

Определение влажностной тропосферной задержки по данным радиометра водяного пара в неблагоприятных погодных условиях

В. Ю. Быков, Г. Н. Ильин, В. Г. Стэмповский, А. М. Шишкин

Институт прикладной астрономии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия



Задержка распространения радиосигнала в тропосфере. Две составляющие: сухая и влажностная

Сухая компонента задержки определяется по измеренной величине атмосферного давления

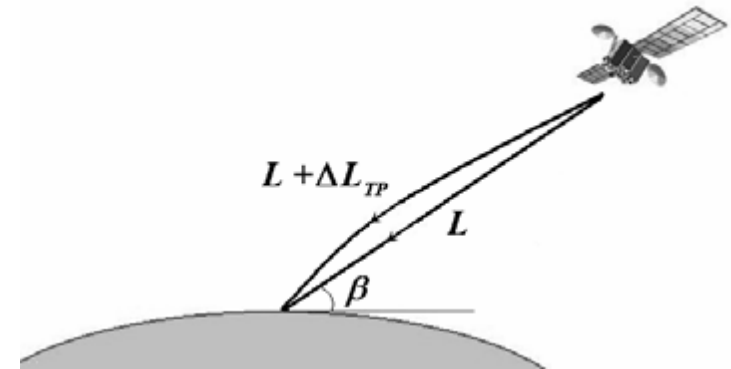
Влажностная компонента зависит от содержания водяного пара

Методы определения влажностной компоненты тропосферной задержки

По данным спутниковых измерений (ГНСС)

По данным РСДБ наблюдений

По данным измерений РВП



Преимущество:

Определение ВТЗ в реальном времени

Недостатки:

Зависимость от внешних факторов (осадки)

Задачи:

Изучение влияния неблагоприятных погодных условий на определение ВТЗ

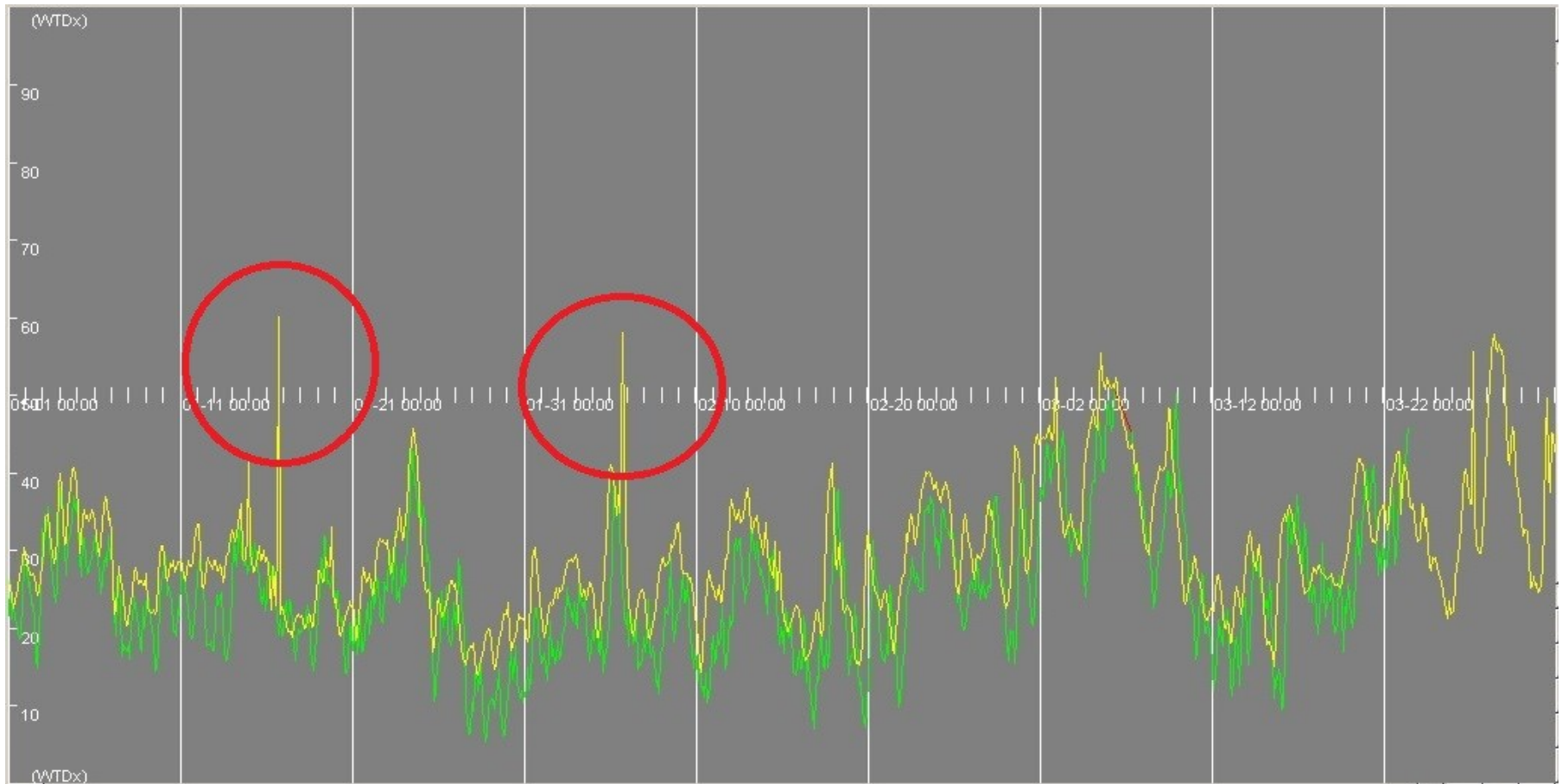
Разработка средств обеспечения работоспособности РВП с учетом погодных условий

