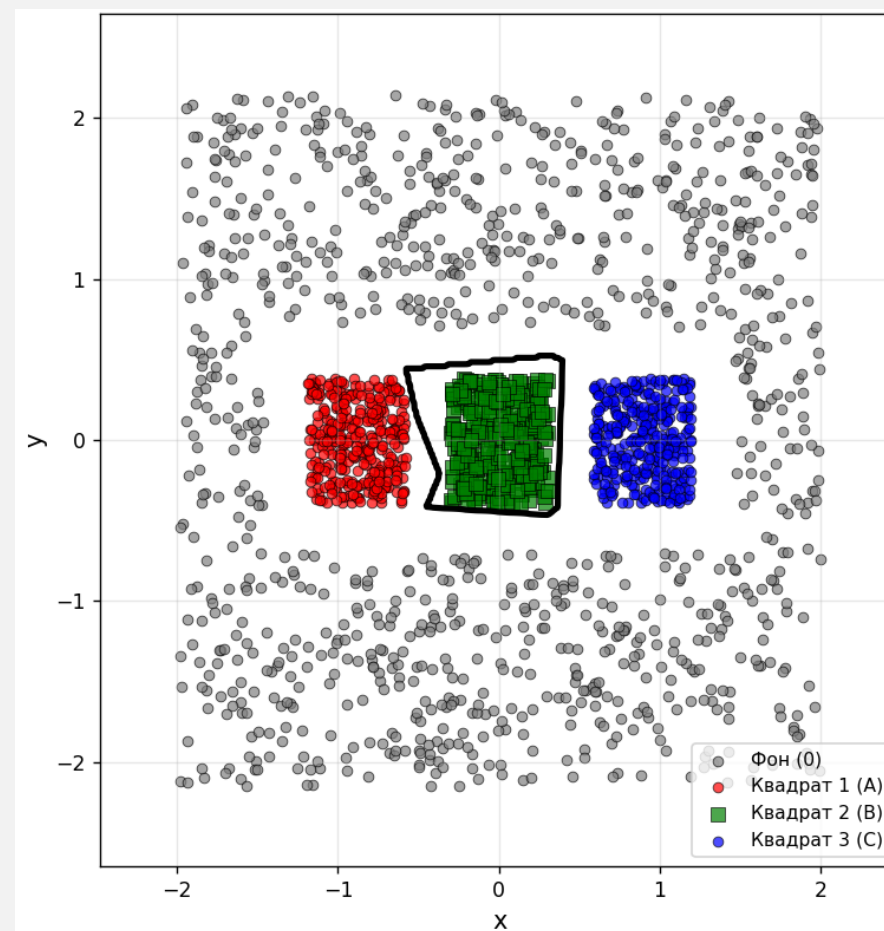
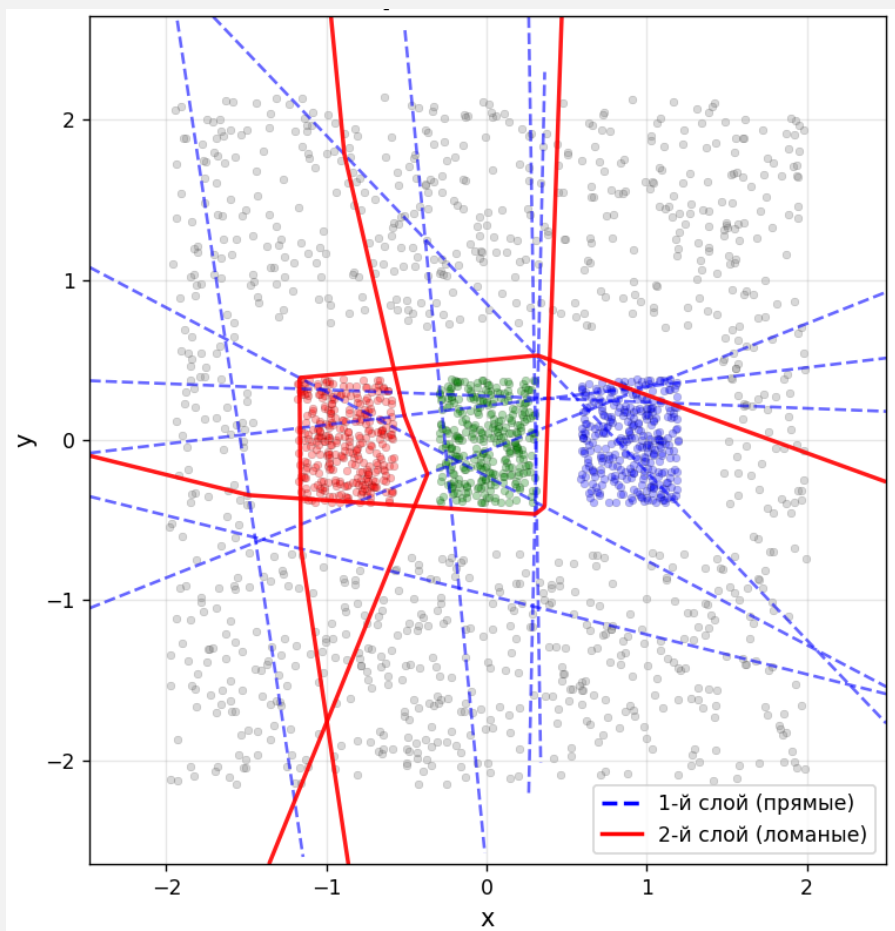
ВТОРАЯ МОДЕЛЬ $Y_2 = M_2(X)$



