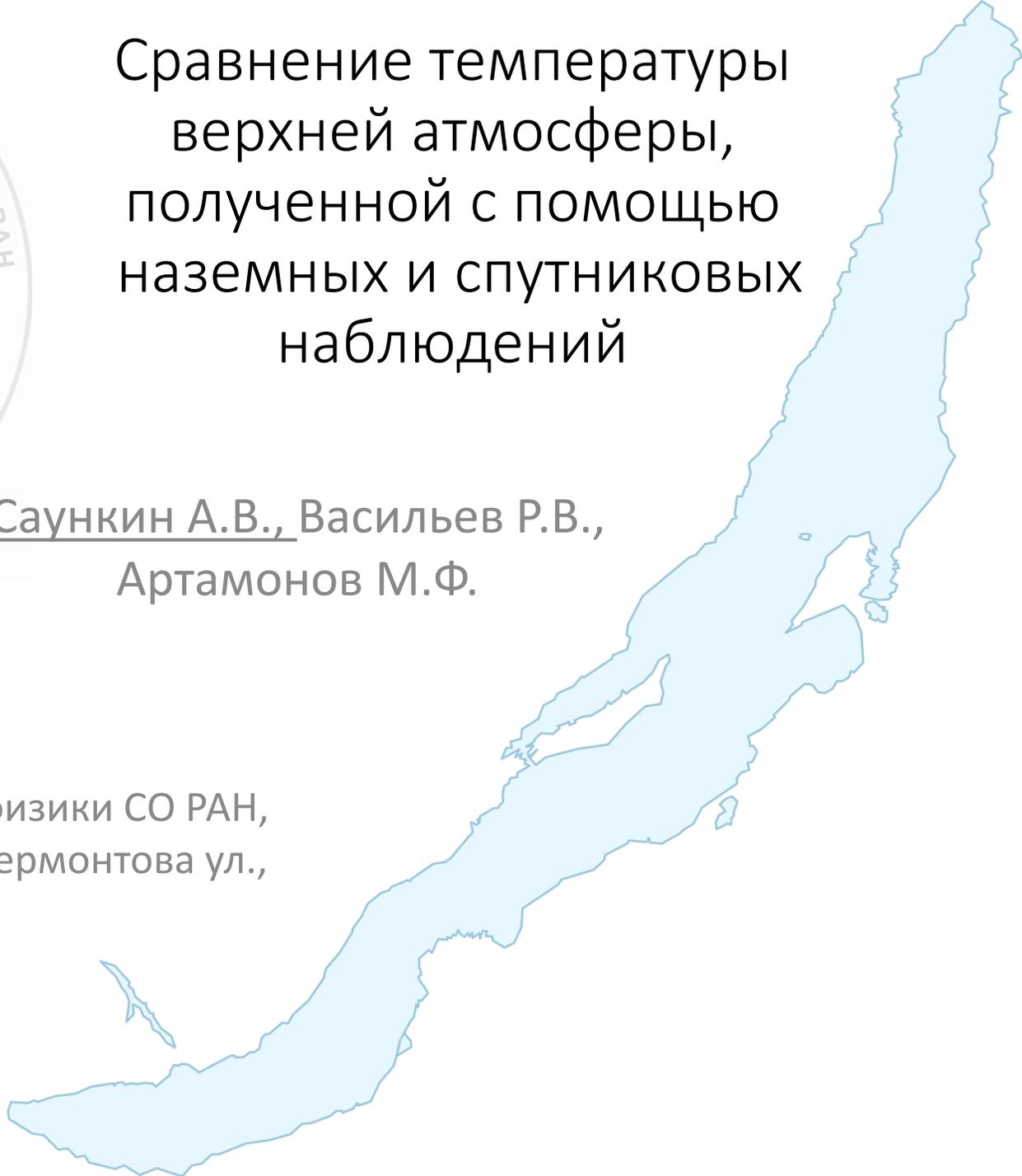




# Сравнение температуры верхней атмосферы, полученной с помощью наземных и спутниковых наблюдений

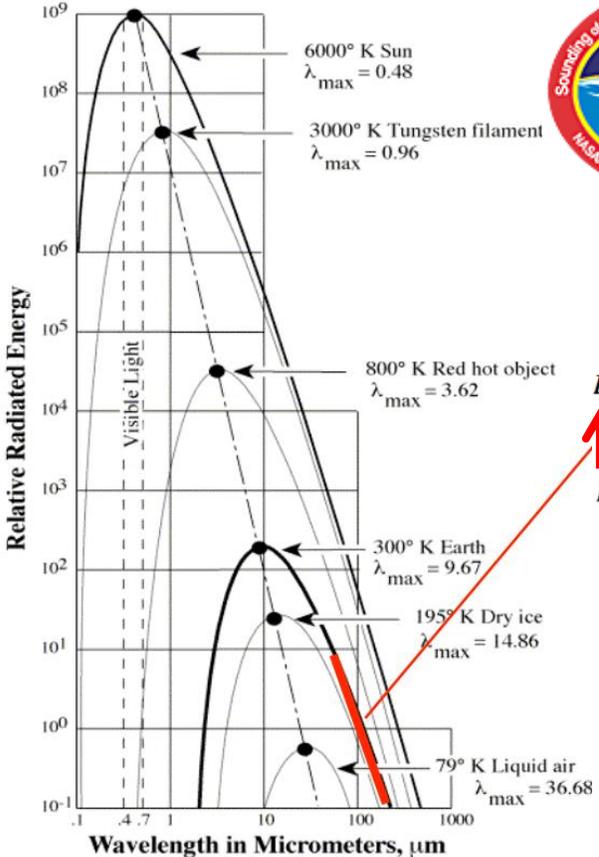
Саункин А.В., Васильев Р.В.,  
Артамонов М.Ф.

Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Россия, 664033, г. Иркутск, Лермонтова ул.,  
126а



Наземные и спутниковые наблюдения температуры верхней атмосферы дополняют друг друга. Первые предоставляют относительно высокое временное разрешение, и вторые - глобальную картину температурного поля. Сравнение