



Исследование различных архитектур нейронных сетей для задачи определения ритмов по коротким (10-ти секундным) ЭКГ

ЭКГ: 10 секунд , 500 Гц, 1 отведение



Архитектура нейронной сети

(CNN model, ResNet, DenseNet, Xception Net)



Softmax

синусовый ритм

p1

фибрилляция

p2

другой ритм

p3



Предсказание

Какие данные использовались для обучения?

1. **LUDB** (Lobachevsky University Data Base) – **2 032** ЭКГ с 12-ю отведениями и **1** ЭКГ с 11-ю отведениями
2. **РТВ-XL** – 21 837 ЭКГ с 12-ю отведениями от **18 885** пациентов
3. **CUDB** (Chapman University Data Base) - **10 646** ЭКГ с 12-ю отведениями от более чем **10 000** пациентов

Общая таблица собранного множества данных

Dataset	Кол-во ЭКГ	Кол-во записей	Синусовый ритм	Фибрилляция	Другой ритм
LUDB	2 033 (6%)	24 395 (6%)	17 412 (5%)	4 224 (9%)	2759 (15%)
РТВ-XL	20 949 (62%)	251 388 (62%)	227 100 (68%)	17 808 (37%)	6480 (36%)
CUDB	10 646 (32%)	127 752 (32%)	92 268 (27%)	26 700 (54%)	8784 (49%)
SUM	33 628	403 535	336 780 (83%)	48 732 (12%)	18 023 (5%)

ЭКГ: 10 секунд , 500 Гц, 1 отведение



↓ **1 этап.** Выбор случайного старта из равномерного распределения $Uniform(0, 500)$

ЭКГ: 9 секунд , 500 Гц, 1 отведение



↓ **2 этап.** Прибавление ко всему сигналу шума нормального распределения с параметрами $N(0, 1e-3)$

ЭКГ: 9 секунд , 500 Гц, 1 отведение



Распределение баз данных по типам ритмов

Тип сигнала	Количество записей (в долях)
(LUDB, синусовый ритм)	4.3149 %
(LUDB, фибрилляция)	1.0467 %
(LUDB, другой ритм)	0.6837 %
(PTB-XL, синусовый ритм)	56.2776 %
(PTB-XL, фибрилляция)	4.4130 %
(PTB-XL, другой ритм)	1.6058 %
(CUDB, синусовый ритм)	22.8649 %
(CUDB, фибрилляция)	6.6165 %
(CUDB, другой ритм)	2.1768 %

*Разбиение с сохранением
распределения*

Обучающая выборка (70%)

Тестовая выборка (30%)

Одна ЭКГ (соответствующие ей 12 записей) целиком принадлежит **одному** из множеств

Для оценки качества нужно:

1. матрица рассогласований (confusion matrix)

		предсказанный класс		
		синус	фибрилляция	другой ритм
истинный класс	синус	A11	A12	A13
	фибрилляция	A21	A22	A23
	другой ритм	A31	A32	A33



ошибка первого рода

истинный класс: синусовый
предсказанный класс: фибрилляция или другой

		предсказанный класс	
		здоровый	больной
истинный класс	здоровый	B11	B12
	больной	B21	B22

ошибка второго рода

истинный класс: фибрилляция или другой
предсказанный класс: синусовый

2. чувствительность, специфичность

$$\text{чувствительность} = \frac{\text{число больных, выявленных алгоритмом}}{\text{истинное число больных}}$$

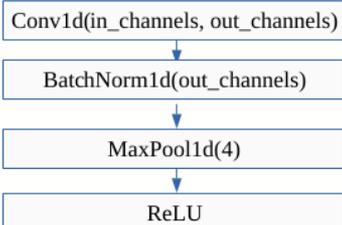
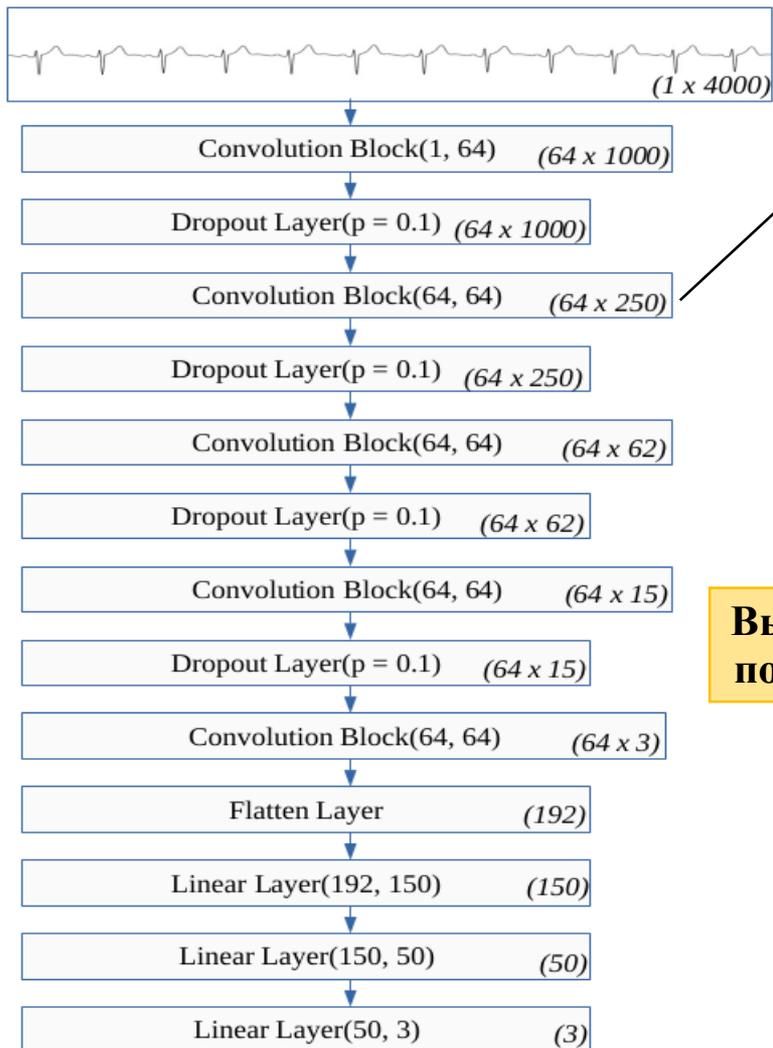
$$\text{специфичность} = \frac{\text{число здоровых, выявленных алгоритмом}}{\text{истинное число здоровых}}$$