Влияние неблагоприятных погодных условий на определение ВТЗ



ВТЗ по данным ГНСС и РВП. РАО «Бадары» 2017-01-01 – 2017-04—01

ГНСС **РВП**



Модернизация аппаратной части:

- 1. Выбор материалов уменьшающих накопление осадков на рабочих элементах РВП*
- 2. Обдув фронтальной радиопрозрачной панели закрывающей рупорно-линзовые антенны*
- 3. Подогрев перископического зеркала*



Вторичная обработка наблюдений:

- 1. Математическая модель накопления и удаления осадков*
- 2. Математическая модель влияния накопления осадков на расчет ВТЗ*
- 3. Использование опорного ряда наблюдений для определения эффективности предлагаемых моделей*
- 4. Настройка параметров объединенной модели коррекции ВТЗ*

Математическая модель накопления и удаления осадков

$$R_i = R_{i-1} + \begin{cases} r_i \times dt & | R_{i-1} < R_{max} \\ 0 & | R_{i-1} \geq R_{max} \end{cases} - \begin{cases} p_i \times dt & | R_{i-1} > 0 \\ 0 & | R_{i-1} \leq 0 \end{cases}$$

где

R_i - текущее накопленное количество осадков

r_i - интенсивность выпадения осадков

p_i - интенсивность стекания-высыхания осадков

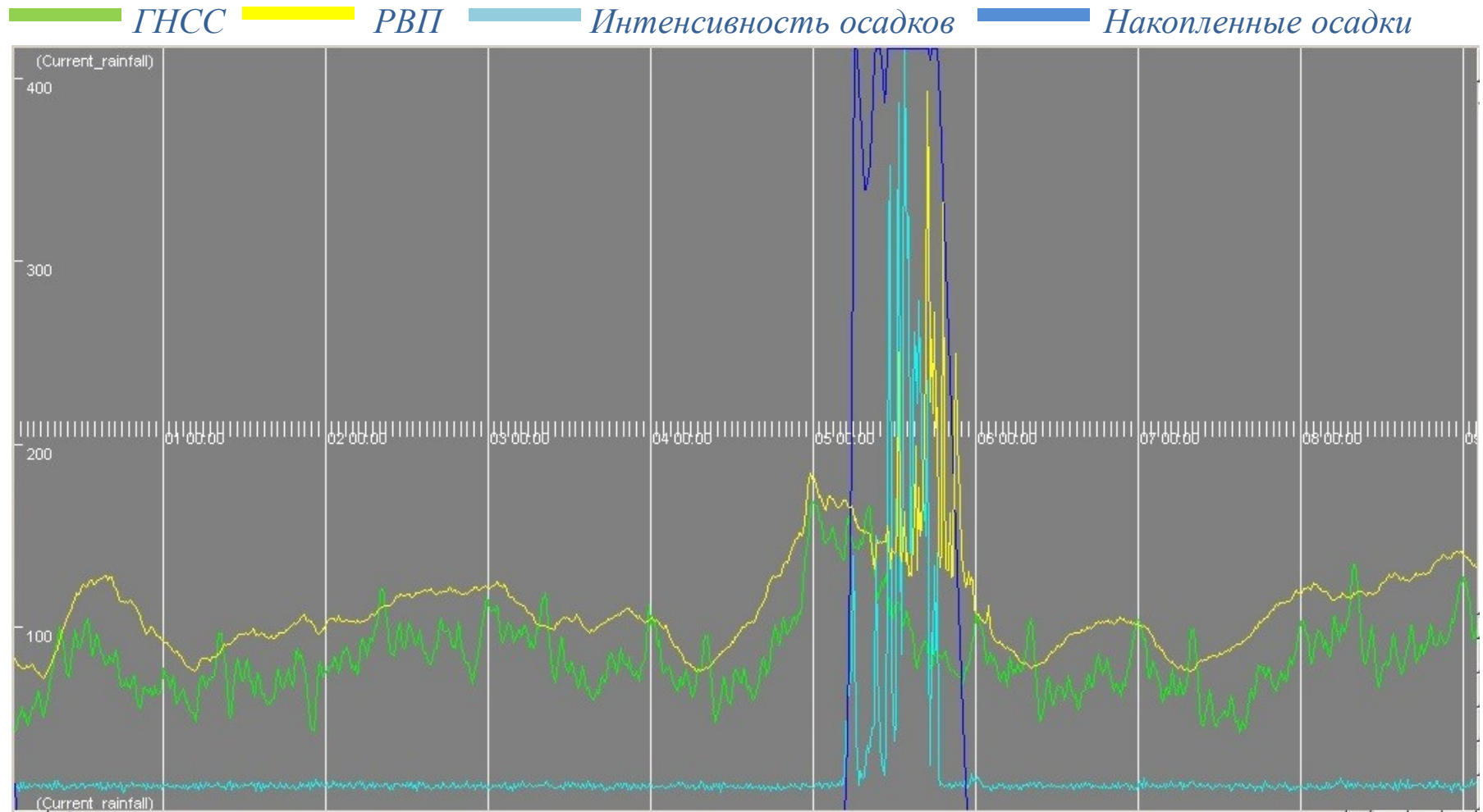