спутниковых и наземных данных полезно оценки качества полученной информации, особенно для приборов которые только начинают свою работу. Принцип измерения радиометром заключается в измерении собственного излучения (абсолютно черного тела) в микроволновом диапазоне зная энергию излучения можно получить температуру, а наземный инструмент ориентирован на регистрацию свечения частиц в атмосфере в видимом диапазоне 557,7 нм.

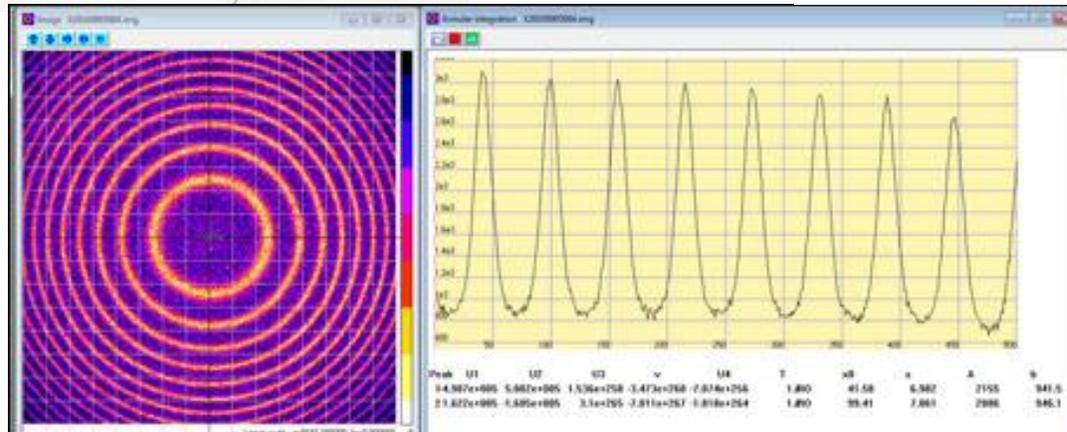
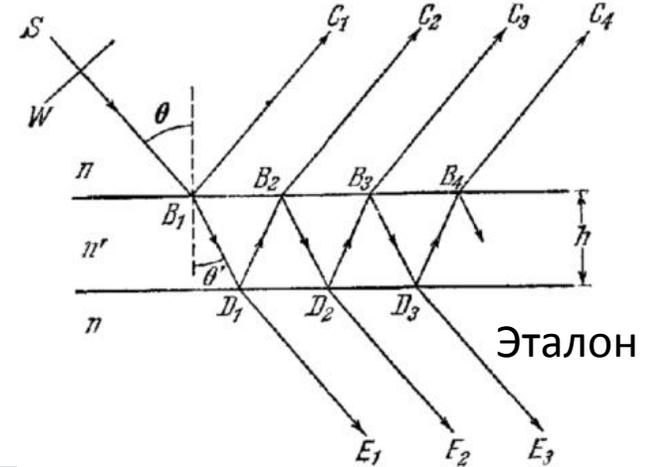
### Спутниковый инструмент (радиометр)



