

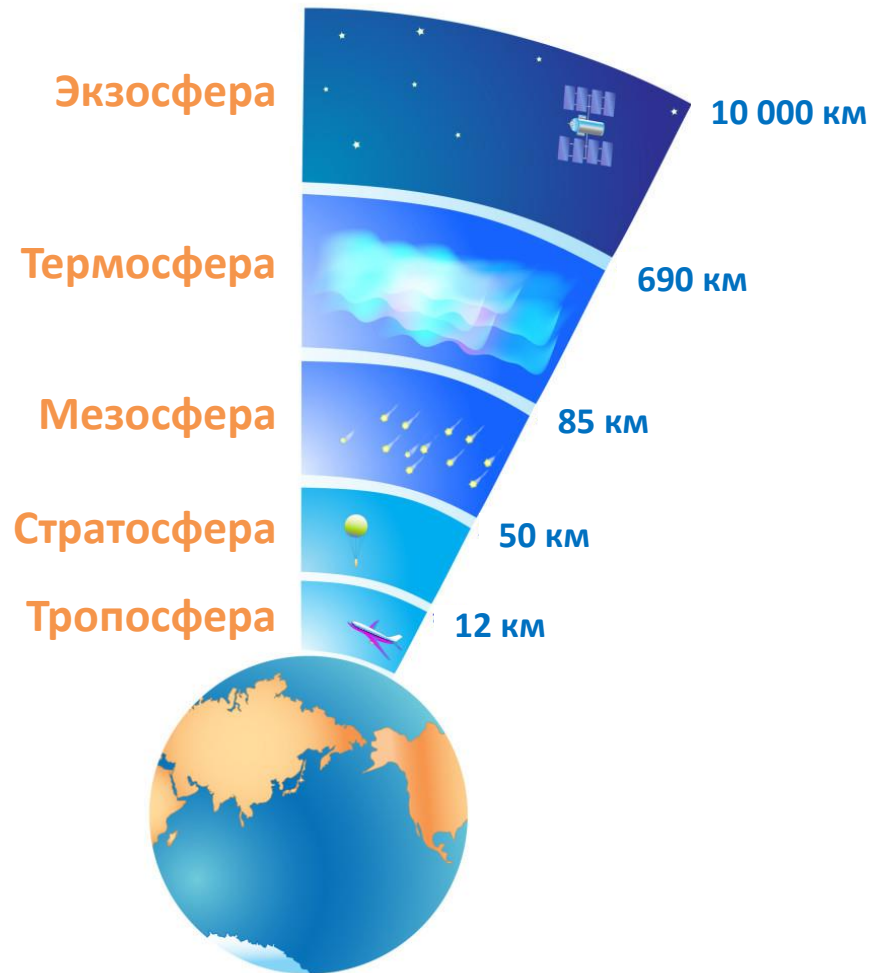
# Анализ двух событий мезосферного бора по данным камеры всего неба и спутниковым наблюдениям

**Тыщук Олеся Владимировна**

младший научный сотрудник  
лаборатории оптики атмосферы  
Института космических исследований и  
аэронавтики им. Ю.Г. Шафера  
соавторы: Колтовской И.И., Николашкин С.В.