Выбор порога

двухкритериальная
задача
оптимизации

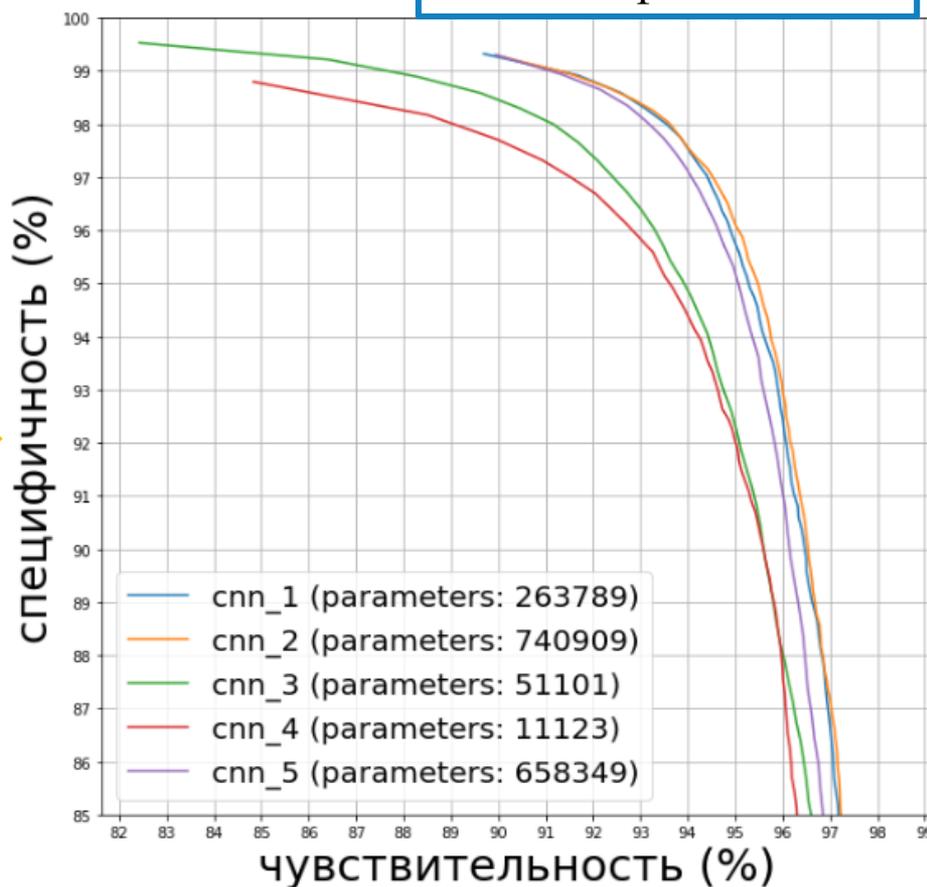
CNN Model

Архитектура нейронной сети



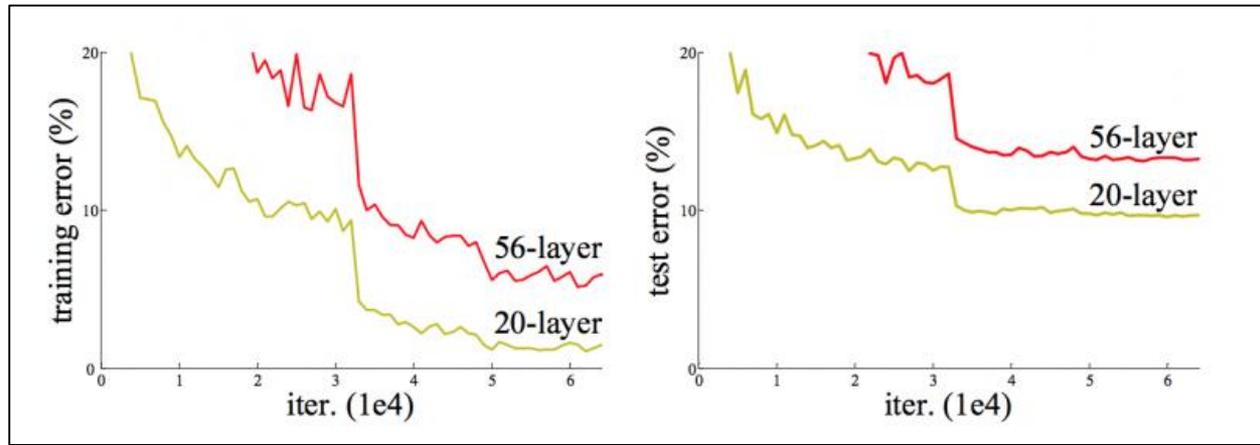
Выбор порога

График чувствительности и специфичности



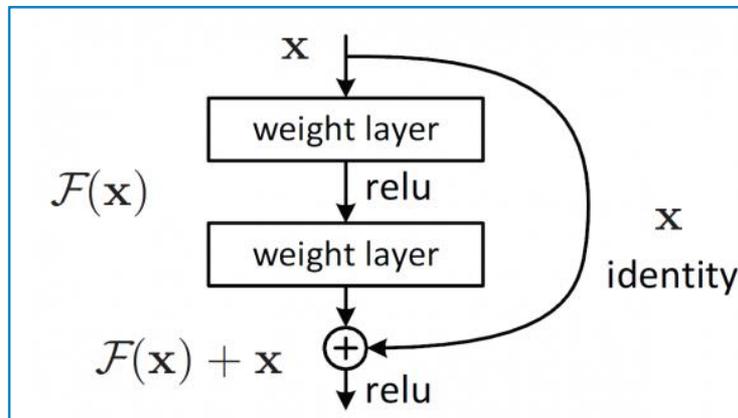
Residual Net (ResNet)

Что произойдет, если увеличивать глубину CNN Model?

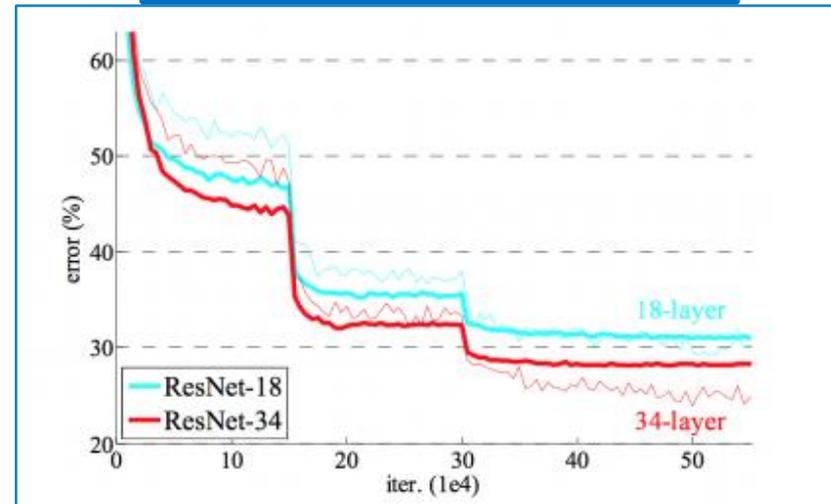


Возникает проблема затухающего градиента. ResNet направлен на устранение этой проблемы.

skip-connection



Влияние skip-connection



Residual Net (ResNet)

Архитектура нейронной сети



Conv1d(1, 64) (64 x 2000)

BatchNorm1d(64) (64 x 2000)

MaxPool1d(9) (64 x 1000)

ResnetBlock(layers = 2, channels = 64, stride = 1) (64 x 1000)

ResnetBlock(layers = 2, channels = 128, stride = 2) (128 x 500)

ResnetBlock(layers = 2, channels = 256, stride = 2) (256 x 250)

ResnetBlock(layers = 2, channels = 512, stride = 2) (512 x 125)

AdaptiveAvgPool1d(1) (512)

Linear Layer(512, 3) (3)

