

Анализ ЭКГ сигнала

[Исходные данные](#)

[Валидность анализа](#)

[Работа анализатора](#)

[Методика первичного анализа ЭКГ-сигнала](#)

[Анализ R-R интервалов](#)

[Расчет ширины комплекса](#)

[Определение смещения ST-сегмента](#)

[Определение морфологии QRS-комплекса](#)

[Тестирование анализатора](#)

[Перечень детектируемых нарушений](#)

[Перечень нарушений ритма, не изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Предсердная экстрасистола \(A\) +](#)

[Предсердная групповая экстрасистола \(AG\) +](#)

[Пример парной СВЭ](#)

[Предсердная бигимения \(AB\), предсердная аллоритмия +](#)

[Синусовая брадикардия \(SBR\) +](#)

[Желудочковая тахикардия +](#)

[Выпадения QRS-комплекса \(x\), асистолия +](#)

[Суправентрикулярная тахикардия \(SVTA\) +](#)

[Трепетание предсердий \(AFL\), Фибрилляция \(мерцание\) предсердий \(AFIB\) +](#)

[Atrial escape beat +](#)

[Перечень нарушений, требующих анализа P-сегмента](#)

[Supraventricular premature beat !](#)

[Суправентрикулярная тахикардия \(SVTA\) с nodal \(junctional\) premature beat \(J\) !](#)

[2° heart block \(BII\) +](#)

[Узловой атриовентрикулярных ритм \(NOD\) !](#)

[Перечень нарушений ритма, изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Желудочковая экстрасистолия \(V\) +](#)

[Групповая желудочковая экстрасистола \(VG\) +](#)

[Полиморфная желудочковая экстрасистолия \(VP\) +](#)

[Бигимения](#)

[Тригимения \(T\) +](#)

[Fusion of ventricular and normal beat +](#)

[Aberrated atrial premature beat, R-on-T premature ventricular contraction +](#)

[Перечень неритмических нарушений, изменяющих морфологию QRS-комплекса](#)

[Удары при блокаде левой ножки Гиса \(LBB\) +](#)

[Удары при блокаде правой ножки Гиса \(RBB\) +](#)

[Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта +](#)

[Идиовентрикулярный ритм](#)

[Мерцание/трепетание желудочков +](#)

[Общий алгоритм анализа](#)

Исходные данные

1. ЭКГ-сигнал в трех отведениях.

Последовательность 16-битных отсчетов (65536 уровней квантования) с частотой дискретизации 250 Гц. Опорный уровень 0.17 вольт.

Первое отведение (Dorsalis).

Второе отведение (Anterior).

Третье отведение (Inferior).

Данные передаются в интерфейс оболочки через массив указателей на входные буферы, содержащие отсчёты ЭКГ (по числу используемых каналов ЭКГ).

```
ecg_shell:: i16 **in;  
:: short int **am;
```

Размер входного и выходного буфера (от 1 до 40 отсчетов).

```
ecg_shell:: i16 number_of_samples;  
:: short int nm;
```

Входной сигнал, пропущенный через цифровые фильтры сетевой помехи и нижних частот (задержка 6 отсчётов) можно получить через массив указателей на выходные буферы, содержащие (по числу используемых каналов ЭКГ).

```
ecg_shell:: i16 **out;  
:: short int **amf;
```

2. Признак отключенных электродов

Признак определяется путем подачи тока 18 нА между электродами и определения межэлектродного сопротивления. В нормальном режиме сопротивление составляет порядка 400 кОм. При отключенных электродах сопротивление > 50 МОм.

Валидность анализа

1. Признак помехи

1.1. Низкая амплитуда сигнала; (1 байт)

Сигнал появляется при размахе R-зубца от порядка 0.05 (предел срабатывания детектора R-зубца) до 0.1 мВ

1.2. Высокий уровень помех; (1 байт)

1.3. Признак наличия помехи для каждого из каналов (1 байт/отведение = 3 байта)

Сигналы появляются при выходе значений сигнала за пределы динамического диапазона АЦП, а также при превышении порога показателем относительного содержания высокочастотных составляющих в сигнале. Этот показатель вычисляется как скользящее среднее модулей отсчетов с выхода фильтра верхних частот (пропускающего сигнал в полосе выше примерно 50 Гц).

```
ecg_shell:: bool alarm_low_signal; // низкая амплитуда сигнала;  
ecg_shell:: bool alarm_big_noise; // высокий уровень помех;  
ecg_shell:: bool noise_in_channel[3]; // наличие помехи для каждого из каналов  
  
:: short int *alarm; // [2 – низкая амплитуда сигнала, 4 – высокий уровень помех]
```

На основе признаков помехи и признака отключенных электродов может работать механизм разрешения формирования ДЗС:

1. При отключении электродов происходит переоткрытие сессии со сбросом всех счетчиков и фильтров
2. При возникновении сигналов низкой амплитуды или высокого уровня помех результаты анализа не являются достоверными и должны быть игнорированы, также должна производиться блокировка формирования событий, счетчики и фильтры «замораживаются»

Работа анализатора

Входные отсчеты обрабатываются фильтром нижних частот, после чего производится поиск R-зубца. Относительно найденной точки ведется дальнейший анализ:

1. Определяется ширина комплекса
2. Определяется морфология и происходит обнаружение QRS-комплексов с нарушениями, соответствующими желудочковой экстрасистолии (ЖЭ, V).
3. Определяется опорная точка и вычисляется R-R интервал.
4. Производится поиск смещения сегмента ST.

Если в результате анализа текущего фрагмента входного сигнала обнаруживается очередной QRS-комплекс, то данные о результатах классификации формы, положении его опорной точки и границ передаются на выход подпрограммы. Если на текущий момент обнаружения QRS не происходит, эти параметры обнуляются. Анализатор формирует на выходе описание QRS-комплексов.

```
void ecg ( short **am, short **amf, short nm, short *alarm, short *artef, short *mtqrs_3, char *minut, char *mclass_2, char *marit_2, short *nqrs, unsigned char *mdiag)
```

1. Флаг присутствия QRS-комплекса (1 байт)

```
ecg_shell:: bool qrs_detected;  
:: short int *mtqrs_3[0];
```

2. Тип неопределенности

В начале записи анализатор производит накопление данных. При этом выдается сигнал «0 — — недостаточно событий». Далее нормальные комплексы помечаются как «1 — норма», искаженные помечаются как «2 — удаленность от нормы и измененная ширина». Если форма комплекса долговременно меняется, возможно появление события «3 — не похож на норму, но таких комплексов много».

```
ecg_shell:: u8 qrs_type;  
:: char mclass_2[1];
```

3. Сведения о результатах распознавания отдельных нарушений ритма передаются через массив "marit_2" с задержкой на два комплекса по отношению к моменту обнаружения соответствующего QRS-комплекса. Сводка выявленных аритмий формируется раз в минуту.

- 3.1. Тип аритмии (1)

```
ecg_shell:: u8 arrhythmia;
```

```
:: char marit_2[0];
```

```
:: unsigned char *mdiag;
```

```
1 - предсердная экстрасистола;  
[0] - предсердные экстрасистолы;  
  
2 - желудочковая экстрасистола;  
[1] - желудочковые экстрасистолы;  
  
3 - ранняя желудочковая экстрасистола (R на T);  
[2] - ранние желудочковые экстрасистолы (R на T);  
  
4 - групповая желудочковая экстрасистола;  
[3] - групповые желудочковые экстрасистолы;  
[8] - парные желудочковые экстрасистолы;  
  
[9] - полиморфные желудочковые экстрасистолы;  
  
5 - желудочковая бигеминия;  
[4] - желудочковая бигеминия;  
  
6 - желудочковая тригеминия;  
[5] - желудочковая тригеминия;  
  
7 - выпадение QRS-комплекса;  
[6] - выпадения QRS-комплекса;  
[10] - эпизоды асистолии желудочков;  
  
8 - пароксизм желудочковой тахикардии;  
[7] - пароксизмы желудочковой тахикардии;  
  
[11] - пароксизмы мерцательной аритмии;
```

Методика первичного анализа ЭКГ-сигнала

Анализ R-R интервалов

1. Опорная точка QRS-комплекса

Метка времени опорной точки QRS-комплекса, не всегда совпадает с R-зубцом (отсчитывается от 1 января 1970 года) в микросекундах. 64-разрядный знаковый integer.

Для расчёта опорной точки используется сумма модулей сигналов по всем анализируемым отведениям после прохождения сигналами полосовой фильтрации (от 5 до 30 Гц). Упрощённо процедуру можно описать так:

Опорная точка рассчитывается как середина площади образовавшейся фигуры в окрестности точки срабатывания порогового обнаружителя R-зубца (использование площади позволяет обеспечить помехоустойчивость)

2. R-R интервал (2 байта)

Разница меток времени в отчетах между текущим и предыдущим значением.

Норма $\pm 10\%$ между двумя соседними интервалами

```
ecg_shell:: i16 RR_interval;  
:: short int mtqrs_3[0];
```

Расчет ширины комплекса

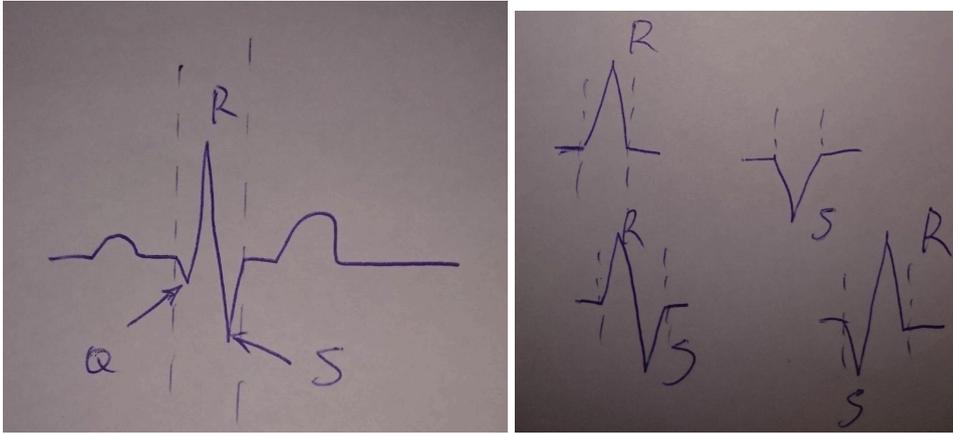
Библиотека определяет следующие показатели для каждого комплекса:

1. Интервал от начала QRS до его опорной точки (2)

2. Длительность QRS-комплекса (2)

Границы определяются путём поиска «площадок» длительностью не менее 50 мс слева и справа от найденной опорной точки.

Расстояние от начала зубца Q до конца зубца S, если есть Q и S. Если комплекс только из зубца R, то от начала до конца зубца R, если есть R и S, то от начала R до конца S.



Норма не более 100 мс у взрослых, дети 5-14 лет не более 60 — 90 мс, дети менее 5 лет — не более 80 мс. Может меняться от пациента к пациенту.

```
ecg_shell:: ???;
:: short int mtqrs_3[2];
```

3. Амплитуда R-зубца

Анализ на данный момент не производится. На основе изменения амплитуды R-зубца может происходить определение частоты дыхания.

Норма 800 — 2500 мкВ (8—25 мм) на максимальном отведении (в anterior). Может меняться от пациента к пациенту.

Определение смещения ST-сегмента

Считается по Anterior

Измеряется величина отведения относительно нулевого уровня ЭКГ, измеренная в точке, отстоящей на 40 мс от точки «J» (точки окончания зубца S ЭКГ). Выполняется только для комплексов фонового ритма («нормальных» комплексов).

Снижение не превышает 0.5 мм (50 мкВ)

Подъем 1.5 — 2 мм (150 — 200 мкВ)

Нижний и верхний предел может меняться от пациента к пациенту.

Величина смещения ST-сегмента (в мкВ)

```
ecg_shell:: i8 ST_shift[3];
:: char marit_2[2];char marit_2[3];char marit_2[4];
```

Определение морфологии QRS-комплекса

Библиотека определяет номер класса формы (группы, в которую определен комплекс в результате проведения корреляции). По порогу корреляции комплексы разделяются на группы.

```
ecgk_shell:: ???;  
:: char mclass_2[0];
```

Тестирование анализатора

В качестве тестовых записей были взяты записи библиотеки MIT BIN (mitdb arythmia database). Преимущество этих записей в том, что они снабжены верифицированными аннотациями. Все аннотации делятся на аннотации ударов и аннотации ритма. Ниже приведен список аннотаций и вариант перевода

Таблица 1.

Аннотации ударов		
· or N	Normal beat	Нормальный удар
L	Left bundle branch block beat	Удар при блокаде левой ножки Гиса
R	Right bundle branch block beat	Удар при блокаде правой ножки Гиса
A	Atrial premature beat	Предсердная экстрасистола
a	Aberrated atrial premature beat	Аберрированная (?) предсердная экстрасистола
J	Nodal (junctional) premature beat	Узловая экстрасистола
S	Supraventricular premature beat	Суправентрикулярная (эктопическая) экстрасистола
V	Premature ventricular contraction	Желудочковая экстрасистола
r	R-on-T premature ventricular contraction	Экстрасистолия R-на-T
F	Fusion of ventricular and normal beat	Слияние ЖЭ и нормального удара
[Start of ventricular flutter/fibrillation	Начало трепетания/фибрилляции желудочков
!	Ventricular flutter wave	Трепетание желудочков
]	End of ventricular flutter/fibrillation	Конец трепетания/фибрилляции желудочков
e	Atrial escape beat	Предсердное запаздывающее сокращение желудочков
j	Nodal (junctional) escape beat	Узловое запаздывающее сокращение желудочков
E	Ventricular escape beat	Желудочковое запаздывающее сокращение желудочков
/	Paced beat	Стимулированный удар
f	Fusion of paced and normal beat	Слияние стимулированного и нормального удара
x	Non-conducted P-wave (blocked APB)	Атриовентрикулярная блокада
Q	Unclassifiable beat	Неклассифицируемый удар
	Isolated QRS-like artifact	Отдельный артефакт, имеющий форму QRS
Аннотации ритма		

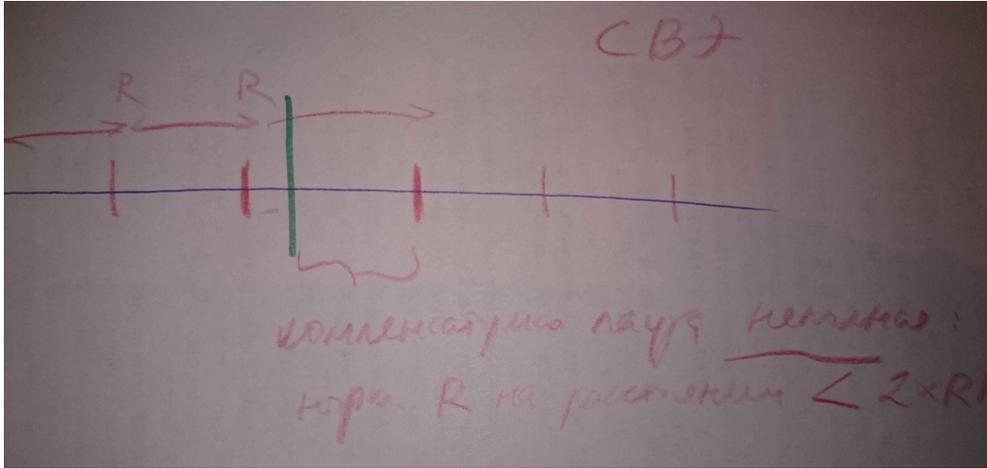
(AB	Atrial bigeminy	Предсердная бигинемия
(AFIB	Atrial fibrillation	Мерцание предсердий
(AFL	Atrial flutter	Трепетание предсердий
(B	Ventricular bigeminy	Желудочковая бигимения
(BII	2° heart block	АВ блокада
(IVR	Idioventricular rhythm	Идиовентрикулярный ритм
(N	Normal sinus rhythm	Синусовый ритм
(NOD	Nodal (A-V junctional) rhythm	АВ ритм
(P	Paced rhythm	Стимулированный ритм
(PREX	Pre-excitation (WPW)	Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта
(SBR	Sinus bradycardia	Синусовая брадикардия
(SVTA	Supraventricular tachyarrhythmia	Предсердная тахикардия
(T	Ventricular trigeminy	Желудочковая тригеминия
(VFL	Ventricular flutter	Трепетание желудочков
(VT	Ventricular tachycardia	Синусовая тахикардия
Прочее		
М (or MISSB)	Пропущенный удар	
Р (or PSE)	Пауза	
Т (or TS)	Проскальзывание ленты	

Перечень детектируемых нарушений

Перечень нарушений ритма, не изменяющих морфологию QRS-комплекса

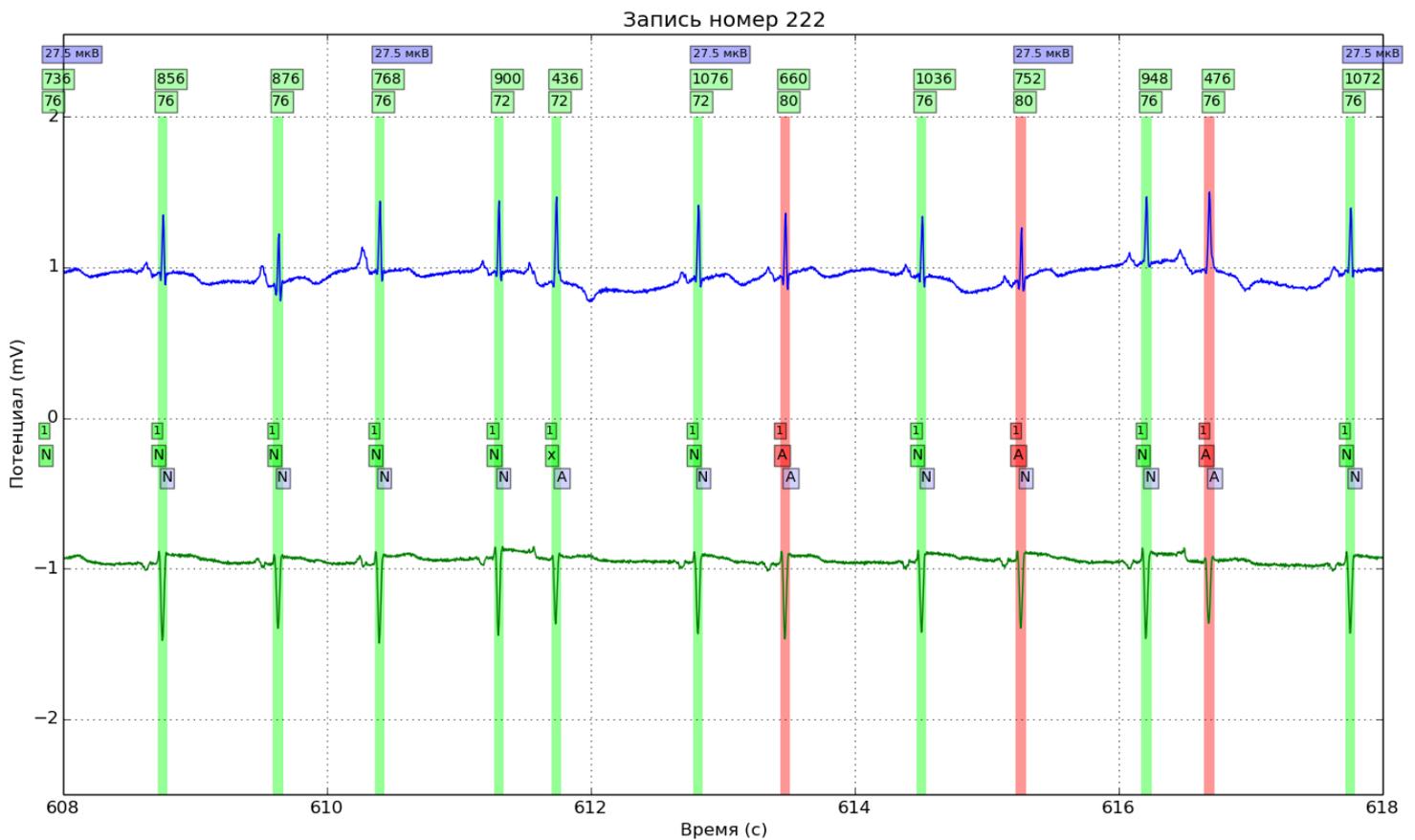
Предсердная экстрасистола (A) +

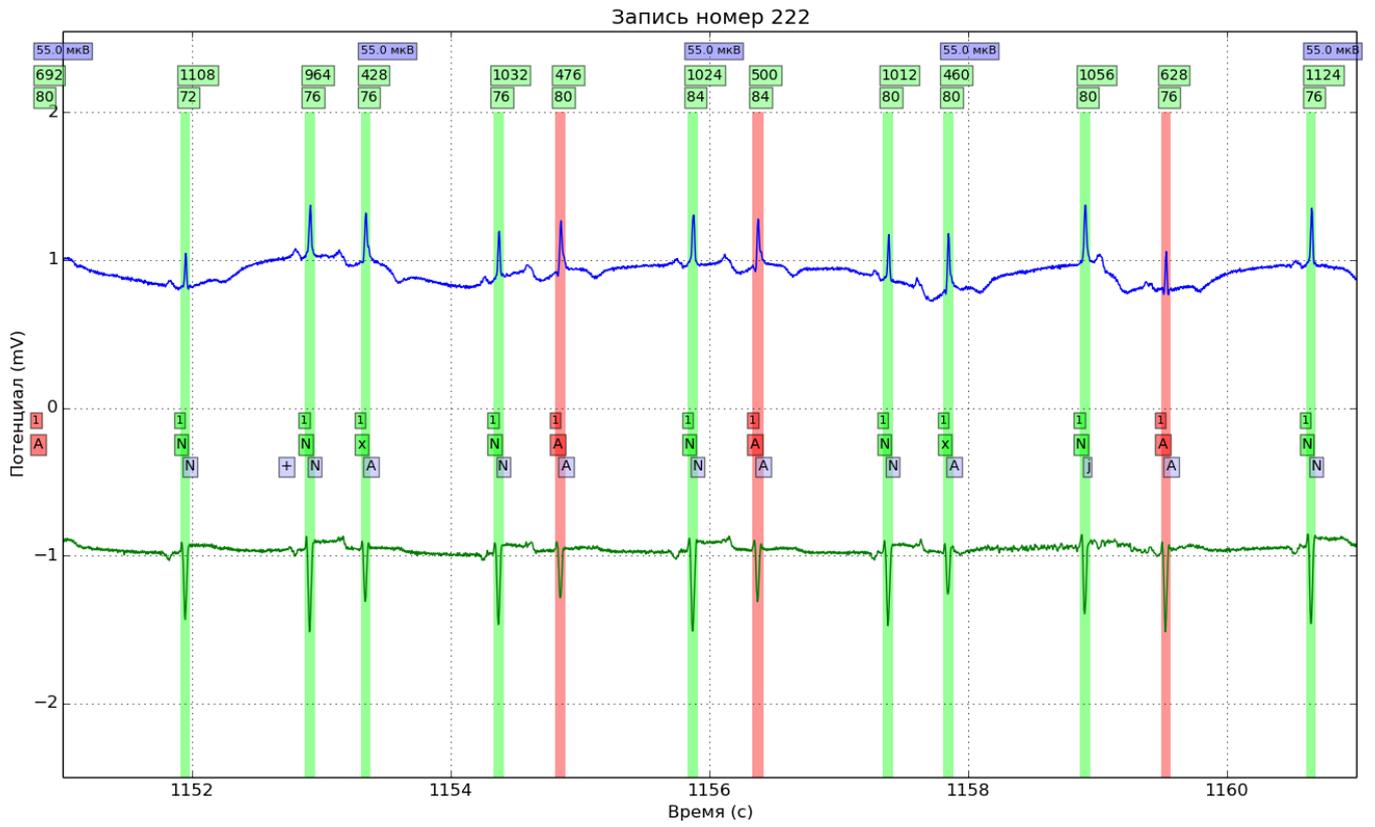
Atrial premature beat.



