



# МЕД КИИ 2022

Научно-практическая конференция по искусственному интеллекту в медицине

**Юсупова Нафиса Исламовна**,  
профессор кафедры  
Вычислительной математики и  
кибернетики факультета  
информатика и робототехника  
ФГБОУ ВО Уфимского  
государственного авиационного  
технического университета», д.т.н.,  
проф., Уфа

**Богданов Марат Робертович**,  
доцент кафедры Вычислительной  
математики и кибернетики  
факультета информатика и  
робототехника ФГБОУ ВО  
Уфимского государственного  
авиационного технического  
университета», к.б.н., доц., Уфа

**Снижение риска при распознавании аритмии у плода с  
использованием методов машинного обучения**

- Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям No FEUE-2020-0007, РФФ 22-19-00471 Система поддержки принятия решений для профилактики и лечения бронхолегочных заболеваний, оценки рисков заболеваний и осложнений их лечения в задачах персонализированной медицины на основе методов анализа данных и искусственного интеллекта.

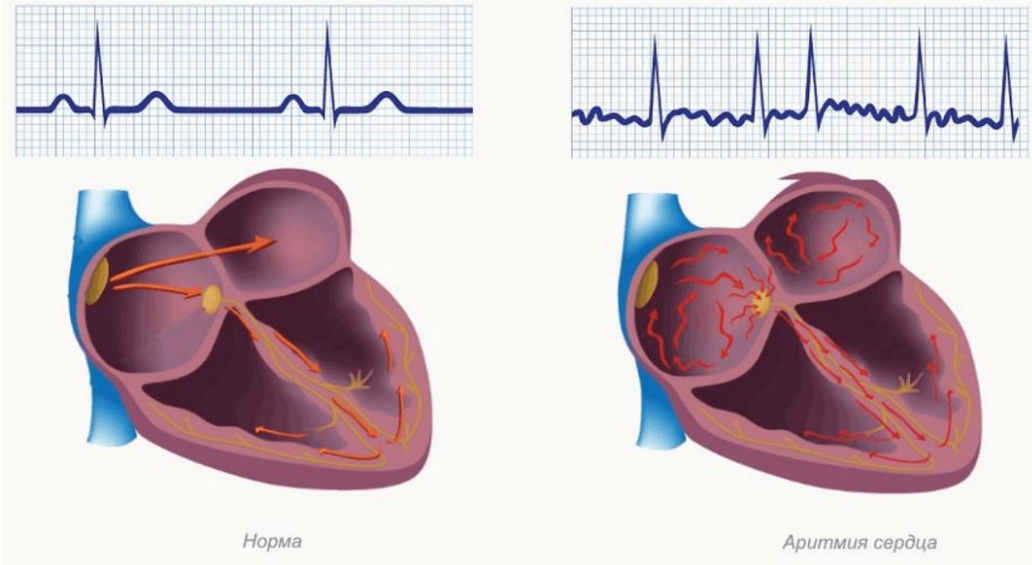
**Цель исследования:** разработка алгоритмов выявления нарушений сердечного ритма у плода

**Дейтасет:** общедоступные базы данных оцифрованных электрокардиограмм.

**Использованные методы:** машинное обучение, вейвлет-анализ, цифровые биомаркеры.

# Актуальность

- Мониторинг ЭКГ плода жизненно важен для получения полезной информации о его состоянии. Острая аритмия плода может привести к сердечной недостаточности или смерти. Измерение аритмии основано на обнаружении последовательных сердечных сокращений и определении временных интервалов между ними (так называемые интервалы RR, далее обозначаемые как TRR).



- Одним из наиболее часто используемых методов измерения ЧСС является метод ультразвуковой импульсной доплерографии, который обнаруживает сердечные сокращения по движениям сердца плода. Сложная структура огибающей доплеровского сигнала очень затрудняет точное распознавание зубцов R. При кратковременной изменчивости (характеризующей колебания интервалов между сокращениями) даже незначительные искажения значений TRR приводят к ошибочным результатам.





- Запись электрокардиограммы плода (ФЭКГ) может осуществляться двумя способами: прямым методом – возможным только во время родов, когда спиральный электрод прикрепляется непосредственно к головке плода, и непрямым – когда измерительные электроды располагаются на животе матери. Прямой метод обеспечивает «чистый» сигнал ЭКГ, в котором можно легко отфильтровать низкочастотные помехи. Однако наиболее перспективным с клинической точки зрения является непрямой метод, который имеет два принципиальных преимущества перед прямым: он неинвазивен и может применяться во время беременности.