dt - величина интервала усреднения

R_{max} - максимально возможное накопленное количество осадков

Разработка средств обеспечения работоспособности РВП в неблагоприятных погодных условиях



ВТЗ по данным ГНСС и РВП. РАО «Бадары» 2017-01-31 – 2017-02-09



Математическая модель влияния накопления осадков на расчет ВТЗ

$$V_i^{wtd} = \frac{wtd_i - wtd_{i-1}}{dt}$$
$$V_i^{max} = \begin{cases} V_r^{max} & | R_i > R_{min} \\ V_{nr}^{max} & | R_i \leq R_{min} \end{cases}$$

где

R_i - текущее накопленное количество осадков

R_{min} - минимальное количество осадков, оказывающих влияние на определение ВТЗ

wtd_i - текущее значение ВТЗ по данным РВП

V_r^{max} - максимально возможная скорость изменения ВТЗ при наличии осадков

V_{nr}^{max} - максимально возможная скорость изменения ВТЗ при отсутствии осадков

Математическая модель влияния накопления осадков на расчет ВТЗ

$$WTD_i = \begin{cases} wtd_i & |V_i^{wtd}| < V_i^{max} \\ WTD_{i-1} + W_+ & |V_i^{wtd}| \geq V_i^{max} \cap V_i^{wtd} \geq 0 \\ WTD_{i-1} + W_- & |V_i^{wtd}| \geq V_i^{max} \cap V_i^{wtd} < 0 \end{cases}$$