Все комплексы относятся к классу «норма» и на фоне более или менее равномерного ритма имеется укороченный интервал со следующей далее компенсаторной паузой.

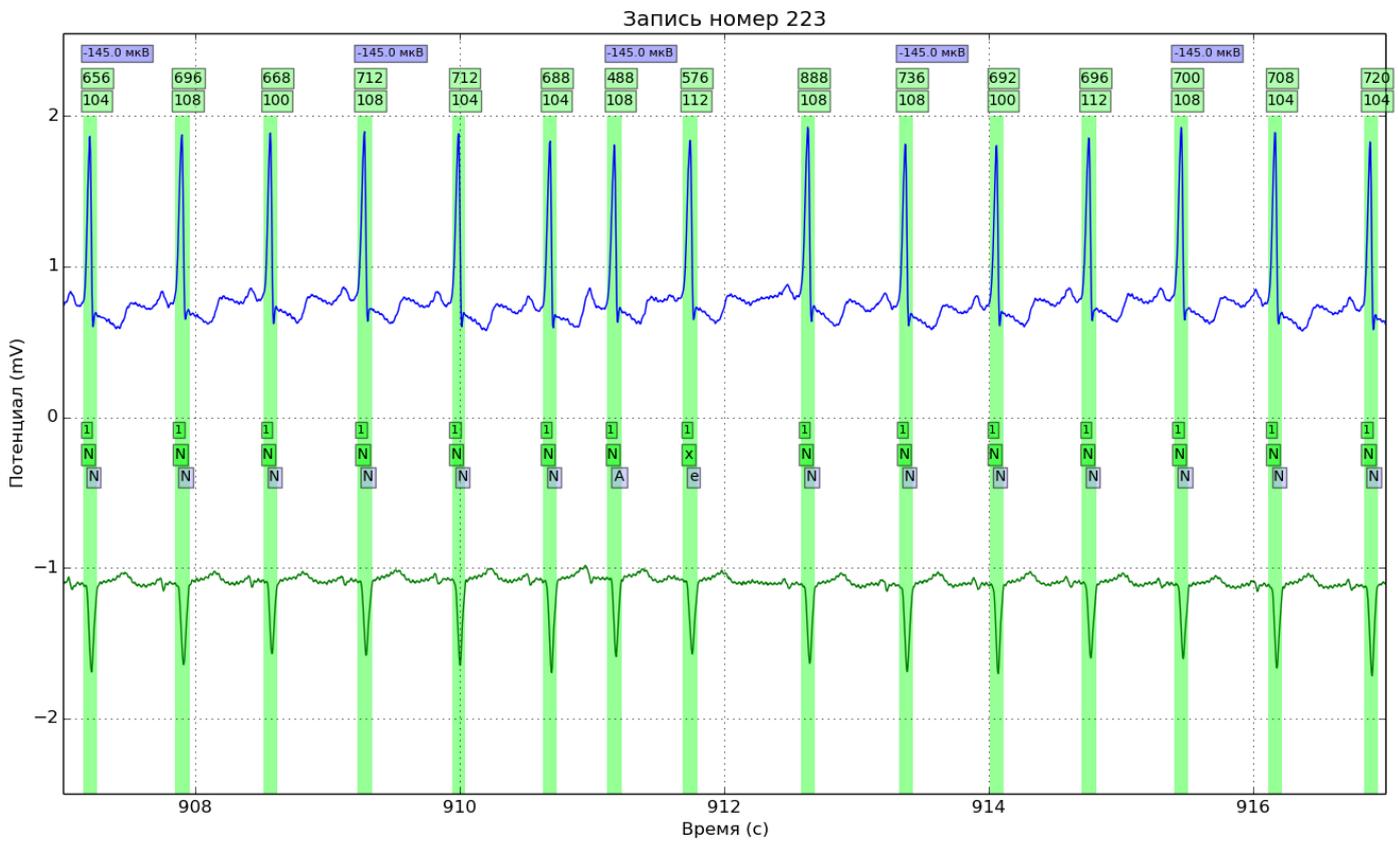
Распознаются достаточно устойчиво





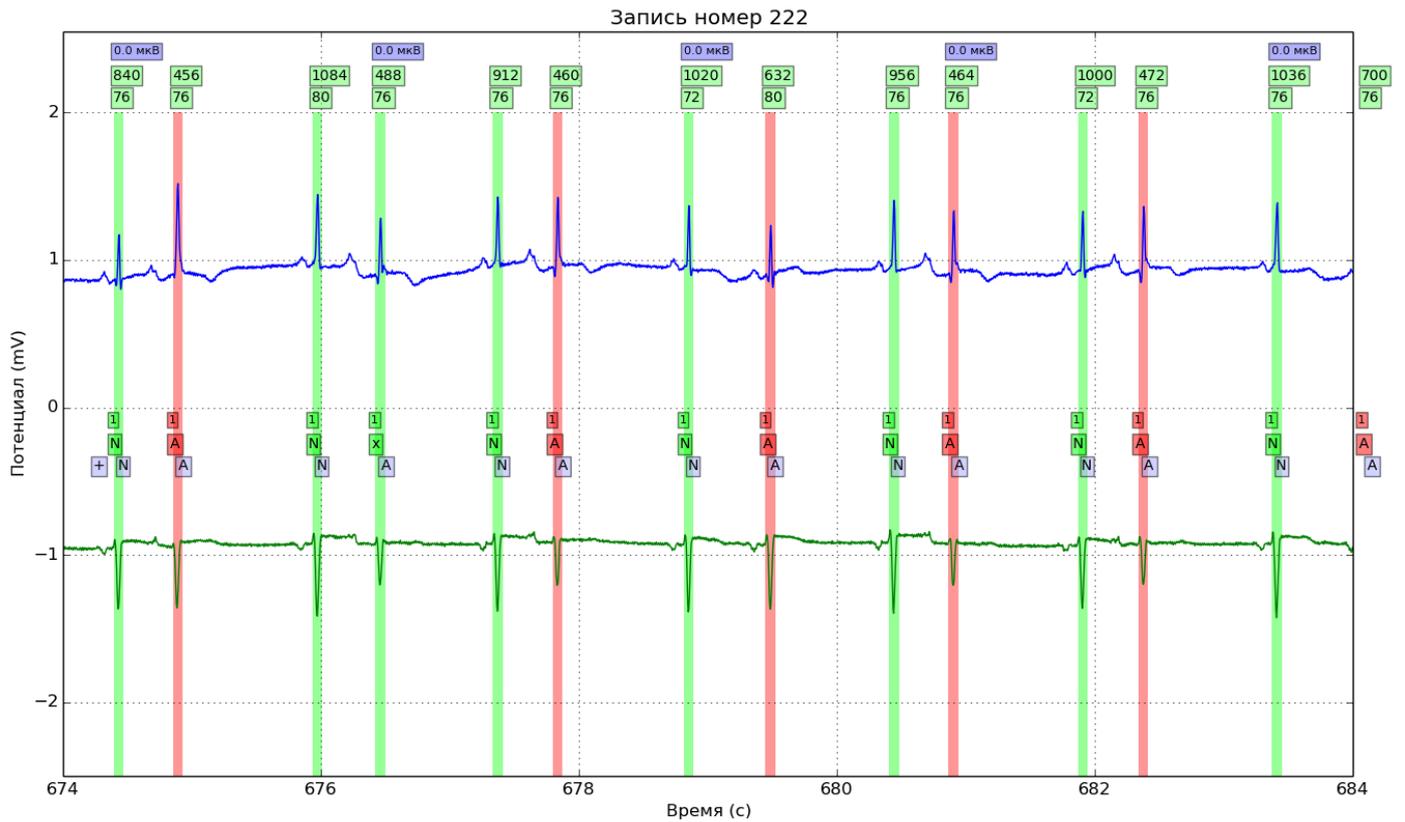
Предсердная групповая экстрасистола (AG) +

Пример парной СВЭ



Предсердная бигимения (AB), предсердная аллоритмия +

Atrial bigeminy. Каждое второе сокращение экстрасистолическое. не анализирует АВ.



Синусовая брадикардия (SBR) +

Единственная запись с SBR содержит, скорее, приступы асистолии

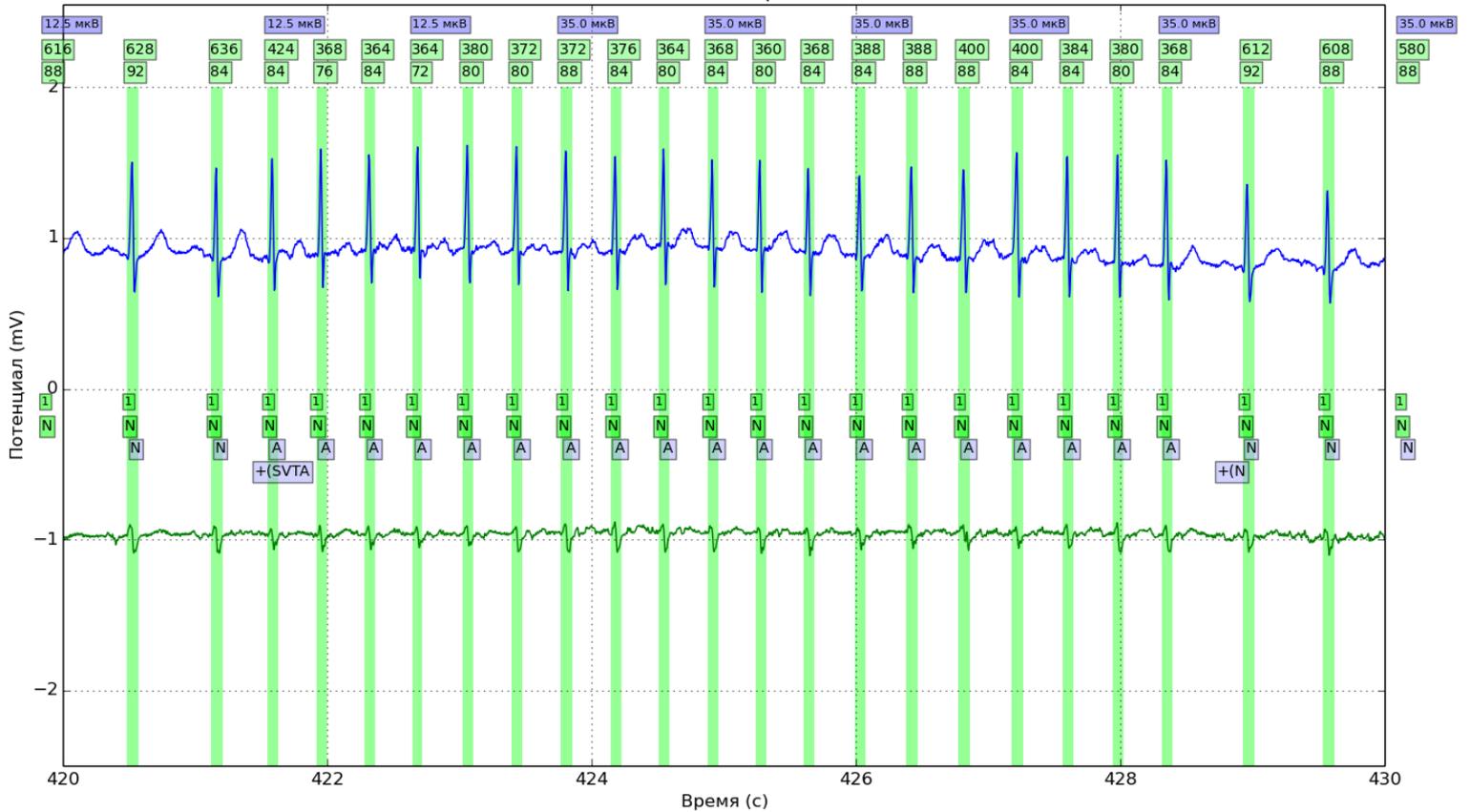
Желудочковая тахикардия +

Ventricular tachycardia

Выпадения QRS-комплекса (x), асистолия +

Выпадением считается пауза между двумя последовательными «нормальными» комплексами длительностью примерно от 1,5 до 2,5 от текущего среднего значения RR-интервалов.

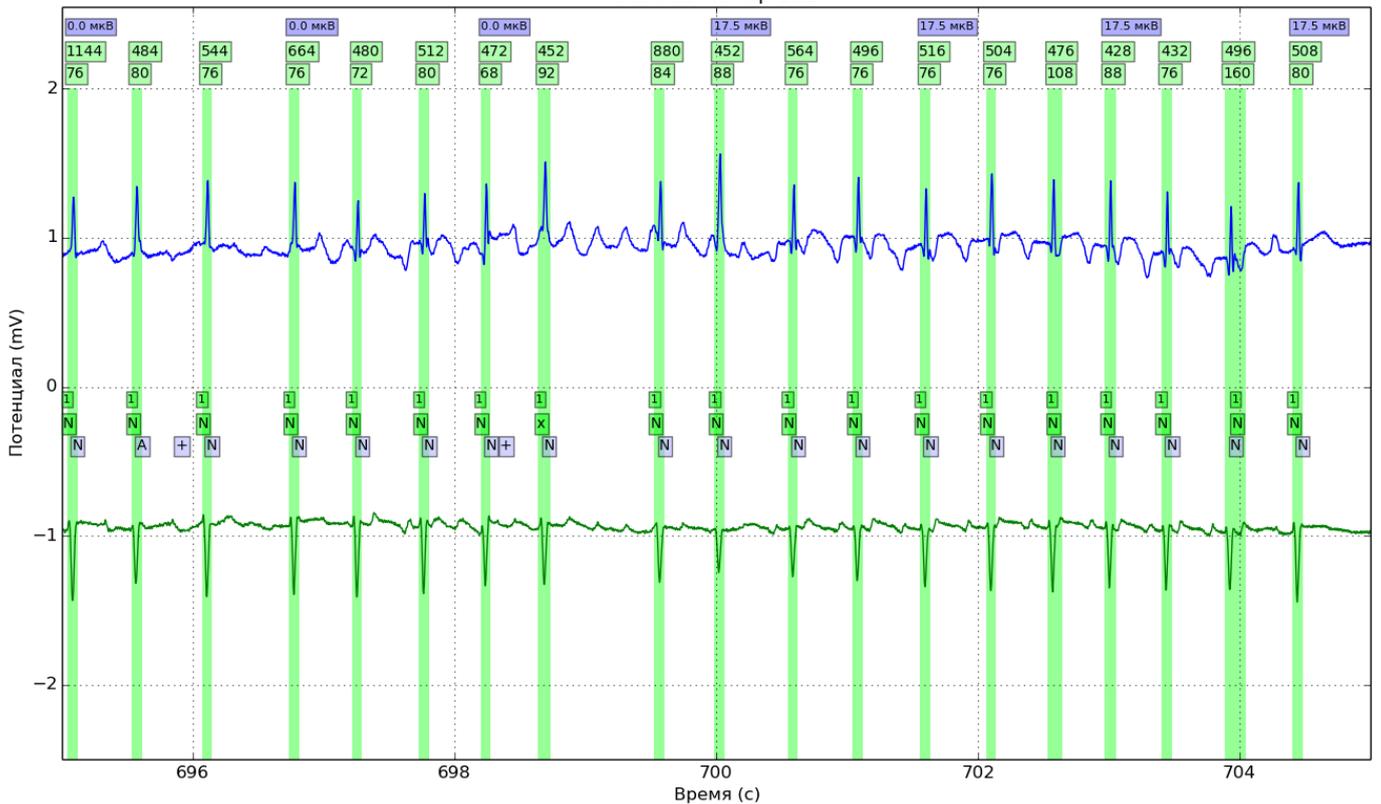
Запись номер 209



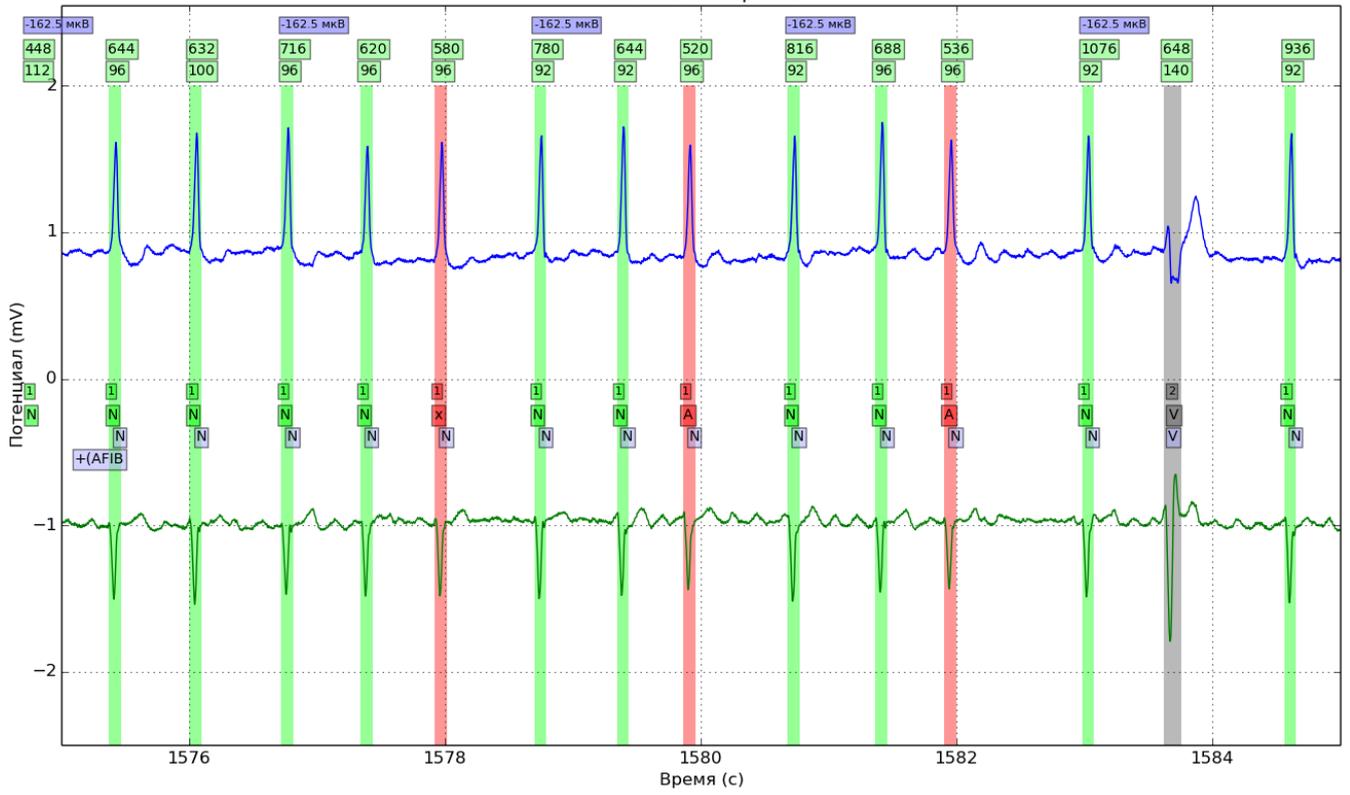
Трепетание предсердий (AFL), Фибрилляция (мерцание) предсердий (AFIB) +

Atrial flutter, Atrial fibrillation. Наблюдается сильная дисперсия R-R интервалов, детектируются выпадения комплексов и СВЭ. ЧСС повышенный (140 уд/мин). При AFIB наблюдаются F-волны, при AFL высокочастотные низкоамплитудные волны.

