

## Введение

Исследование гигантских импульсов пульсаров предоставляет важные сведения о механизмах эмиссии и экстремальных физических условиях в магнитосферах пульсаров. Пульсар в Крабовидной туманности (B0531+21) является самым известным источником гигантских импульсов, что делает его идеальным объектом для отработки технологии наблюдений и алгоритмов обработки. В данной работе описываются технология проведения наблюдений, методы обработки данных и результаты наблюдений пульсара B0531+21 на интервале последних полутора лет, проведенных в Институте прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН).

## Экспериментальный сеанс для отработки технологии

Для отработки методики был проведен специальный экспериментальный сеанс длительностью 30-минут. Наблюдались калибровочные квазары и два скана по 10 минут пульсара B0531+21 для проверки возможностей нашего оборудования. Были задействованы радиотелескопы РТ-32 и РТ-13 в обсерваториях Светлое, Бадары и Зеленчукская. Наблюдения проводились в L-диапазоне (1589.5–1717.5 МГц) в обсерваториях Светлое и Бадары на РТ-32 в полосе пропускания 128 МГц, а также в S- и X-диапазонах на радиотелескопах РТ-13 в обсерваториях Светлое, Бадары и Зеленчукская. Полосы пропускания составили 512 МГц и частотными диапазонами 2163.8–2675.8 МГц (S-диапазон) и 8591.6–9103.6 МГц (X-диапазон). Данные записывались в формате VDIF с помощью штатных систем РСДБ регистрации.

В результате анализа данных эксперимента были оценены эффективная плотность потока системы (SEFD) 280 Ян (РТ-32, L-диапазон), 1000 Ян (РТ-13, S-диапазон) и 800 Ян (РТ-13, X-диапазон) и чувствительность при детектировании импульсов по уровню 1-сигма в 44 Ян при времени накопления 8 мкс (РТ-32, L-диапазон), 63 Ян при 1.6 мкс (РТ-13, S-диапазон) и 60 Ян при 1.6 мкс (РТ-13, X-диапазон).

## Схема обработки данных

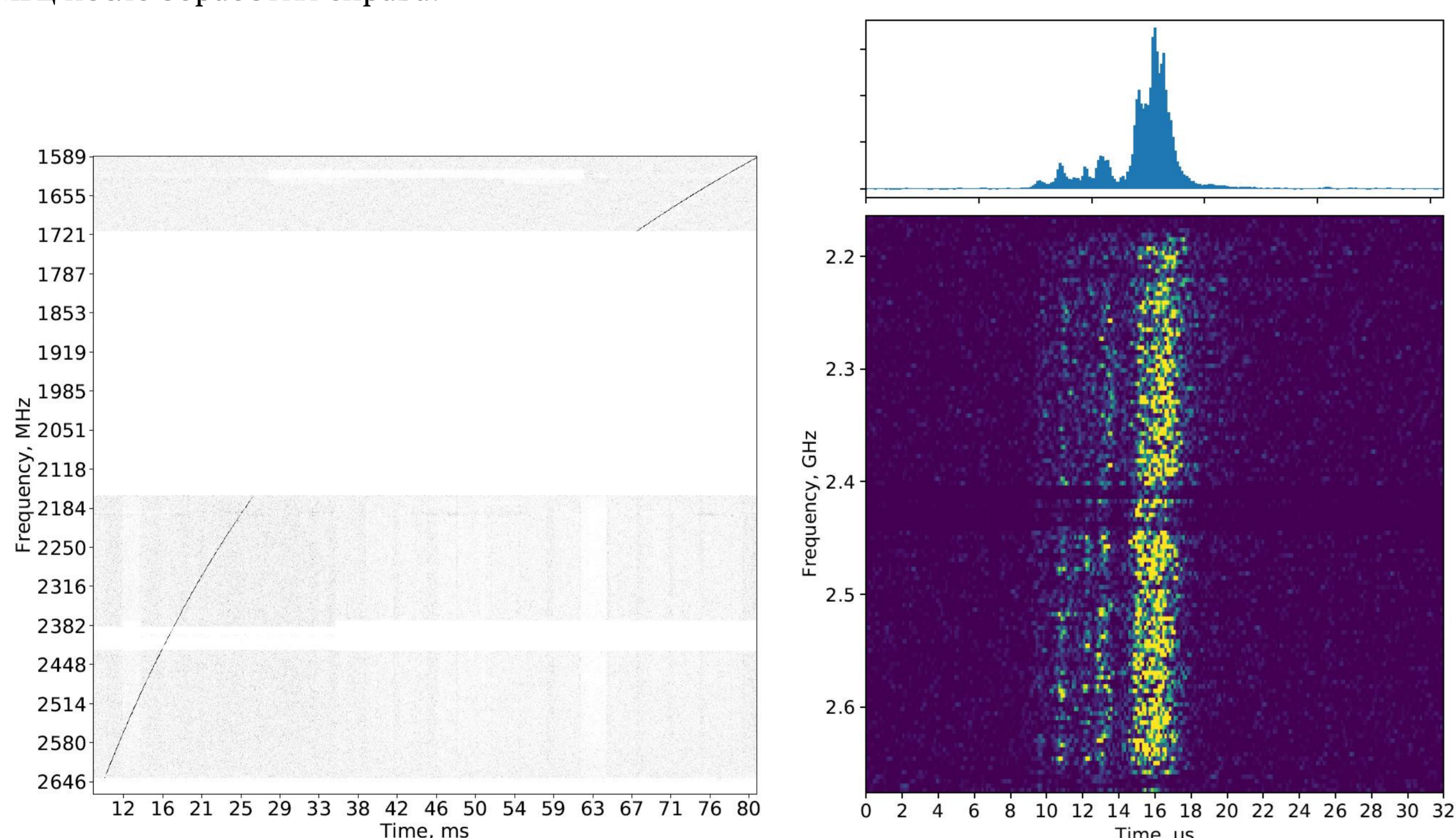
1. Данные сохраняются в стандартном VDIF формате
2. Выполняется когерентная дедисперсия