$$L_{\lambda} = \frac{2kcT}{\lambda^4}$$

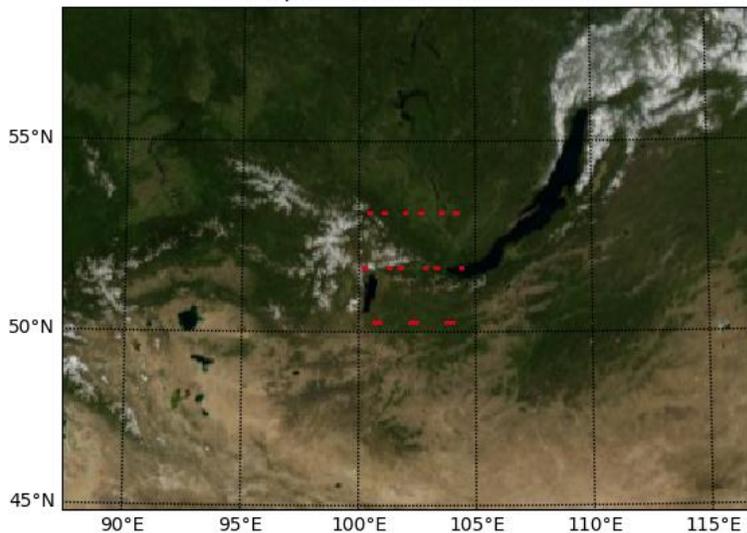
$$L_{\lambda}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \left[ \exp \frac{hc}{\lambda kT} - 1 \right]^{-1}$$

### Наземный инструмент (Фабри-Перо)



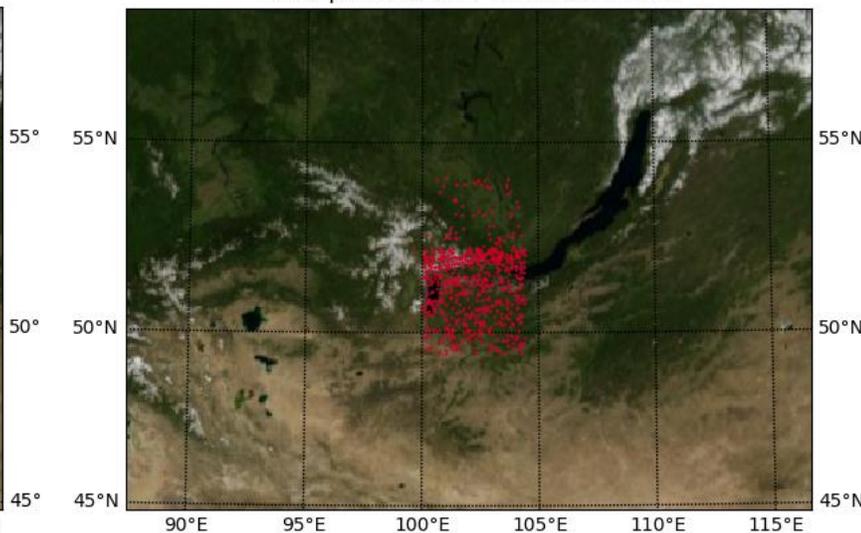
Рассмотрены спутниковые данные двух инструментов MLS Aura, SABER TIMED ведущие лимбовые наблюдение атмосферы и для выявления более информативных по времени и пространству данных была выполнена визуализация и сравнение. При сравнении температур верхней атмосферы обнаружилось что данные SABER TIMED являются наиболее подходящими как по пространственной составляющей, так и по времени проведения замеров (преимущественно в вечернее время) для дальнейшего сравнения спутниковых данных с наземным инструментом – интерферометром Фабри Перо.