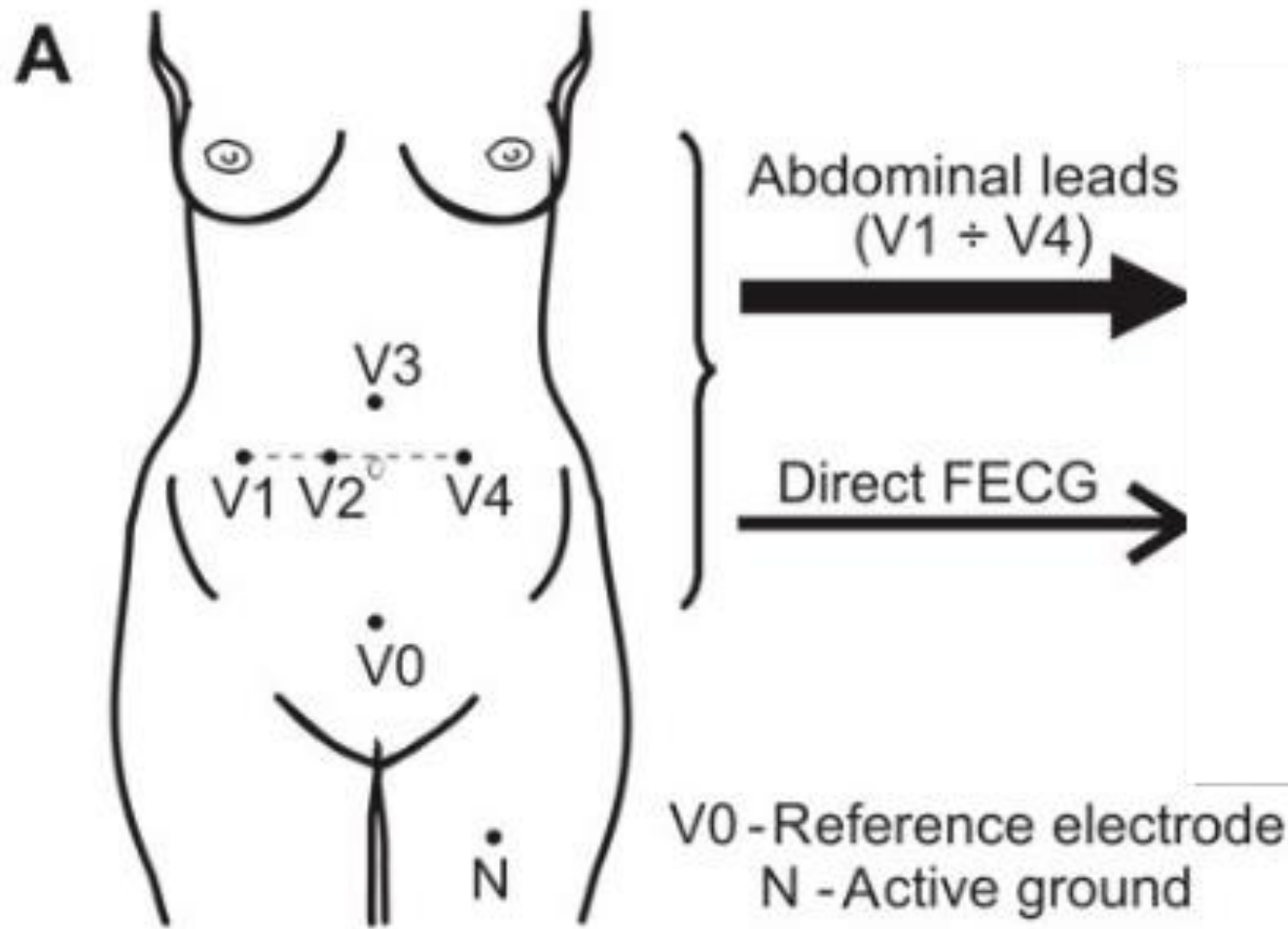
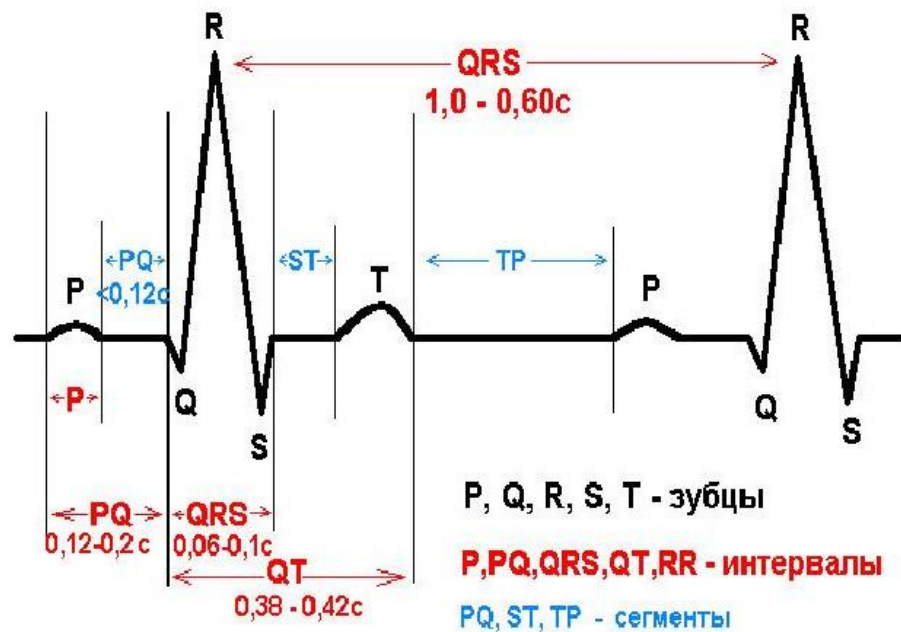
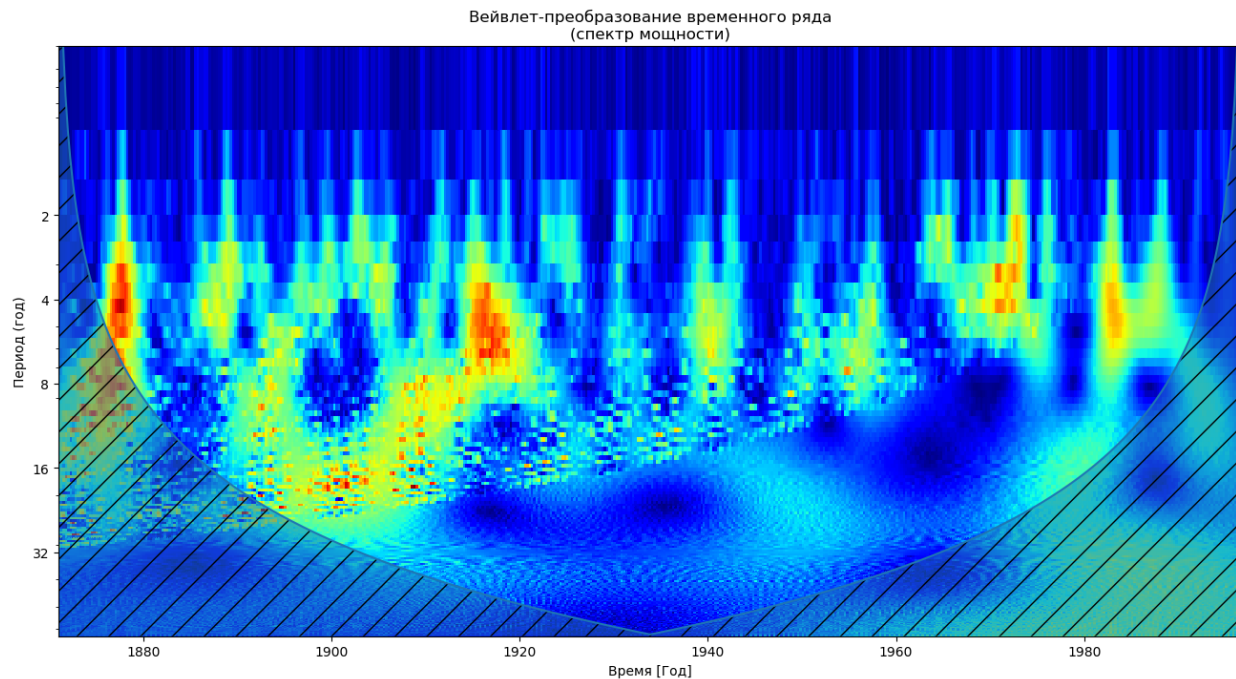


Рис. 1. Расположение абдоминальных электродов

- Основной проблемой его практической реализации является интерферирующая материнская электрокардиограмма (МЕЭГ), во много раз превышающая интересующий сигнал по амплитуде.
- Подавление доминирующего компонента абдоминальных сигналов материнской ЭКГ является решающим этапом абдоминальной электрокардиографии плода.
- Для подавления материнской ЭКГ вначале в общем кардиосигнале выделяют реперные точки материнской ЭКГ, после чего по ним формируется образ PQRST-комплексов материнской ЭКГ, который затем вычитается из абдоминальной ЭКГ вокруг реперных точек.







- После вычитания материнской ЭКГ выделяются QRS-комплексы плода.
- Для определения аритмий у плода были использованы методы машинного обучения и вейвлет-анализ

# Наборы данных

- Non-Invasive Fetal ECG Arrhythmia Database

- (<https://physionet.org/content/nifeadb/1.0.0/>) [Joachim A. Behar, Laurent Bonnemains, Vyacheslav Shulgin, Julien Oster, Oleksii Ostras, Igor Lakhno. Noninvasive fetal electrocardiography for the detection of fetal arrhythmias. 02 January 2019. <https://doi.org/10.1002/pd.5412>]

- 12 образцов ЭКГ с аритмией плода и 14 образцов с контролем, взяты у беременных женщин со сроком беременности от 21 до 40-й недели. Формат данных: EDF/EDF+, 4 абдоминальных отведения, частота дискретизации: 1 КГц, разрядность: 16 бит.