$$d(\nu) = \exp\left(\frac{-i2\pi k \cdot 10^{15} \text{DM} \nu^2}{(\nu_0^2(\nu_0 + \nu))}\right)$$

- Поиск оптимального значения DM
3. Построение временных рядов импульсов-кандидатов:
    - 2D спектрограмма
    - Калибровка тракта
    - Подавление помех
  4. Выбор оптимального критерия поиска импульсов
    - Совпадение поляризаций (если их две)
    - SNR > порога
  5. Подбор значения DM по наиболее ярким импульсам

## Результаты экспериментального сеанса

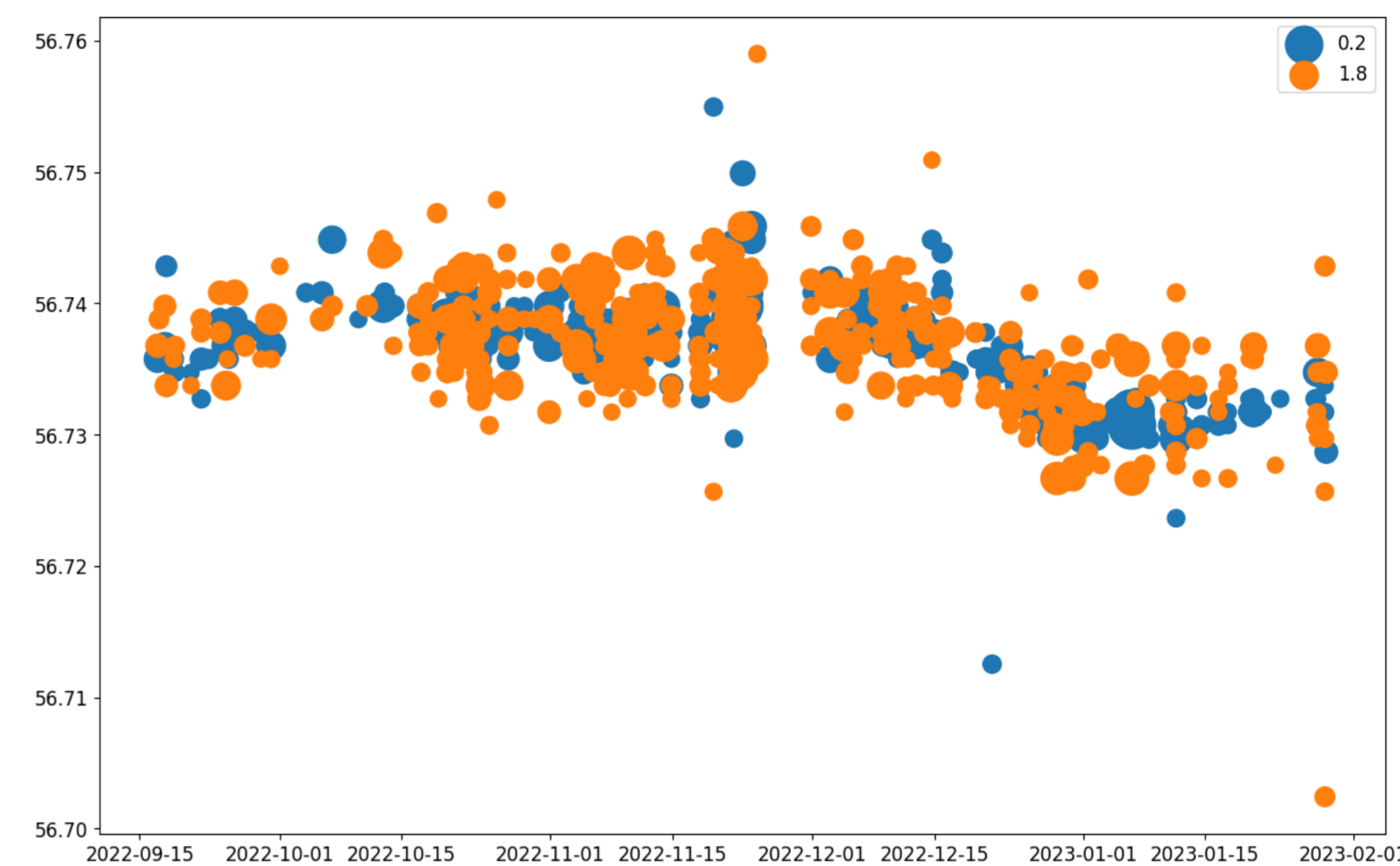
Обработка данных экспериментального сеанса позволила отладить алгоритмы и оптимизировать критерии детектирования гигантских импульсов пульсара B0531+21. В результате сеанса было зарегистрировано на РТ-32 в L-диапазоне частот в обсерваториях Бадары и Светлое 712 и 657 импульсов, а S-диапазоне на РТ-13 по 262 и 182 соответственно. На РТ-13 обсерватории Зеленчукская был зарегистрирован 51 импульс. Регистрируемое количество импульсов (36 и 12 в минуту в L и S диапазонах) сравнимо обсерваторий Голдстоун (14 в минуту на частоте 1.7 ГГц в полосе 32 МГц) и Аресибо (10 в минуту для 2.8 ГГц при полосе 100 МГц). Мы также оценили значение DM в 56.754394 pc/cm<sup>3</sup>. В течении эксперимента был зарегистрирован гигантский импульс с плотностью потока излучения в L и S диапазонах в 190кЯн и 48 кЯн соответственно. Его спектрограмма до дедисперсии совмещенная по данным L и S диапазонов частот представлена ниже (слева), а спектрограмма с разрешением 128 нс x 4 МГц после обработки справа.