где

WTD_i - текущее скорректированное значение ВТЗ

W_+ - минимальное возрастание ВТЗ при корректировке

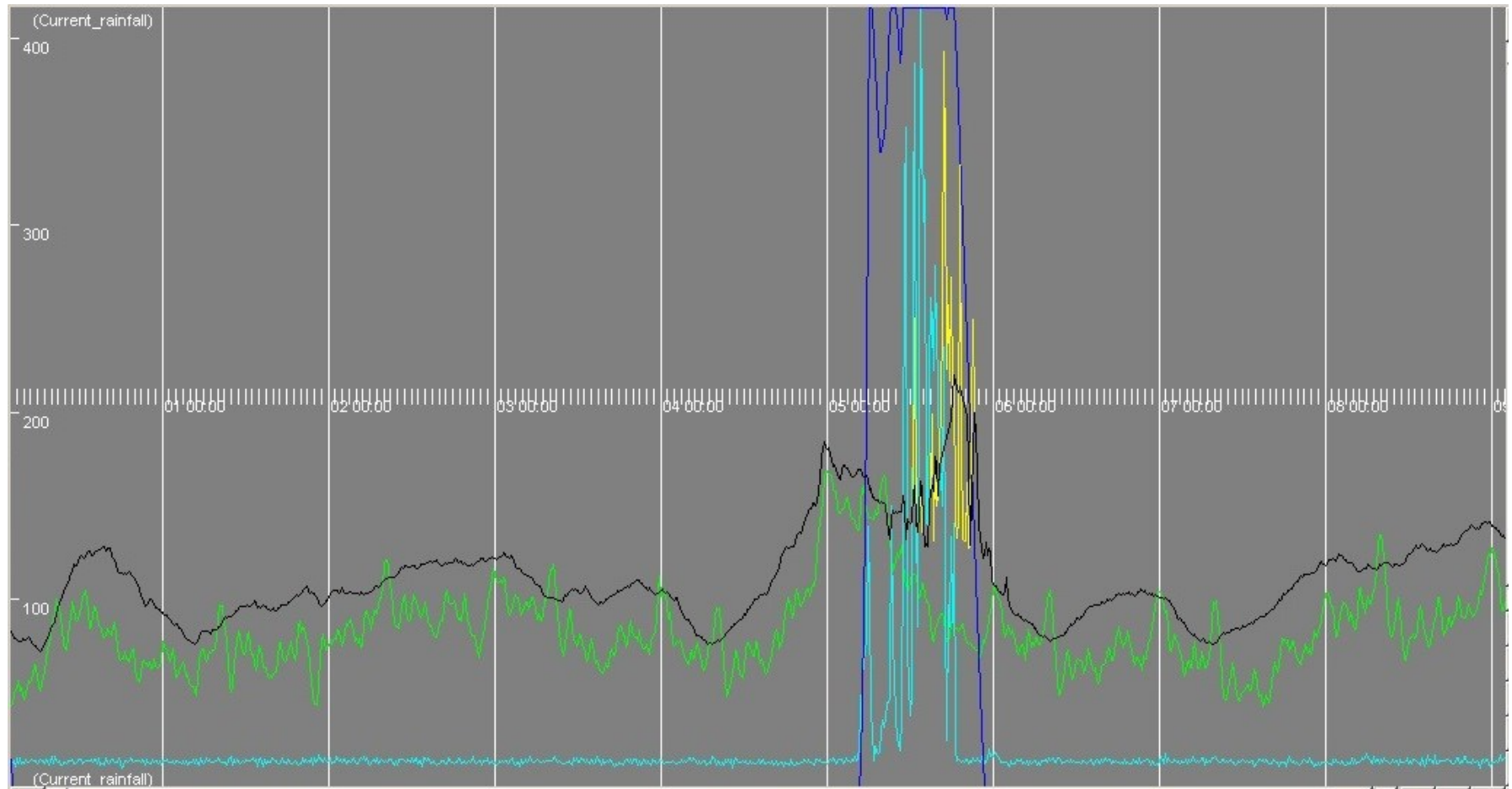
W_- - минимальное убывание ВТЗ при корректировке

Разработка средств обеспечения работоспособности РВП в неблагоприятных погодных условиях