- Abdominal and Direct Fetal ECG Database

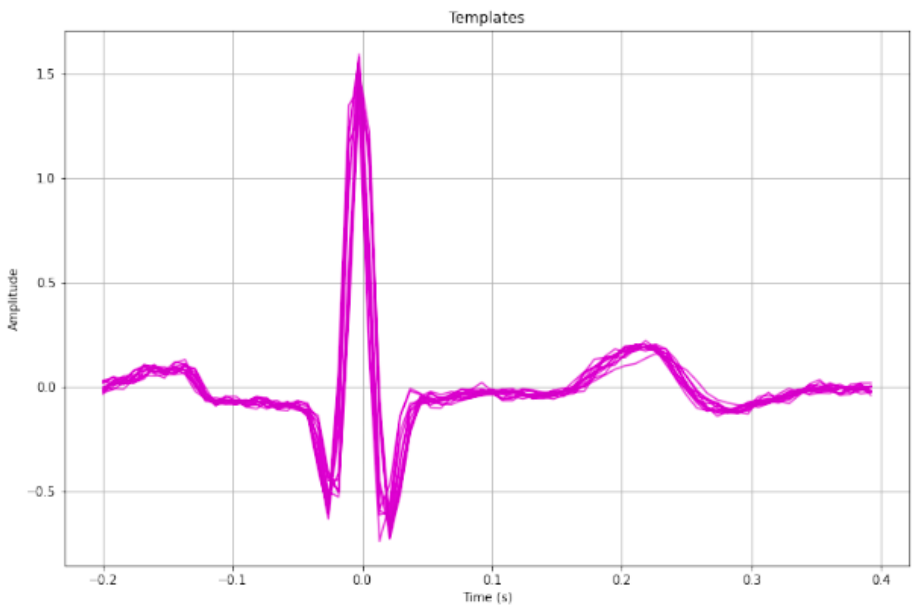
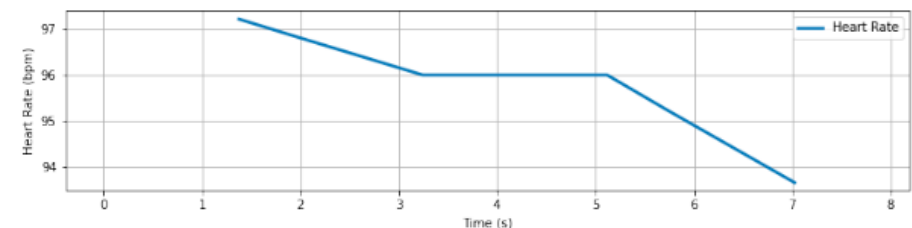
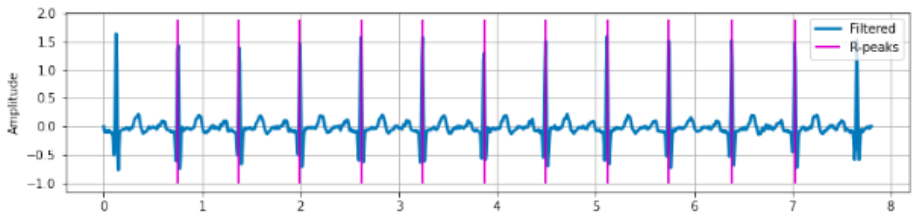
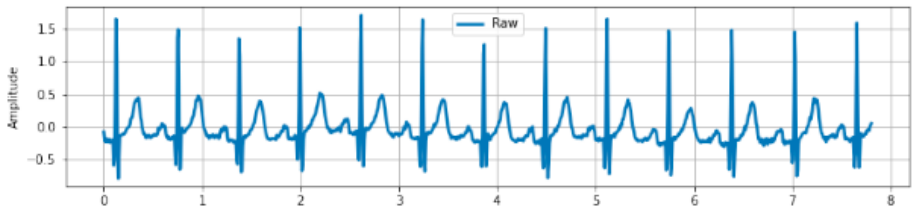
- (<https://physionet.org/content/adfecgdb/1.0.0/>) [Jezewski J, Matonia A, Kupka T, Roj D, Czabanski R. Determination of the fetal heart rate from abdominal signals: evaluation of beat-to-beat accuracy in relation to the direct fetal electrocardiogram. Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik 2012 Jul;57(5):383-394. doi:10.1515/bmt-2011-0130]

- База данных абдоминальной и прямой электрокардиограммы плода, содержит многоканальные записи электрокардиограммы плода (FECG), полученные от 5 разных рожениц в сроке от 38 до 41 недели беременности. Каждая запись включает четыре дифференциальных сигнала, полученных от живота матери, и эталонную прямую электрокардиограмму плода, зарегистрированную с головы плода. Формат данных: EDF/EDF+, частота дискретизации: 1 КГц, разрядность: 16 бит.