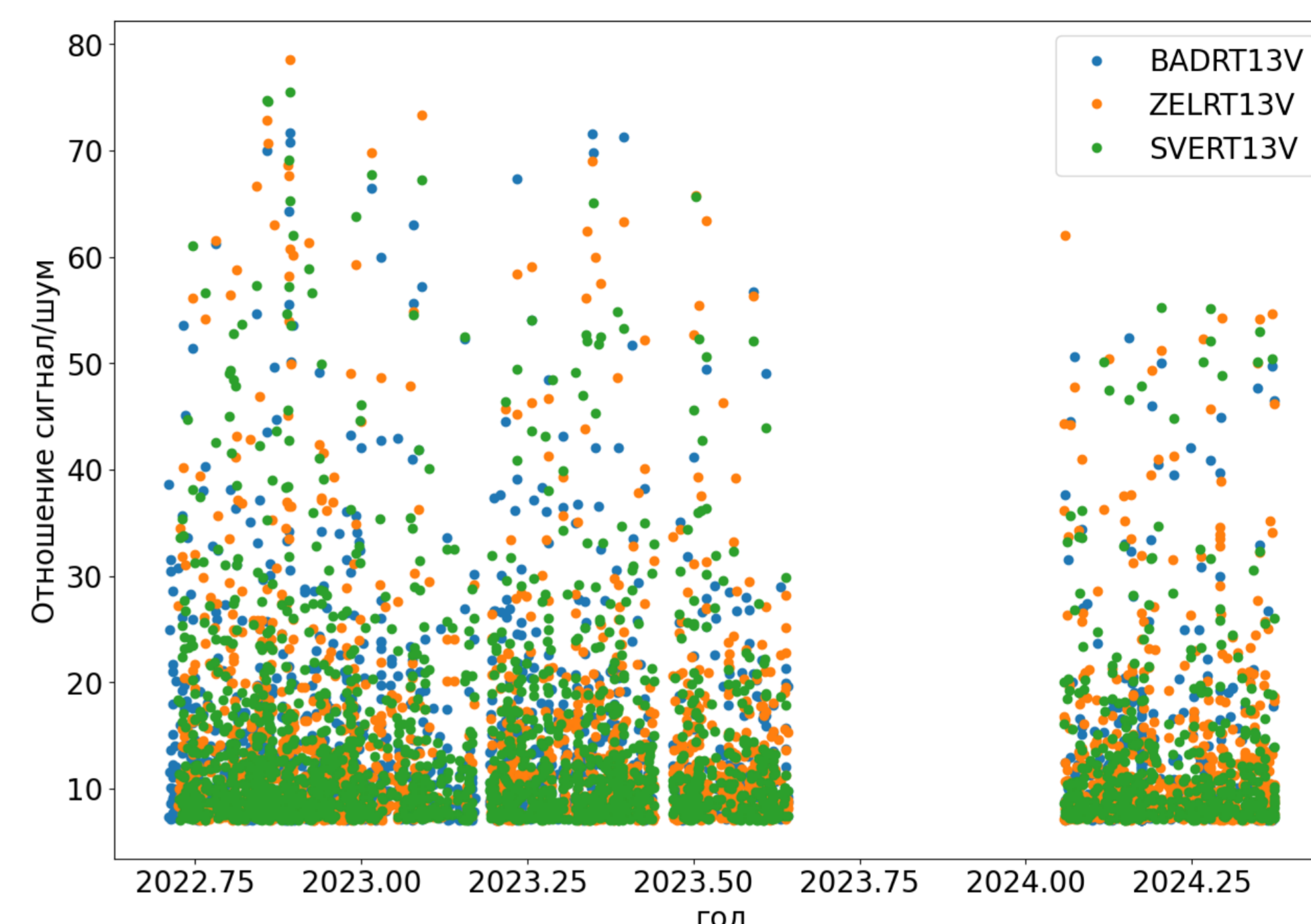
## Организация регулярных наблюдений

После успешного экспериментального сеанса начаты регулярные наблюдения пульсара B0531+21 с периодичностью 5-6 раз в сутки. Эти наблюдения были интегрированы в стандартные серии наблюдений «R» и «RX», проводимые ИПА РАН для оценок поправок UT1-UTC. В каждую сессию были добавлены минутные сканы с использованием радиотелескопов РТ-13 в обсерваториях Светлое, Бадары и Зеленчукская, при условии, что пульсар находится в пределах видимости в момент сеанса. Наблюдения охватывали частотные диапазоны 2163.8–2675.8 МГц (S-диапазон) и 8591.6–9103.6 МГц (X-диапазон) с полосой пропускания 512 МГц. Данные регистрировались только в правой круговой поляризации с использованием 2-битного квантования. Для всех обнаруженных импульсов сохранялись фрагменты исходных данных для дальнейшего анализа. Для детектирования импульсов использовалось пороговое значение отношения сигнал/шум более 7. По наиболее ярким импульсам оценивалась величина межзвездной дисперсии (DM), которая использовалась для обработки остальных импульсов.