ВТЗ по данным ГНСС и РВП. РАО «Бадары» 2017-01-31 – 2017-02-09

■ ГНСС ■ РВП ■ Скорректированное значение ВТЗ



Объединенная математическая модель содержит ряд параметров, значения которых определяются опытным путем:

r_i - интенсивность выпадения осадков

ρ_i - интенсивность стекания-высыхания осадков

R_{max} - максимально возможное накопленное количество осадков

R_{min} - минимальное количество осадков, оказывающих влияние на определение ВТЗ

V_r^{max} - максимально возможная скорость изменения ВТЗ при наличии осадков

V_{nr}^{max} - максимально возможная скорость изменения ВТЗ при отсутствии осадков

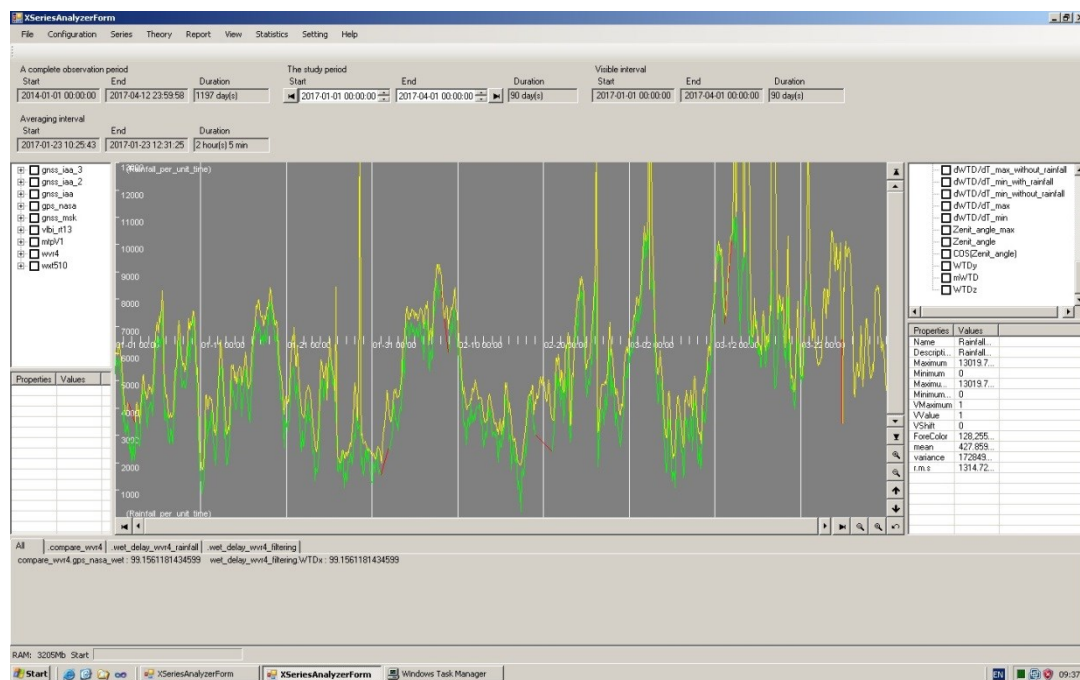
W_+ - минимальное возрастание ВТЗ при корректировке

W_- - минимальное убывание ВТЗ при корректировке

Разработка средств обеспечения работоспособности РВП в неблагоприятных погодных условиях



