

Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»

# ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ ТЕС ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ГНСС

Лукьянов Д.С. (МИИГАиК), Михайлов П.С. (ИФЗ РАН)

2020

# ВВЕДЕНИЕ, АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время, развитие и распространение технологий ГНСС в дистанционном зондировании Земли обрело большие масштабы. В связи с чем появилась задача обеспечения данными ГНСС не только крупных предприятий и институтов, но и обычных пользователей. Одна из таких задач является определение полного электронного содержания (ТЕС) ионосферы.

Известно, что ионосфера является диспергирующей средой. Значит, скорость распространения электромагнитной волны зависит от ее частоты. На основании различия во времени прохождения расстояния сигналом можно определить задержку создаваемую электронами в слое ионосферы, а значит определить их количество.

Для решения поставленной задачи была написана программа использующая данные GPS. В качестве исходных данных выступают двух-частотные наблюдения псевдодальности и несущей частоты, а также координаты положения спутника и приемника.

# АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЙ

## 1. Формирование геометрически свободных комбинаций псевдодальности и несущей частоты:

$$P_4 = P_{1,j}^i - P_{2,j}^i = (d_{ion,1,j}^i - d_{ion,2,j}^i) + DCB^i$$
$$L_4 = L_{1,j}^i - L_{2,j}^i = (d_{ion,1,j}^i - d_{ion,2,j}^i) + \lambda(b_{1,j}^i - b_{2,j}^i) + \lambda(N_{1,j}^i - N_{2,j}^i)$$

Где,  $DCB^i$  - Значения DCB для спутника,  $d$  – ионосферная задержка,  $b$  – инструментальная ошибка приемника и спутника,  $N$  – неоднозначность несущей фазы,  $i$  – номер спутника.

## 2. Проверка потери счета согласно условию:

$$|B_W(s; k) - m_{B_W}(s; k - 1)| > K_{factor} S_{B_W}(s; k - 1)$$

Если условие выполняется, производят сброс цикла, в противном случае считают, что потери счета цикла нет.

## 3. Дополнительные параметры алгоритма определяются формулами:

$$m_{B_W}(s; k) = \frac{k-1}{k} m_{B_W}(s; k - 1) + \frac{1}{k} B_W(s; k)$$

$$S_{B_W}^2(s; k) = \frac{k-1}{k} S_{B_W}^2(s; k - 1) + \frac{1}{k} (B_W(s; k) - m_{B_W}(s; k - 1))^2$$

Значение  $S_{B_W}$  при первой итерации равно  $S_0 = \lambda_W / 2$

$$\lambda_W = c / (f_1 - f_2)$$

Данный алгоритм основан на комбинации Мельбурна-Вюббена и определяется выражением:

$$B_W = \Phi_W - R_N$$

Где,  $\Phi_W = \frac{f_1 \Phi_{L1} - f_2 \Phi_{L2}}{f_1 - f_2}$  - широколинейная

комбинация несущей частоты,  $R_N = \frac{f_1 R_{P1} + f_2 R_{P2}}{f_1 + f_2}$

- узколинейная комбинация псевдодальности.

## 4. Для устранения шумов измерения сглаживаются . Формула для сглаживания:

$$P_{,sm} = \omega_t P_4(t) + (1 - \omega_t) P_{4,prd}(t) \quad (t > 1)$$

Где  $t$  – номер эпохи и  $\omega_t$  – весовой фактор который равен  $\omega_t = 0.5$

$$P_{4,prd}(t) = P_{4,sm}(t - 1) + (L_4(t) - L_4(t - 1)) \quad (t > 1)$$

При первой итерации  $P_{4,prd}(t) = P_4(t)$

## 5. На основании полученных значений можно определить числа VTEC и STEC:

$$STEC = -\frac{f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} (P_{4,sm} - c DCB^i),$$