Tunka points MLS AURA 2017-2018



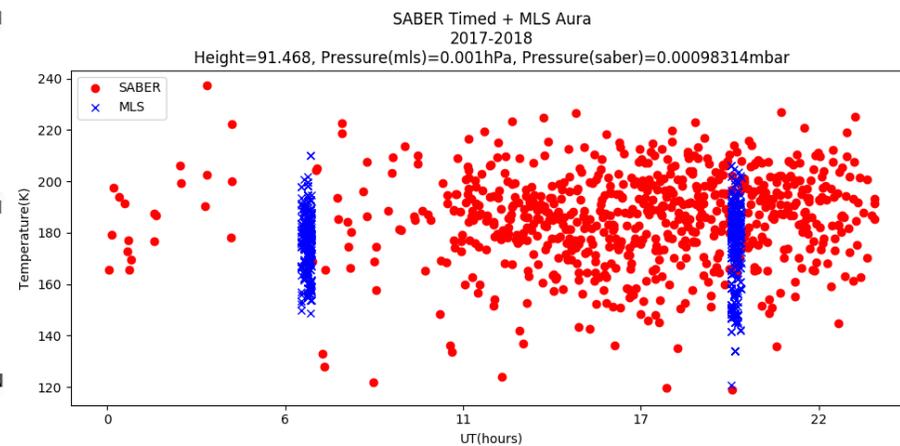
а

Tunka points SABER TIMED 2017-2018



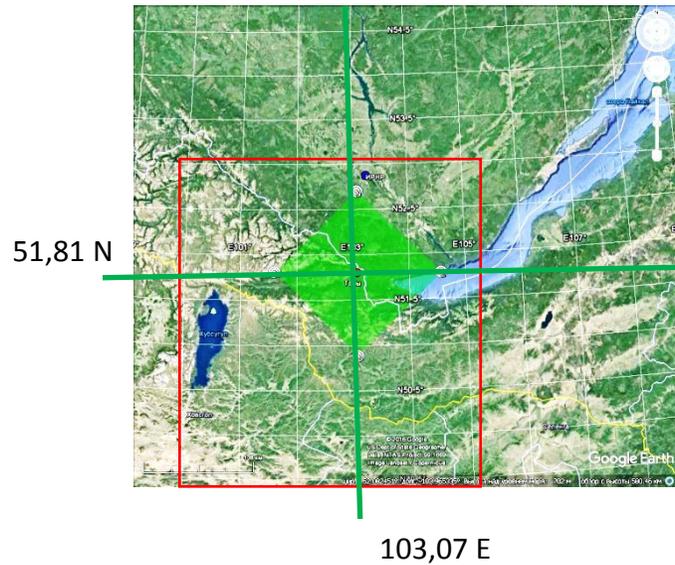
б

Накопленные точки замеров в определенной области с разных спутниковых инструментов: а) MLS Aura, б) SABER TIMED

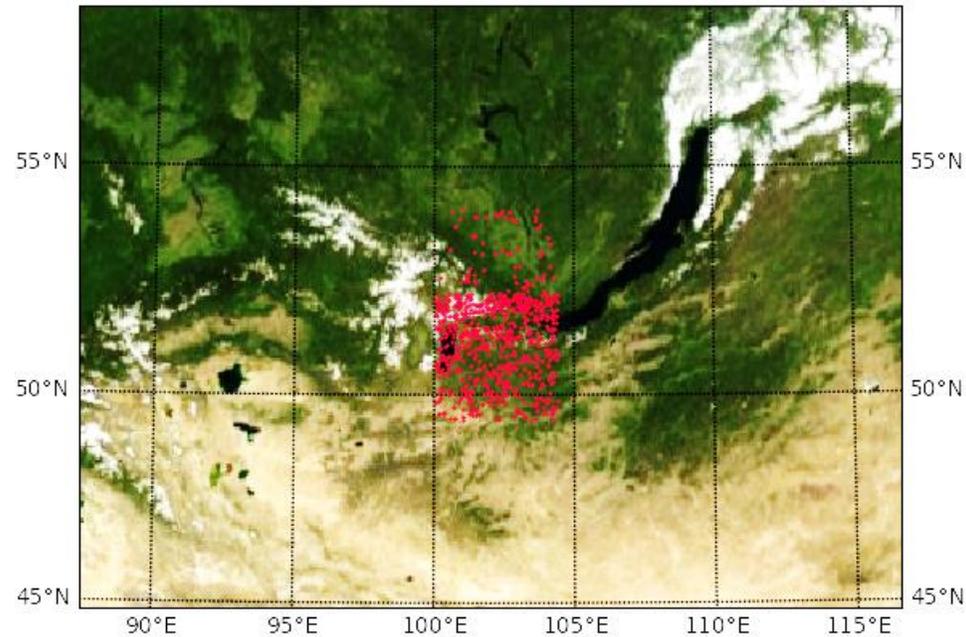


Суточные накопления температурных измерений за два года MLS Aura (синий) и SABER TIMED (красный)

## Фабри-Перо, область сканирования (зеленый)



Tunka points SABER TIMED 2017-2018



Для сравнения спутниковых и наземных данных мы выбираем Saber пролеты которого находятся вблизи позиции ИФП, в квадрате 200x200 км.