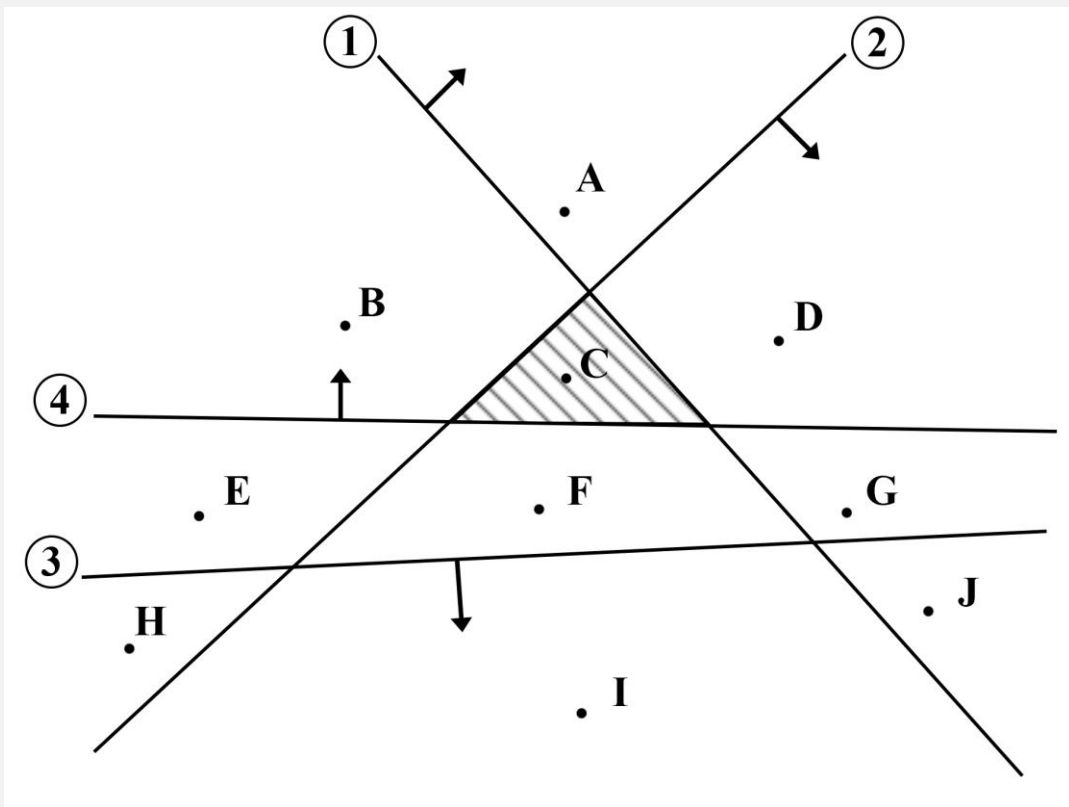
НОВАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ

$$(M = M_{\alpha_1} \cap M_{\alpha_2} \cap \dots \cap M_{\alpha_p})$$

Результат – набор гиперплоскостей: $S = \{L_{\alpha_1}, L_{\alpha_2}, \dots, L_{\alpha_p}, L'_{\beta_1}, L'_{\beta_2}, \dots, L'_{\beta_t}\}$, L – линии моделей.