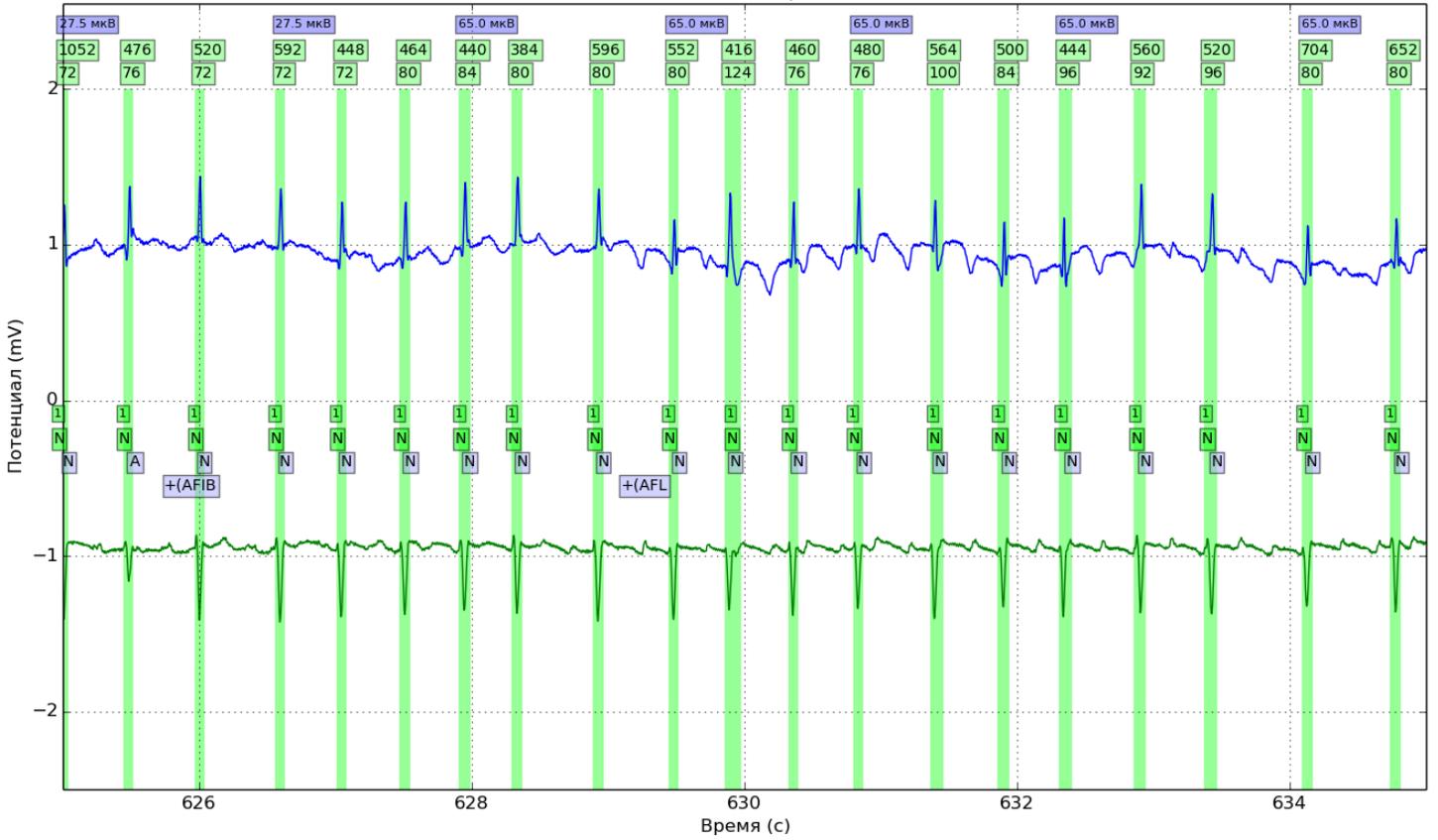
Запись номер 222



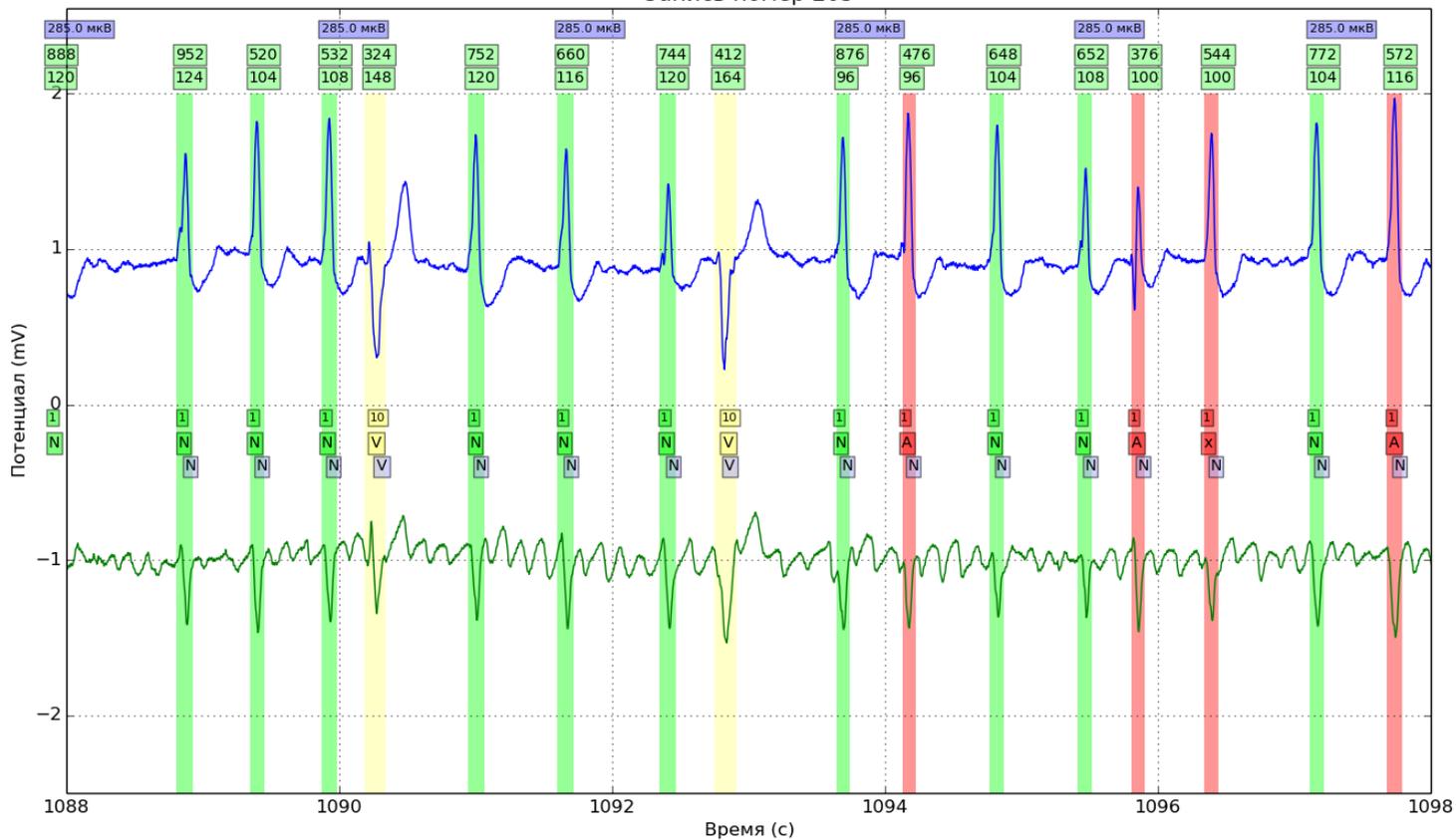
Запись номер 202



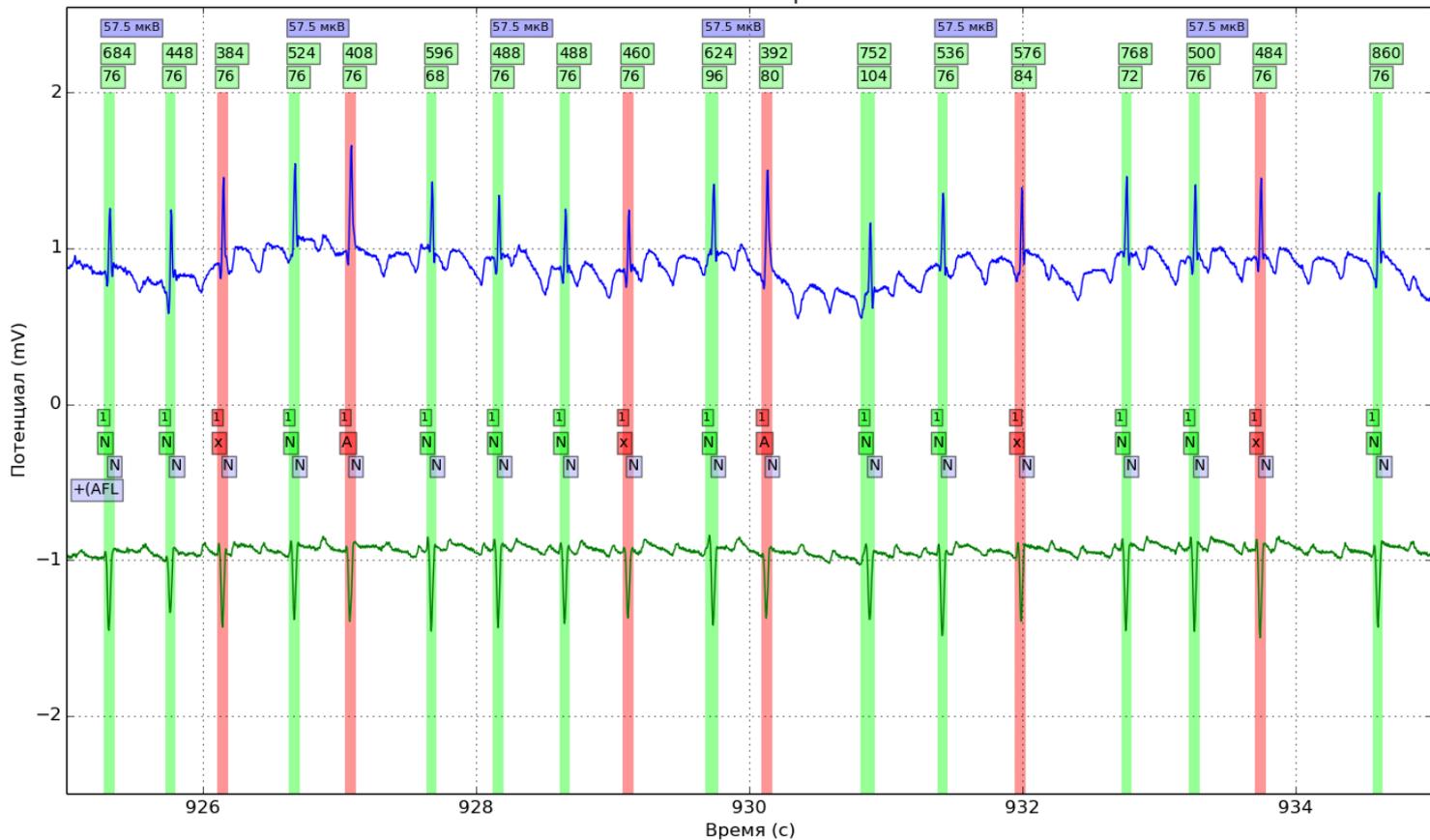
Запись номер 222



Запись номер 203

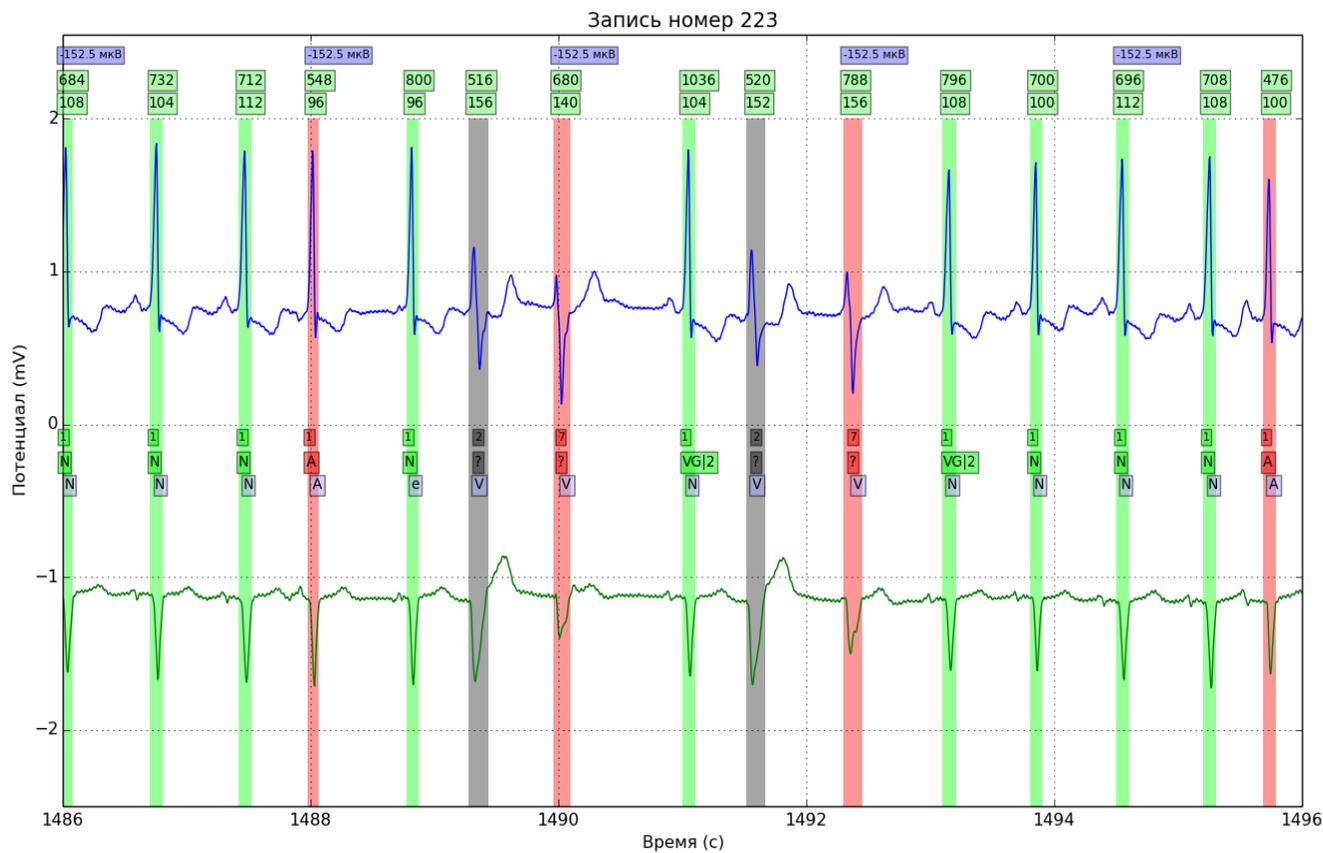


Запись номер 222



Atrial escape beat +

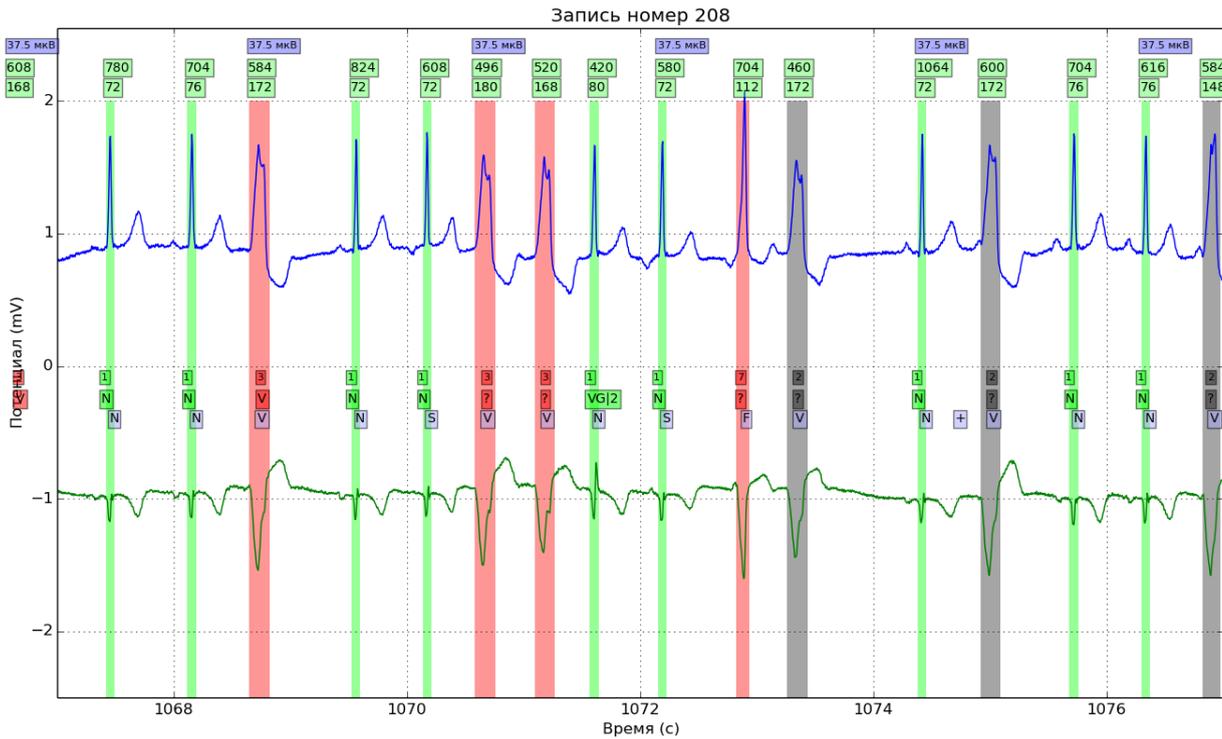
Записей мало (только 223). Распознавать как СВЭ.



Перечень нарушений, требующих анализа Р-сегмента

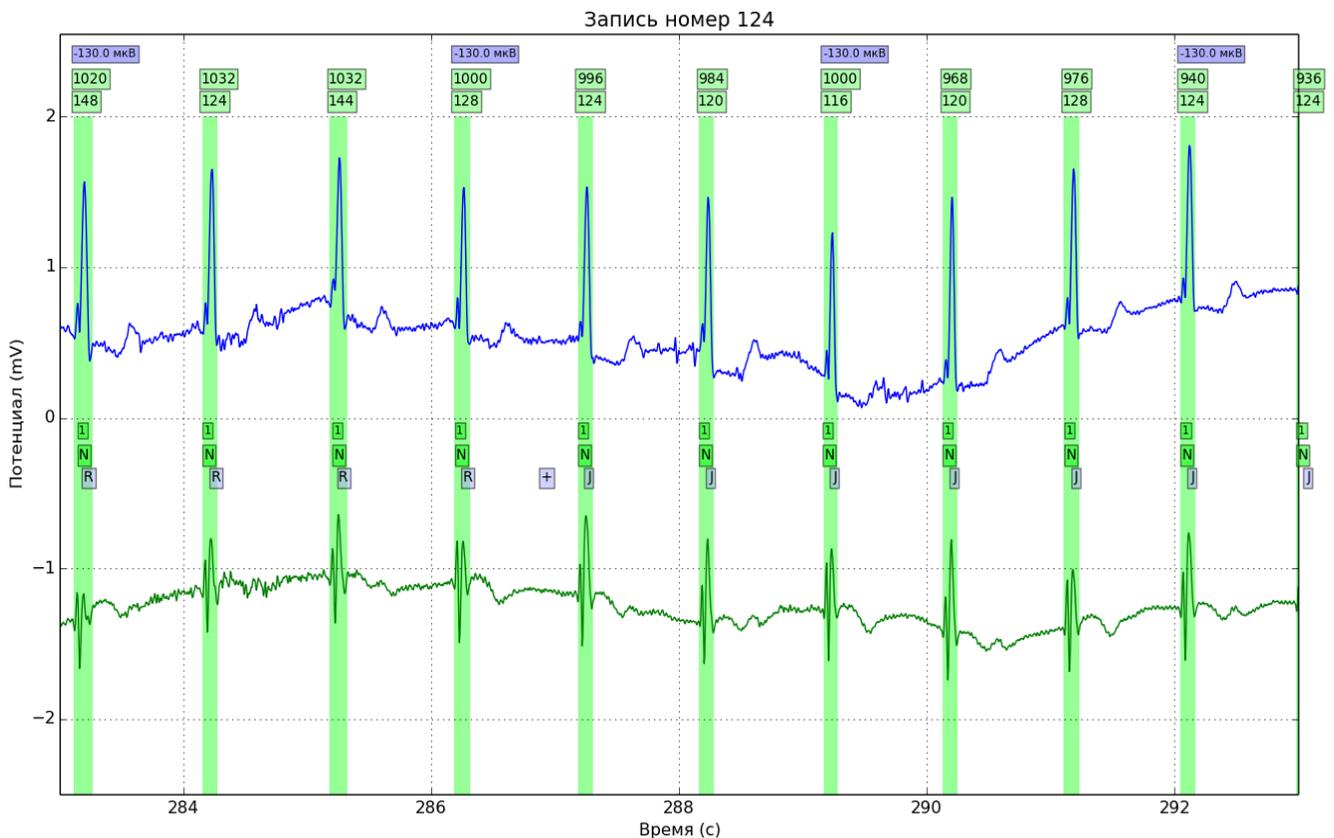
Supraventricular premature beat !

208—17:50, во всей базе их две штуки, отрицательный Р-зубец. Может быть детектирована как СВЭ.



Суправентрикулярная тахикардия (SVTA) с nodal (junctional) premature beat (J) !

Иногда nodal (junctional) premature beat распознается как норма. Без анализа Р-зубца невозможно диагностировать.