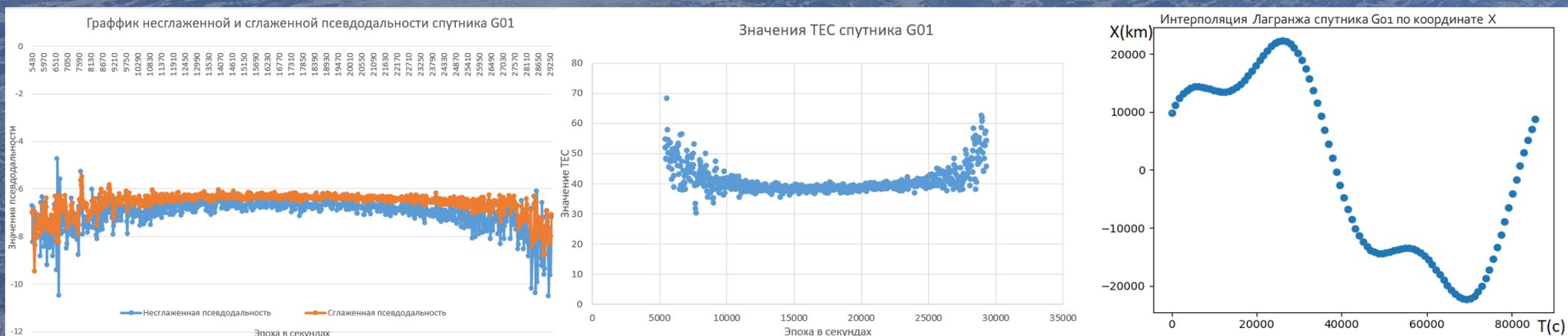
$$VTEC = MF(z) STEC$$

где  $f_1, f_2$  – значение частот двух диапазонов,  $DCB^i$  – означает DCB спутника,  $MF(z)$  – картирующая функция,  $P_{4,sm}$  – сглаженная псевдодальность,  $c$  – скорость света.

Координаты спутников вычисляются интерполяцией Лагранжа по предоставленным координатам, после чего определяют положение точек IPP.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ - ГРАФИКИ

- На графике А представлены значения псевдодальности до сглаживания и после. На графике видно, что сглаженные значения имеют меньший разброс, так как влияния шума в них сведено к минимуму
- На графике Б изображены значения TEC для спутника G01. В центре графика значения более постоянны чем по краям, так как сигнал в таких положениях спутника проходит большее расстояние в ионосфере.
- На графике В отображен график интерполяции прямоугольных геоцентрических координат спутника G01 методом Лагранжа по оси X.