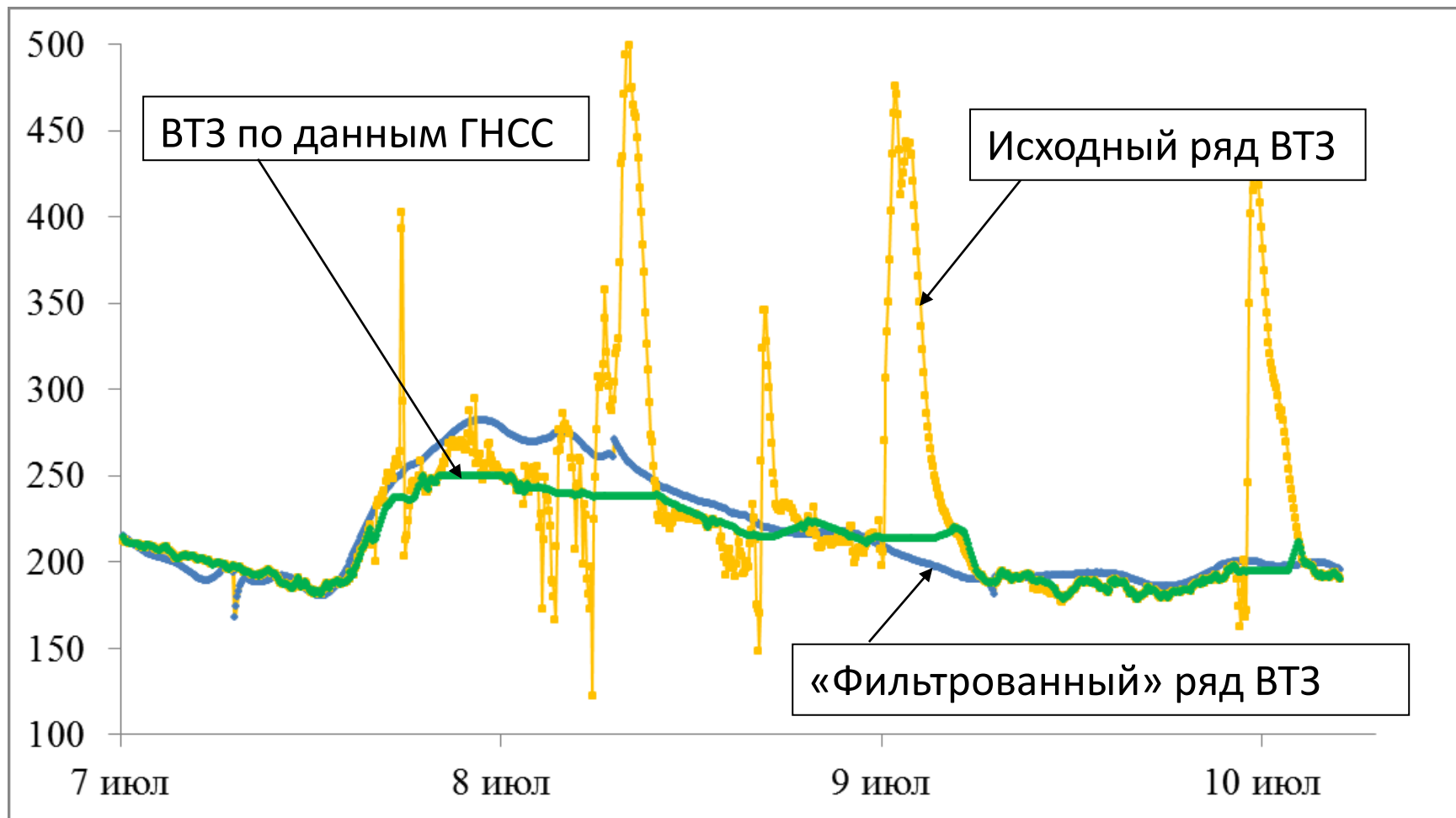
Качество работы процедуры корректировки ВТЗ непосредственно зависит подбора значений перечисленных параметров. Первоначально эта задача была возложена на эксперта, для чего было использовано специальное приложение – анализатор временных рядов. Приложение позволяет визуально и аналитически оценить получаемые результаты.



Параметры объединенной модели имеют зависимость от места нахождения прибора, сезонную зависимость и зависимость от длины интервала усреднения данных. Полученные значения параметров модели наилучшим образом работают при пятиминутном интервале усреднения данных. Для проверки качества объединенной модели был использован опорный ряд рассчитанных тропосферных задержек. В качестве такого ряда использованы данные спутниковых измерений (GPS). Так как эти измерения не зависят от погодных явлений, они могут быть использованы для решения оптимизационной задачи с целевой функцией вида:

$$\sum_{i=1}^n (WTD(wtd_i, WTD_{i-1}, R_{min}, R_{max}, V_r^{max}, V_{rn}^{max}, W_+, W_-, r_i, p_i) - GNSS_i)^2 \rightarrow \min$$

Результат применения корректирующей процедуры



Заключение

1. *Применение корректирующей процедуры позволяет использовать данные РВП, которые в противном случае приходится отбрасывать.*
2. *Качество работы процедуры корректировки ВТЗ может улучшаться на основе анализа данных.*

Спасибо!