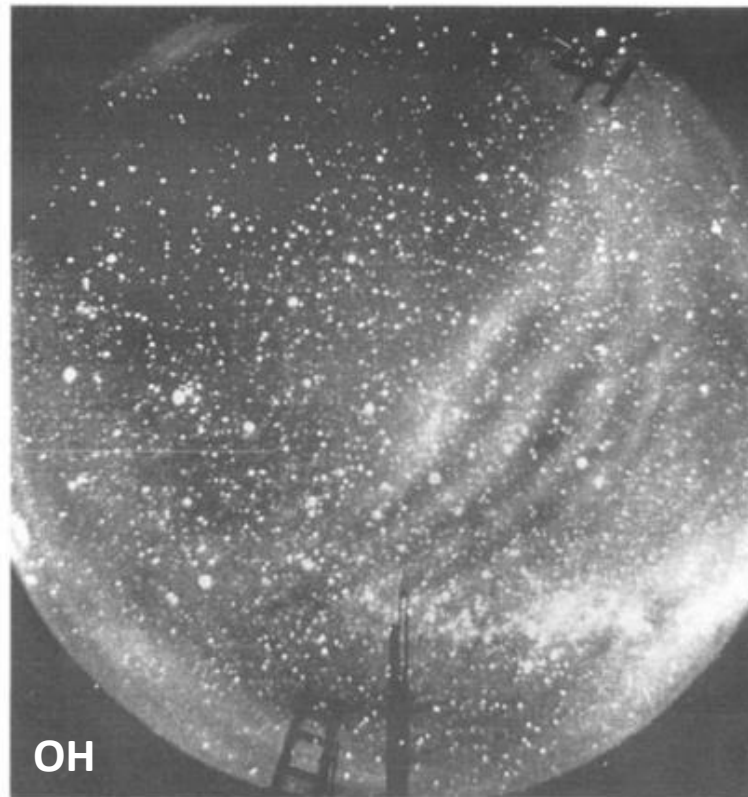
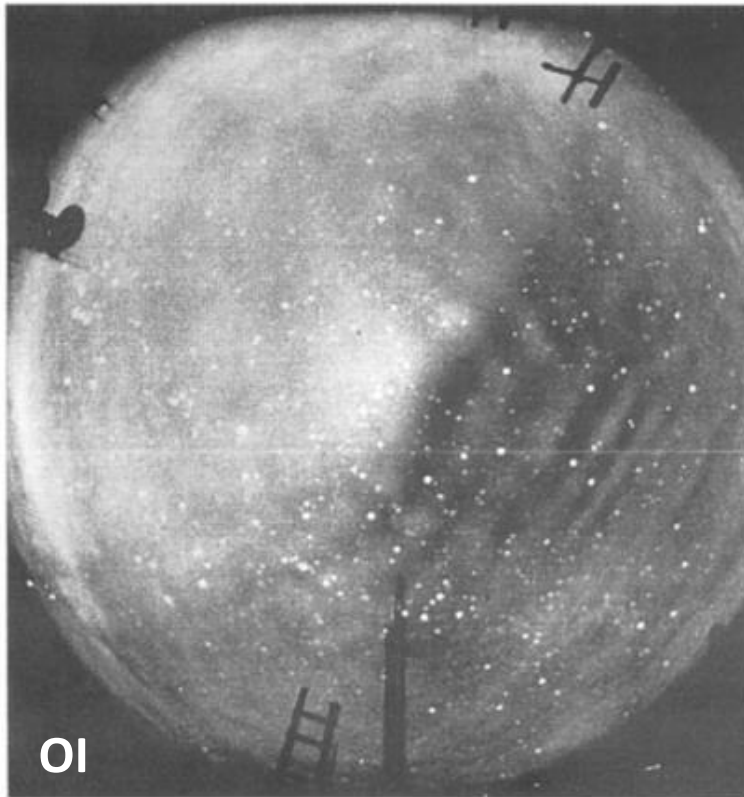
**Мезосферный бор** – это яркий фронт одиночной волны, за которым чаще всего последовательно распространяются внутренние гравитационные волны (ВГВ). Название этого явления произошло от старонорвежского «baga», что переводится как «волна, зыбь».



Понимание механизмов движения воздушных масс очень важно и остается актуальной задачей в эпоху глобального изменения климата. Мезосферный бор, представляющий собой усиление атмосферных гравитационных волн, может влиять на потоки импульса и энергии, и тем самым воздействовать на состав и тепловой режим на всех уровнях атмосферы.

**Целью работы** является изучение особенности распространения и механизма формирования мезосферного бора по данным наземных съемок камер всего неба и спутниковым данным над территорией Якутии.

Впервые о боре в свечении ночного неба упоминали Тэйлор и др. в 1995 г. и описали его как «захватывающее гравитационно-волновое событие». Это явление представляет собой явный фронт волны, который отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли.