А

Б

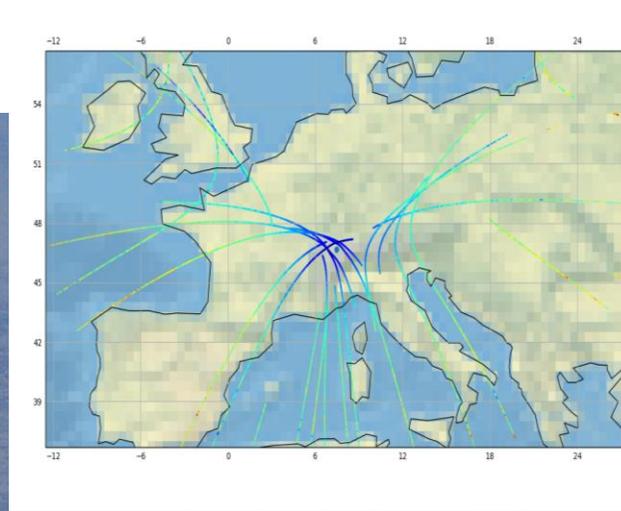
В

# РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ - КАРТОГРАММЫ

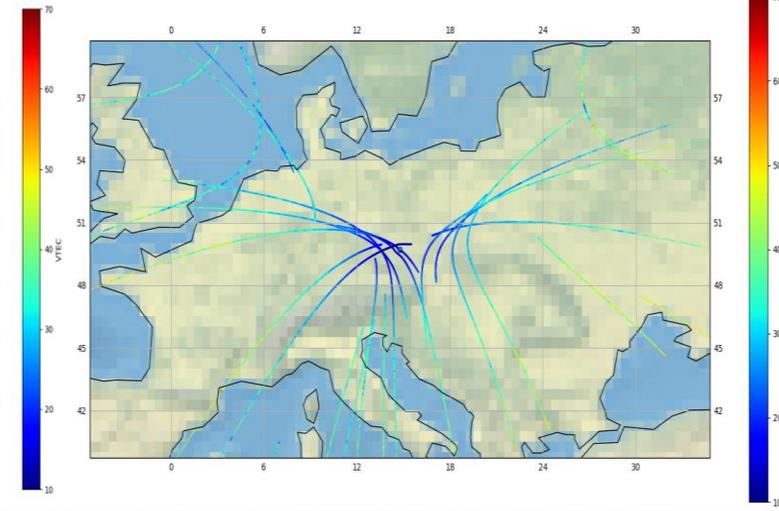
Первыми результатами вычислений являются картограммы с двух пунктов: zimmo (Швейцария) и gor700 (Чехия).

На верхних картограммах отображены положения точек IPP, а на нижних интерполяция значений TEC по этим точкам.

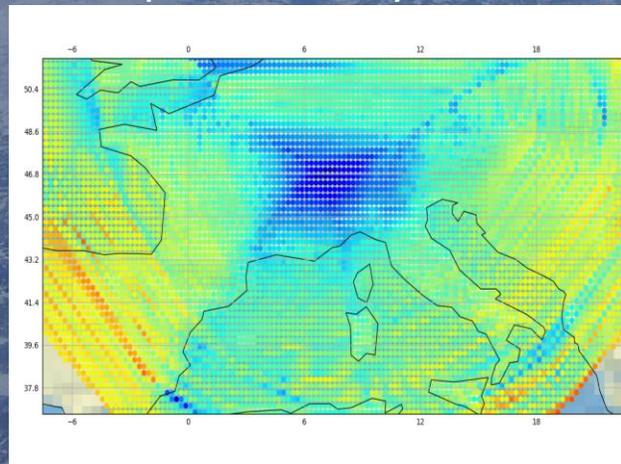
Значения TEC показаны градацией цвета от меньшего (синий) к большему (красный).