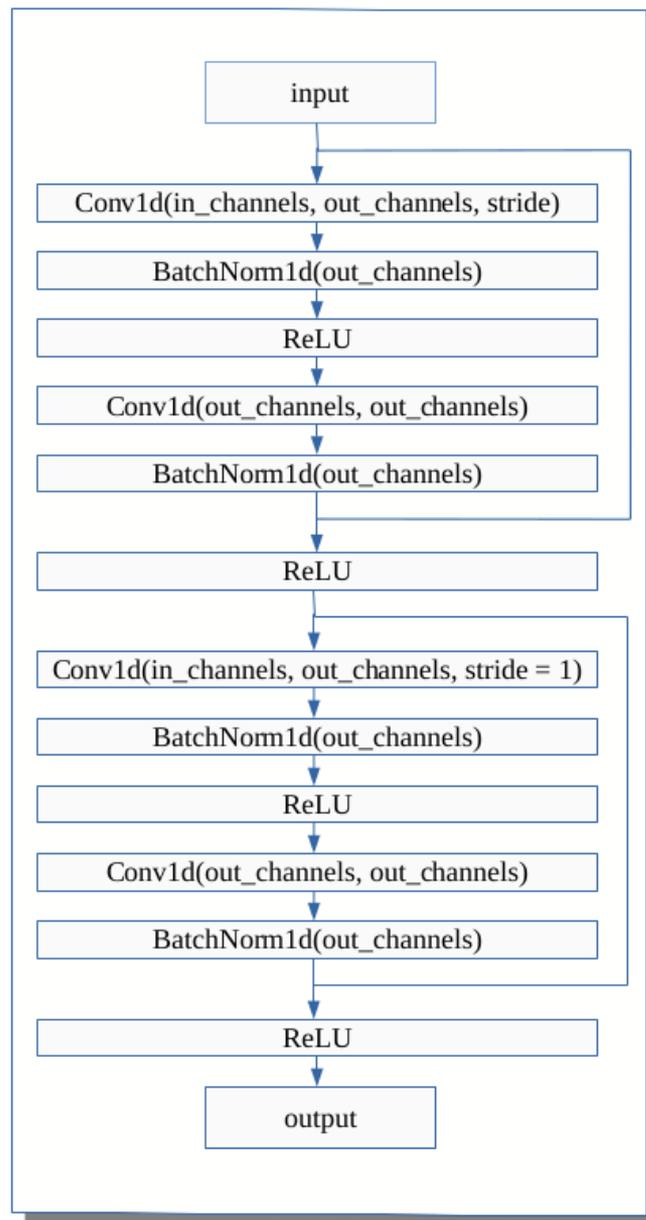
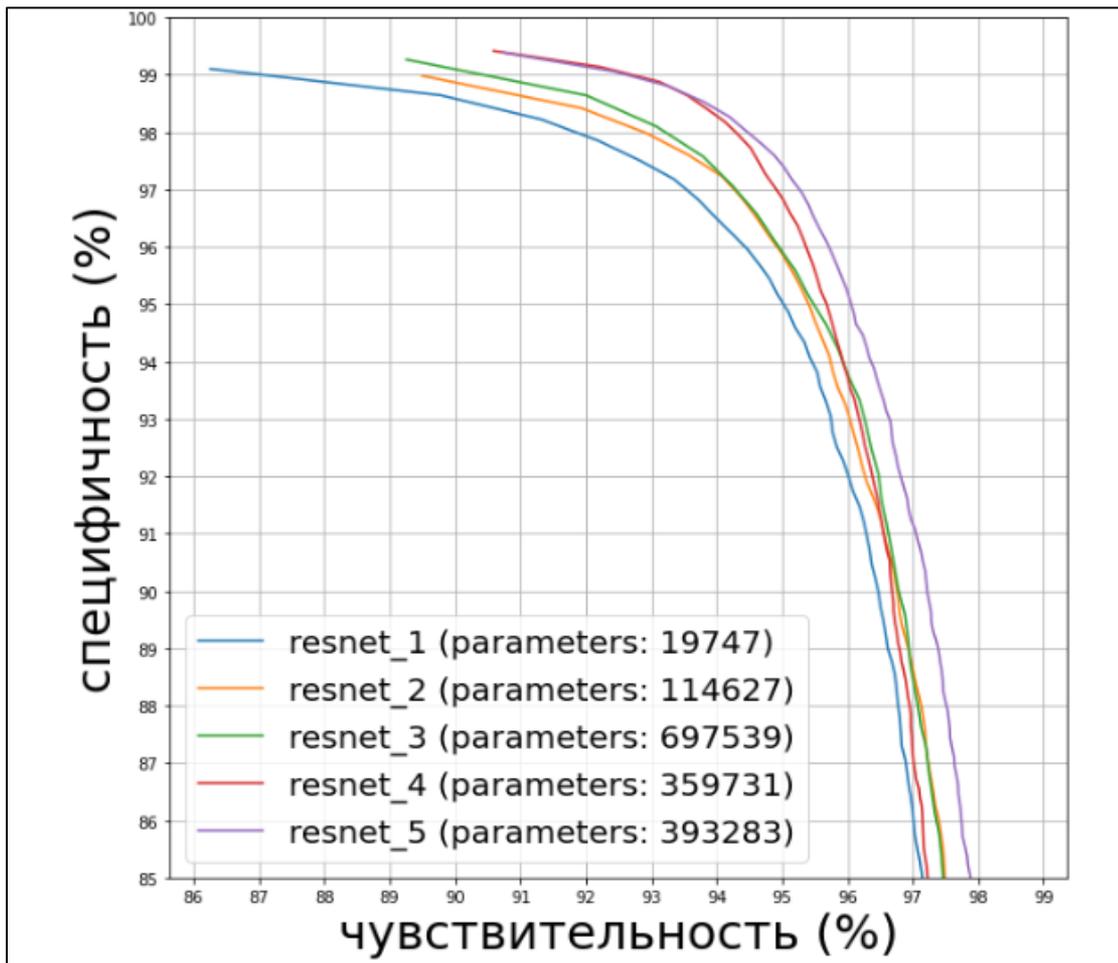


График чувствительности и специфичности

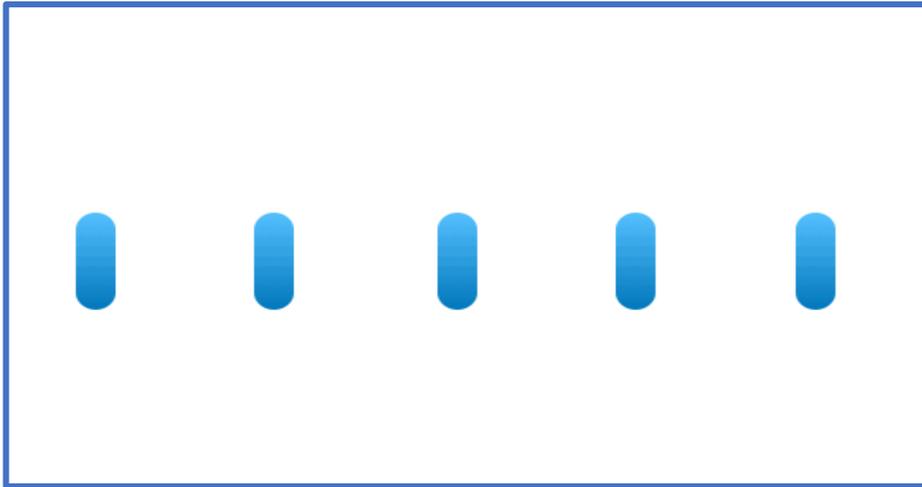


Выбор порога

95% чувствительность
97.5% специфичность

390 тыс. обучаемых параметров

В DenseNet возникают связи следующего вида:



Для L блоков будет
 $L(L+1) / 2$ связей

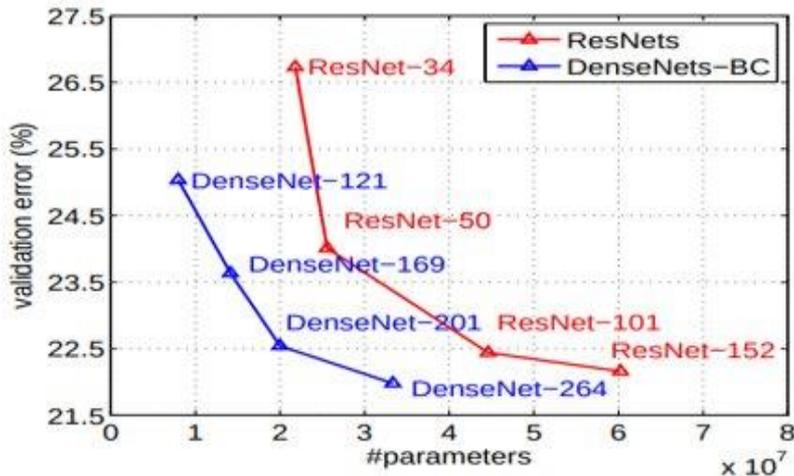
Плюсы:

1. Решается проблема затухающего градиента
2. Сокращение числа обучаемых параметров

Минусы:

1. Сложнее вычисляется градиент, что влияет на скорость обучения

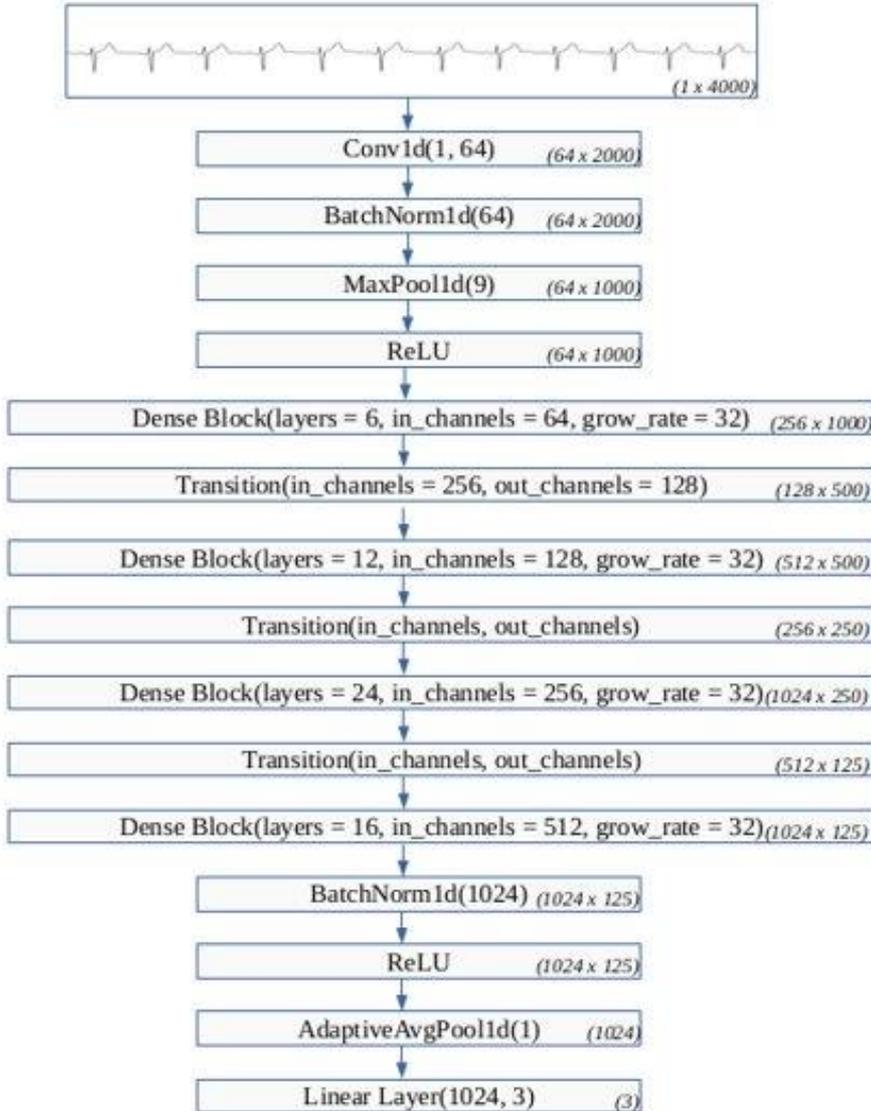
Сравнение DenseNet и ResNet



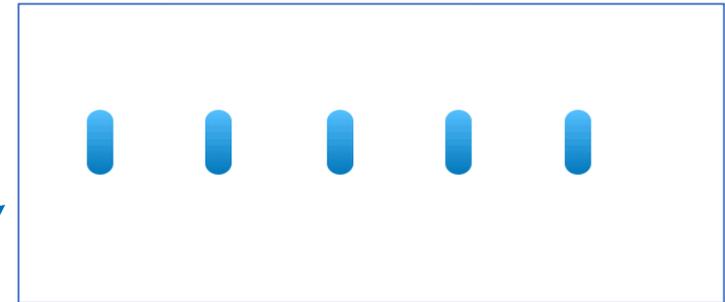
DenseNet превосходит **ResNet** по числу обучаемых параметров, а также по ошибке на тестовой выборке

Densely Net (DenseNet)

Архитектура нейронной сети



DenseBlock



Transition

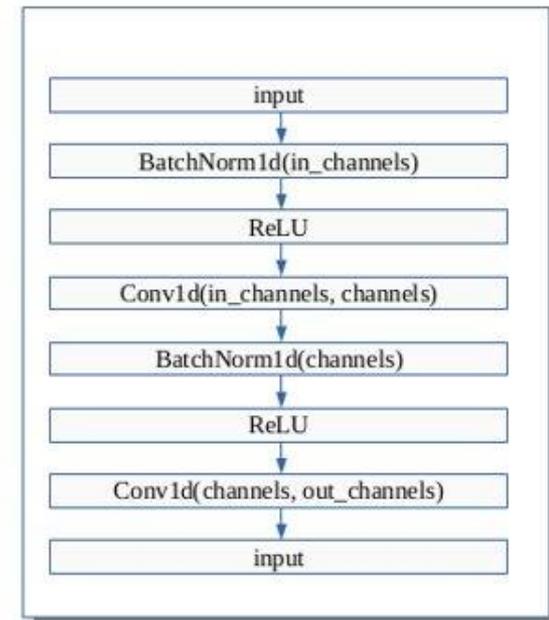
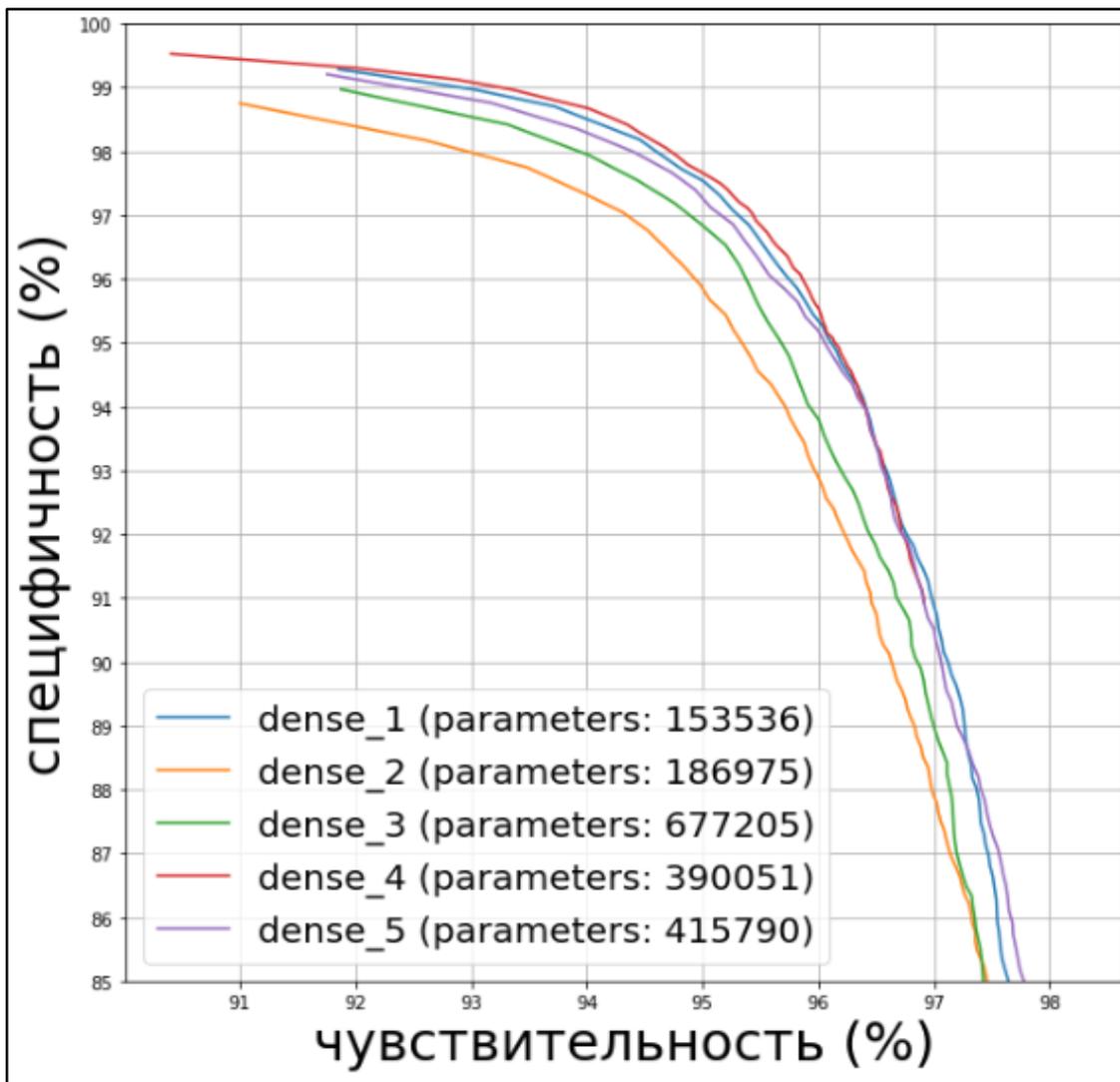