Для сравнения необходимо определить высоту на которой ведет измерение ИФП, и коэффициенты линейной связи температуры по зеленой линии с температурой по спутнику (нет калибровочного источника ИФП для 557,7). Для этого будет использоваться метод наименьших квадратов.

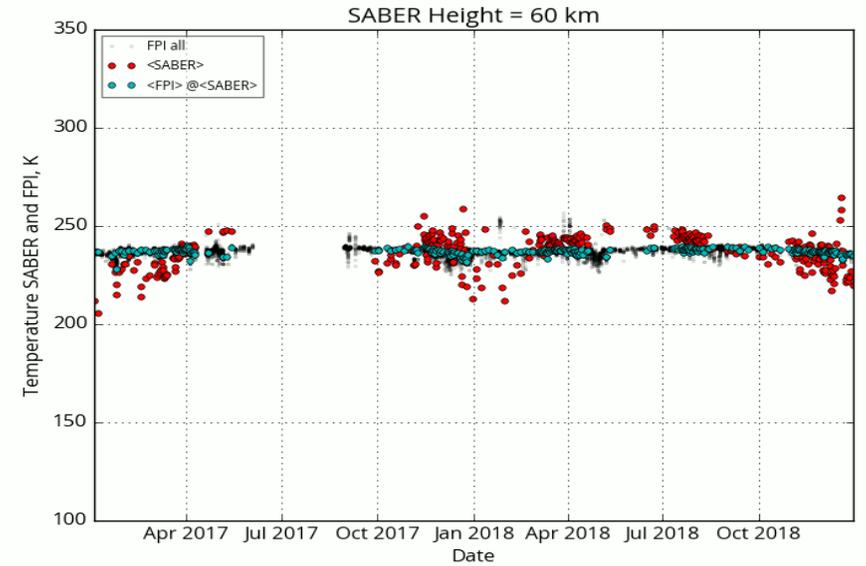
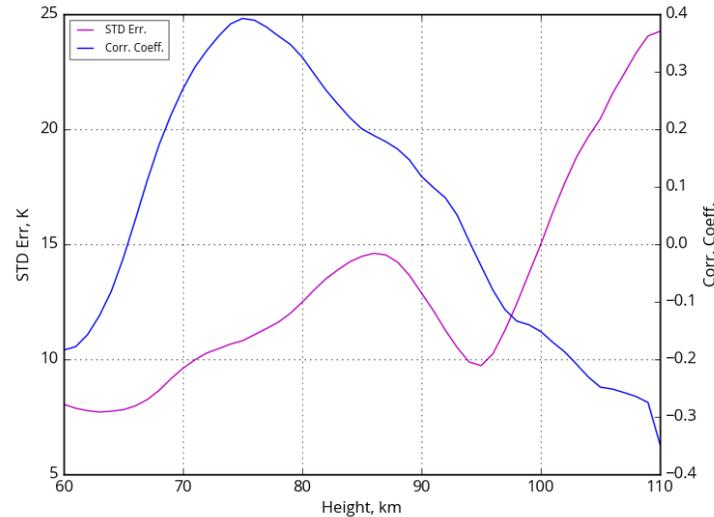
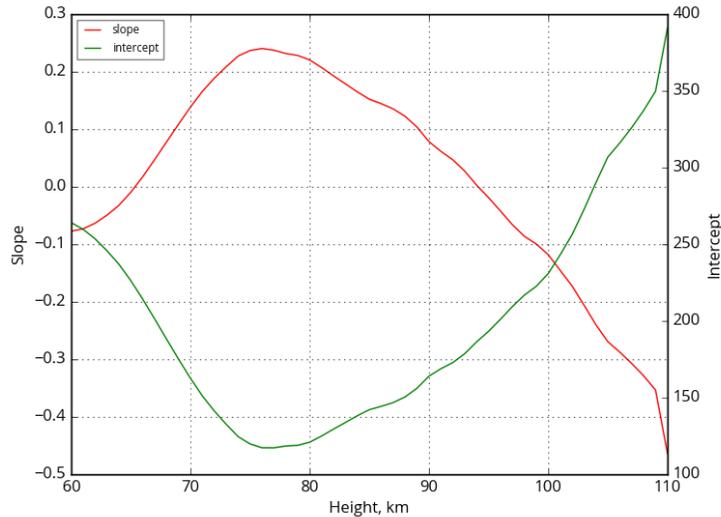
$$s(h, a, b) = \sum (T_{SABER}(h) - aT_{FPI} + b)^2$$

Данные ИФП усредняются по времени  $\pm 1$ ч вблизи SABER полета и SABER данные усредняются  $\pm 5$  км от необходимой высоты.

