

# Analysis of Dyslexia: Eye Tracking

Иванова Анастасия ПАДИИ 3 курс



# Введение

**Дислексия** — это избирательное нарушение способности к овладению навыком чтения, несмотря на нормальный интеллект и условия обучения. Традиционная диагностика часто основана на поведенческих тестах, которые могут быть субъективными и запаздывающими.

**Гипотеза:** У людей с дислексией процесс чтения характеризуется особыми, измеримыми паттернами движений глаз:

- Более частые регрессии (возвраты к уже прочитанному)
- Более длительные фиксации
- Менее предсказуемые саккады (скачки взгляда)

**Цель:** С помощью машинного обучения и графов научиться классифицировать детей на дислексиков и здоровых



# Описание данных

Соцдем признаки:

Group	SubjID	Sex	Grade	Age	IQ
dyslexia	ake05	f		3	9
dyslexia	asd17	m		4	10
dyslexia	bai24	m		1	7
dyslexia	eki26	f		1	8

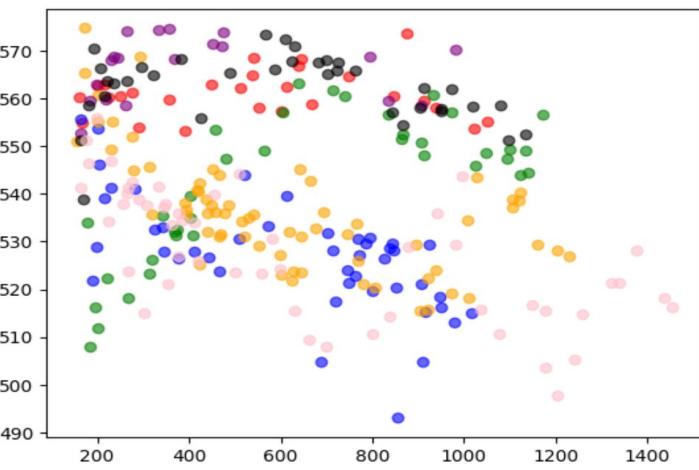


Рис.1 Визуализация фиксаций ребенка с дислексией

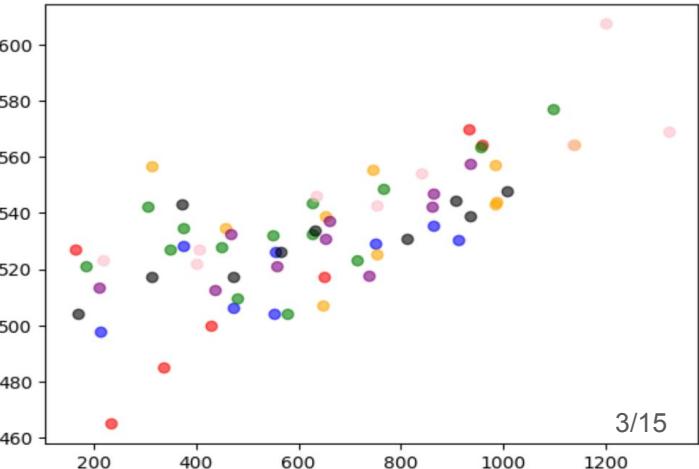
Рис.2 Без дислексии (разные цвета - разные предложения)

## Фиксации

SubjectID	Sentence_ID	Word_Number	FIX_X	FIX_Y	FIX_DURATION
m90	26	1	169,6	503	613
m90	26	2	233,5	522	130
m90	26	1	163,8	517,1	312
m90	26	2	205,5	514,7	269
m90	26	2	240,2	517,5	413