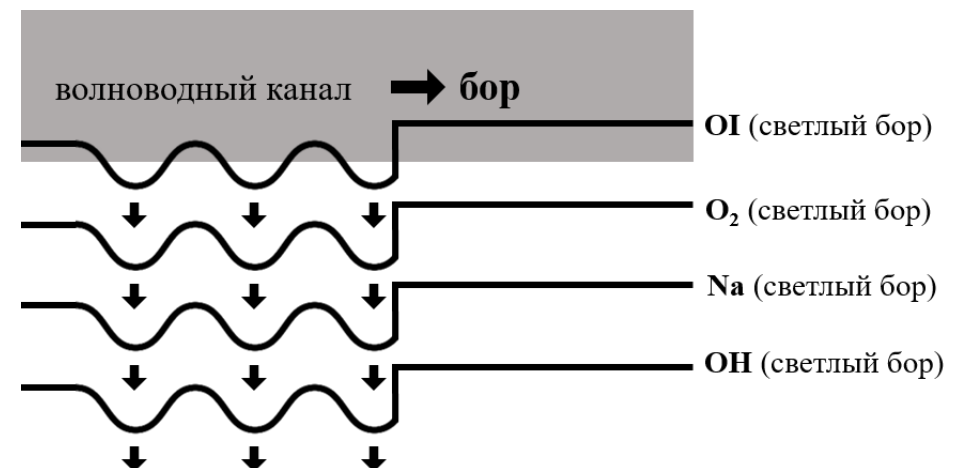
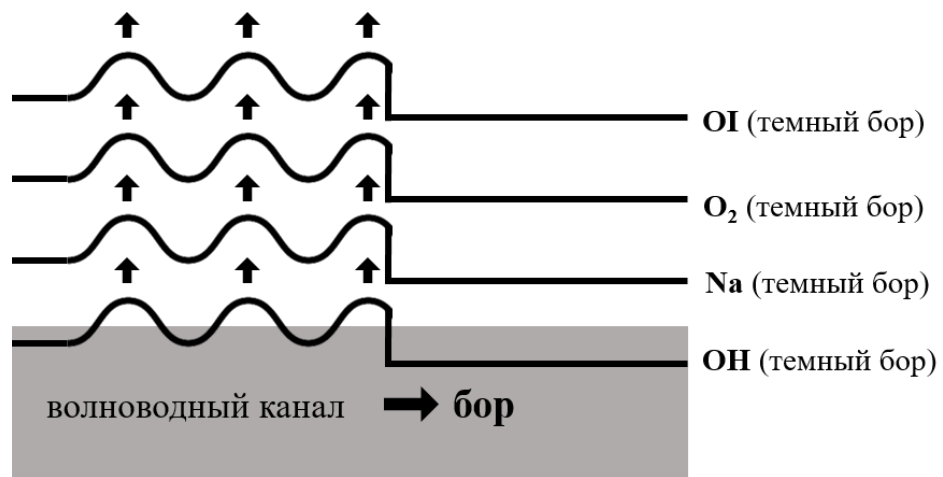
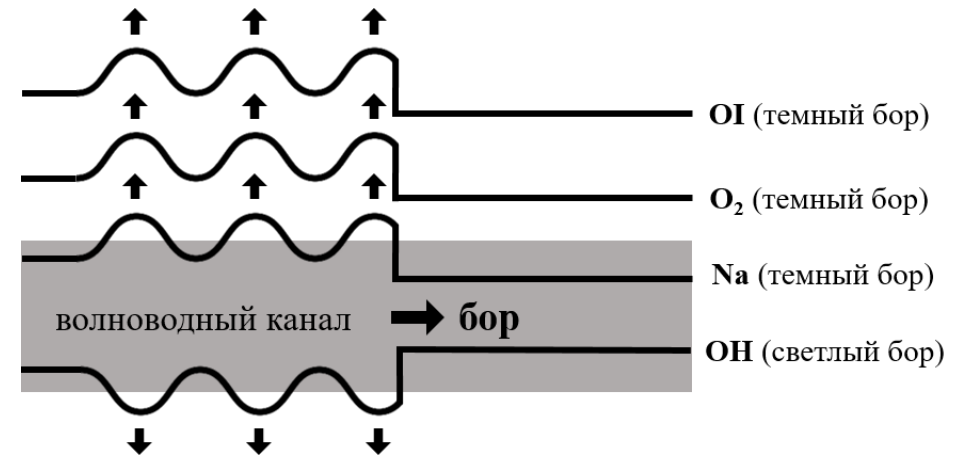
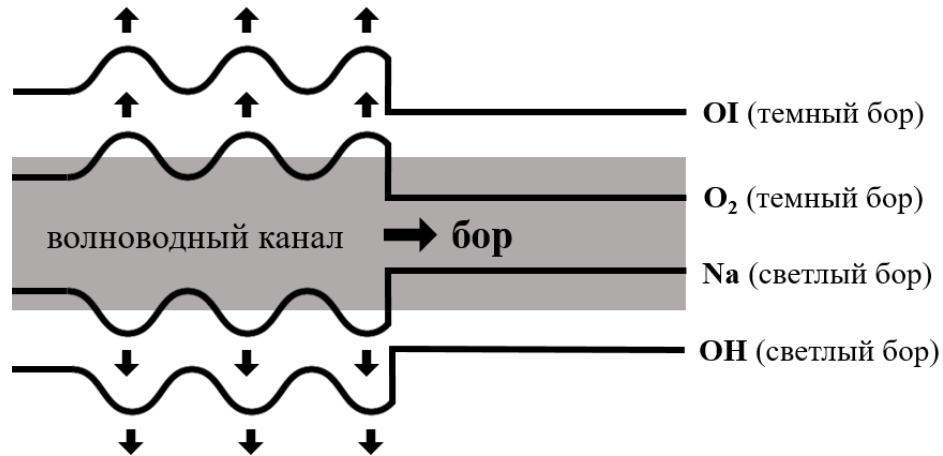