График чувствительности и специфичности



Выбор порога

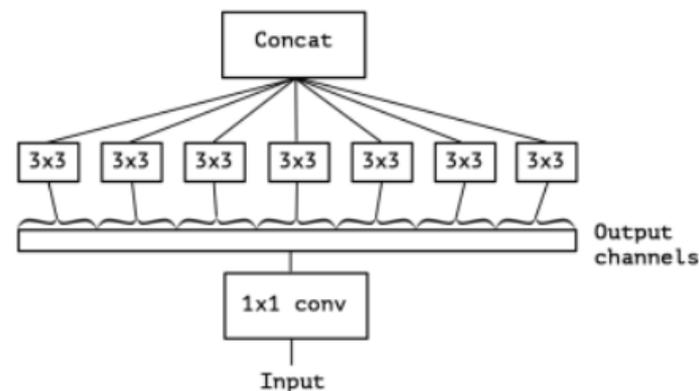
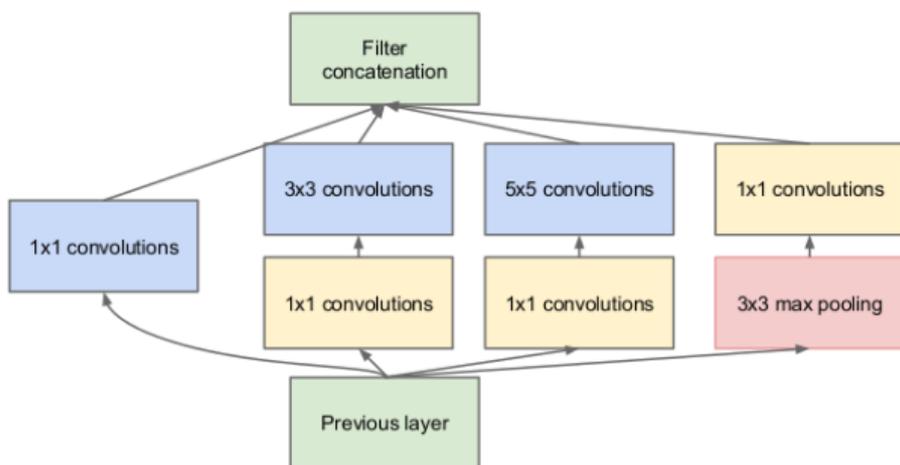
95% чувствительность
97.5% специфичность

Удалось повторить:
ResNet с 390 тыс.
обучаемых параметров

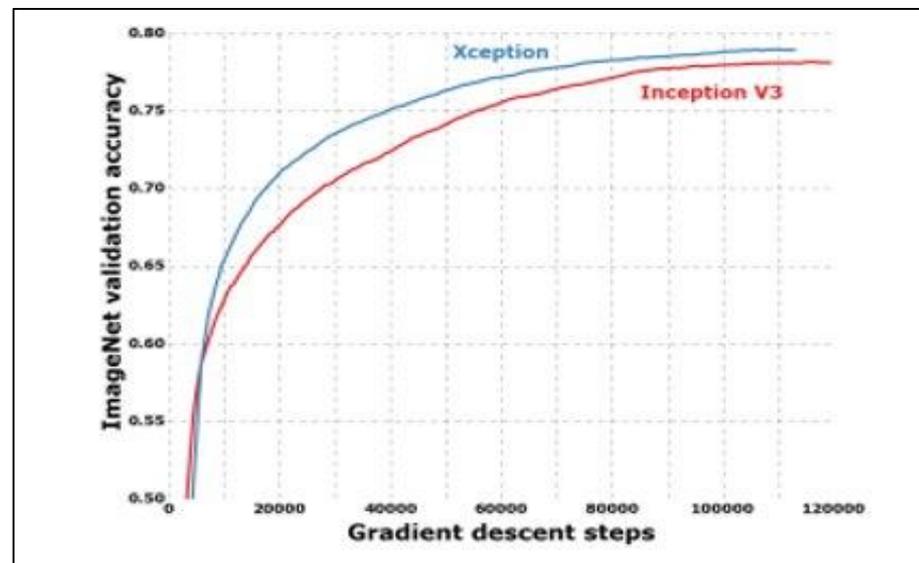
DenseNet-ом с
150 тыс. обучаемых
параметров

В 2015 году была предложена архитектура **Inception**. Вместо того, чтобы подбирать размер свертки, будем использовать несколько, а результат конкатенировать

Идея Inception



В 2016 году была предложена архитектура **Xception Net**, она сохраняет идею **Inception Net** и она оптимальнее!