При сравнении данных температуры инструмента SABER TIMED и ИФП обнаружались некоторые расхождения в результатах. При сравнении сезонного хода появилось предположение о присутствии систематической ошибки в результатах полученных ИФП.

Для устранения систематической ошибки было предположено что данные приборов связаны линейной зависимостью вида  $T_i^h = aT_i + b$ . Масштабный фактор и смещение для этой зависимости определялись из эмпирических сведений при помощи МНК для разных высотных уровней полученных спутниковым инструментом.

$$\begin{cases} \frac{dS}{da} = 0 \\ \frac{dS}{db} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{\sum_{i=1}^n T_i T_i^h - nb \sum_{i=1}^n T_i}{n \sum_{i=1}^n T_i^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^h - na \sum_{i=1}^n T_i}{n} \end{cases}$$



сезонное поведение температур на разных высотах: красные – температуры полученные SABER TIMED, серые – температуры полученные ИФП, голубые – температуры полученные Фабри Перо SABER TIMED одновременно

*Slope(-)* –  $a$ , *intercept(-)* –  $b$ , *STD Err(-)* –  $s(h)$ , *Corr. Coeff.(-)* – корреляционный коэффициент

Для этого подхода функция ошибки имеет один локальный минимум на высоте  $\sim (92 - 95)$  км масштабный фактор  $a \approx 0.05$  и смещение  $b \approx 160$ К для этой высоты, но при этом данные не очень хорошо совпадают, а сезонный ход температур слабо выражен.

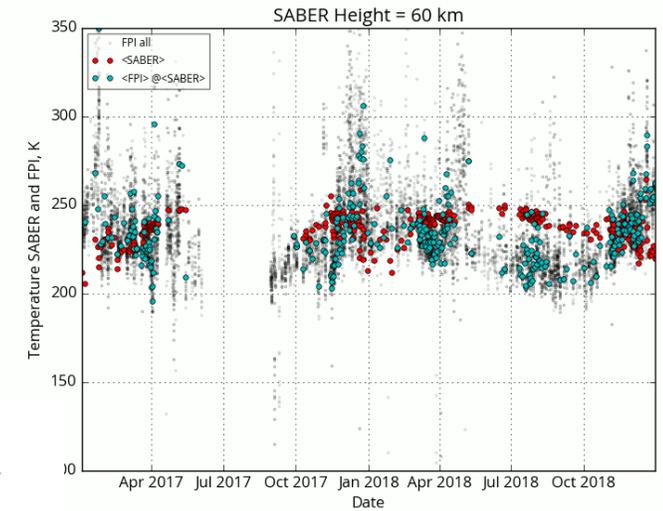
В другом подходе, при редукции коэффициентов по отдельности, полученные данные больше соответствуют друг другу, и наблюдается совпадающий сезонный ход температур. В результате решения задачи из второго подхода были получены значения масштабного фактора  $a \approx 0.99$  и смещения  $b \approx -160\text{K}$  с минимумом функции ошибки на высоте 92км которые в дальнейшем можно использовать для корректировки полученных наземным инструментом Фабри Перо сведений о температуре верхней атмосферы.