## Оценки значения DM на всем интервале наблюдений



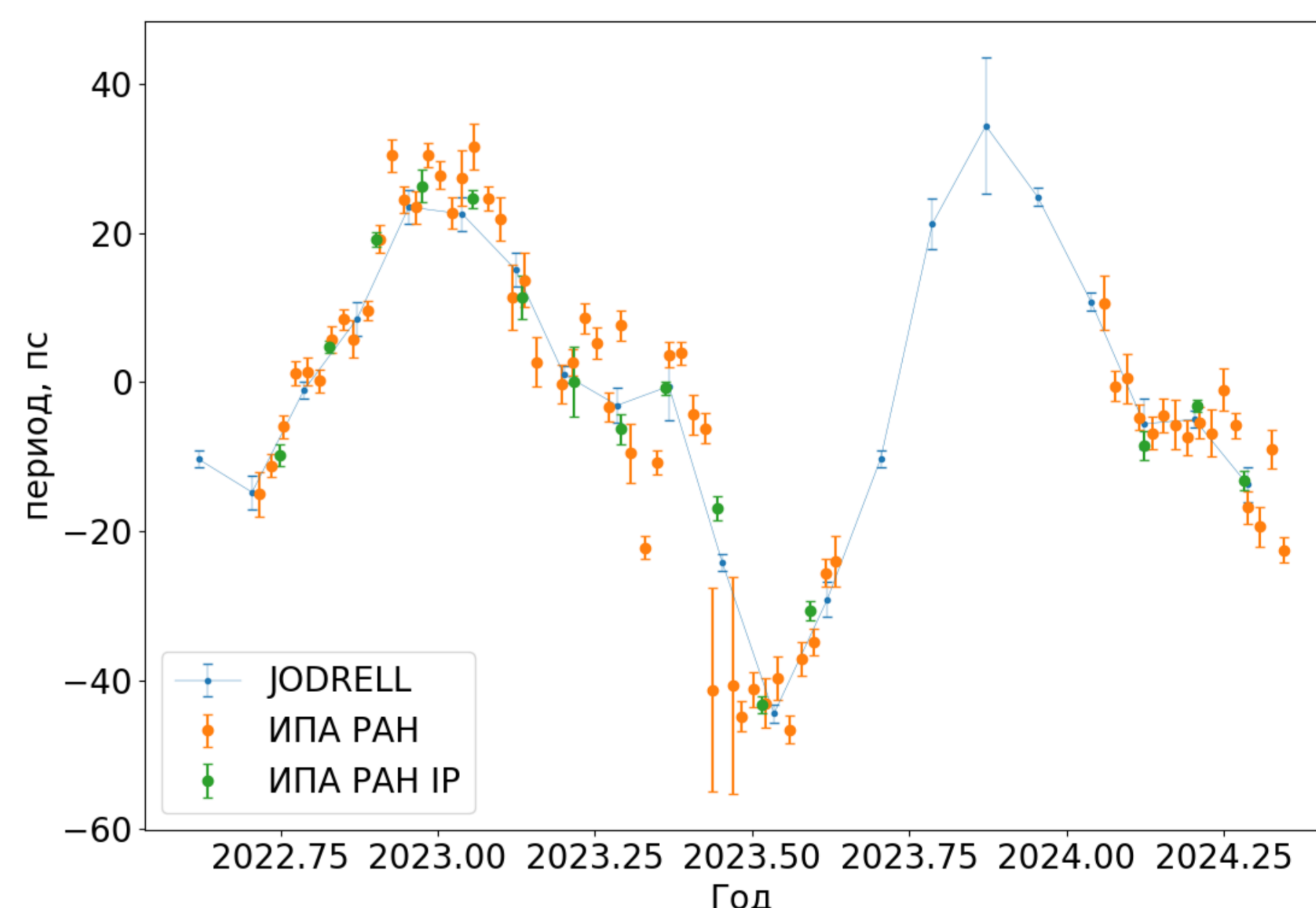
## Отношение сигнал/шум для зарегистрированных гигантских импульсов