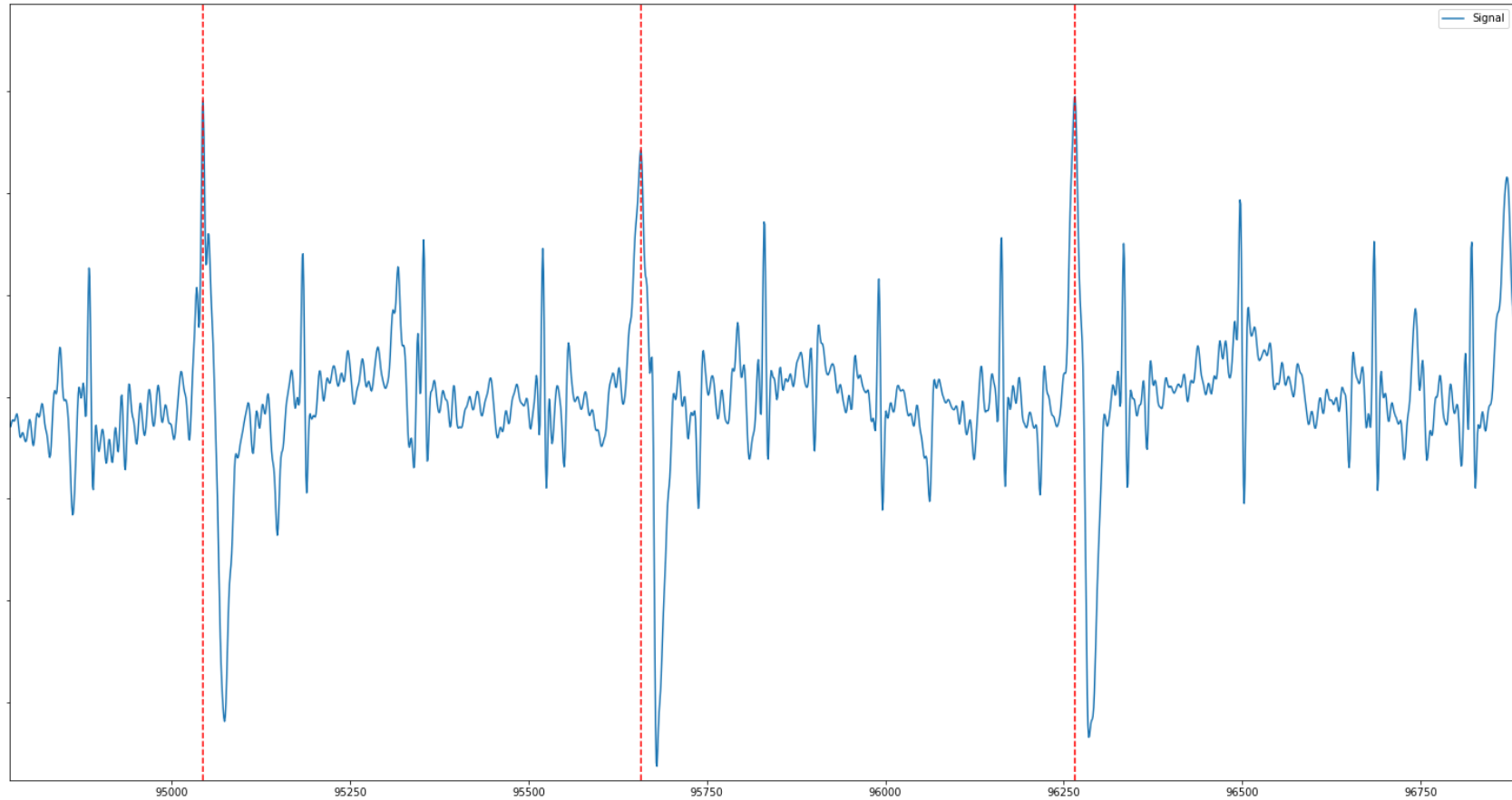
# Вычислительный эксперимент

- Состоит таких этапов, как предварительная обработка абдоминальной ЭКГ, выделение паттернов материнской ЭКГ, вычитание паттернов материнской ЭКГ, выделение паттернов ЭКГ плода, определение аритмии.

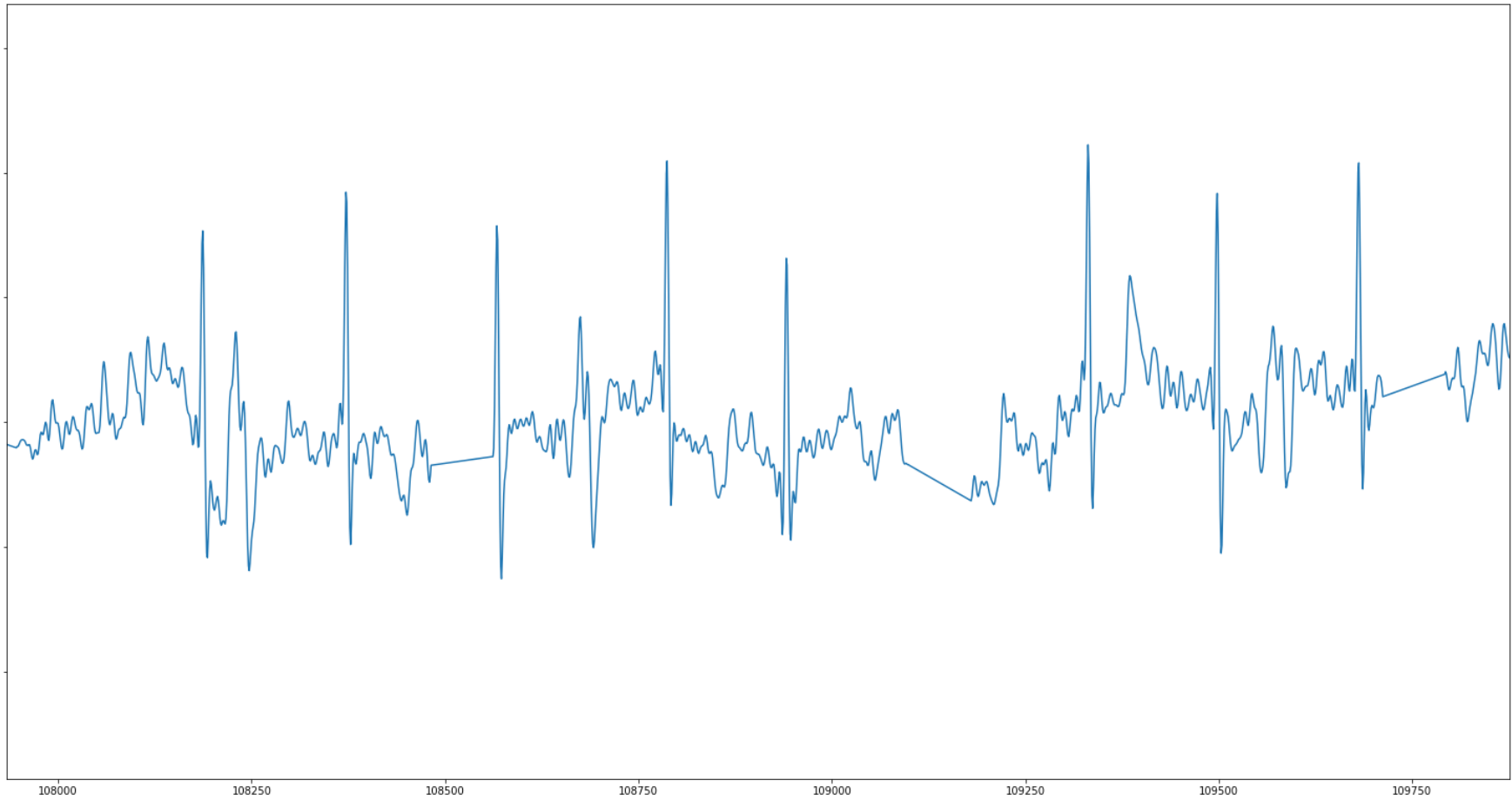
# • Предварительная обработка кардиосигнала