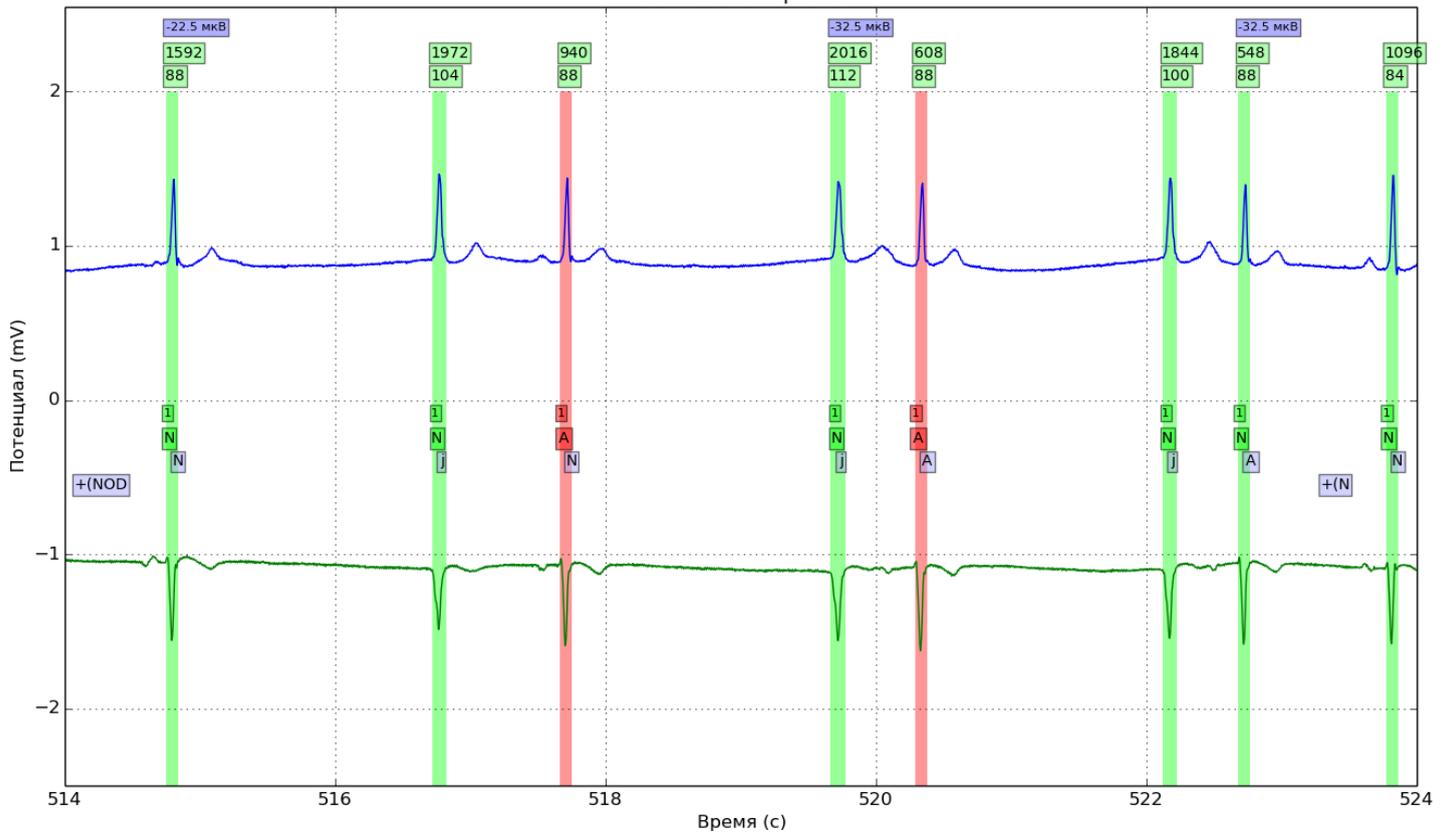


Узловой атриовентрикулярных ритм (NOD) !

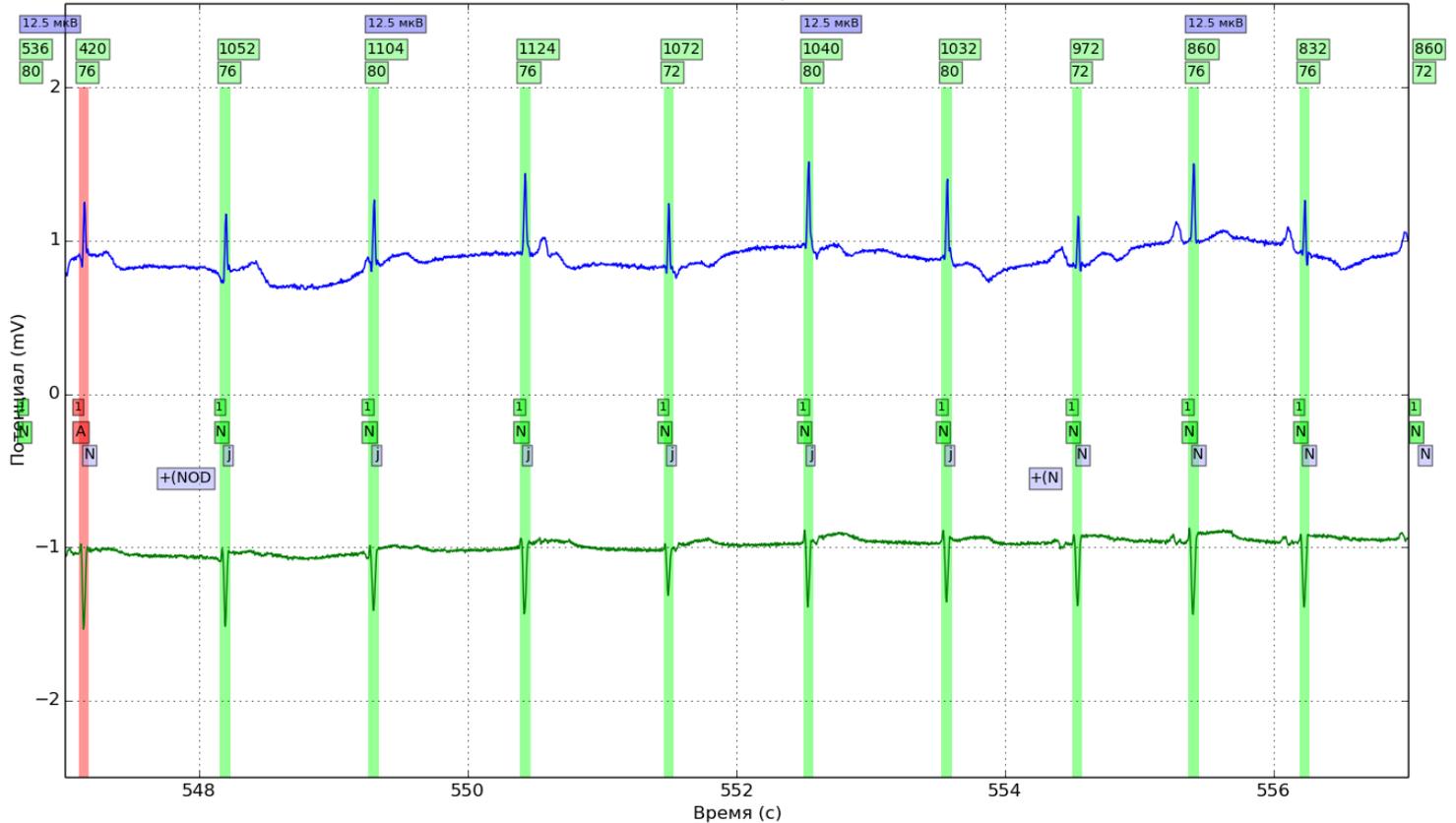
Nodal (A-V junctional) rhythm. Без детектирования Р-сегмента сложно получить надежное

определение. Иногда наблюдаются приступы асистолии, но ЧСС может сохраняться нормальной

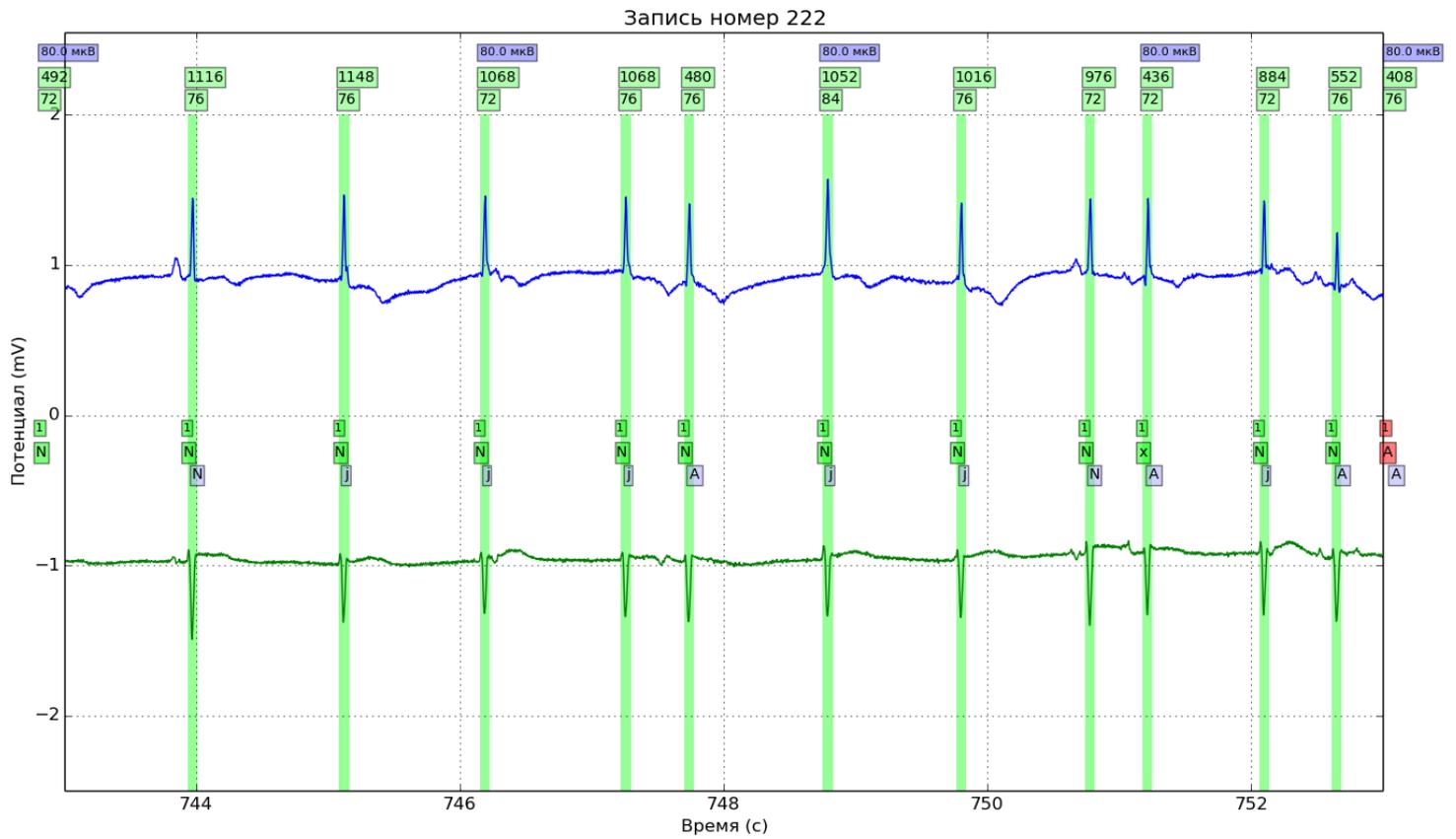
Запись номер 201



Запись номер 222



При узловом ритме возникают удары типа **nodal (junctional) escape beat (J)**
Похожа на СВЭ.

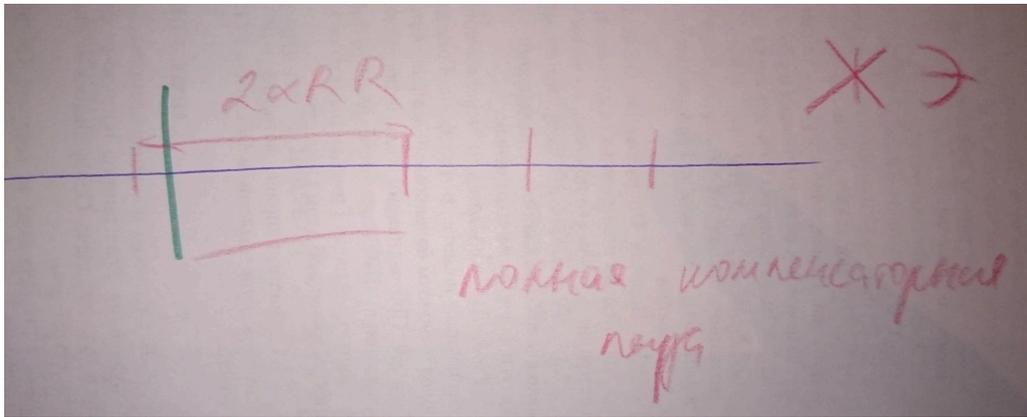


Перечень нарушений ритма, изменяющих морфологию QRS-комплекса

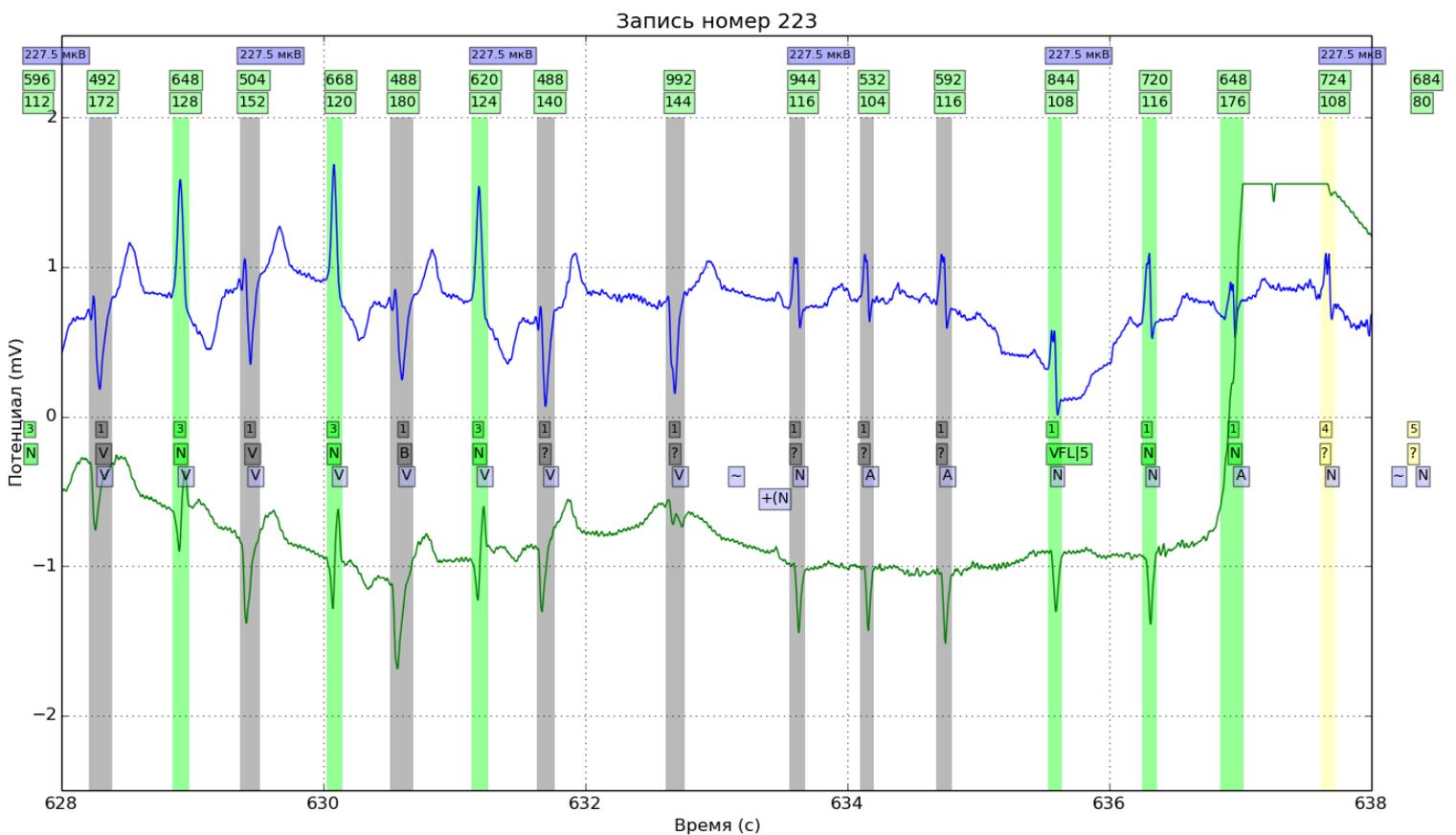
Желудочковая экстрасистолия (V) +

В MIT DB термином Ventricular tachycardia обозначены любые сложные желудочковые нарушения (ЖЭ).

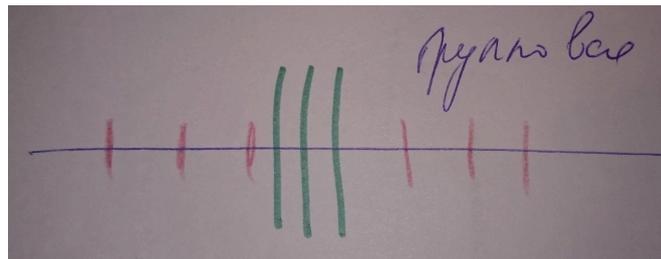
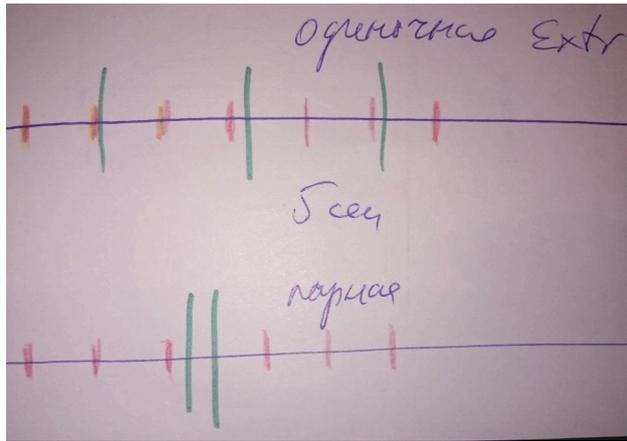
На фоне последовательности «нормальных» комплексов появляется «патологический». По соотношениям RR-интервалов предусмотрены следующие варианты экстрасистол:



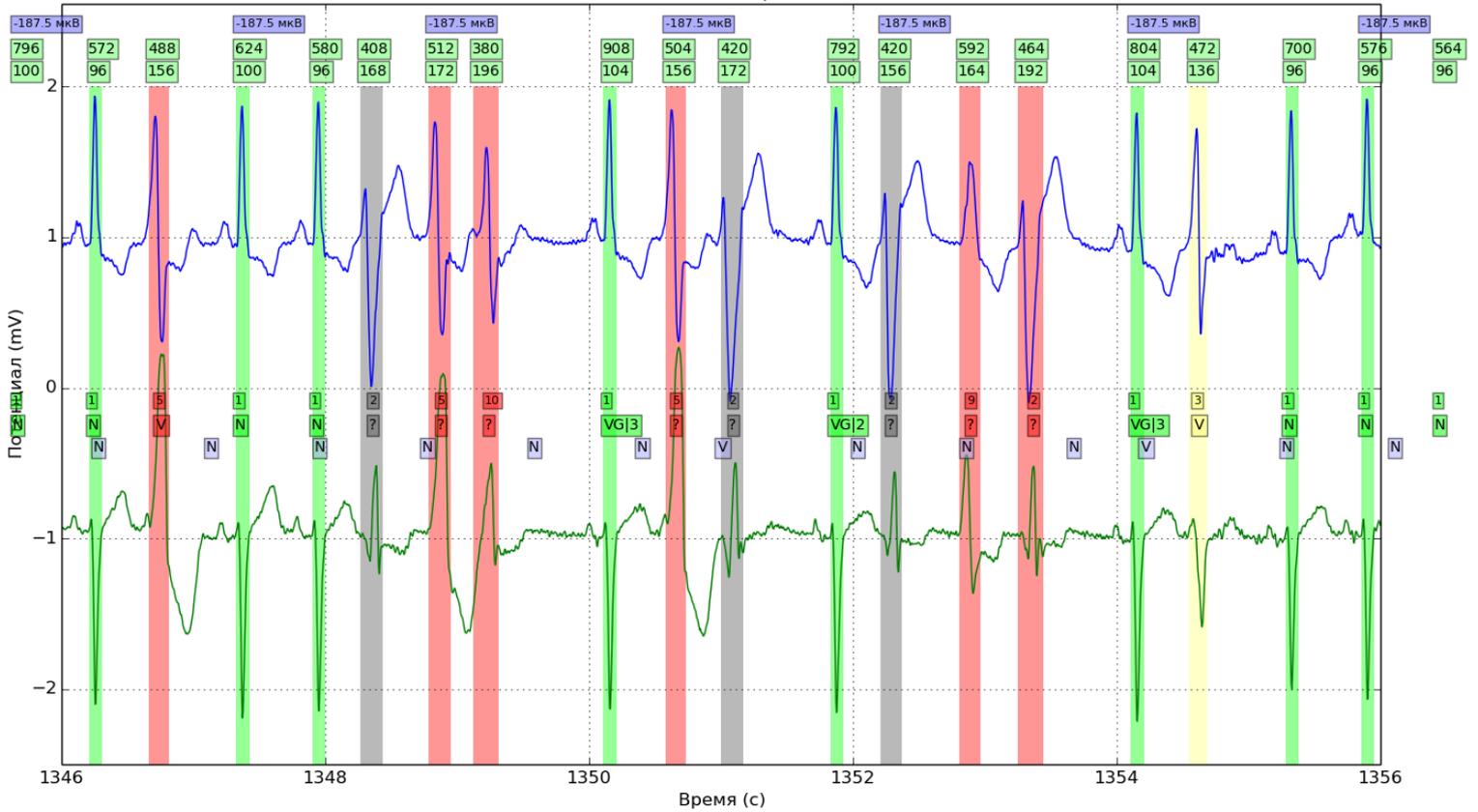
- «обычные» с компенсаторной паузой
- ранние с компенсаторной паузой
- интерполированные (без компенсаторной паузы)



Групповая желудочковая экстрасистола (VG) +



Запись номер 233



Полиморфная желудочковая экстрасистолия (VP) +

Все комплексы проходят процедуру формальной кластеризации по критерию сходства их форм. Далее каждому из сформированных кластеров присваивается идентификатор «норма», «патология» либо «неопределённость». Желудочковыми экстрасистолами могут быть признаны только комплексы из двух последних групп. Если за последнюю минуту анализа были найдены ЖЭ, относящиеся к различным кластерам, то формируется признак полиморфности.