Бор наблюдался в четырех слоях свечения атмосферы:

- ОН на высоте ~87 км;
- На на высоте ~90 км (резонансный дублет);
- O<sub>2</sub> на высоте ~94 км (атмосферные полосы);
- ОI на высоте ~96 км (зеленая линия).

Изображения всего неба сделанные 10 октября 1993 г. над кратером вулкана Халеакала (США) во время кампании Airborne Lidar and Observations of Hawaiian Airglow (ALOHA-93) в эмиссии свечения гидроксила ОН (справа) и атомарного кислорода ОI (слева)

# Структура MIL (mesospheric inversion layers) – мезосферные инверсионные слои





# Оптическое оборудование

Регистрация волновых процессов в свечении ночного неба осуществлялась с помощью цифровых камер всего неба, размещенных на полигоне **Маймага (63.04°сш, 129.51°вд)**, удаленном к северу от г. Якутск на расстоянии около 140 км.



## 1) Камера всего неба «ST-6»

Пространственное разрешение  
241x250.

Область спектра  
660-1000 нм, где  
высвечивается  
гидроксил ОН на  
высоте ~87 км.

Интервал съемки  
между кадрами  
равен 3 минутам.



## 2) Камера всего неба «ST-9»

Пространственное разрешение  
512x512.

Область спектра  
660-1000 нм, где  
высвечивается  
гидроксил ОН на  
высоте ~87 км.

Интервал съемки  
между кадрами  
равен 1 минуте.



## 3) Камера всего неба «Keo Sentry»

Пространственное разрешение  
1024x1024.

Использовался  
фильтр,  
центрированный  
на длину волны  
557,7 нм [OI].

Интервал съемки  
между кадрами  
равен 10 секундам.

# Данные дистанционного зондирования Земли

Измерения MLS (Microwave Limb Sounder) на борту спутника NASA EOS Aura для получения вертикального профиля температуры верхней атмосферы. Температура Aura MLS извлекается из полос вблизи спектральных линий O<sub>2</sub>.

Пространственный охват – от 82°сш до 82°юш. Вертикальное разрешение – от 3 до 6 км.

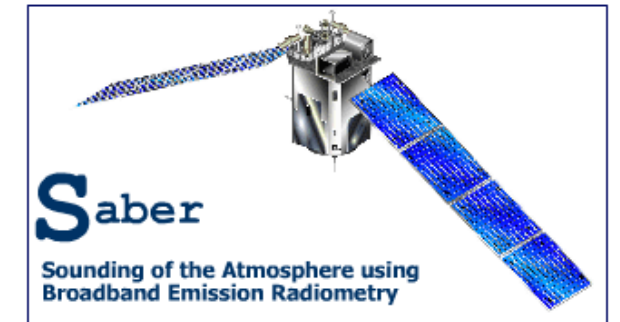
Данные загружены с <https://mls.jpl.nasa.gov/eos-aura-mls/index.php> версии v.5.