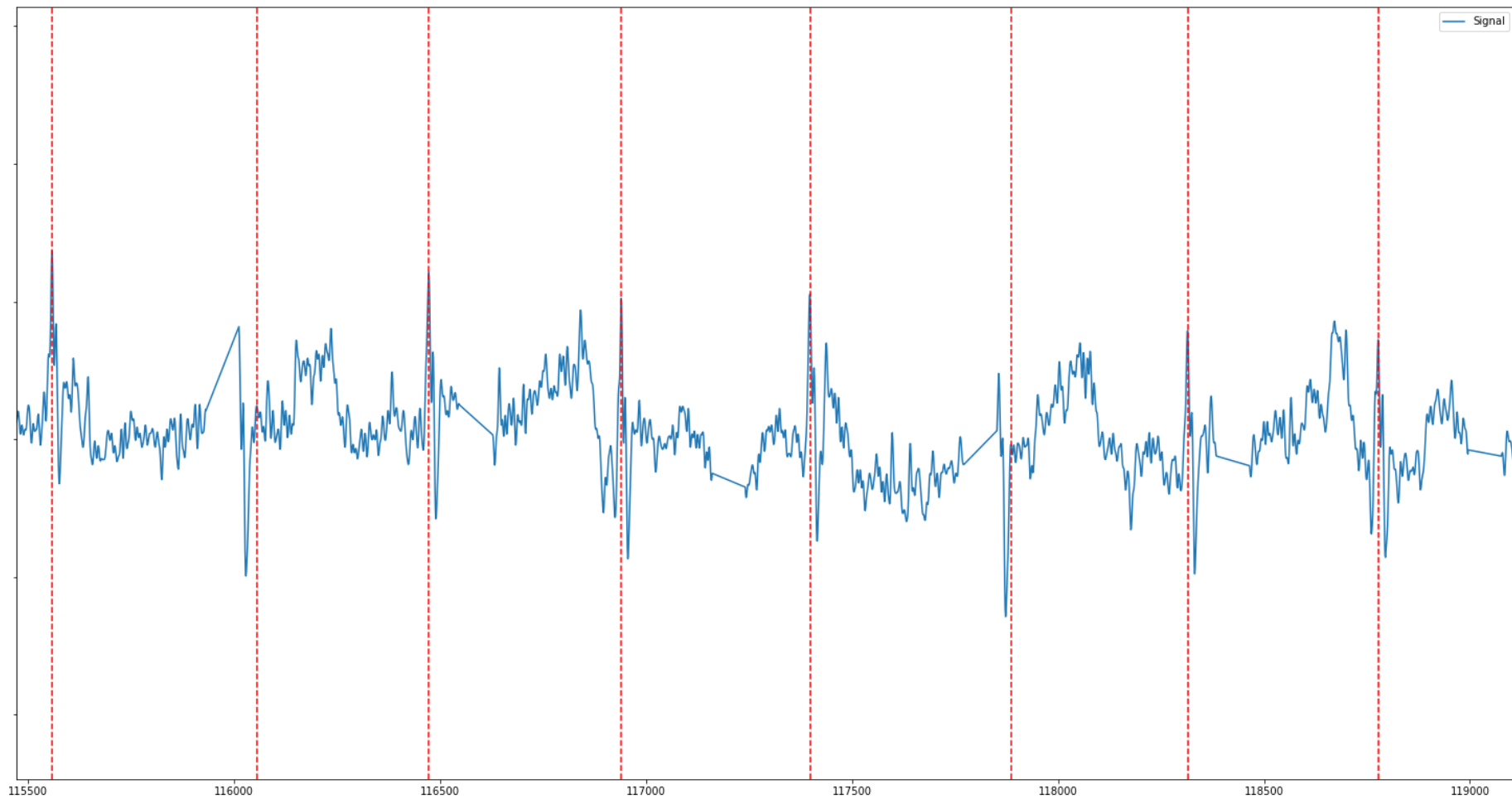
- Выделение паттернов материнской ЭКГ



- Рис. 3. Выделение R-пигов материнской ЭКГ.



- Вычитание паттернов материнской ЭКГ



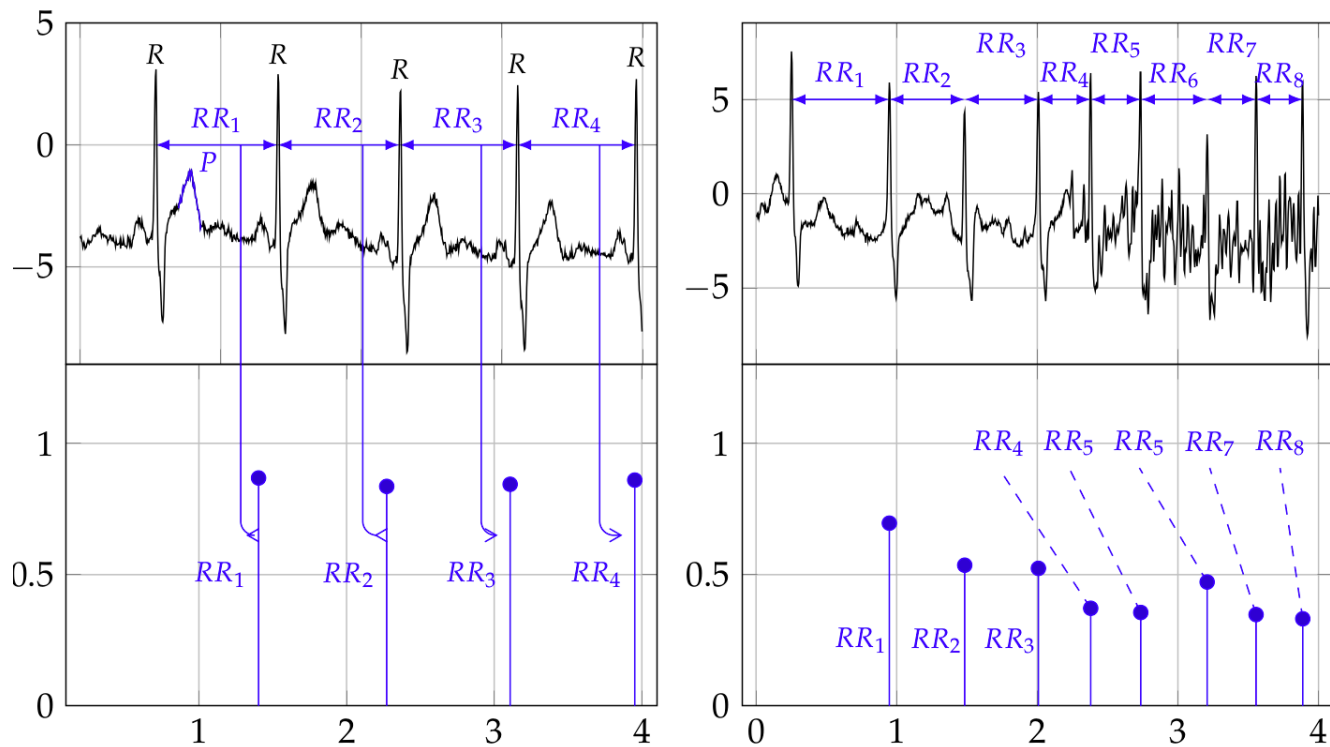
- Выделение паттернов ЭКГ плода. Использовался оригинальный алгоритм – амплитудный порог вместе с бутстреп.