Архитектура нейронной сети

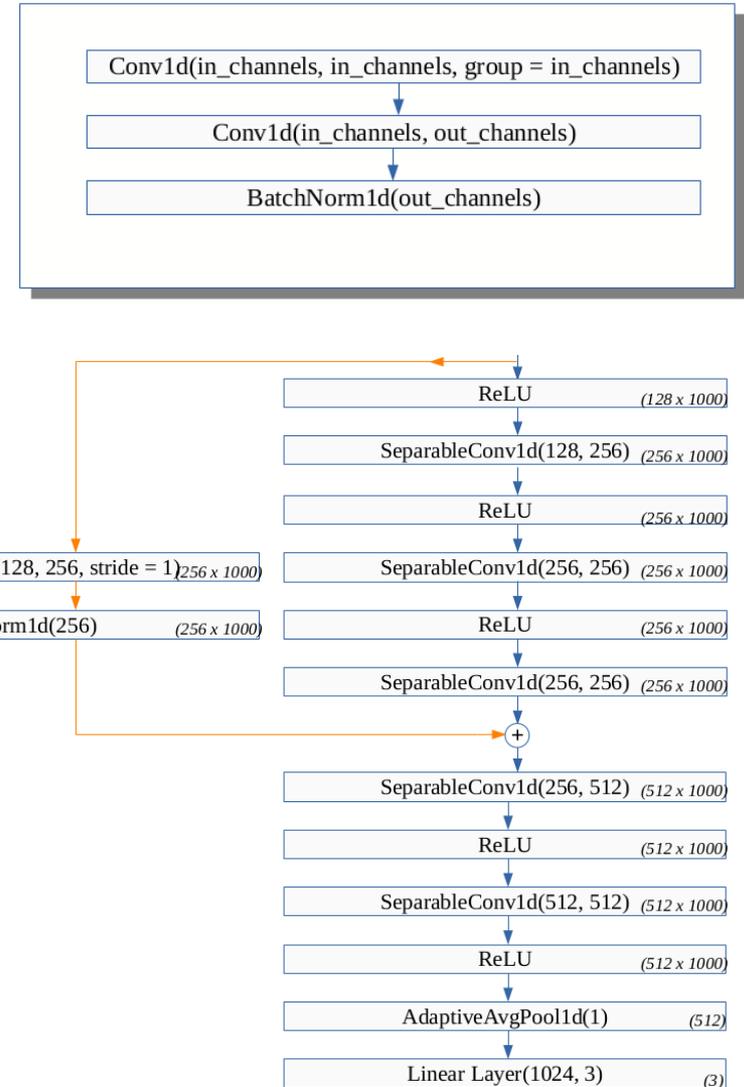
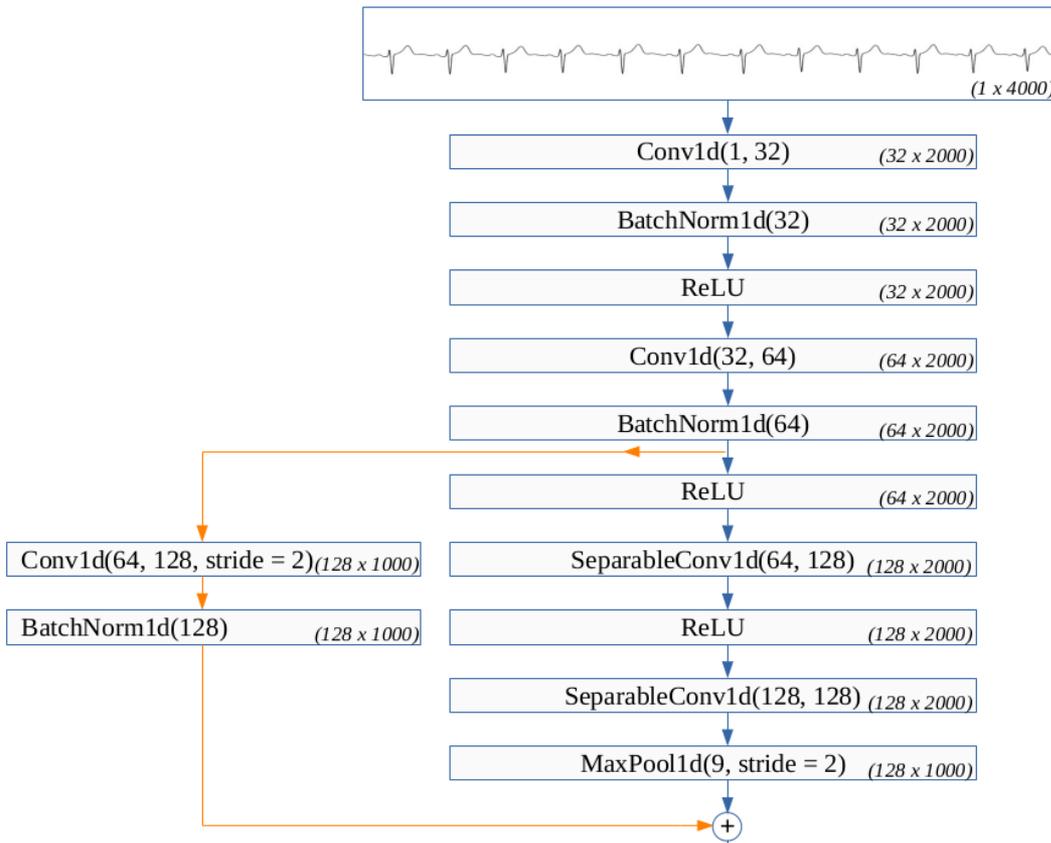
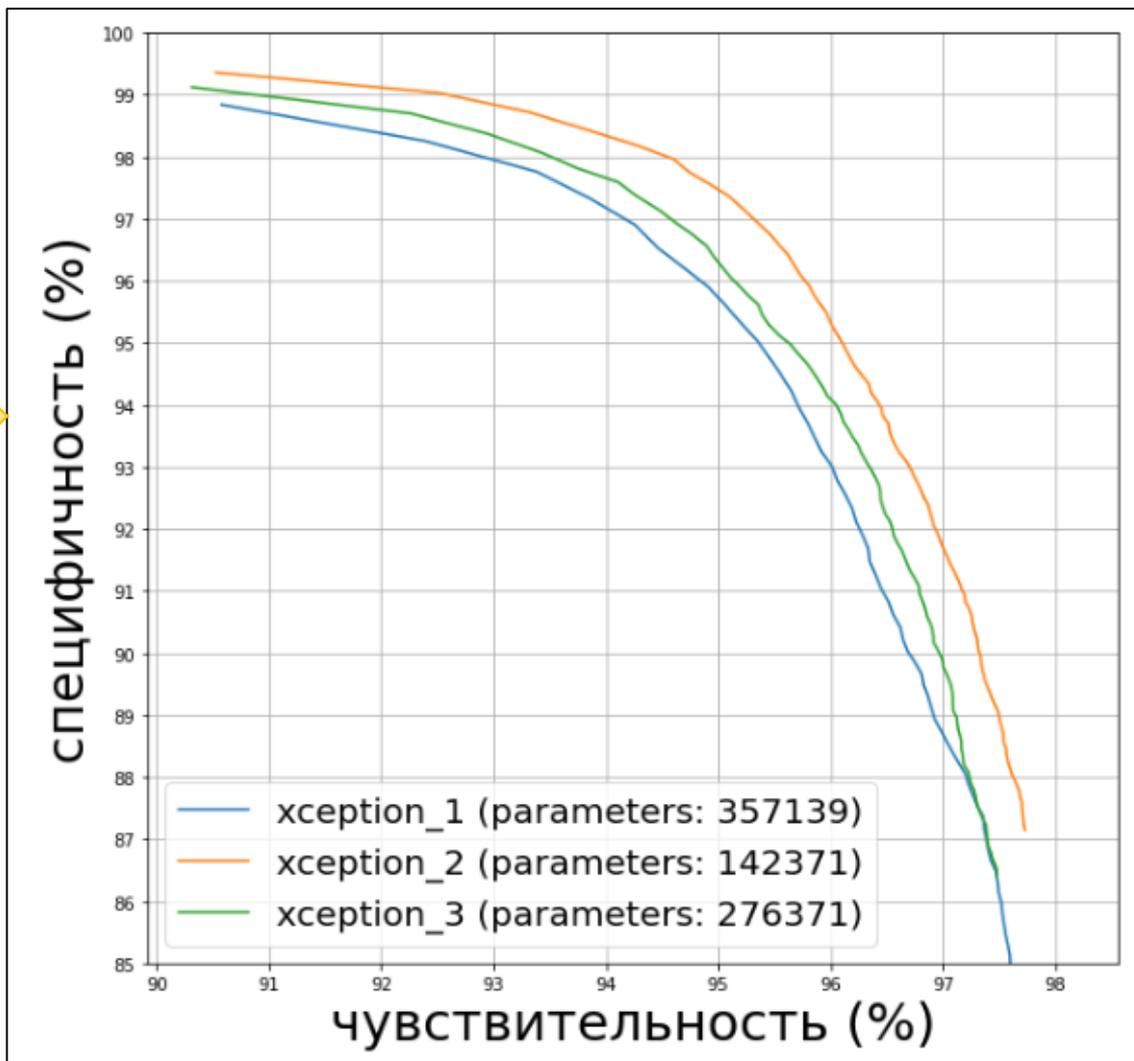