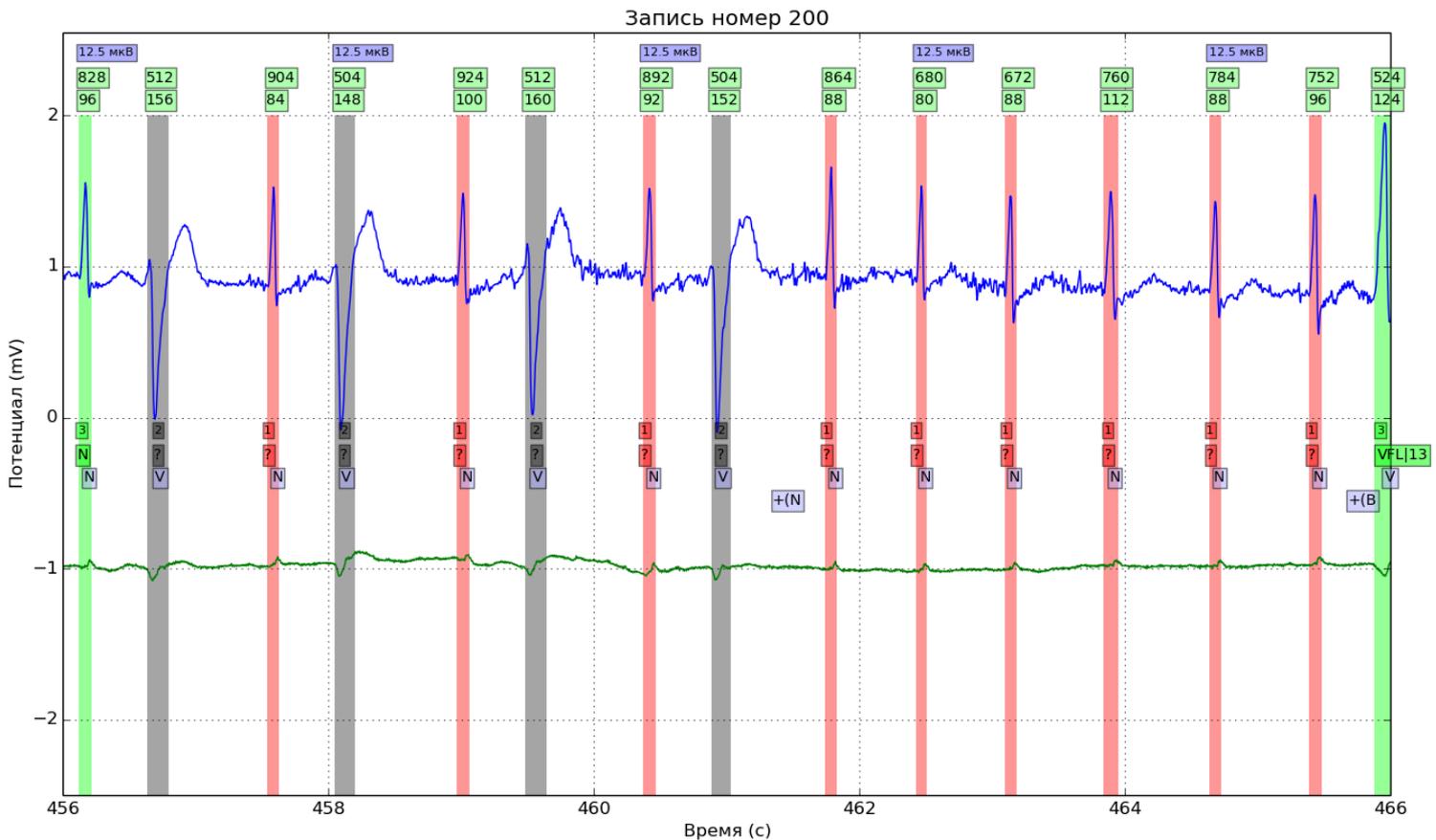
В рамках сессии измерения, если форма предыдущей отличается от формы текущей — полиморфная ЖЭ

Бигимения

Ventricular bigeminy

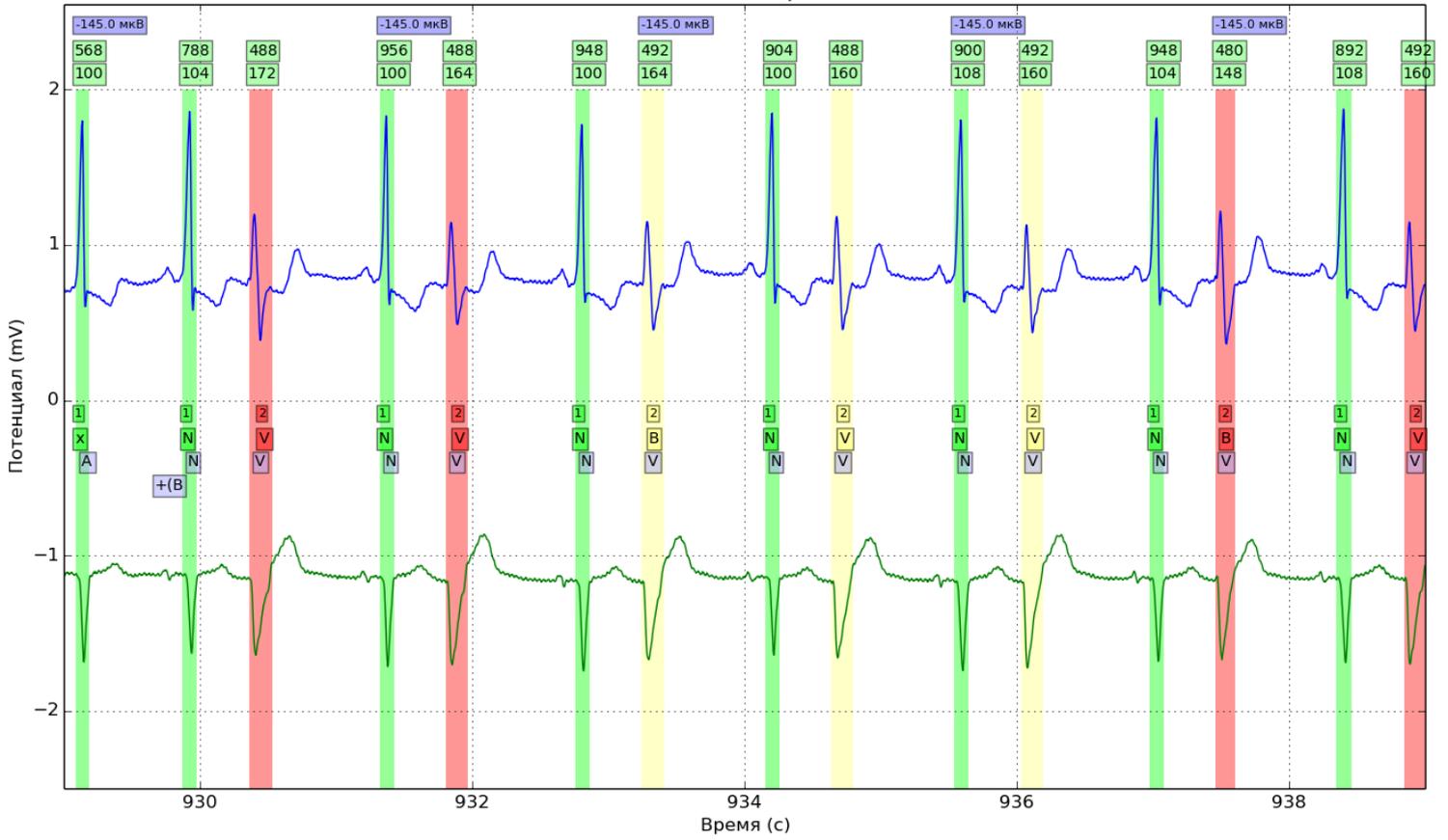


Библиотека часто дает сбой, принимая за норму ЖЭ



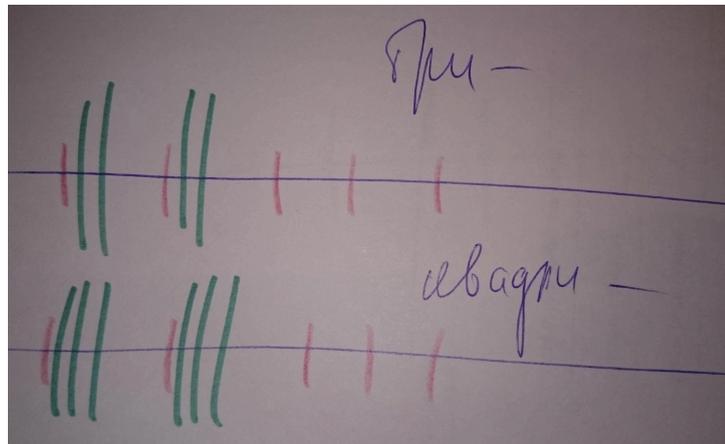
Пример правильного определения

Запись номер 223

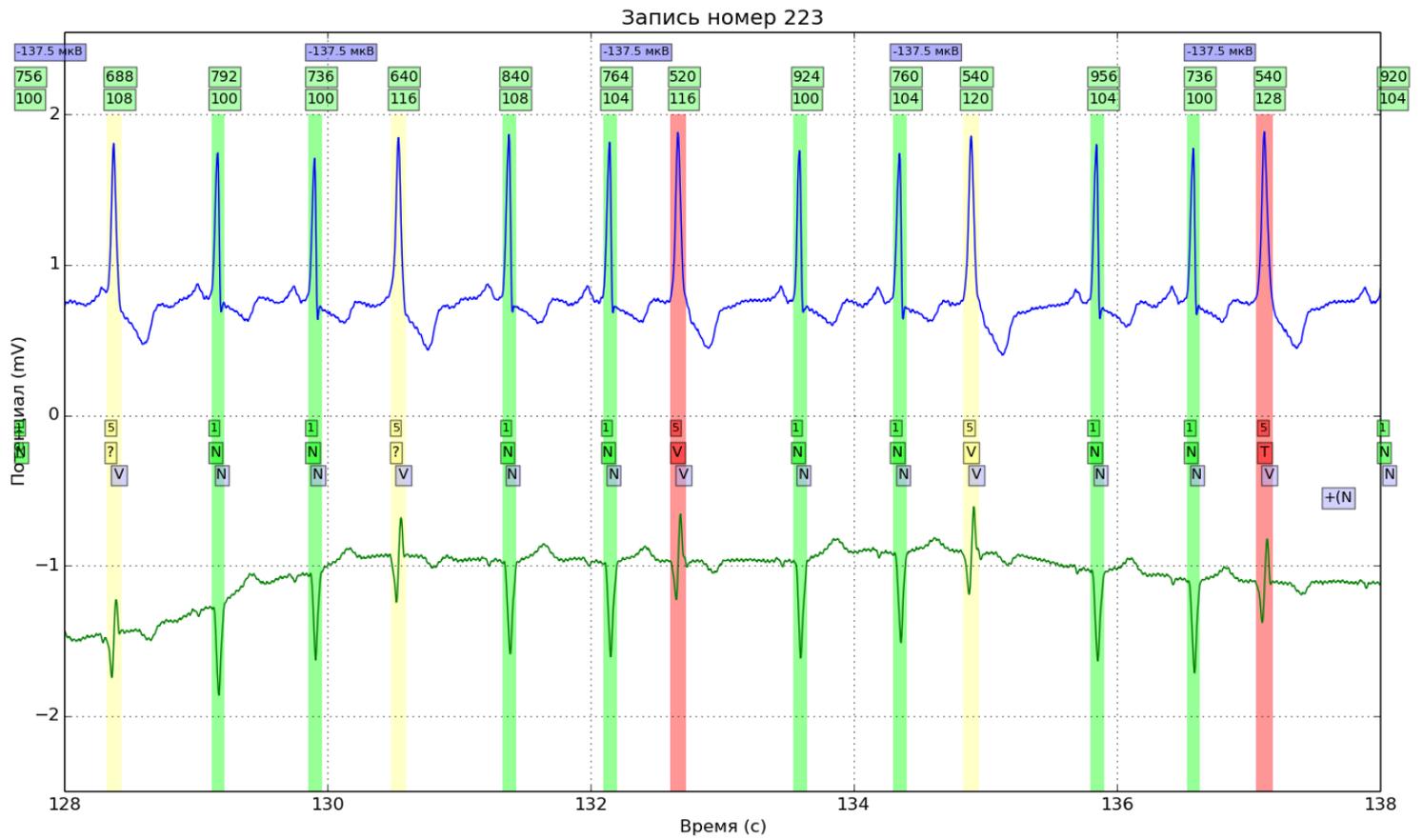


Тригемения (Т) +

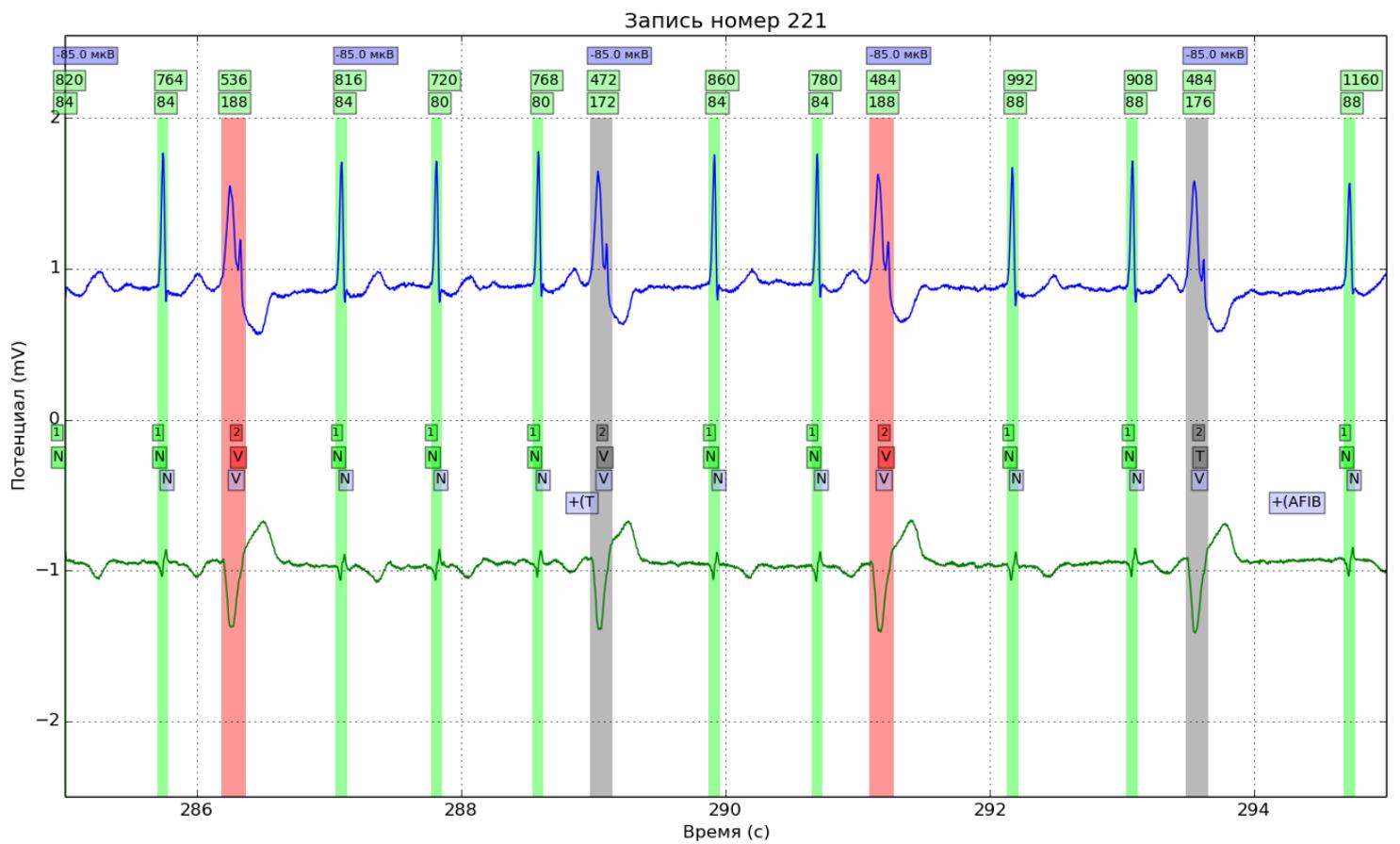
Ventricular trigeminy



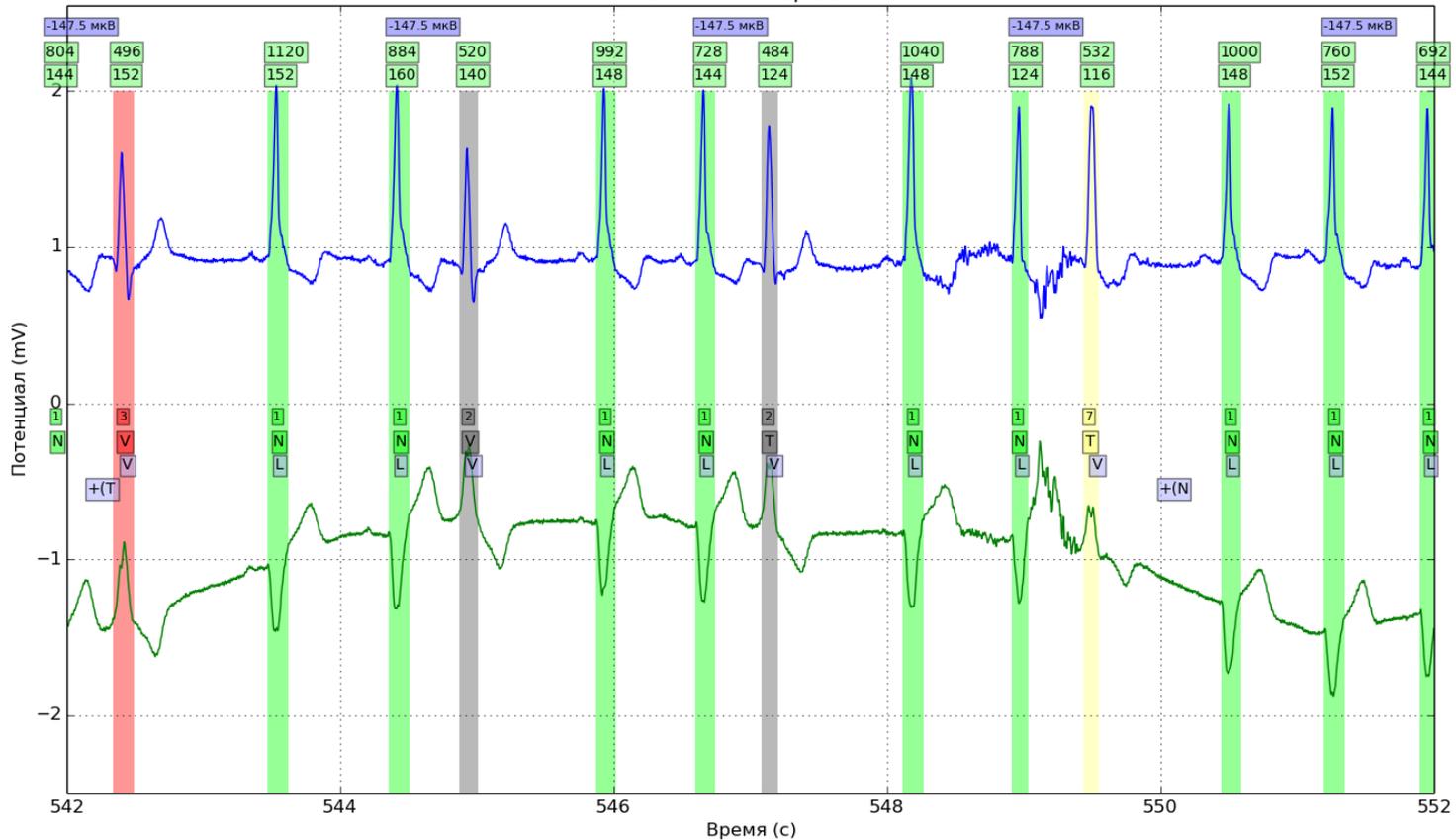
Иногда определяются не сразу



Примеры нормального определения:



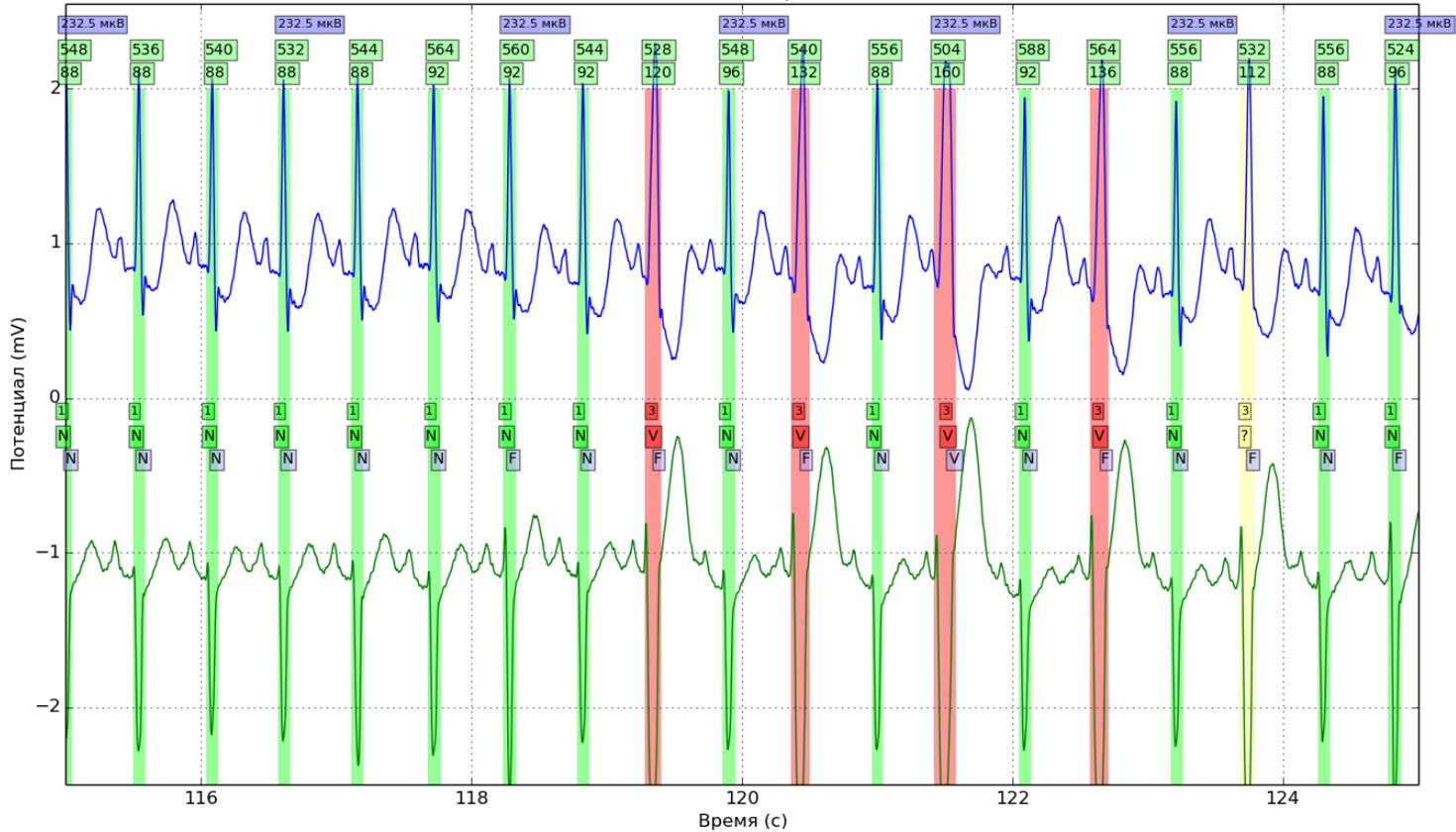
Запись номер 214



Fusion of ventricular and normal beat +

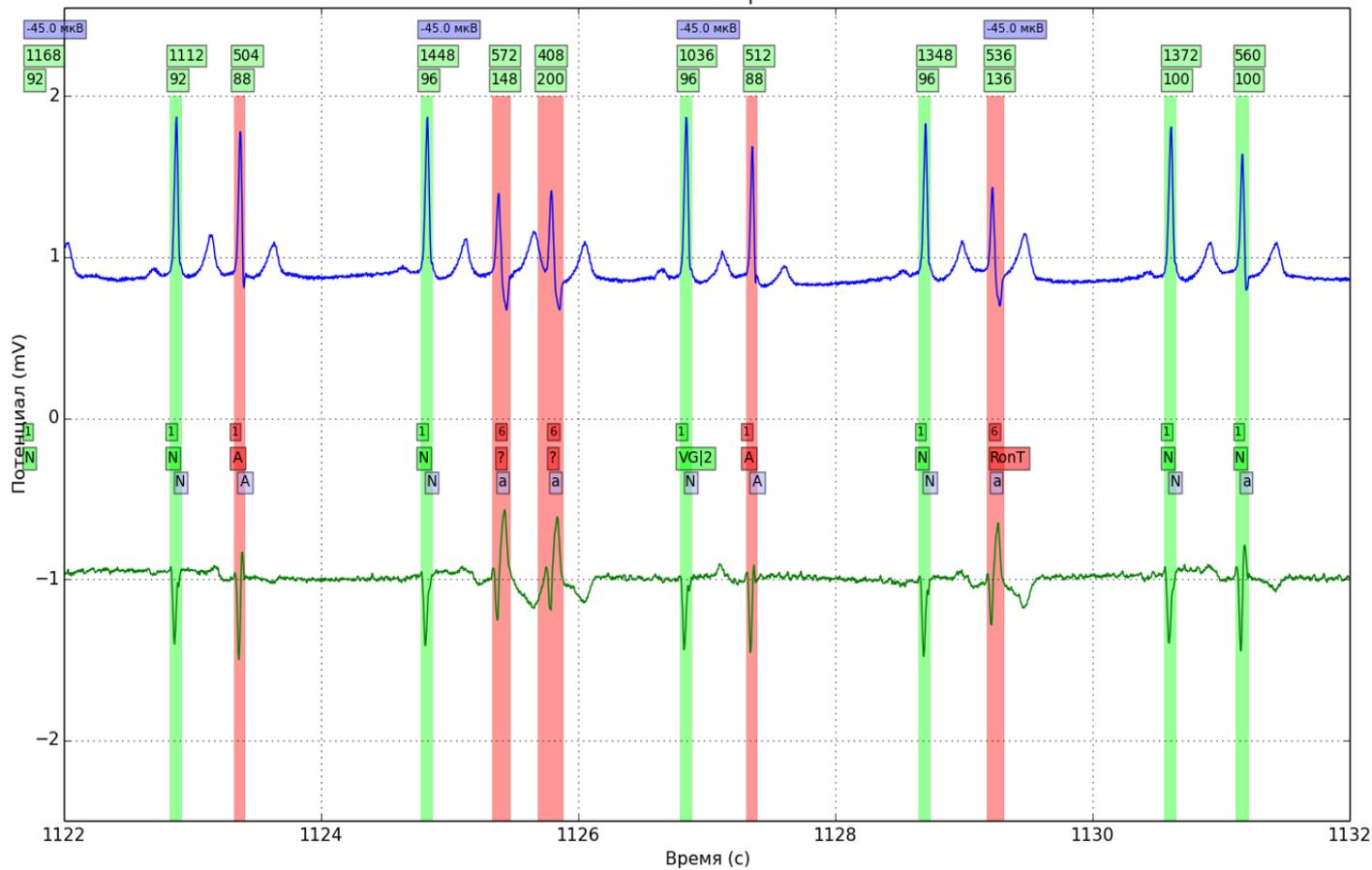
На 213—1:58 распознаны частично как ЖЭ, частично как нормальные

Запись номер 213



на 202—18:40 распознаны ЖЭ и R-на-T

Запись номер 202

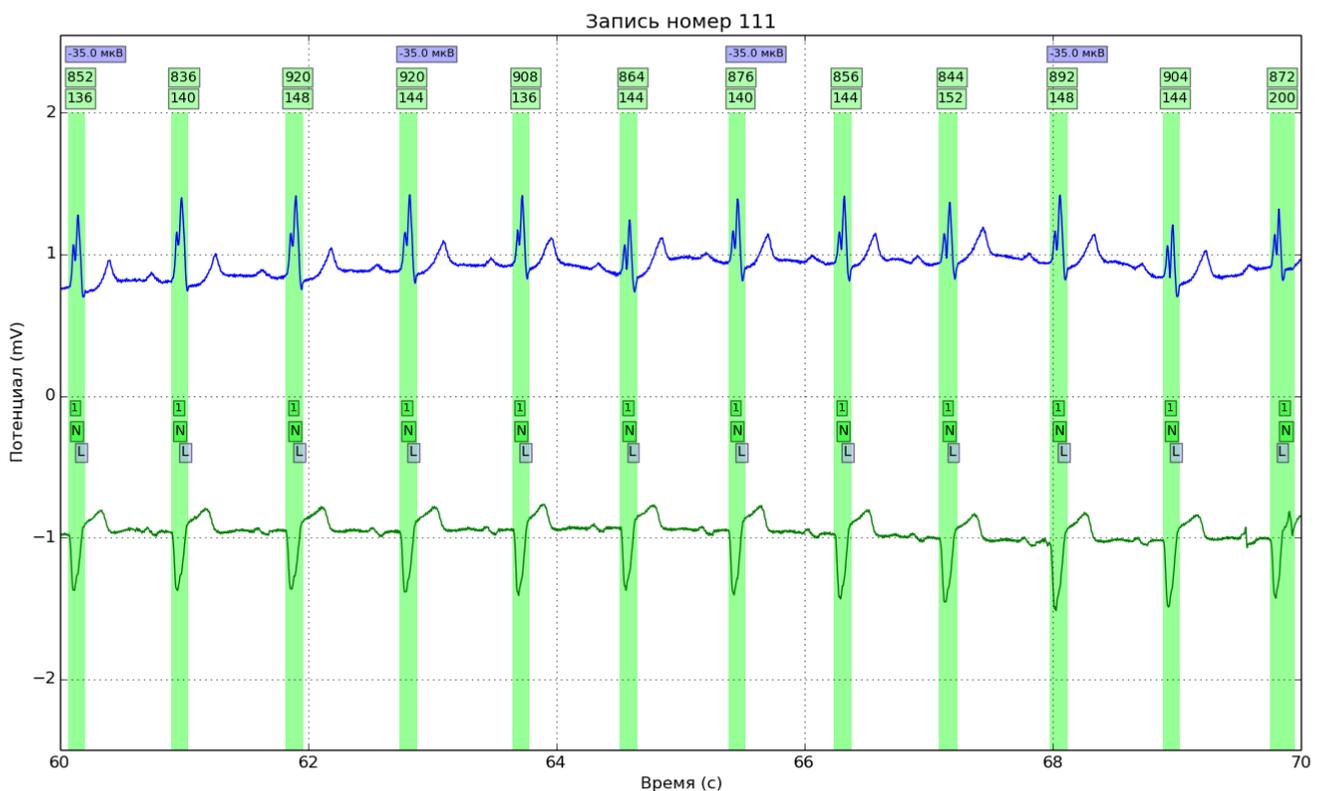
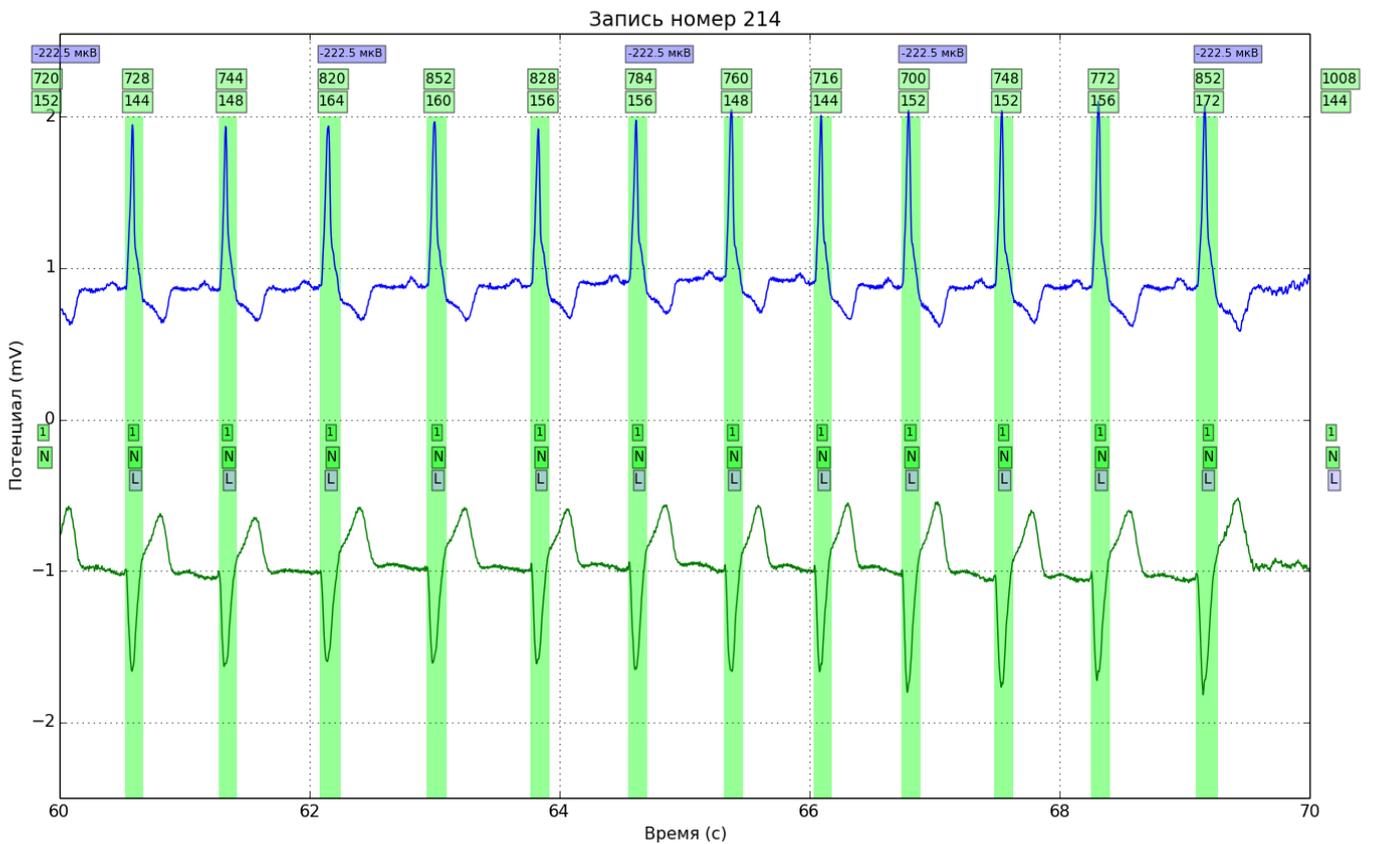


Перечень неритмических нарушений, изменяющих морфологию QRS-комплекса

Удары при блокаде левой ножки Гиса (LBB) +

Left bundle branch block beat

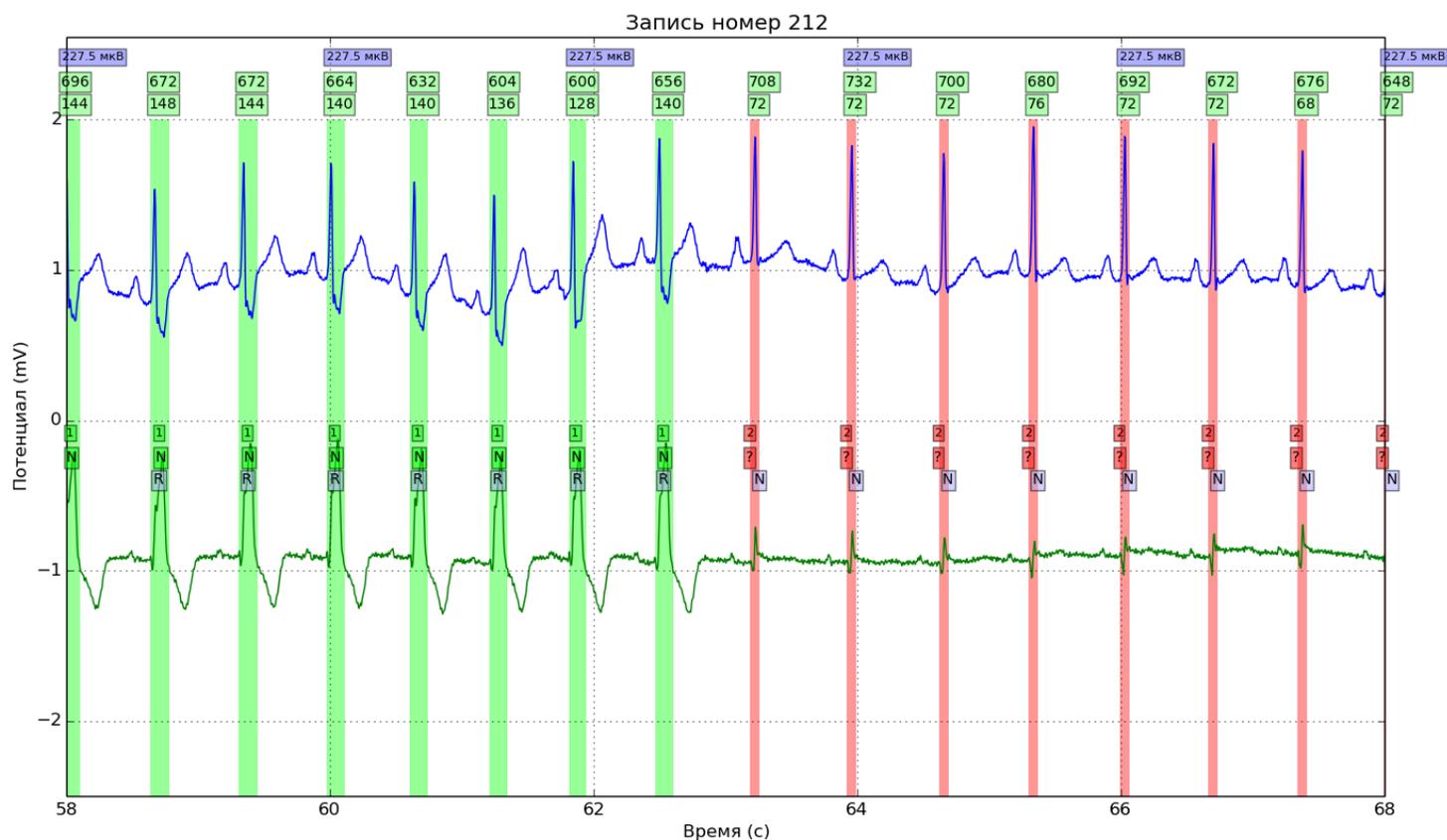
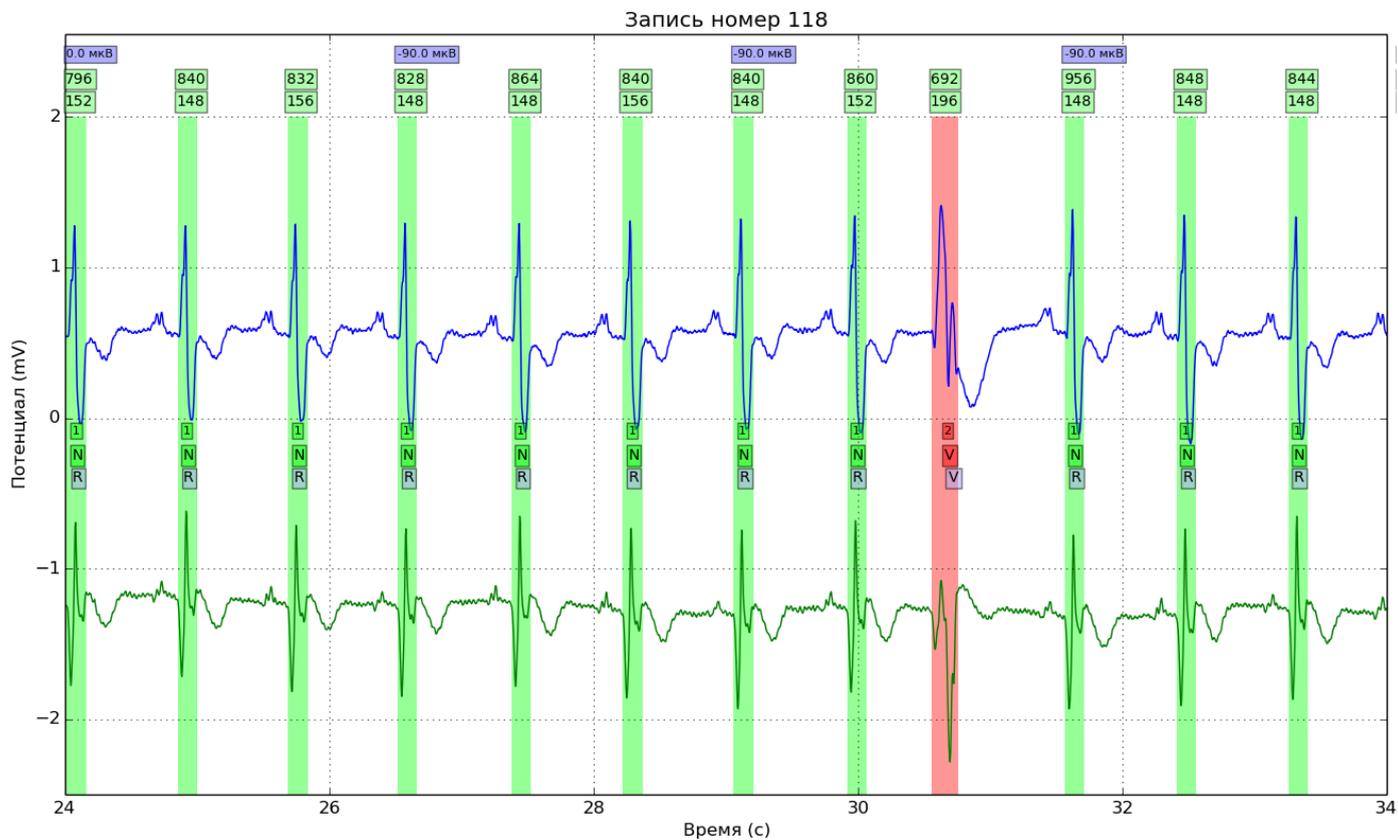
Определяются как норма. Ширина детектируется до 0.15 — 0.2



Удары при блокаде правой ножки Гиса (RBB) +

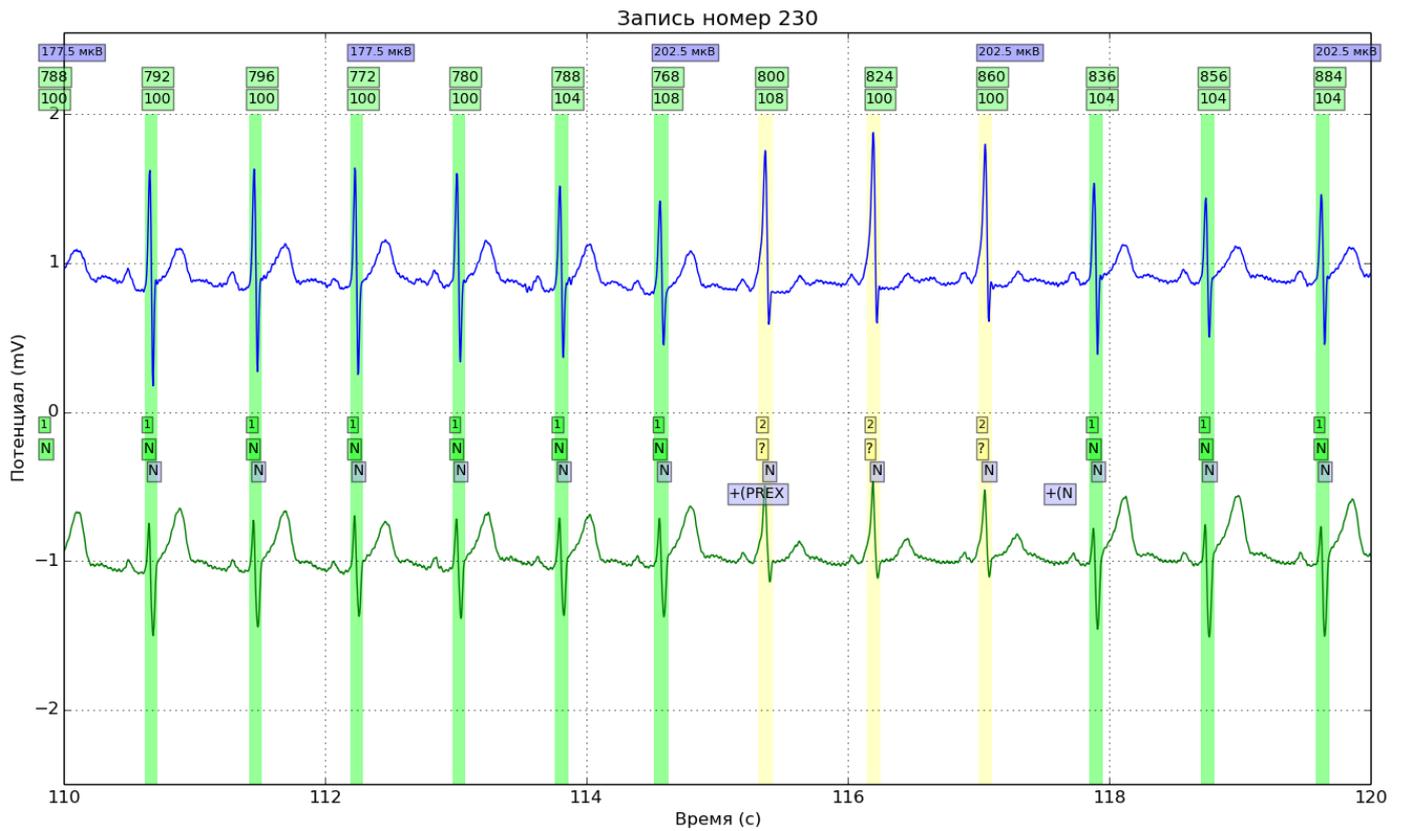
Right bundle branch block beat.