# Распознавание аритмий

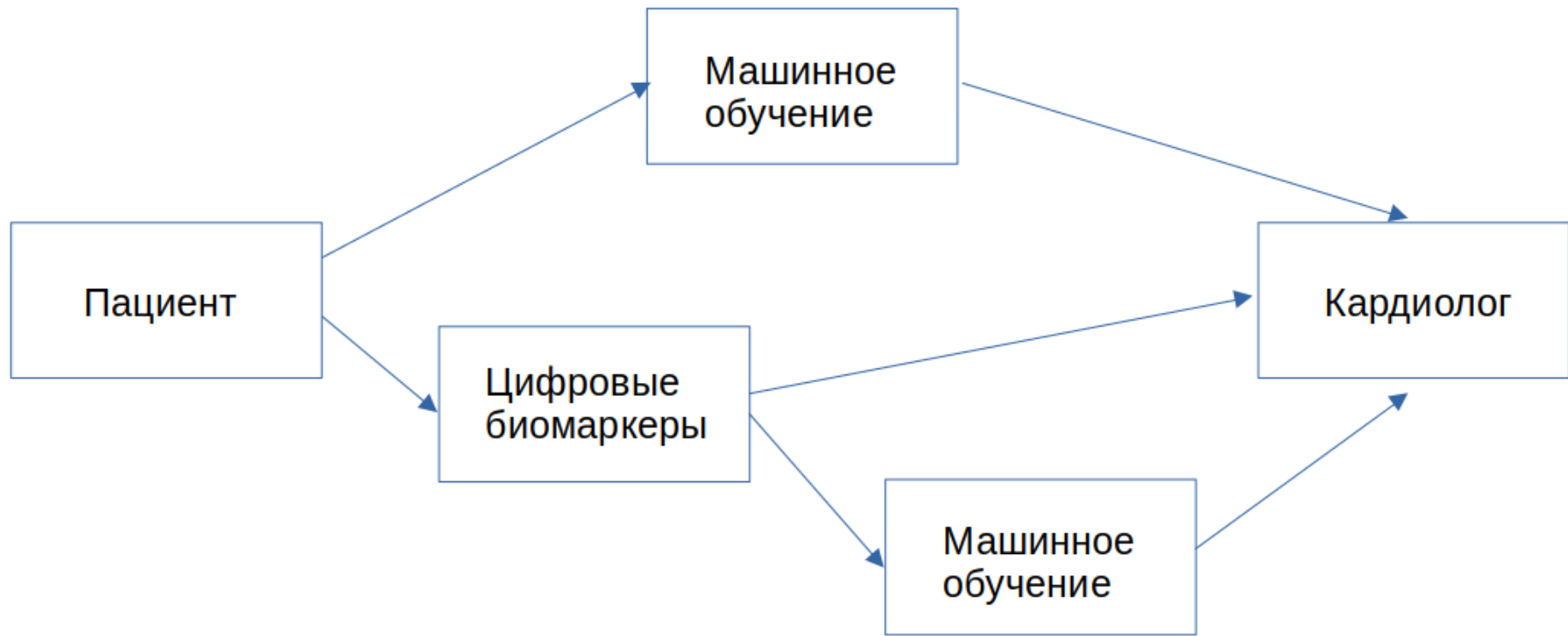
- Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенной формой аритмии, от которой страдает свыше 33 миллионов человек во всем мире. ФП связана с повышенным риском инсульта и сердечной недостаточности (СН). Недавние исследования говорят о том, что ФП также связана с повышенным риском внезапной сердечной смерти (ВСС)



# Распознавание аритмий



Сравнение нормального синусового ритма (слева) и фибрилляции предсердий (справа). В верхней части рисунка показаны электрокардиограммы (по оси ординат отложена амплитуда в милливольтгах), в нижней части рисунка – расстояния между R-зубцами (по оси ординат отложено время в секундах). По осям абсцисс отложено время в секундах.



- Для автоматизированного обнаружения ФП можно использовать два подхода. В первом случае из оцифрованных электрокардиограмм выделяются признаки, поступающие на вход методов машинного обучения. Во втором случае из оцифрованных электрокардиограмм получают цифровые биомаркеры, которые в последствие также поступают на вход методов машинного обучения. При этом пациент выступает в качестве источника сигналов, а врач – получателя.

- Цифровые биомаркеры



- Цифровые биомаркеры, предназначенные для обнаружения ФП представляют собой результат некоторого преобразования исходного кардиосигнала. Цифровые биомаркеры можно разделить на нелинейные, временные, частотные и частотно-временные.

# Наборы данных

- 1. База данных фрагментов электрокардиограмм для изучения опасных форм аритмии (ECG Fragment Database for the Exploration of Dangerous Arrhythmia, <https://physionet.org/content/ecg-fragment-high-risk-label/1.0.0/>).
- База данных электрокардиограмм с нормальным синусовым ритмом (MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database, <https://physionet.org/content/nsrdb/1.0.0/>)
- База данных аритмий (MIT-BIH Arrhythmia Database, <https://physionet.org/content/mitdb/1.0.0/>).
- База данных фибрилляции предсердий (MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, <https://physionet.org/content/afdb/1.0.0/>).
- База данных наджелудочных аритмий (MIT-BIH Supraventricular Arrhythmia Database, <https://physionet.org/content/svdb/1.0.0/>).
- База данных злокачественных желудочковых эктопий MIT-BIH (MIT-BIH Malignant Ventricular Ectopy Database, <https://physionet.org/content/vfdb/1.0.0/>)