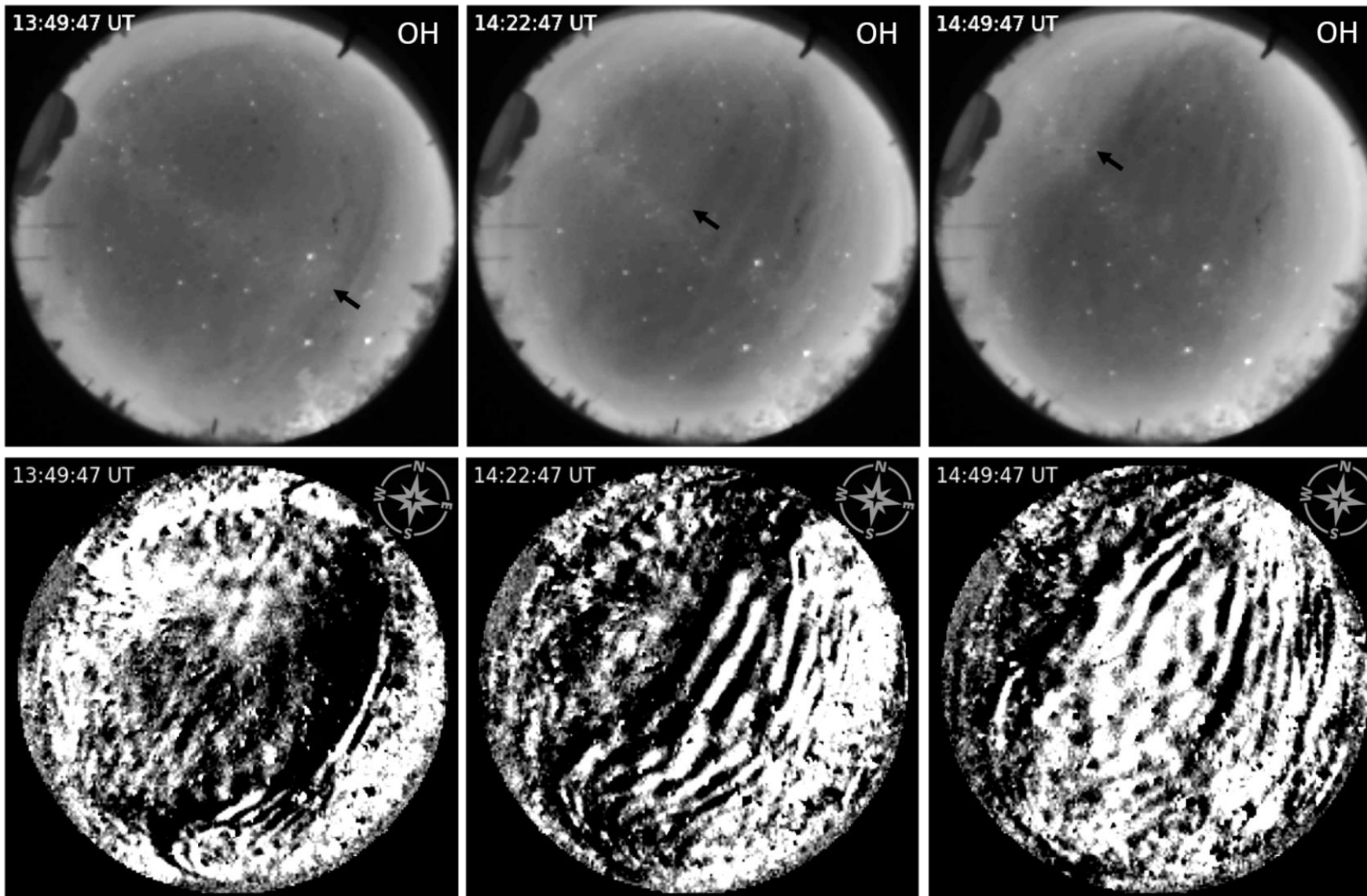
Инструмент SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry) является одним из четырех инструментов на спутнике NASA TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics Dynamics) для получения вертикального профиля температуры в области MLT (мезосфера и нижняя термосфера). Температура SABER TIMED извлекается из измерения каналов CO<sub>2</sub>.

Пространственный охват – чередуются между видом на север (от 83°сш до 52 °юш) и видом на юг (охват широты от 52 °юш до 83 °сш). Вертикальное разрешение – 0,4 км.

Данные загружены с <https://saber.gats-inc.com/> версии v2.0 уровня 2A.



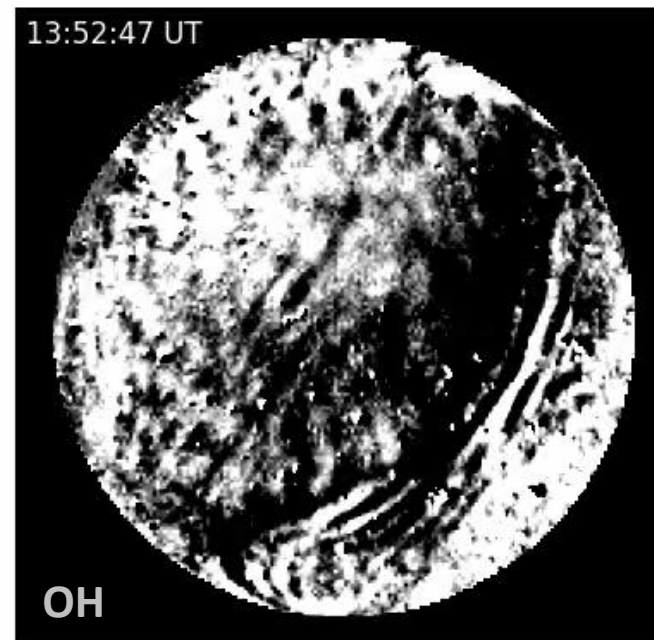
# Первое событие мезосферного бора зарегистрировано камерами всего неба 19 ноября 2017 г.