72 ребенка с дислексией, 222 без дислексии

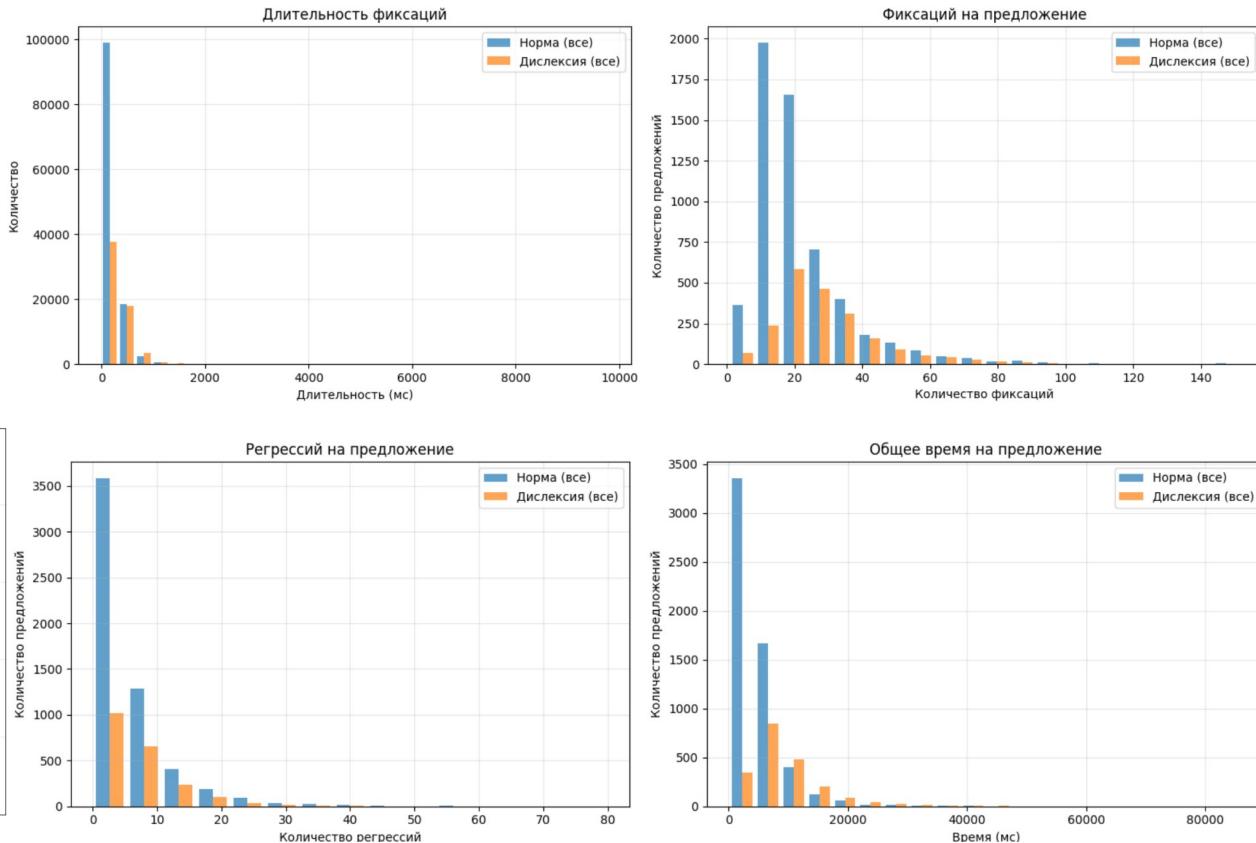
180113 фиксаций



# EDA

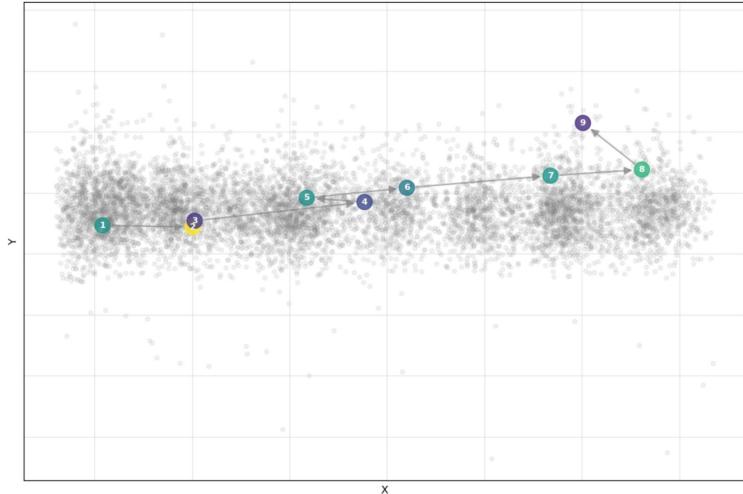
## Анализ:

- Длительность фиксаций
- Количество фиксаций на предложении
- Регрессий на предложение
- Общее время на предложение
- Сравнение средних