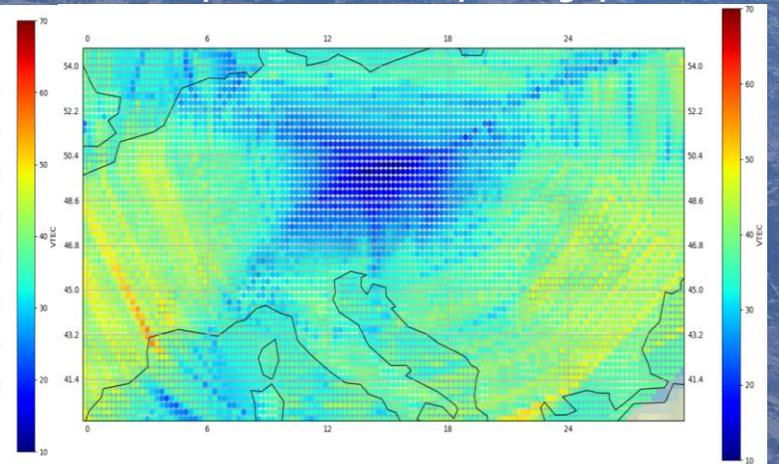
Карта точек IPP пункта zimmo



Карта точек IPP пункта gor700



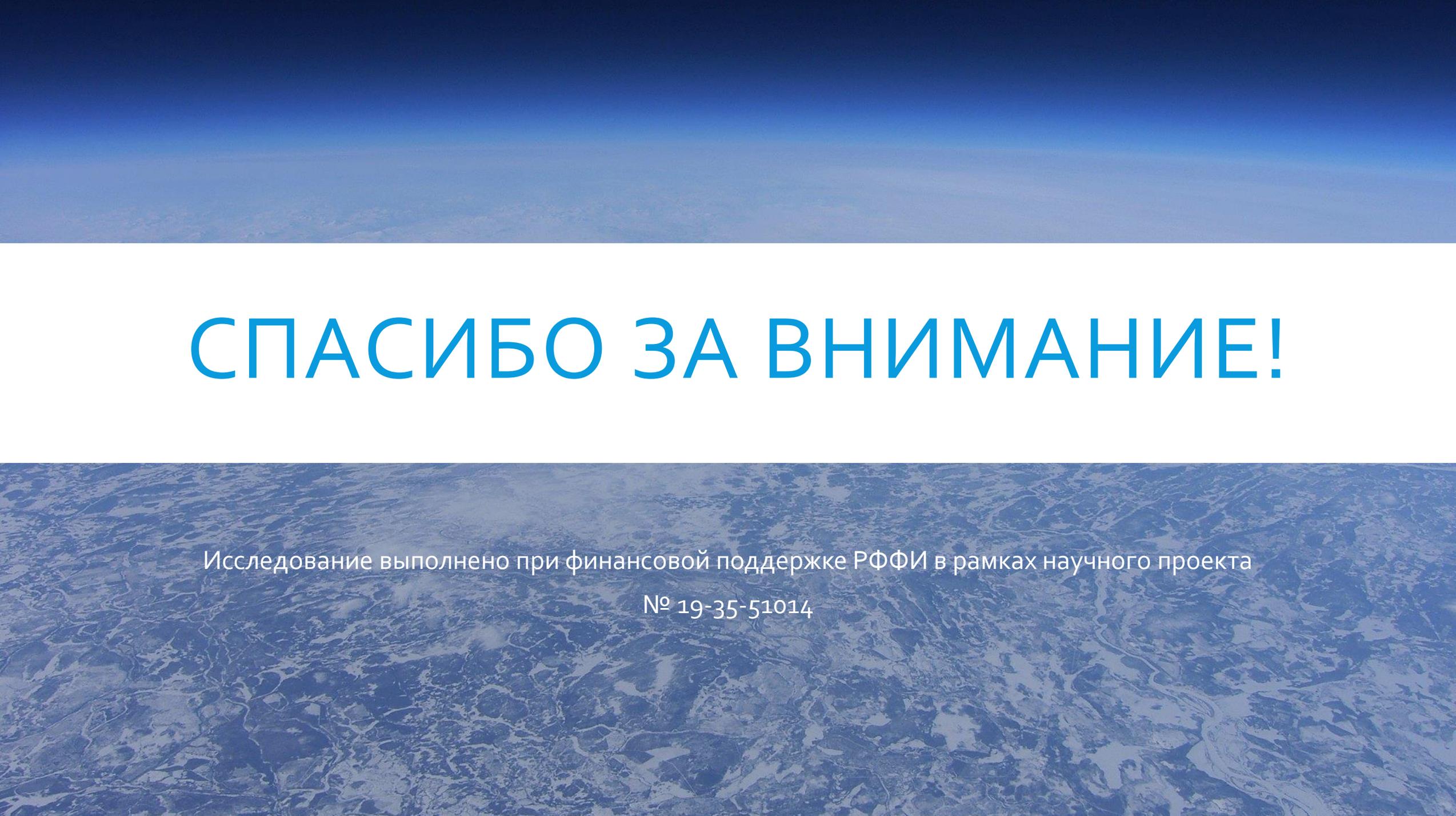
Карта распределений значений TEC пункта zimmo



Карта распределений значений TEC пункта gor700

# ВЫВОДЫ

- В рамках данных исследований был реализован метод определения параметров ионосферы основанный на использовании двух-частотных измерений. Координаты положения спутников и субионосферных точек были определены интерполированием и трансформированием координат.
- На основе результатов были получены карты распределения электронов в ионосфере вблизи пунктов, которые используются для определения ионосферной задержки.
- В продолжение данных исследований планируется выполнить сравнения результатов, полученных с помощью разработанного программного обеспечения, с глобальными моделями ионосферы, представленными в открытом доступе, в разных регионах.

The background of the slide is an aerial photograph of a river delta, showing a complex network of channels and distributaries. A blue gradient is applied over the image, transitioning from a darker blue at the top to a lighter blue at the bottom. The text is centered on a white horizontal band that spans the width of the slide.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта

№ 19-35-51014