График чувствительности и специфичности

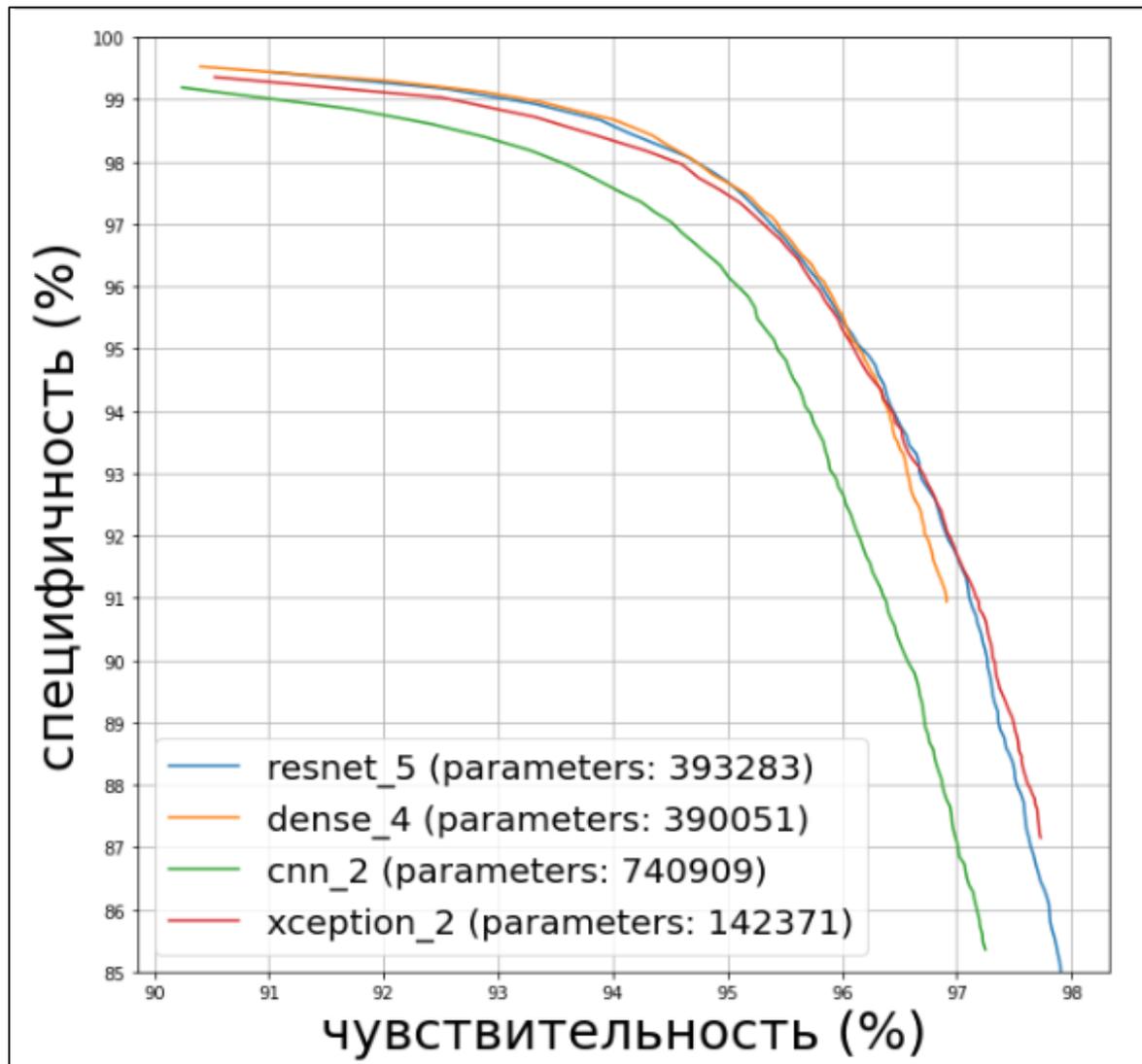


Выбор порога

95% чувствительность
97.5% специфичность

Лучший результат -
Xception Net с 140 тыс. обучаемых параметров

Итоги (лидеры графиков)



Лучшая модель:

Чувствительность **95%**
Специфичность **97.5%**

Удалось повысить качество по сравнению с CNN Model

У **DenseNet, ResNet, Xception Net** меньше обучаемых параметров, и их результат лучше!

Итоги (Confusion Matrix)

Confusion Matrix

	синус	фибрилляция	другой ритм
синус	81.01%	1.35%	1.18%
фибрилляция	0.16%	11.54%	0.35%
другой ритм	0.65%	0.54%	3.21%

Основные метрики качества

	precision	recall	f1-score	support
0	0.99	0.98	0.98	101148
1	0.88	0.95	0.92	14592
2	0.70	0.73	0.72	5328
accuracy			0.96	121068
macro avg	0.86	0.89	0.87	121068
weighted avg	0.96	0.96	0.96	121068

Суммарная ошибка 4%

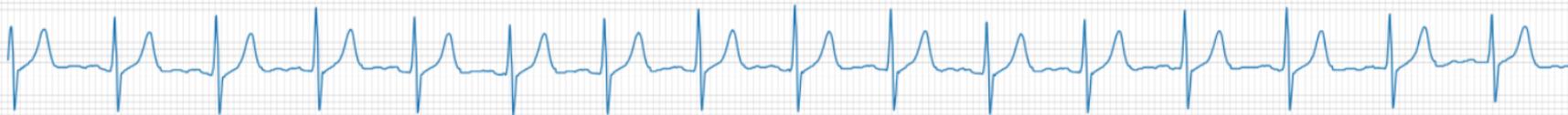
Распределение по ошибкам

Тип ошибки		LUDB	PTB-XL	CUDB
истинный	предсказанный			
синусовый ритм	фибрилляция	61 (5%)	768 (64%)	380 (31%)
синусовый ритм	другой ритм	269 (23%)	593 (53%)	271 (24%)
фибрилляция	синусовый ритм	21 (13%)	115 (63%)	44 (24%)
фибрилляция	другой ритм	81 (15%)	138 (27%)	296 (58%)
другой ритм	синусовый ритм	141 (17%)	446 (55%)	237 (28%)
другой ритм	фибрилляция	55 (9%)	282 (45%)	290 (46%)

Истинный класс: **фибрилляция**

Предсказанный класс: **синусовый ритм**

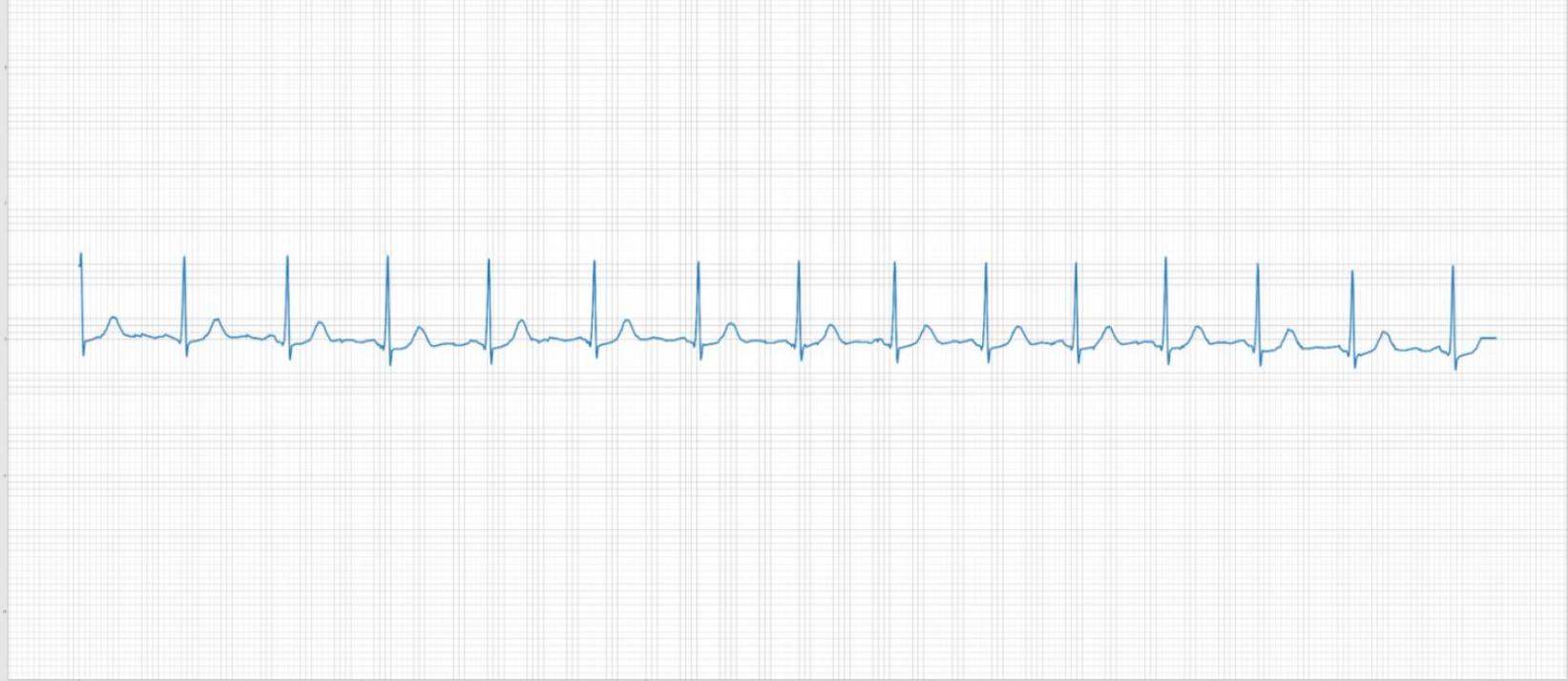
0) 16329 - sinus {'dataset': 'unn', 'record': '2787', 'lead': 'v3', 'group': 'unn_1360', 'class': 'fibrillation'}