$$f(b) \Rightarrow a = 0, S(b, h) = \sum_{i=1}^n (b - T_i^h)^2$$

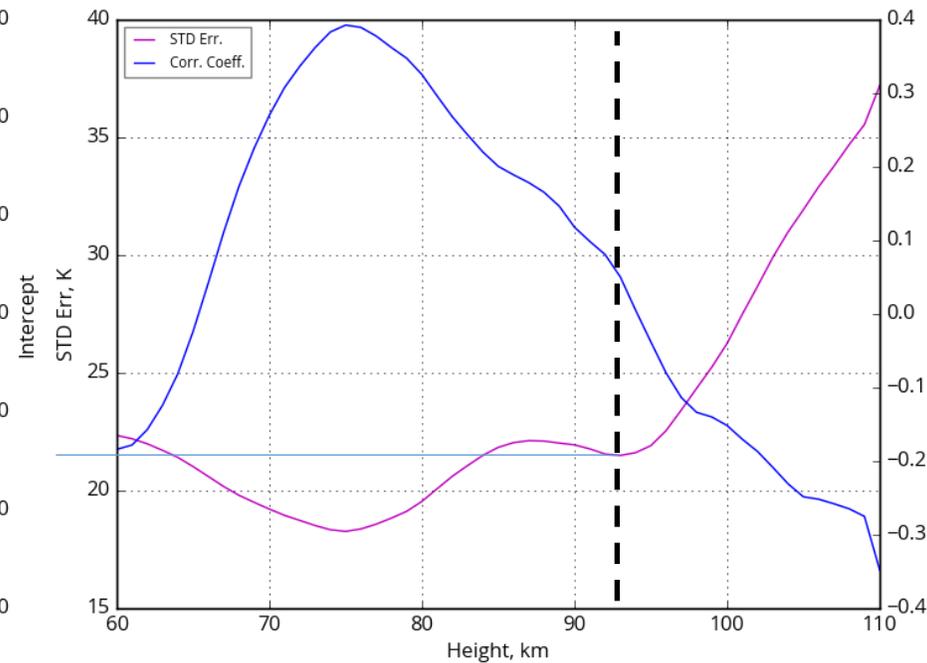
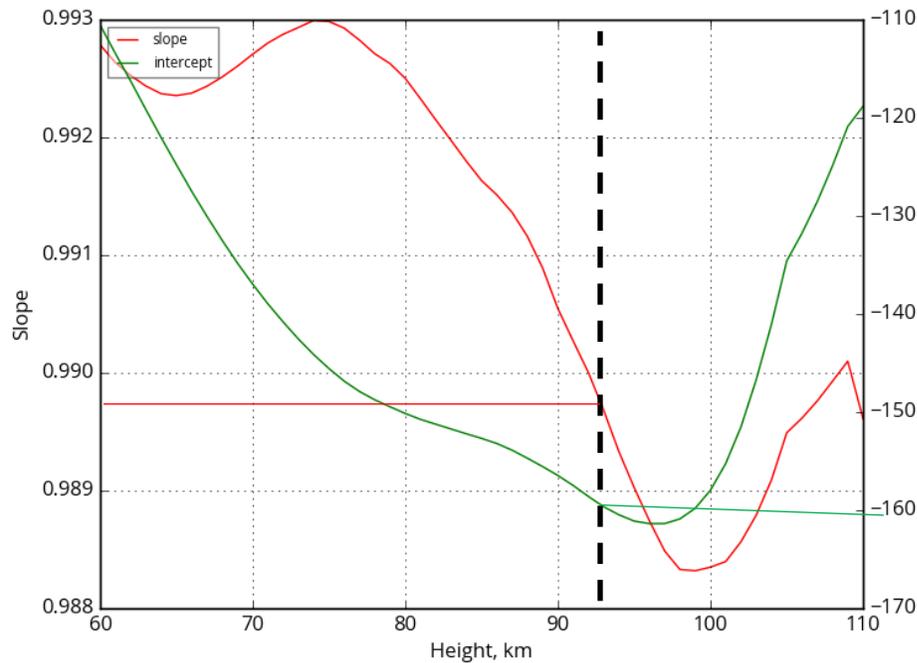
$$\frac{dS}{db} = 0 \Rightarrow b = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^h}{n}$$

$$f(a) \Rightarrow b = 0, S(a, h) = \sum_{i=1}^n (aT_i - T_i^h)^2$$

$$\frac{dS}{da} = 0 \Rightarrow a = \frac{\sum_{i=1}^n T_i T_i^h}{n \sum_{i=1}^n T_i^2}$$