Определяются как норма. Ширина детектируется до 0.15. Наблюдается временное детектирование нарушений при смене ритма.

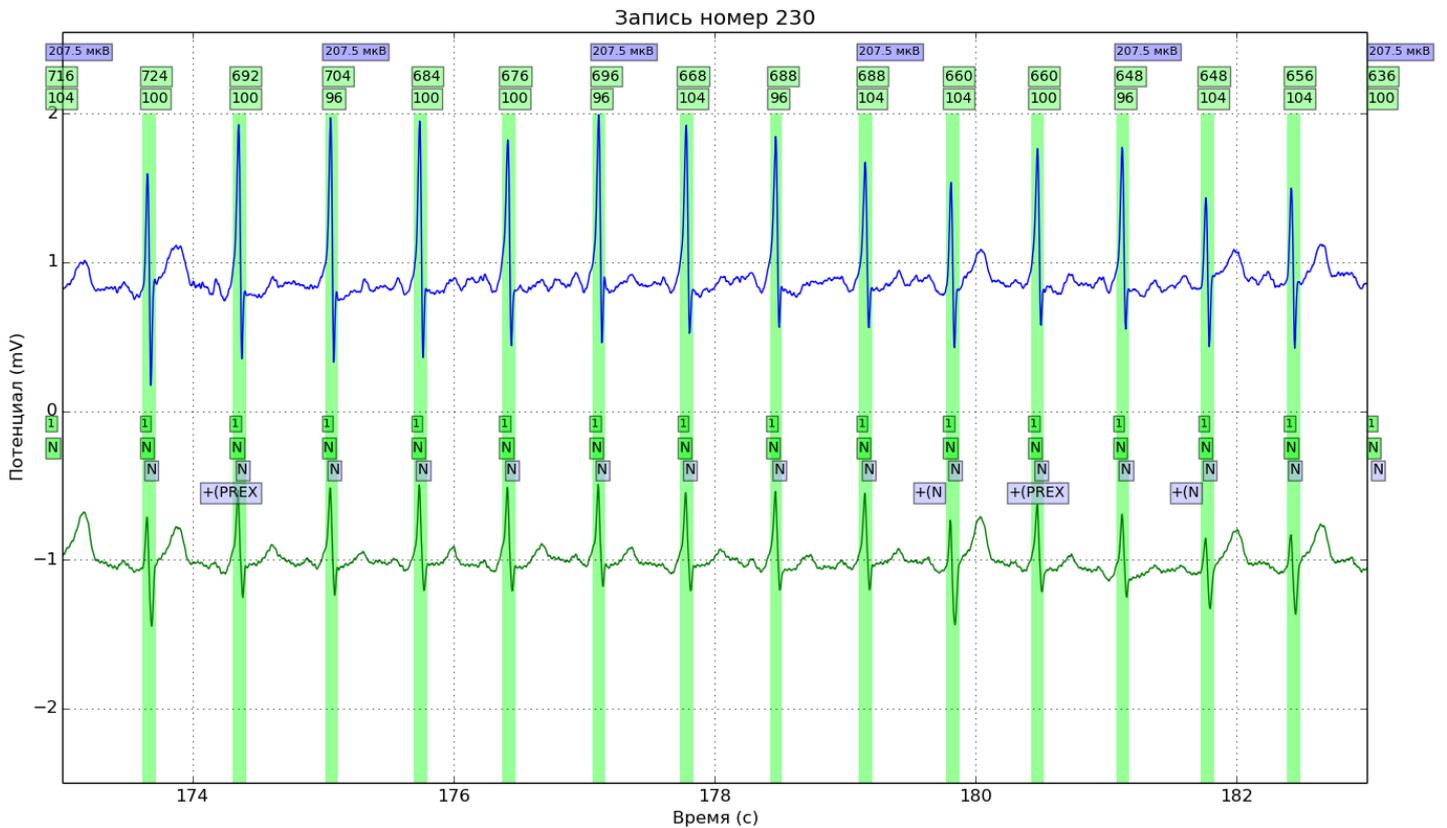


Синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта +

Pre-excitation (WPW). При появлении WPW синдрома (230—1:55) наблюдается несколько неизвестных комплексов.

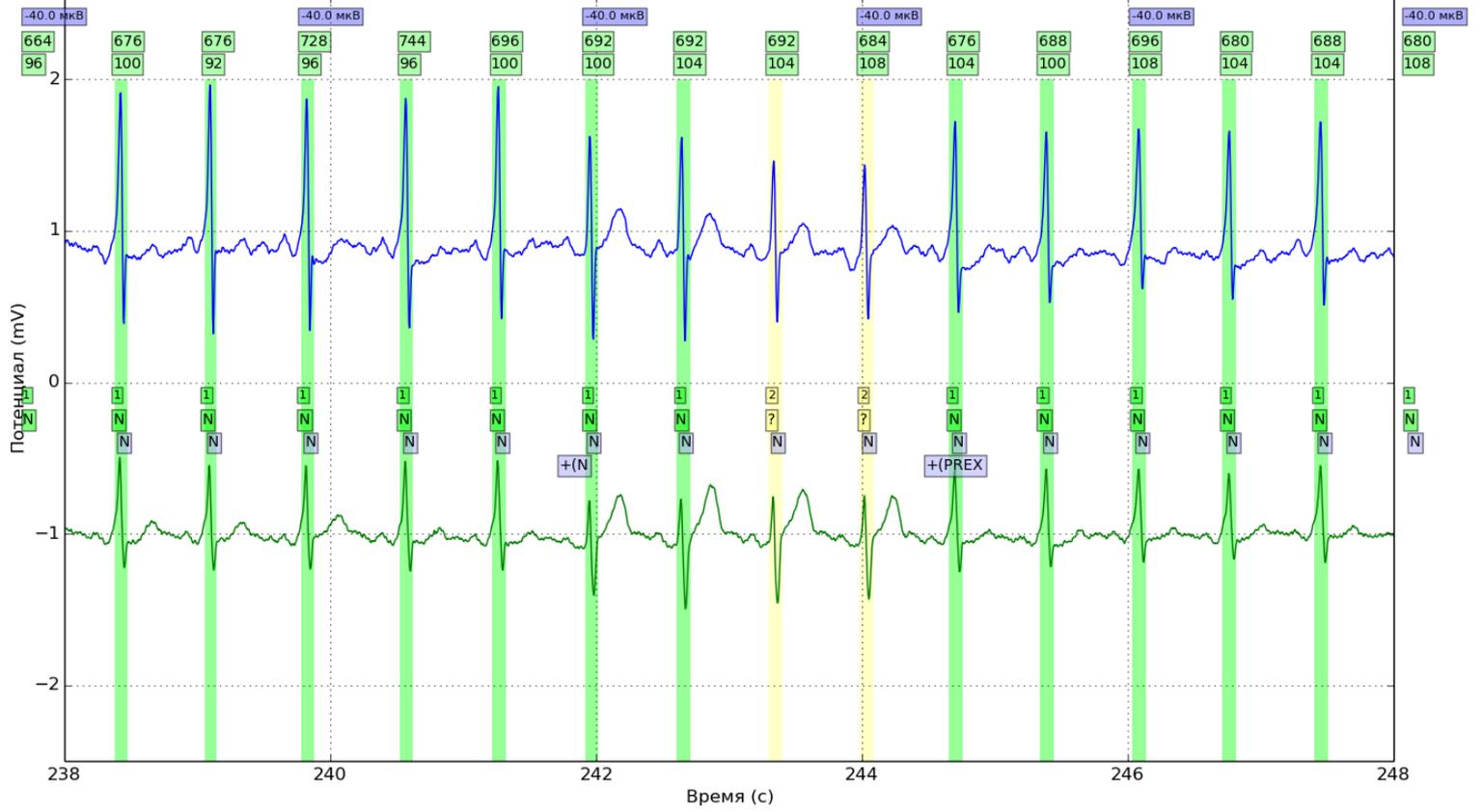


Иногда морфология не детектируется



При возврате к норме также отмечаются неизвестные комплексы

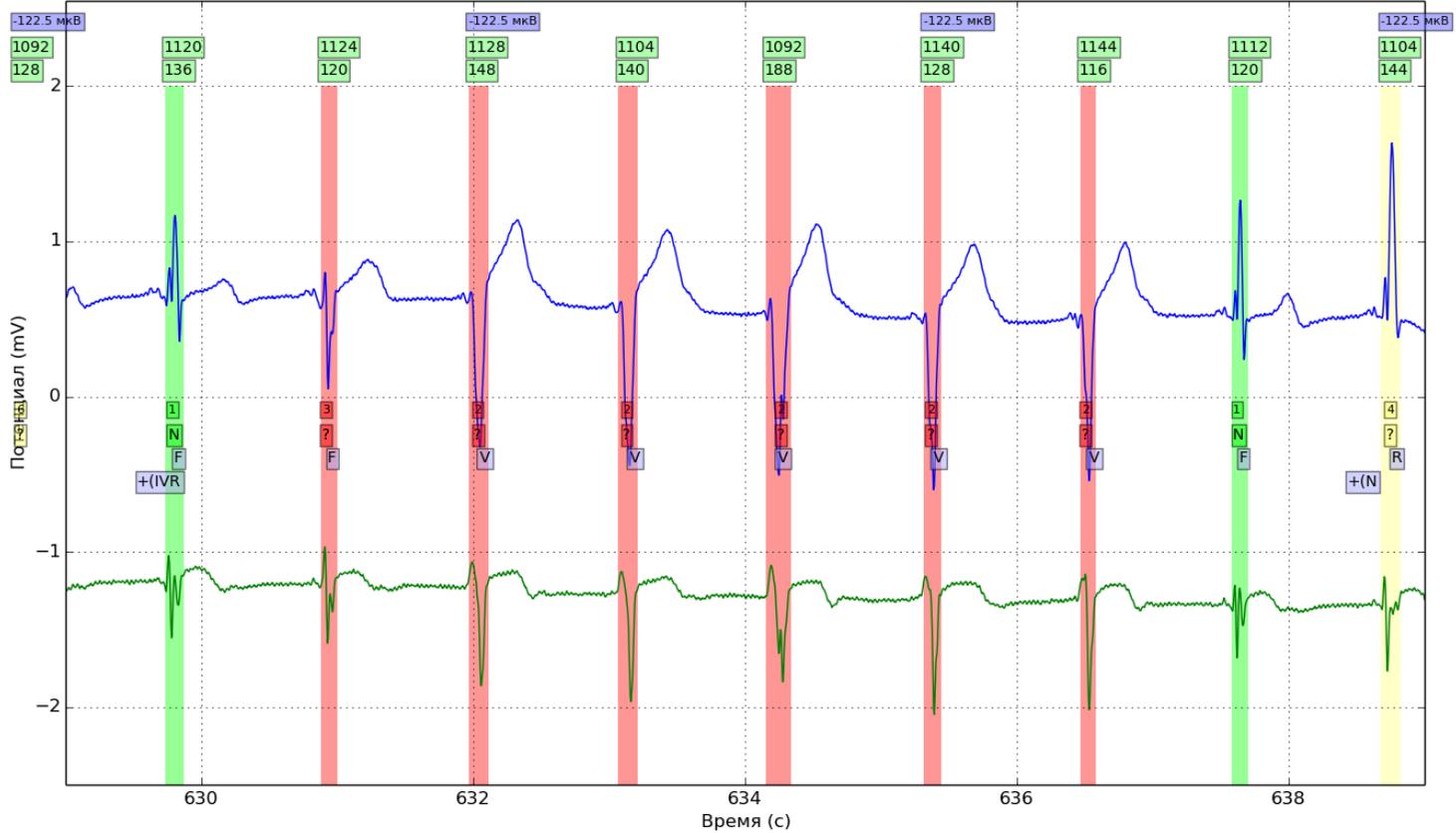
Запись номер 230



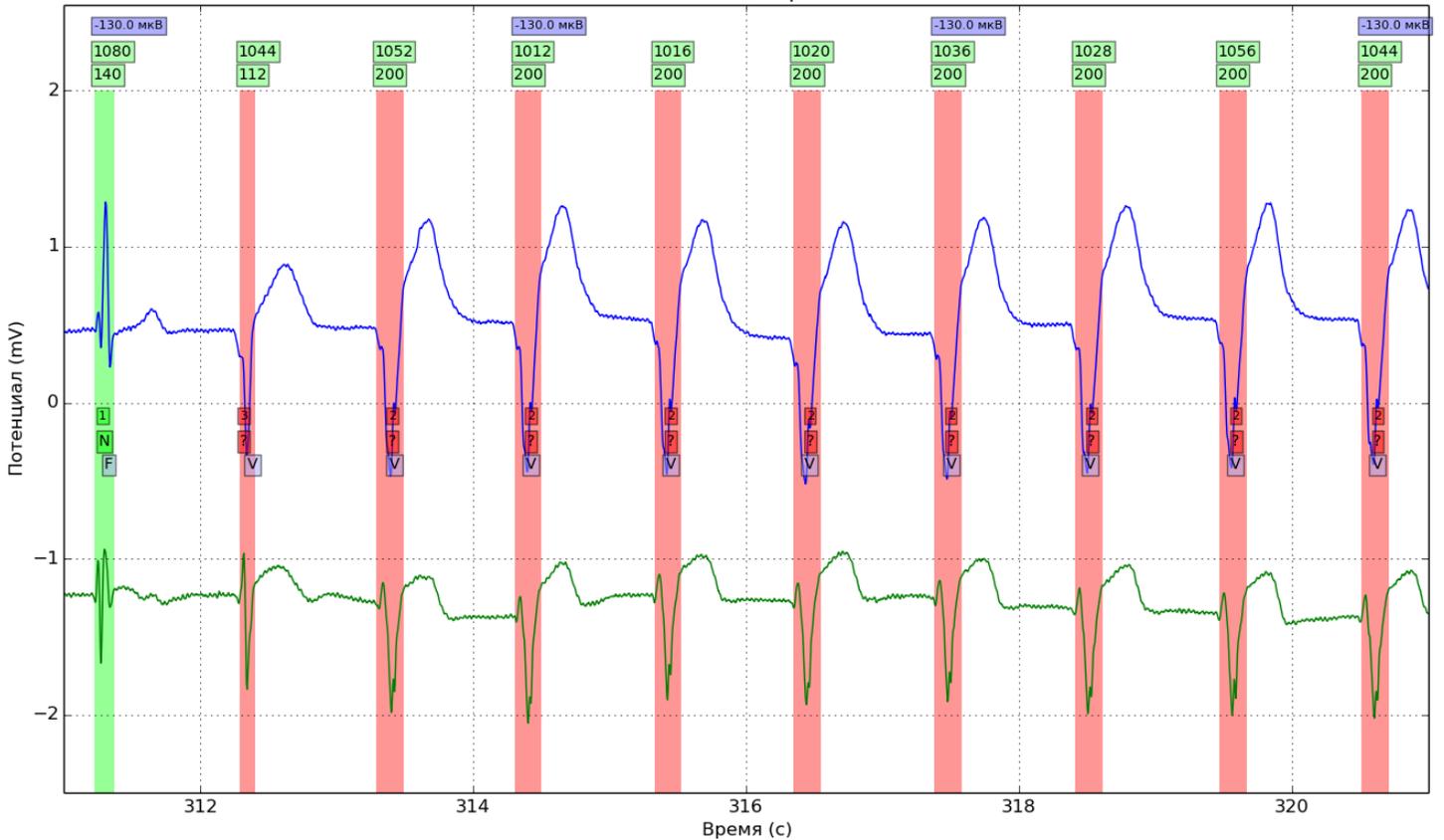
Идиовентрикулярный ритм

Idioventricular rhythm. В 207 записи ИВР распознан как ПЖТ. В 124 записи распознается как неклассифицируемые комплексы с нарушениями

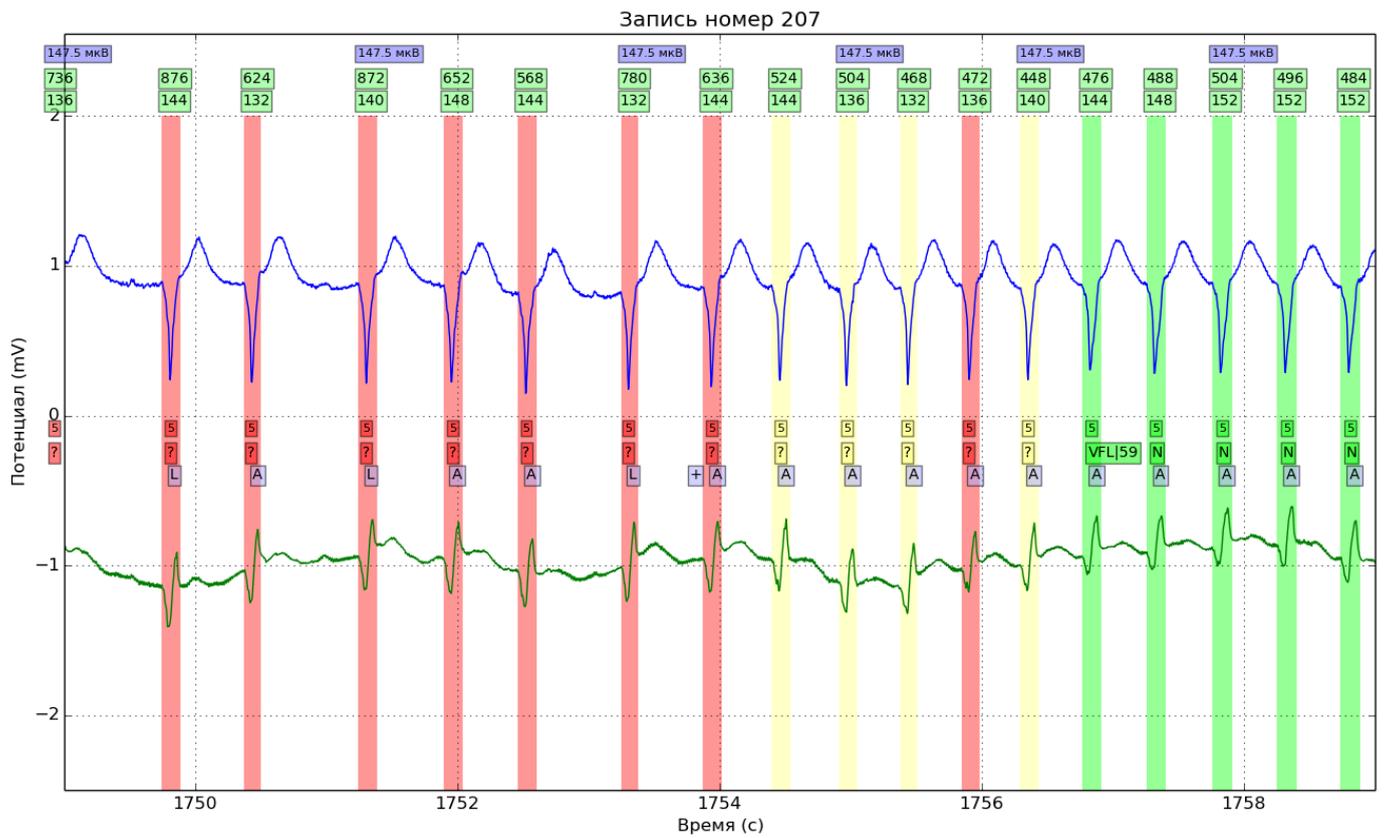
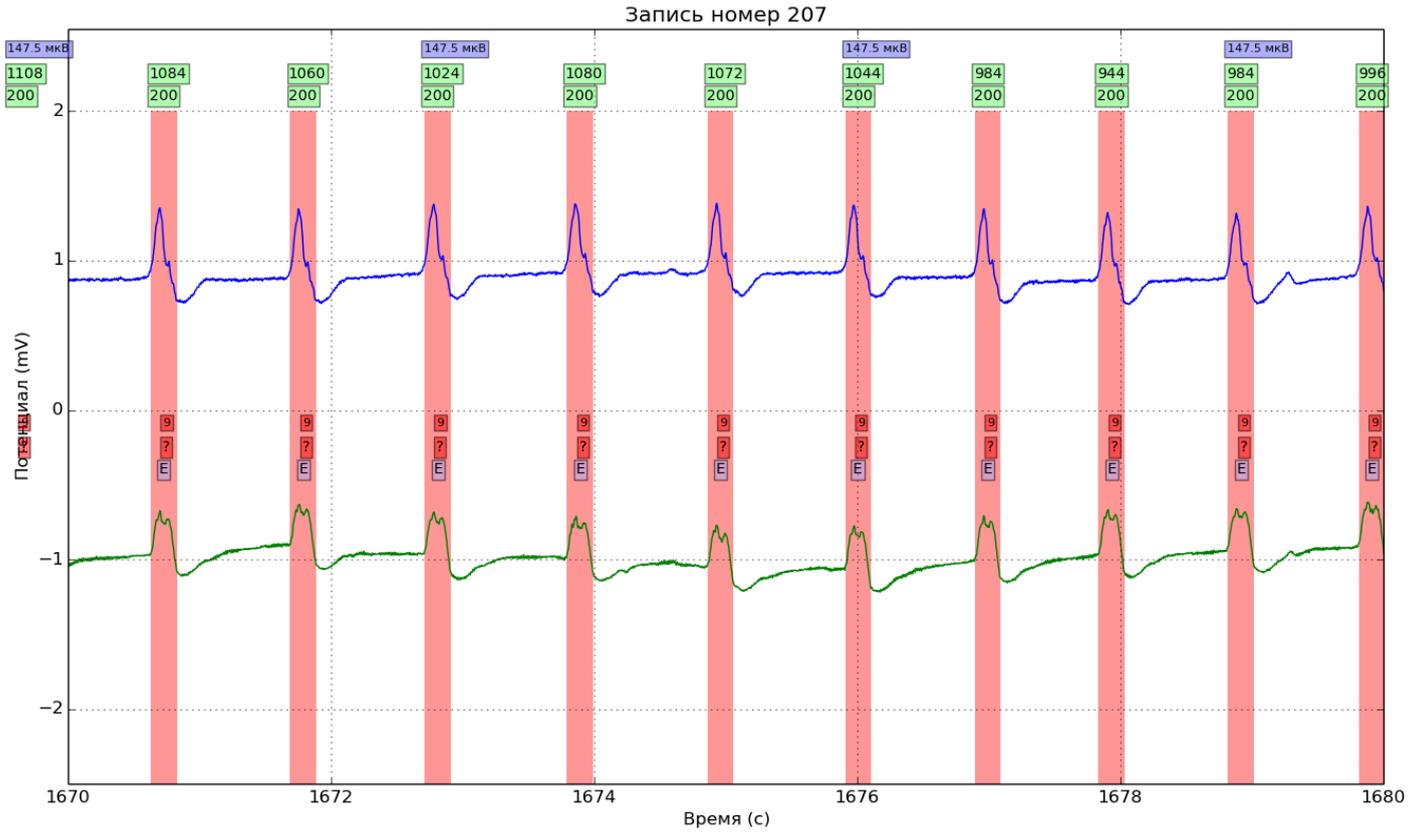
Запись номер 124