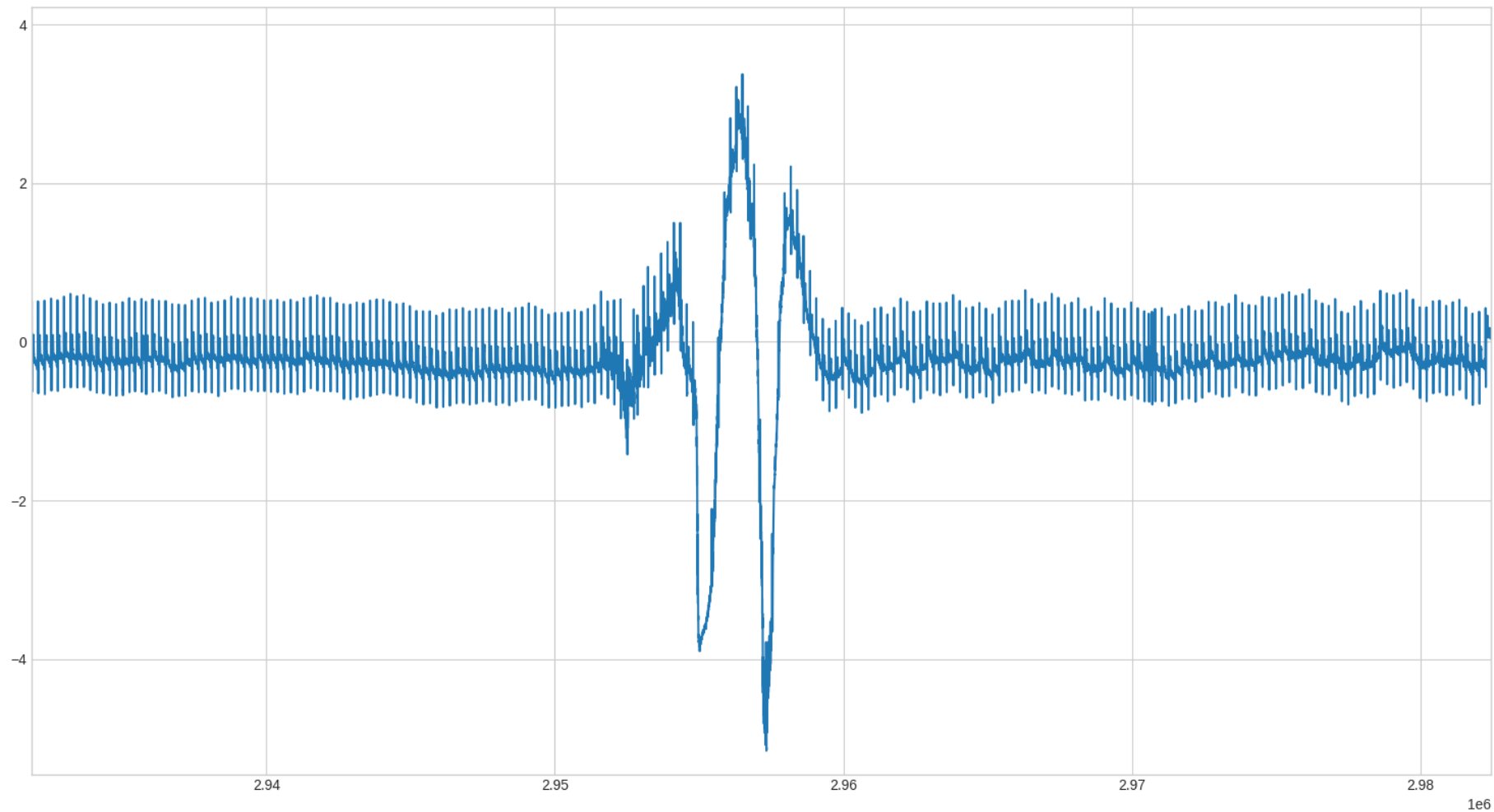
# Машинное обучение

- Частота дискретизации исходных кардиосигналов варьирует в пределах от 128 до 360 Гц. Было принято решение взять за основу наименьшую частоту дискретизации. Препроцессинг проводили следующим образом. В начале из всех кардиосигналов были выделены QRST-комплексы, их частота дискретизации была снижена до 128 Гц. В результате были получены векторы признаков длиной 76 элементов (рис. 8).
- Затем была проведена бинарная классификация с помощью метода Category boost

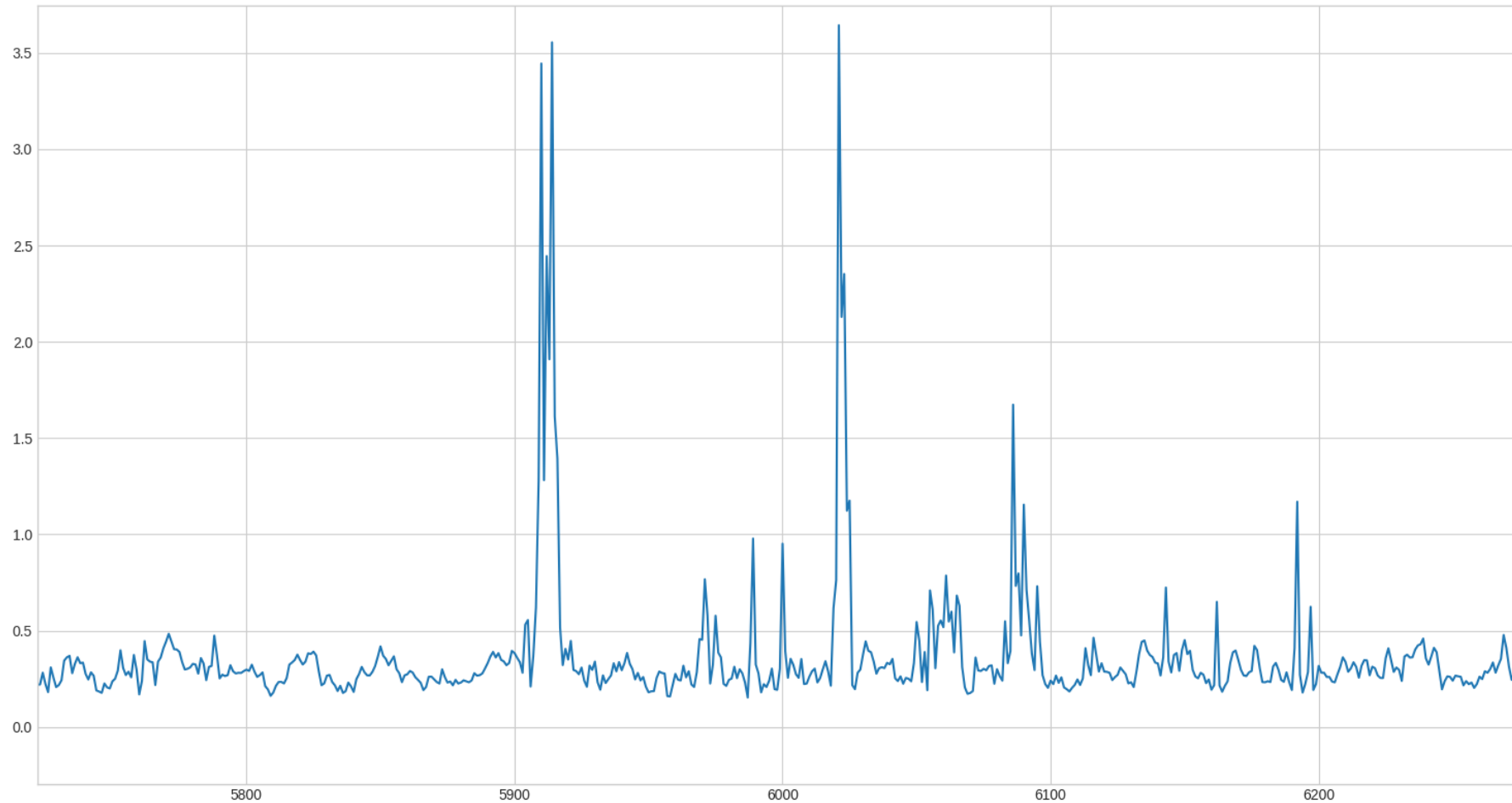
## Результаты бинарной классификации

1-я выборка	2-я выборка	Accuracy
mit_bih_arrythmia	<b>atrial_fibrillation</b>	0.99
normal sinus rythm	<b>atrial_fibrillation</b>	0.99
normal sinus rhythm	arrhythmia	0.99
supraventricular_arrhythmia	<b>atrial_fibrillation</b>	0.99
mit_bih_malignant_ventricular_ectopy	<b>atrial_fibrillation</b>	0.99