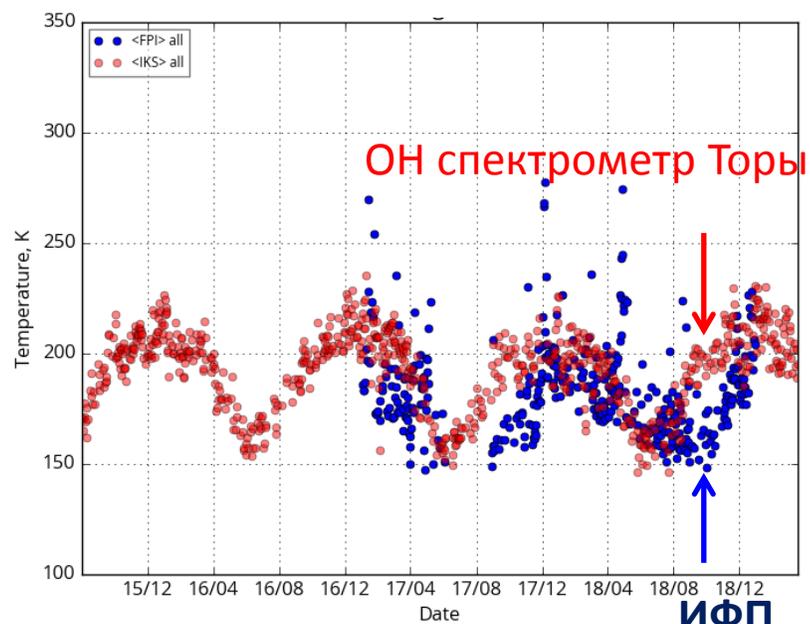


сезонное поведение температур на разных высотах: красные – температуры полученные SABER TIMED, серые – температуры полученные ИФП, голубые – температуры полученные Фабри Перо SABER TIMED одновременно





Tory (51.8N, 103.1E),  $\lambda 834.0$  nm (OH 6-2 band)  
Neryungri (56.7N, 124.6E),  $\lambda 1500$  nm (OH 3-1 band)

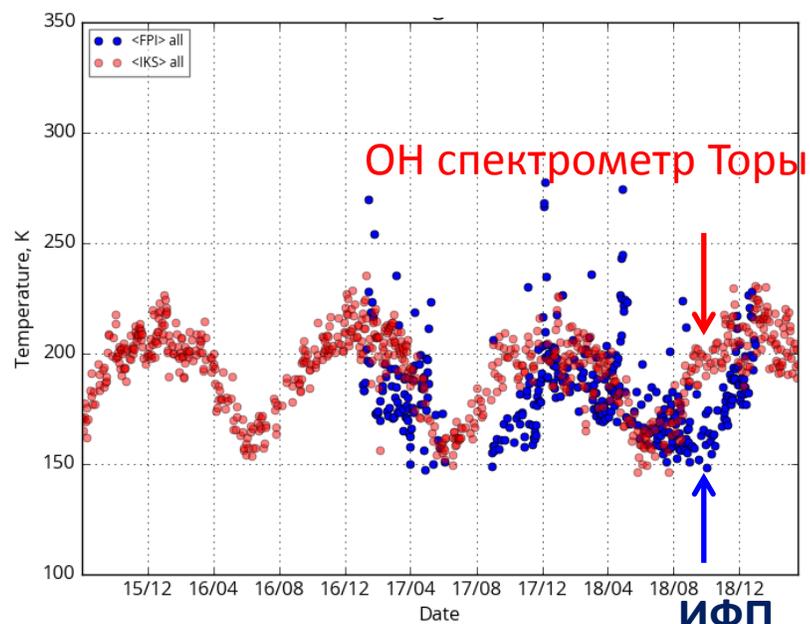


$\lambda 557.7$ nm O (1S-1D)





Tory (51.8N, 103.1E),  $\lambda 834.0$  nm (OH 6-2 band)  
Neryungri (56.7N, 124.6E),  $\lambda 1500$  nm (OH 3-1 band)



$\lambda 557.7$ nm O (1S-1D)



Сравнение температур полученных спутниковым и наземным методами показало состоятельность предлагаемого метода – высота минимума функции ошибки 92км, что соответствует современным представлениям о расположении слоя свечения 557.7нм. В ходе решения задачи по минимизации по МНК было использовано два подхода. В первом, (стандартном) подходе данные не очень хорошо совпадают, а сезонный ход температур слабо выражен. Во втором, при анализе коэффициентов по отдельности, полученные данные больше соответствуют друг другу, и наблюдается совпадающий сезонный ход температур. В результате были получены коэффициенты корректировки температуры ИФП: масштабный фактор  $a = 0.99$  и смещения  $b = -160\text{К}$  которые в дальнейшем можно использовать для корректировки полученных наземным инструментом Фабри Перо сведений о температуре верхней атмосферы на высоте около 100 км, но точность получаемых температур по этому методу составляет 20К. Полученные коэффициенты позволили провести сравнение с другими наземными средствами которое показала что в целом температура определяемая ИФП верна, но необходимы дополнительные исследования.

## **Благодарности**

В работе использовались данные оптического комплекса, входящего в состав ЦКП «Ангара». Получение и обработка данных ИФП выполнено в рамках проекта II.16.1.2 Программы ФНИ государственных академий на 2013-2020 годы, получение и обработка спутниковых данных, а также их сопоставление с данными наземных инструментов выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00042).

**Спасибо за внимание!**