Истинный класс: **фибрилляция**

Предсказанный класс: **синусовый ритм**

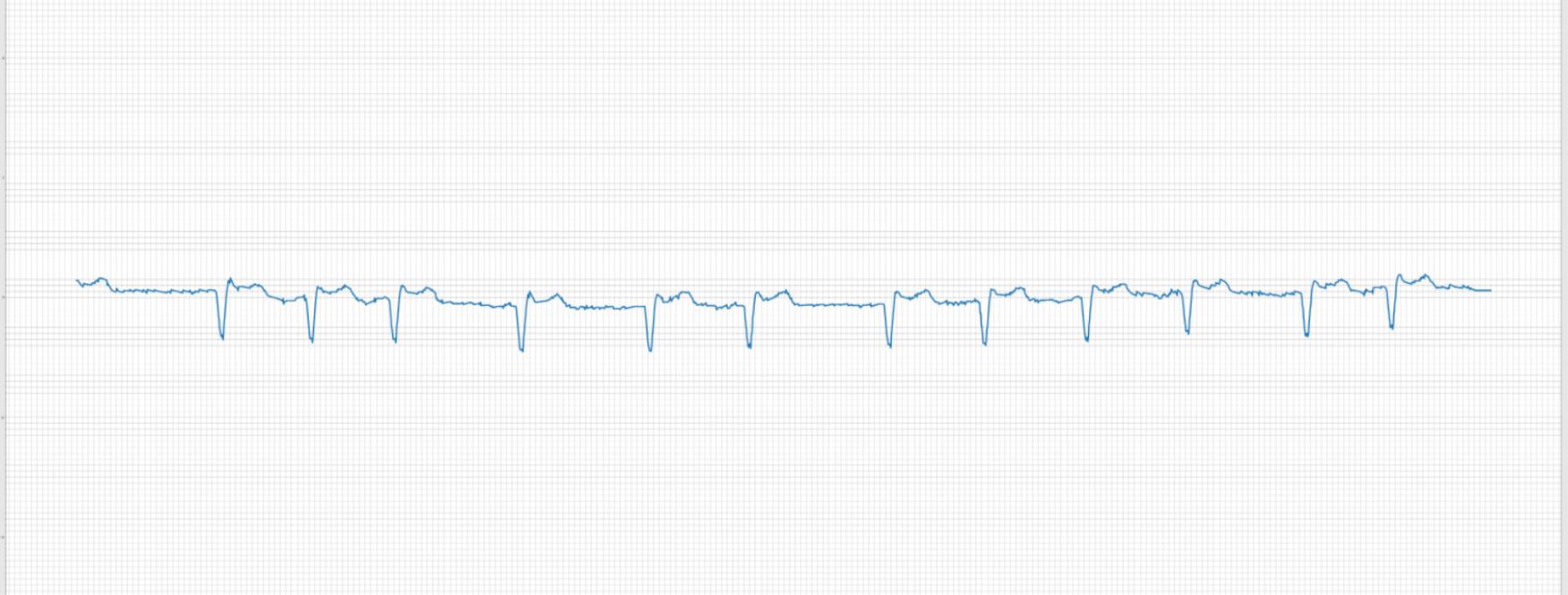
1) 205653 - sinus {'dataset': 'ptb-xl', 'record': 'records500/15000/15796_hr', 'lead': 'V5', 'group': 'ptb_15104', 'class': 'fibrillation'}



Истинный класс: **синусовый ритм**

Предсказанный класс: **фибрилляция**

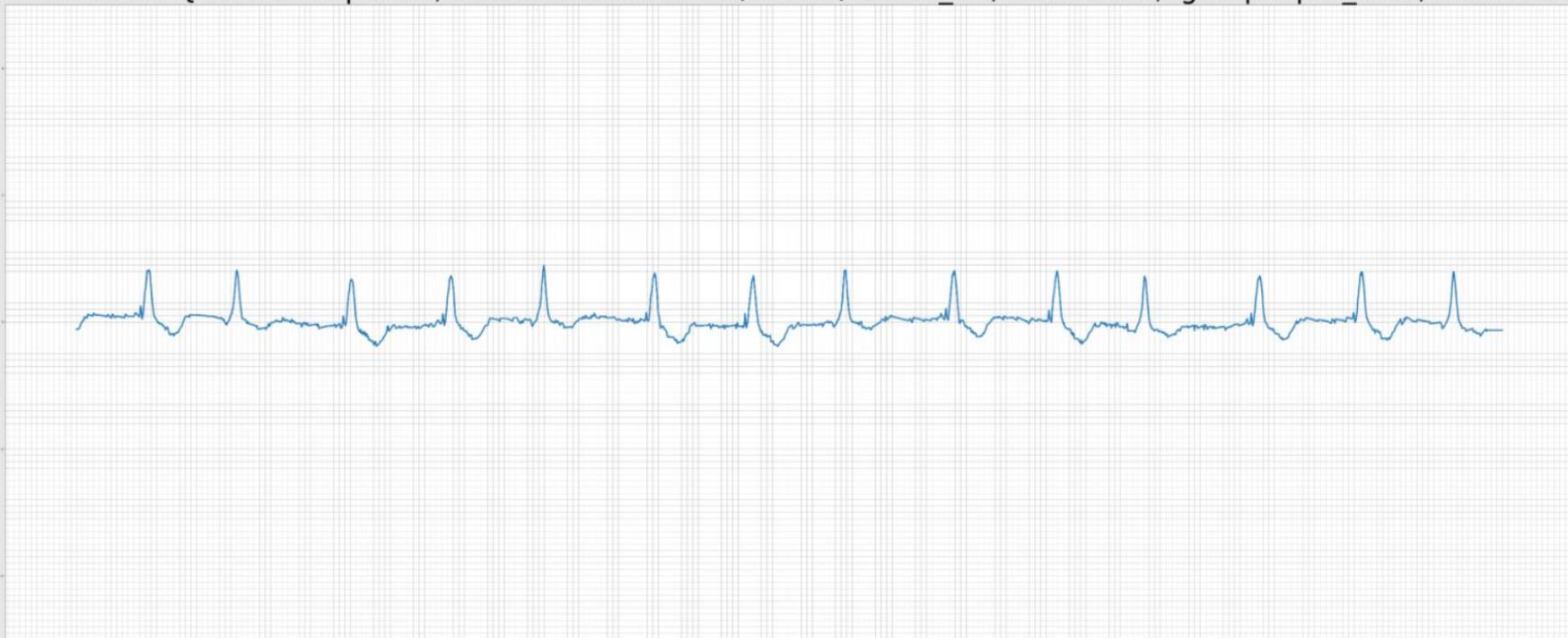
1) 81786 - atrial {'dataset': 'ptb-xl', 'record': 'records500/05000/05058_hr', 'lead': 'V2', 'group': 'ptb_4782', 'class': 'sinus'}



Истинный класс: **синусовый ритм**

Предсказанный класс: **фибрилляция**

3) 36173 - atrial {'dataset': 'ptb-xl', 'record': 'records500/01000/01044_hr', 'lead': 'V1', 'group': 'ptb_981', 'class': 'sinus'}



Несколько (**54**) ошибочных записей были отправлены врачу на сопоставление ритма.

Итог:

совпадение с нашим алгоритмом (**36 – 66.6%**)
совпадение с исходной разметкой (**15 – 27.7%**)
не уверен (**3 – 5.7%**)