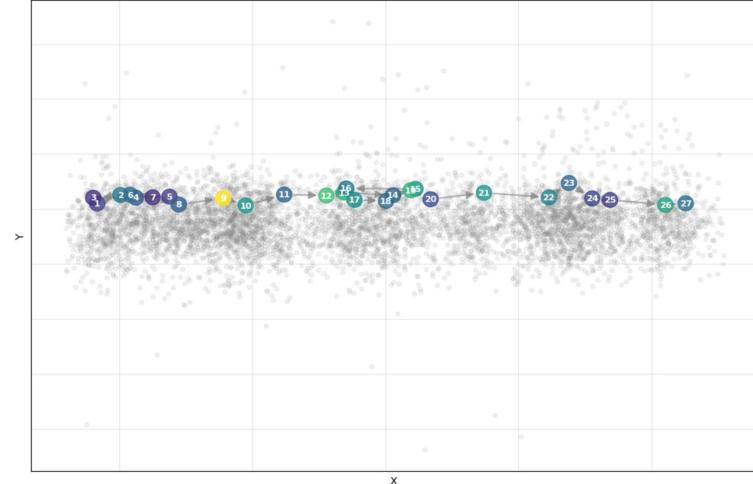
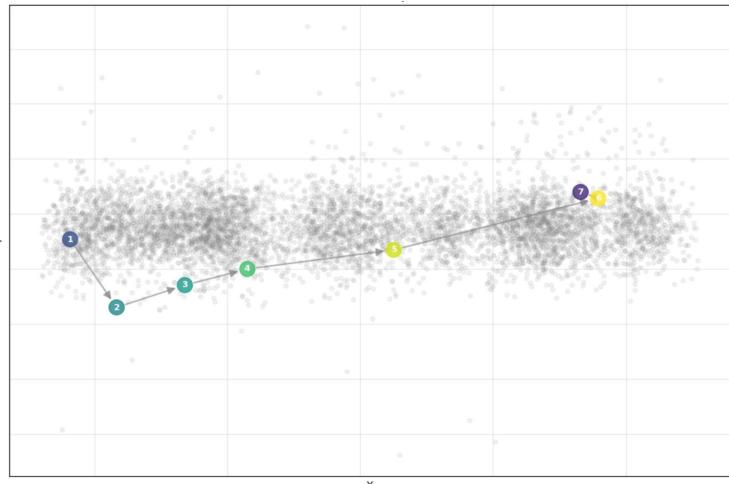
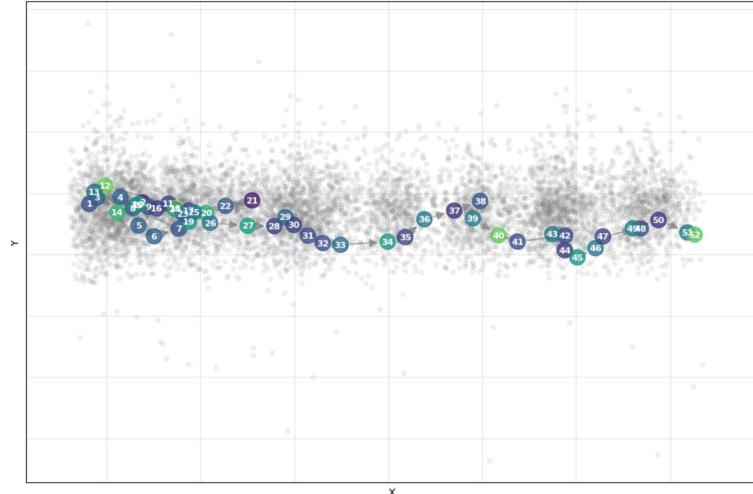


# Сравнение паттернов чтения

Ребенок 2 норма



Ребенок ake05 дислексия



# Baseline. Признаки.

## 1. Основные идентификаторы:

- SubjectID - идентификатор участника
- Sentence\_ID - идентификатор предложения

## 2. Количественные показатели фиксаций:

- fix\_count - общее количество фиксаций на предложение
- total\_duration - суммарная длительность всех фиксаций
- mean\_fix\_duration - средняя длительность фиксации
- std\_fix\_duration - стандартное отклонение длительности фиксаций



## 3. Пространственные характеристики:

- mean\_fix\_x, mean\_fix\_y - средние координаты фиксаций (горизонталь/вертикаль)
- std\_fix\_x, std\_fix\_y - дисперсия координат фиксаций

## 4. Движения глаз (саккады):

- mean\_saccade\_amp - средняя амплитуда саккад
- max\_saccade\_amp - максимальная амплитуда саккад
- regression\_count - количество регрессий (возвратов назад)
- regression\_ratio - доля регрессивных движений

## 5. Характеристики чтения:

- scanregularity - регулярность сканирования текста
- time\_per\_word - среднее время на слово

# Baseline

## CatboostClassifier

несбалансированная выборка:

Precision	0.72
-----------	------

Accuracy	0.81
----------	------

Recall	0.53
--------	------

F1	0.61
----	------

TN = 35	FP = 3
FN = 7	TP = 8

## CatboostClassifier на агрегированных признаках сбалансированная выборка:

Precision	0.75
-----------	------

Accuracy	0.79
----------	------

Recall	0.857
--------	-------

F1	0.8
----	-----

TN = 11	FP = 4
FN = 2	TP = 12

# Обработка последовательностей. Трансформер

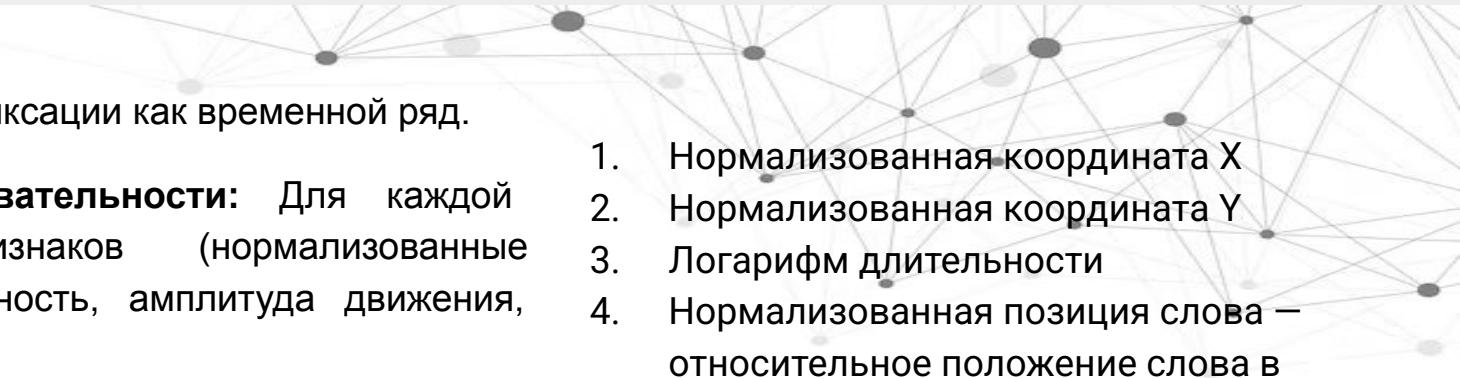
**Идея:** Рассмотреть фиксации как временной ряд.

**Структура последовательности:** Для каждой фиксации 8 признаков (нормализованные координаты, длительность, амплитуда движения, флаг регрессии и др.).

**Модель:** Трансформер-энкодер с механизмом внимания.

**Агрегация:** Внимание (attention) объединяет информацию по всем предложениям одного ребенка для итогового прогноза.

**Преимущество:** Улавливает временные зависимости и контекст.

- 
1. Нормализованная координата X
  2. Нормализованная координата Y
  3. Логарифм длительности
  4. Нормализованная позиция слова – относительное положение слова в предложении
  5. Изменение по X ( $dx$ )
  6. Изменение по Y ( $dy$ )
  7. Амплитуда движения (amp) – расстояние между фиксациями
  8. Флаг регрессии (`is_reg`) – движение назад к предыдущим словам (1) или вперед (0)

# Обработка последовательностей. Трансформер

Balanced accuracy (mean)

0.7589

Recall (mean)

0.8743

AUC (mean)

0.8707

Confusion matrix

TN = 32	FP = 6
FN = 0	TP = 14

# Построение графов чтения. GINEClassifier

**Идея:** Моделировать процесс чтения как граф

**Структура графа:**

**Узлы:** Слова в предложении.

**Признаки узлов:** Статистики по фиксациям на слове.

**Ребра:** Саккады (перемещения взгляда между словами).

**Признаки ребер:** Длина, направление, является ли регрессией.

**Модель:** GINEConv (Graph Isomorphism Network with Edge Features).

**Преимущество:** Учитывает структурные связи между фиксациями.

- 
1. Количество фиксаций (node\_fix\_count) — сколько раз ребенок смотрел на слово
  2. Суммарное время фиксаций (node\_total\_dur) — общее время просмотра слова
  3. Среднее время фиксации (node\_mean\_dur) — средняя длительность одного взгляда
  4. Стандартное отклонение (node\_std\_dur) — вариабельность времени фиксаций
  5. Время первого прохода (node\_firstpass) — длительность первой фиксации на слове
  6. Позиция слова (word\_pos) — относительная позиция в предложении (0-1)