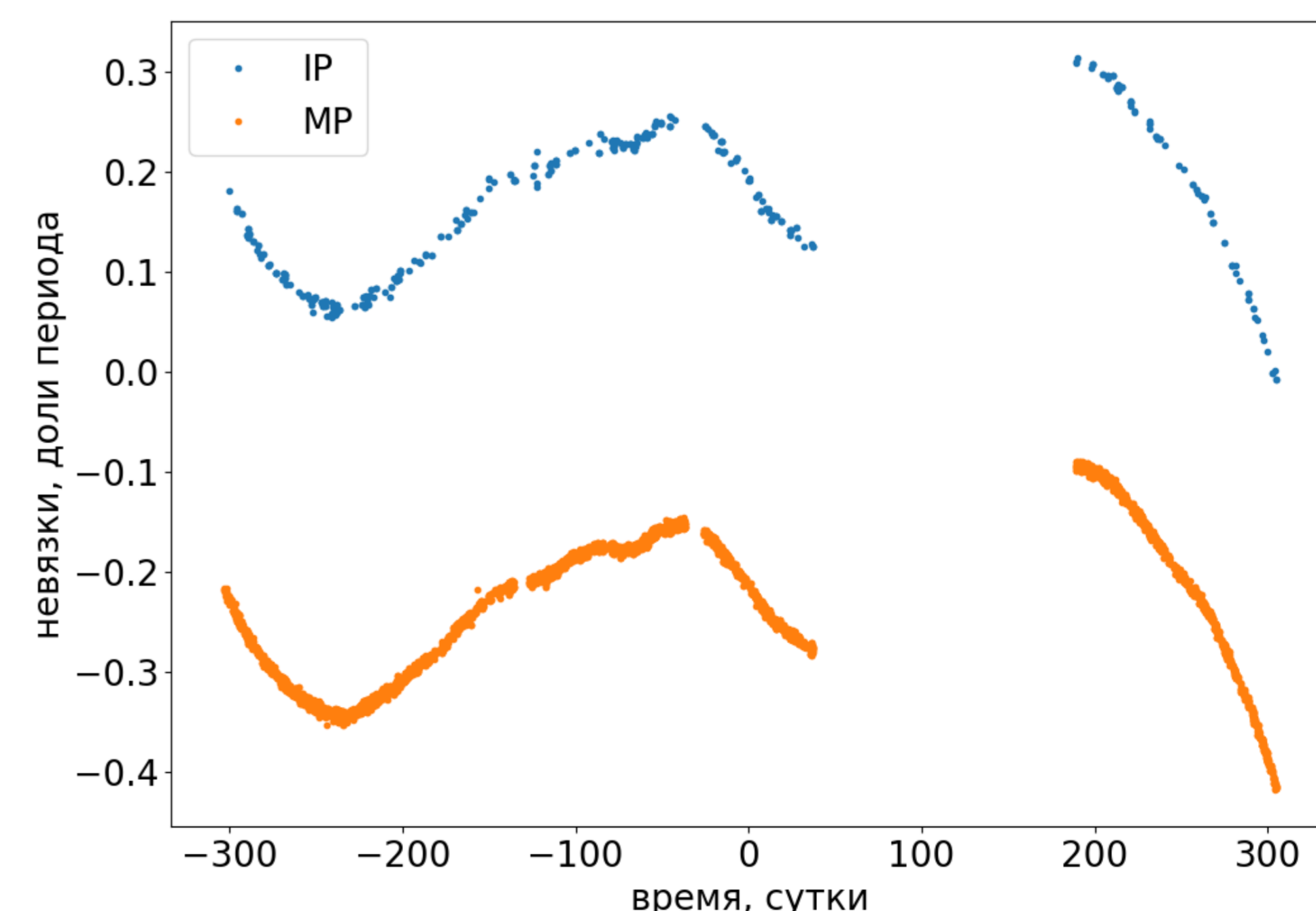
## Построение эфемериды пульсара

Для анализа полученных временных рядов моментов прихода гигантских импульсов использовалось программное обеспечение tempo2. На первом этапе эфемериды пульсара были построены на весь период наблюдений 1.5 года, с определением параметров F0, F1 и F2. Затем импульсы были классифицированы на импульсы основного периода и промежуточные (интерпульсы). После этого, используя моменты прихода основных импульсов были построены еженедельные эфемериды. Аналогично по интерпульсам были сформированы ежемесячные эфемериды. Остаточные невязки периодов за весь интервал наблюдений сравнивались с эфемеридами обсерватории Jodrell Bank. Результаты полученных еженедельных эфемерид согласуются на уровне 7пс СКО. Для сравнения на рисунке представлены еженедельные эфемериды по основному импульсу (оранжевые точки), ежемесячные эфемериды по интерпульсу (зеленые точки) и эфемериды Jodrell Bank (синие).

## Эфемериды пульсара B0531+21 по данным ИПА РАН vs Jodrell Bank



## Невязки для основных и промежуточных импульсов



## Выводы

Таким образом, в результате работы создана служба мониторинга импульсов пульсара в Крабе. Получены ежедневные оценки величины DM пульсара на интервале более 1.5 лет. Ежедневно обновляются эфемериды пульсара F0, F1. Построенные эфемериды согласуются с результатами Jodrell Bank, но имеют большую оперативность и частоту. Все найденные импульсы сохраняются для последующего анализа и/или синхронизации часов. Полученные результаты будут публиковаться в оперативном режиме на сайте ИПА РАН.