Запись номер 124



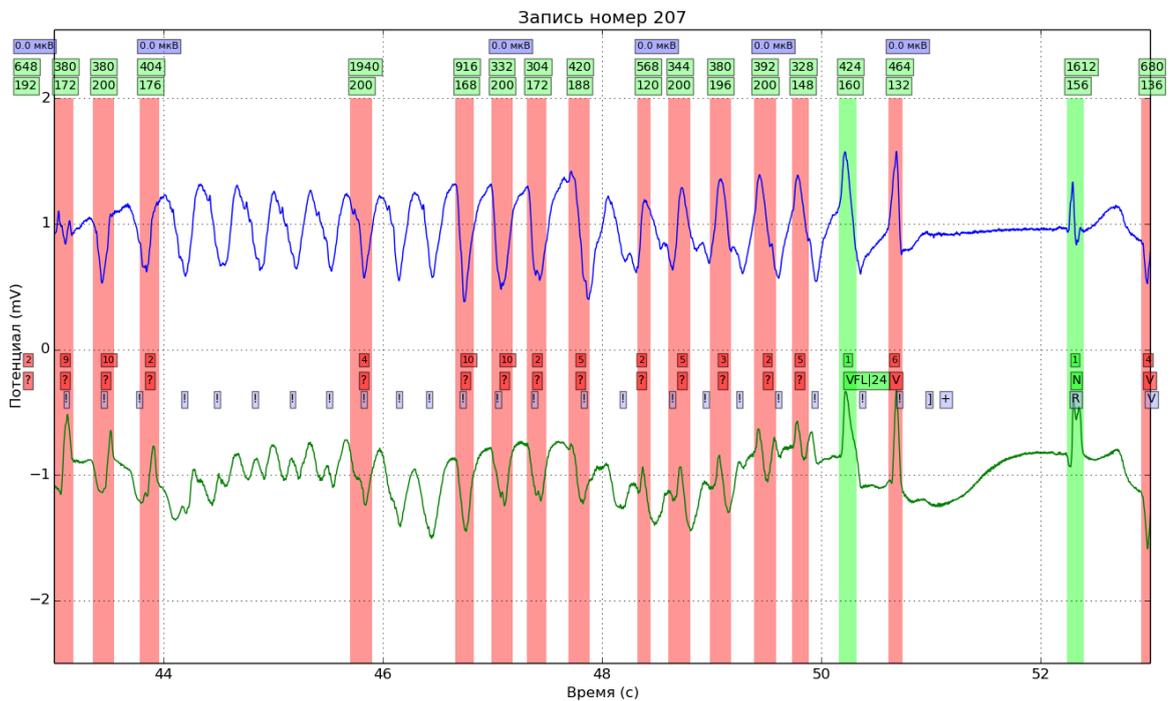
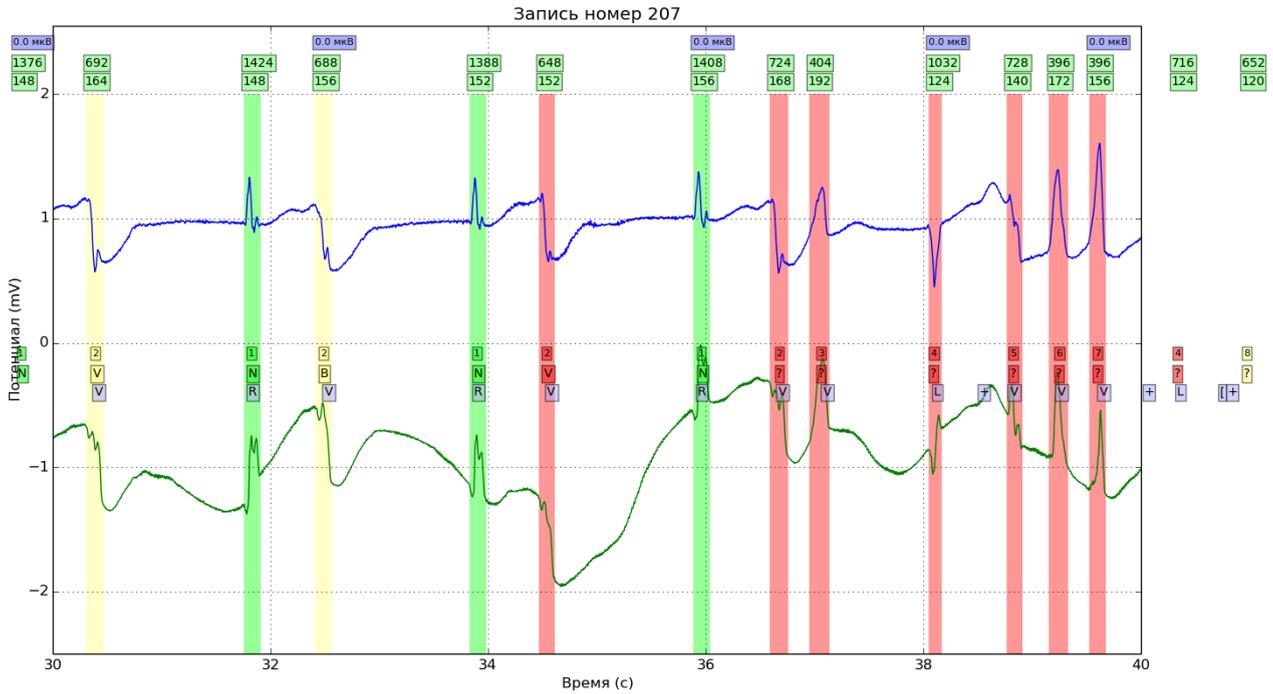
При ИВР возникают удары типа **ventricular escape beat (E)**. Присутствуют на 207 записи. Был распознан как 59 ударов ПЖТ



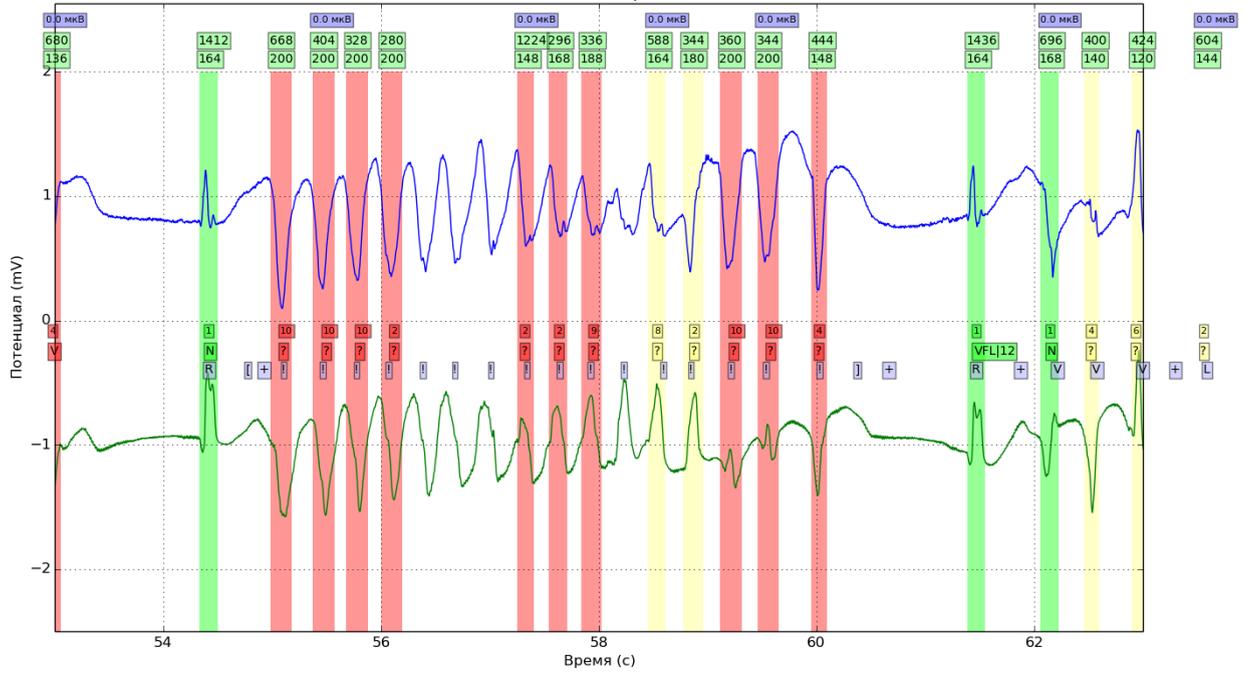
Мерцание/трепетание желудочков +

Ventricular flutter wave.

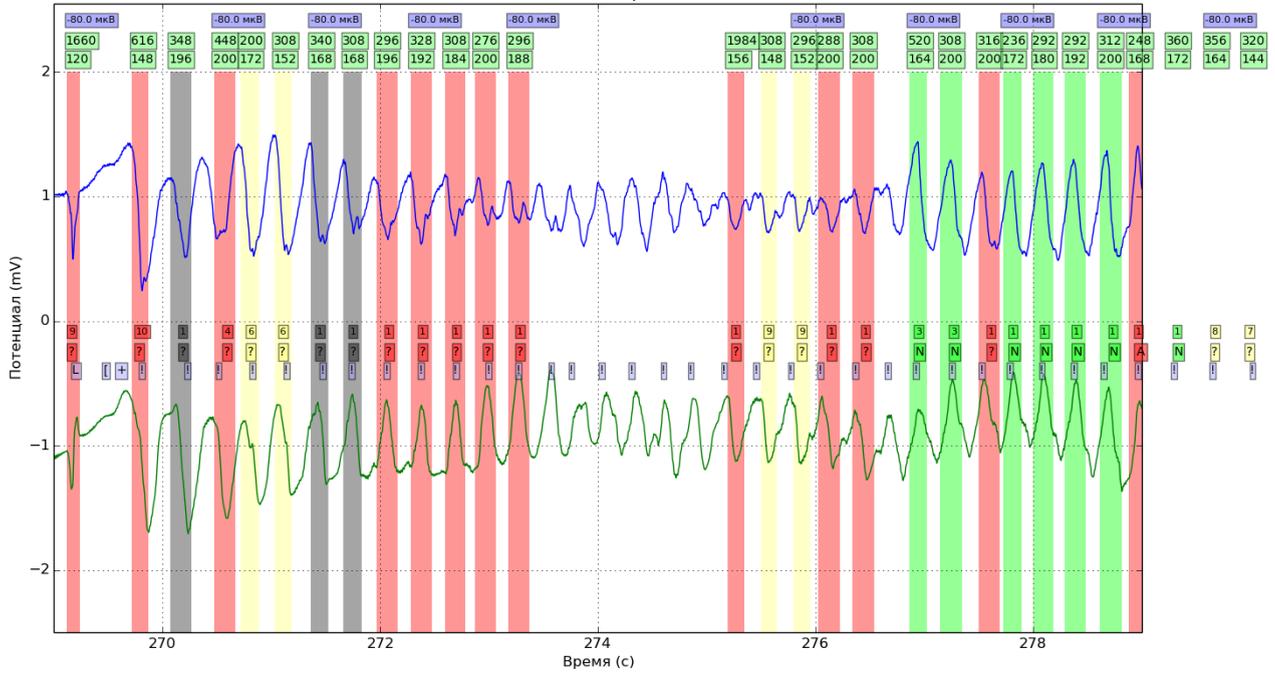
Устойчиво распознается как пароксизмальная тахикардия. Детектируется в конце приступа. Во время приступа не все комплексы детектируются, R-R интервалы увеличенные, до 3 с.

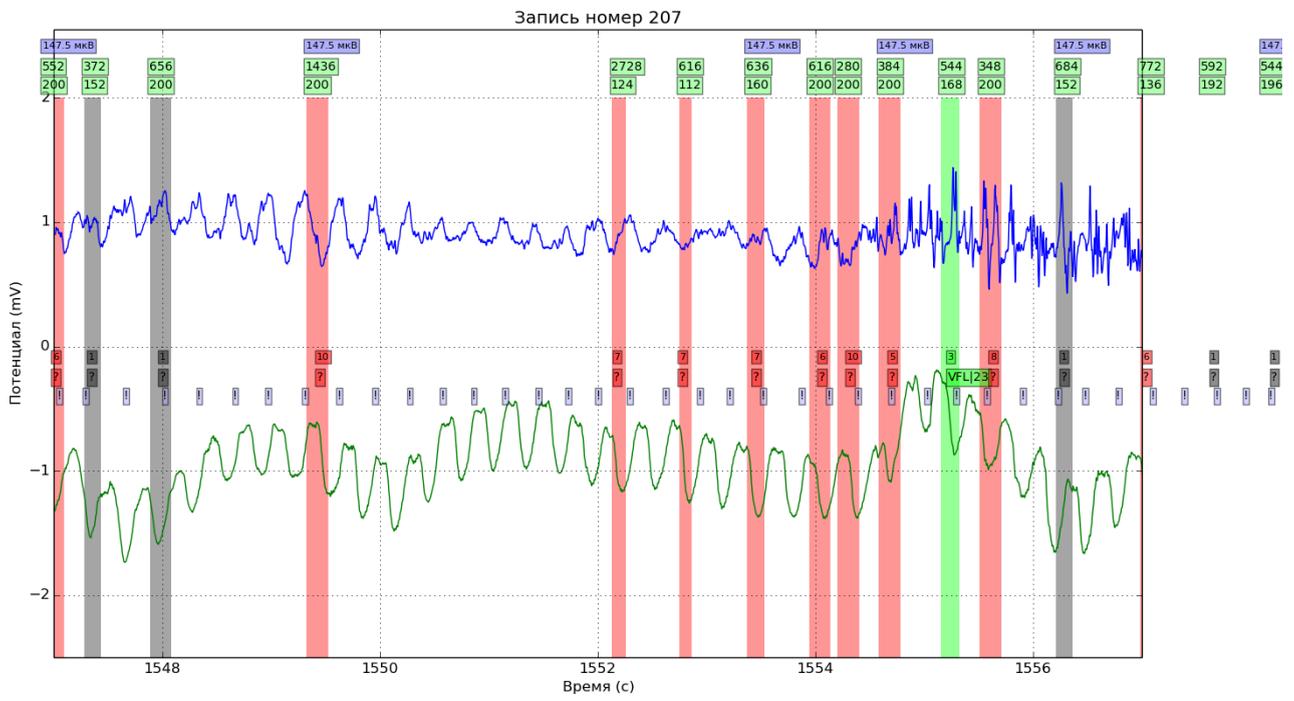


Запись номер 207

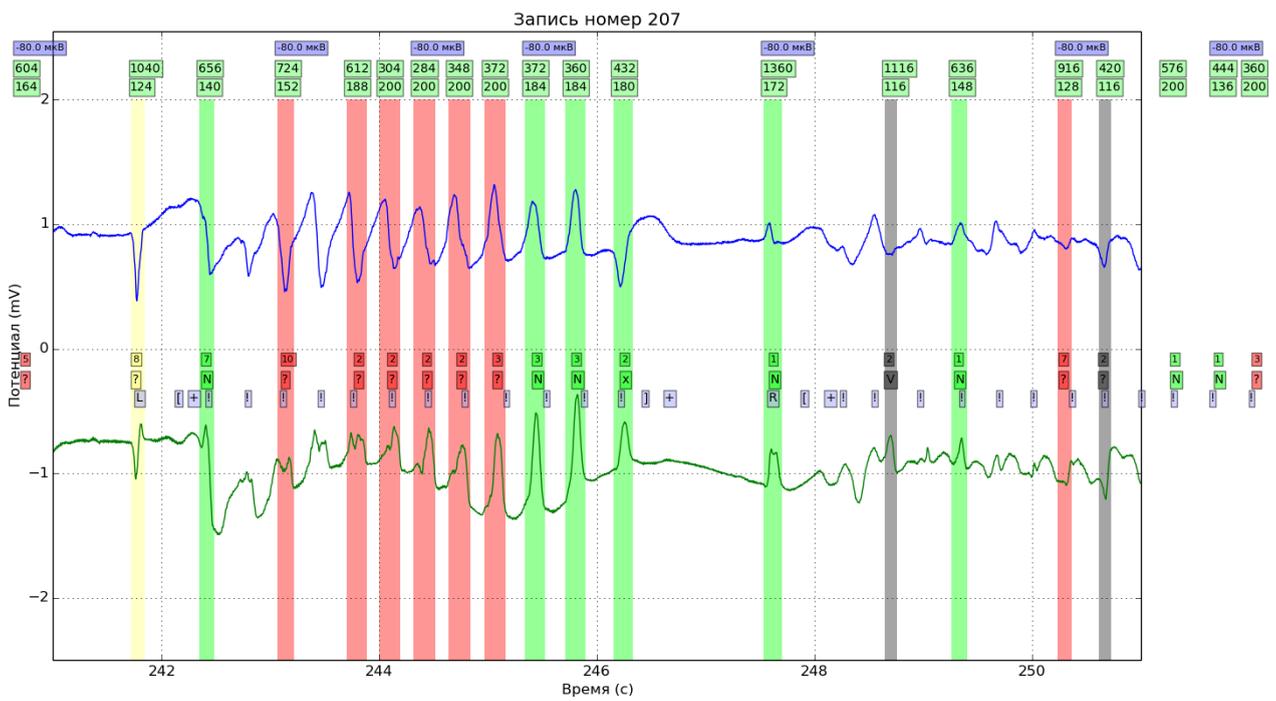


Запись номер 207





На 2:01 не распознана



Общий алгоритм анализа

1. После выполнения вызова метода результаты передаются в алгоритм поиска диагностически значимых событий.
2. При каждом запуске алгоритма результаты через интерфейс первичного анализа (raw observer interface, ROI) передаются в подписчики интерфейса.
3. Интерфейс ROI используется:
 - a. анализатором пауз и асистолии.
 - b. анализатором смещения ST-сегмента.
4. Для комплексов подсчитывается средний R-R интервал и отклонение от среднего.
 - a. Величина среднего R-R интервала используется для пороговых величин ЧСС (тахикардия (VT), брадикардия (SBR)).
5. При каждом запуске алгоритма результаты через интерфейс анализа последовательностей (sequence observer interface, SOI) передаются в подписчики интерфейса.
 - a. Комплексы задерживаются на N штук для однозначного определения групповой ЖЭ.
 - b. Средний интервал вместе с отклонением задерживаются на M комплексов для компенсации задержки фильтра относительно задержки комплексов.
 - c. Все комплексы разделяются на норму, ЖЭ и нарушение.
 - Норма: $type = 1 \parallel width < 140$
 - Нарушение: $(type \neq 1 \ \&\& \ width > 140) \ \&\& \ ar \neq \{V, B, T, RonT\}$
 - ЖЭ: $(type \neq 1 \ \&\& \ width > 140) \ \&\& \ ar == \{V, B, T, RonT\}$
 - d. При этом выделяется уровень достоверности анализа.
6. Подписчиками SOI являются:
 - a. Анализатор предсердных экстрасистол (СВЭ, А) — по критерию отклонения R-R интервала от среднего, и последовательностей: групповых СВЭ (AG), предсердной бигимении (AB).
 - b. Анализатор мерцательной аритмии (мерцания и трепетания предсердий, AFIB)
 - c. Анализатор Идиовентрикулярного ритма (IVR) и трепетания/мерцания желудочков (VFL).
 - d. Анализатор желудочковых экстрасистол и последовательностей: ЖЭ (V), бигимения (B), тригимения (T), групповая ЖЭ (VG).
 - e. ЖЭ, морфология которых отличается от морфологии предыдущего эпизода, относят к классу полиморфных ЖЭ: полиморфная ЖЭ (VP), групповая полиморфная ЖЭ (VPG)
7. Оконные счетчики появления вышеуказанных событий используются для анализа пороговых величин соответствующих нарушений.
8. Пороговые значения для наблюдаемых величин хранятся в JSON-формате в таблице ДЗС.
9. При превышении порога формируется диагностически значимое событие и запускается рефрактерный счетчик на заданный в таблице период. Данный счетчик необходим для блокировки часто возникающих и исчезающих событий и замены их на одно длительное событие.
10. При возникновении события вызывается функция обратного вызова (callback), которая может выполнять сохранение события с последующей передачей на сервер, светодиодную и звуковую индикацию.
- 11.

Список замечаний:

1. Событие зелёного уровня при смене морфологии нормальных комплексов
2. Событие на полиморфную ЖЭ отдельное + отдельно на групповую полиморфную