# Построение графов чтения. GINEClassifier

Balanced accuracy (mean)

0.794

Recall (mean)

0.7218

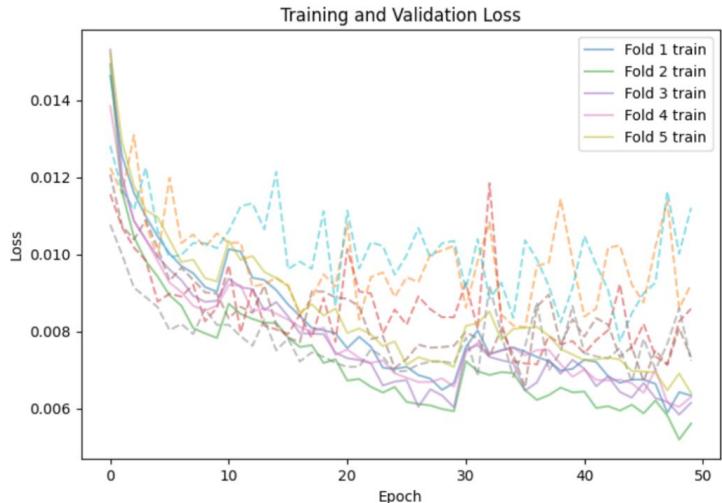
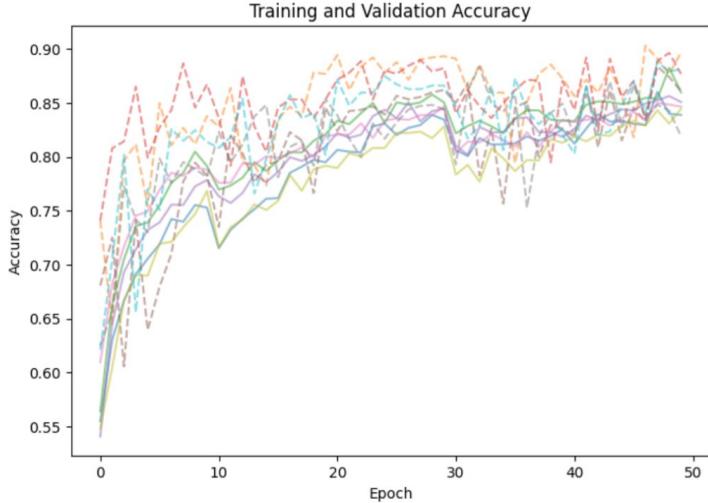
AUC

0.8785

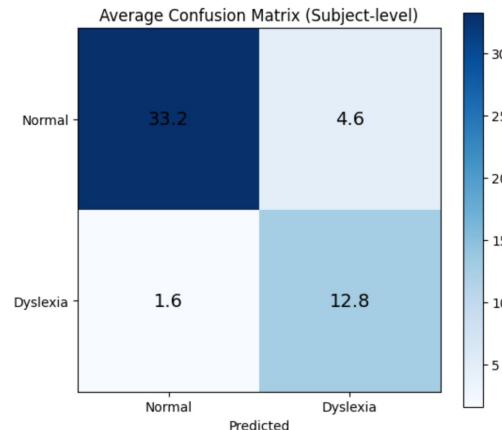
TN = 32	FP = 5
FN = 6	TP = 10

# GAT (Graph Attention Networks)

- **Идея:** Усовершенствованная графовая модель с вниманием на ребрах.
- **Улучшения:**
  - Более наполненные признаки узлов и ребер (пространственные, временные, лексические).
  - Расширенная структура графа
  - Многослойный GATv2 (Graph Attention Network v2).
  - Объединение глобальных признаков ребенка.
- **Цель:** Максимально использовать сложность данных.



# GAT (Graph Attention Networks). Результаты

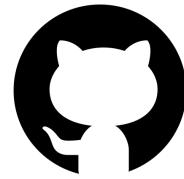


# Выводы

Метрика	Transformer	GINEConv	GAT
Balanced accuracy (mean)	0.7589	0.794	0.8811
Recall (mean)	0.8743	0.7218	0.8811
AUC (mean)	0.8707	0.8785	0.9503

GAT неплохо справляется с задачей классификации детей, пропуская малое количество дислексиков.

Для лучших результатов и оценки стоит увеличить количество испытуемых. Возможные улучшения : оценивать чтение не одного предложения, а текста; получать результат от LLM по текстовому описанию ребенка



[GitHub](#)