# Использование цифровых биомаркеров

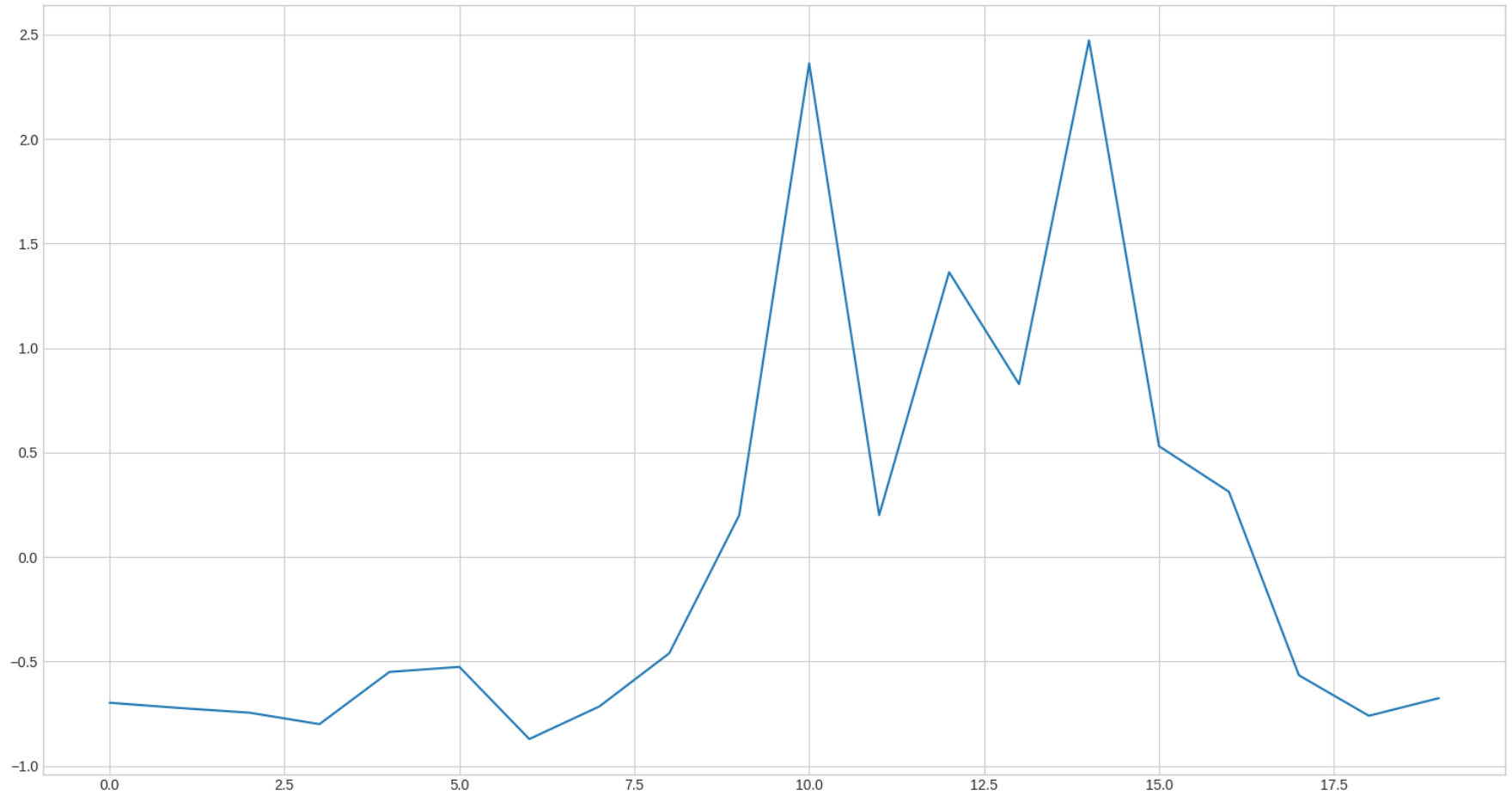


- Исходный кардиосигнал

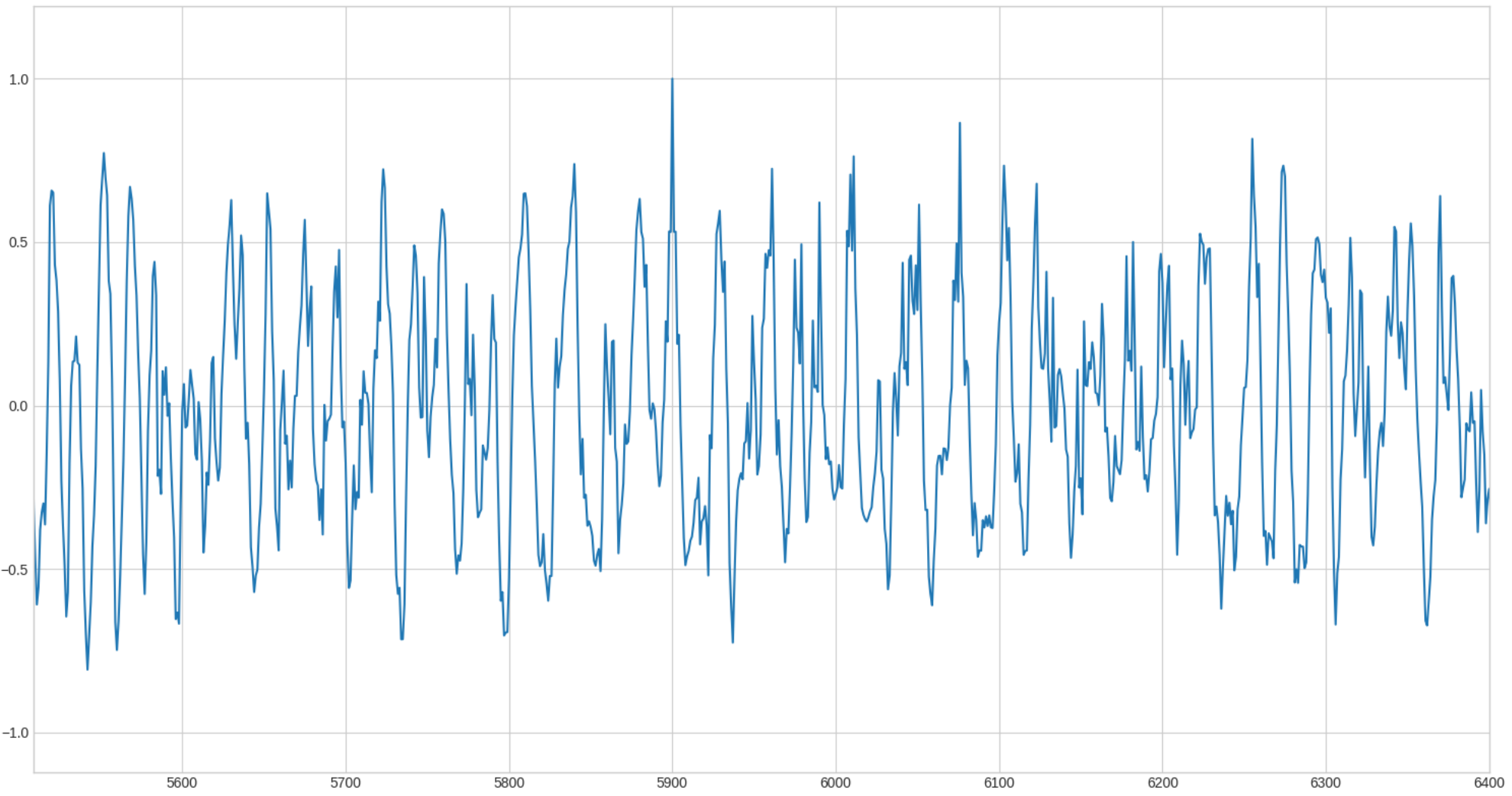


- Детектирование сигнала





- Получение вейвлета



- Корреляционная функция

## Оценка эффективности вейвлет-анализа

	sinus-rhythm	supraventricular arrhythmia	atrial fibrillation	malignant-ventricular-ectopy	arrhythmia
Dangerous_VFL_VF	0,67	0,70	<b>0,91</b>	0,47	0,44
Potential_Dangerous	0.69	0.66	<b>0,92</b>	0,47	0,45
Sinus_rhythm	0.77	0.73	<b>0,95</b>	0,52	0,47
Special_Form_VTdT	0.67	0.68	<b>0,90</b>	0,46	0,46
Supraventricular	0.68	0.69	<b>0,96</b>	0,46	0,48
Threatening_VT	0.72	0,70	<b>0,93</b>	0,48	0,44

# Результаты:

- 1. Удалось выявить 98% R-пиков на ЭКГ плода
- 2. Удалось выявить различные формы аритмии с эффективностью 99% (метрика Assigasy)
- 3. Предложенный подход позволяет обнаруживать различные формы аритмии у плода, что при своевременном лечении позволит снизить риск развития тяжелых заболеваний сердечно-сосудистой системы у плода.