ОБЛАСТИ АКТИВАЦИИ



1 2 3 4 - номер линии
C: 0 1 0 1

1. $\underline{1}101$ - D линия 1 нужна
2. $00\underline{0}1$ - B линия 2 нужна
3. $01\underline{1}1$ - нет такого кода, для C линия 3 не нужна
4. $010\underline{0}$ - F линия 4 нужна

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1001	0001	0101	1101	0000	0100	1100	0010	0110	1110

АЛГОРИТМ ИНТЕГРАЦИИ

Шаг 1: извлечь веса предварительно обученных моделей.

Шаг 2: построить ограничивающие гиперплоскости для каждой модели.

Шаг 3: найти пересечения этих пространственных структур.

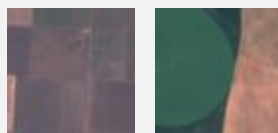
Шаг 4: отфильтровать гиперплоскости, образующие целевую границу пересечения, используя зоны активации нейронов.

Шаг 5: сформировать новую нейронную сеть, унаследовав параметры отфильтрованных гиперплоскостей. Дообучить ТОЛЬКО выходной слой.

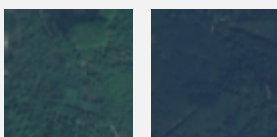
ЭКСПЕРИМЕНТ НА DATASЕТЕ EUROSAT SENTINEL-2

Классы:

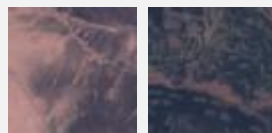
1 AnnualCrop - однолетние культуры



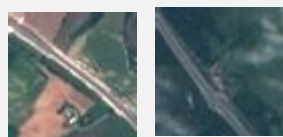
2 Forest - лес



3 HerbaceousVegetation - травянистая
растительность



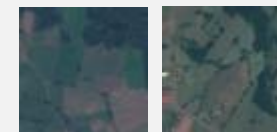
4 Highway - шоссе



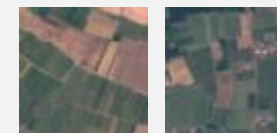
5 Industrial - промышленные зоны



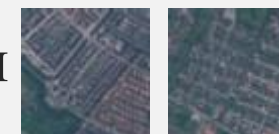
6 Pasture - пастбища



7 PermanentCrop - многолетние
культуры



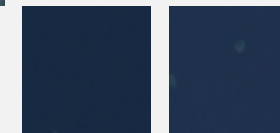
8 Residential - жилые зоны



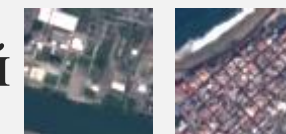
9 River - река



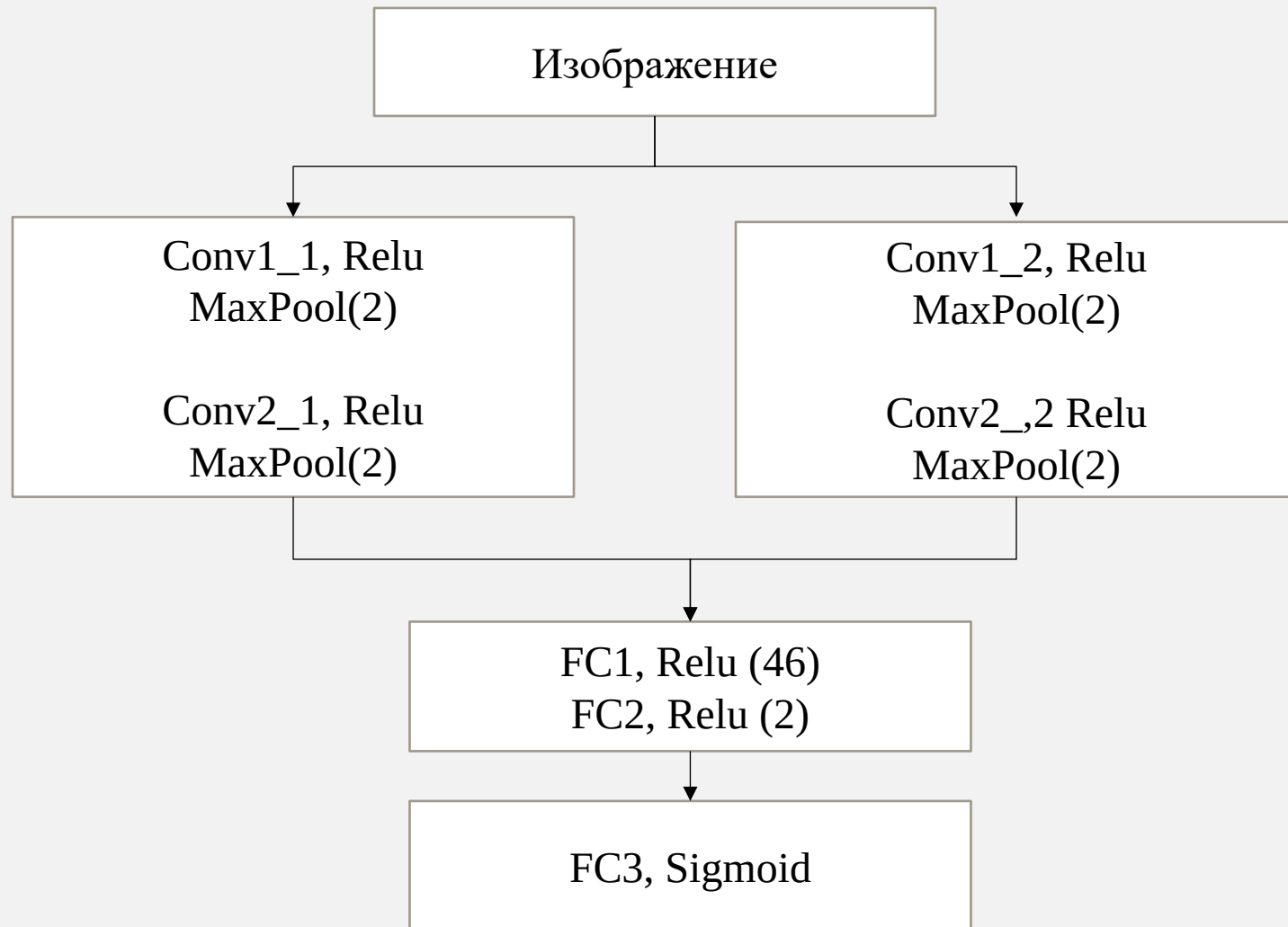
10 SeaLake - море/озеро



11 Здания с водой



ИНТЕГРИРОВАННАЯ СЕТЬ



ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ НА DATASET EUROSAT SENTINEL-2

Задача 1: Классификация Industrial, Residential и зданий с водой (FC1 - 128, FC2 - 64)

Задача 2: Классификация River, SeaLake и зданий с водой (FC1 -128, FC2 - 64)

Задача интеграции: Классификация зданий с водой (FC1 - 46, FC2 - 4)

Этап	Эпох	Точность	Precision	Recall	F1-Score	TN	FP	FN	TP	Время обучения/дообучения
Задача 1	20	0.9594	0.9387	0.8710	0.9036	4155	67	152	1026	1148.44 сек
Задача 2	20	0.9465	0.9364	0.7942	0.8595	4227	60	229	884	1075.68 сек
Интеграция на нужный класс	100	0.8107	0.7823	0.8355	0.8081	394	106	75	381	303.95 сек
Полное обучение	20	0.9819	0.3793	0.1209	0.1833	5291	18	80	11	1153.09 сек

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущества подхода:

- Не требуется переобучение всей сети — дообучается только выходной слой
- Архитектура формируется автоматически
- Работает с различными структурами сетей

Практическое применение:

- Мониторинг паводковой обстановки
- Оперативное картирование затопленных территорий
- Планирование спасательных операций

Благодарность:

Исследование поддержано Российским научным фондом, проект № 26-21-20099.