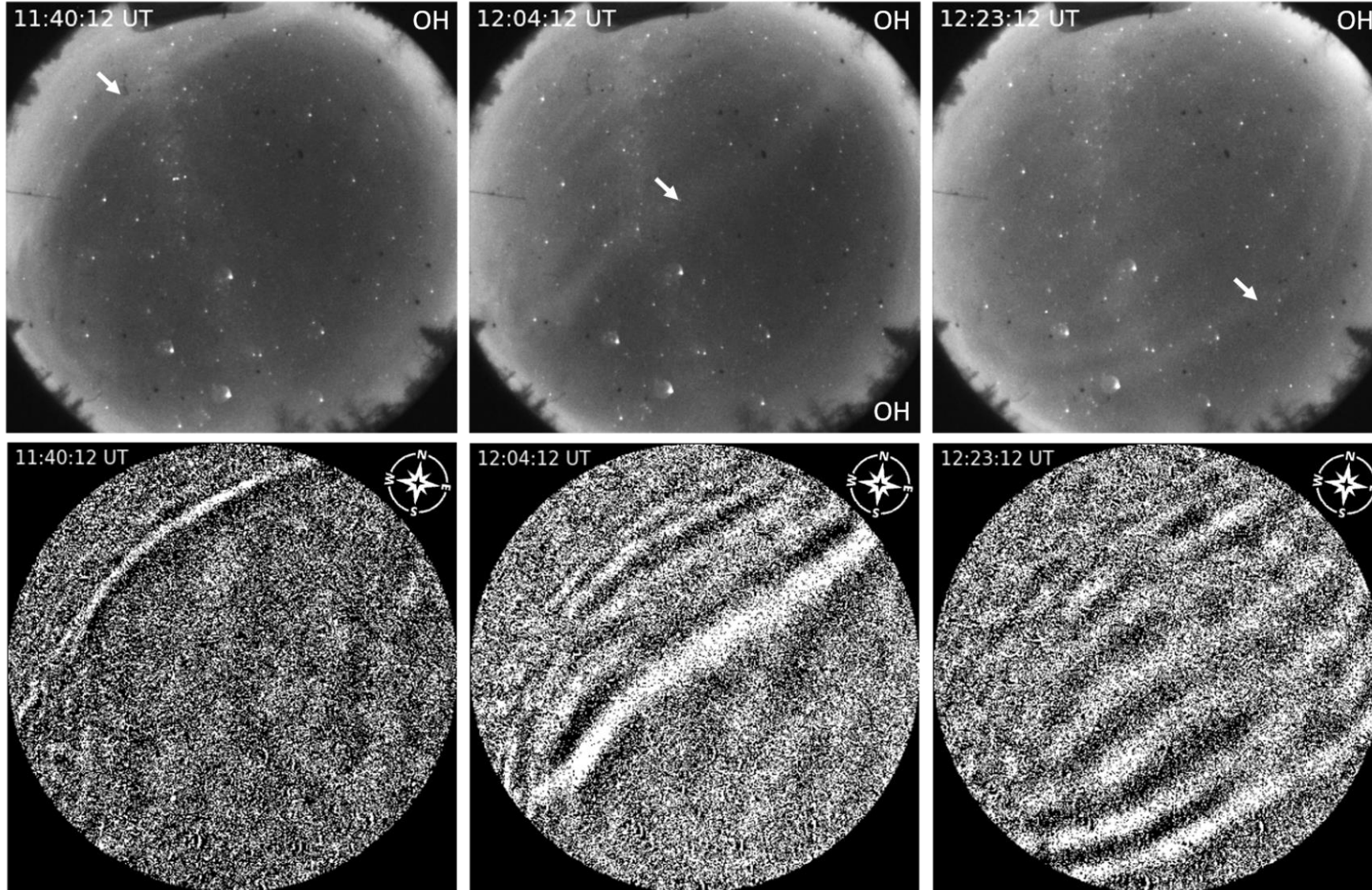
# Темный мезосферный бор 19 ноября 2017 г.

- Мезосферный бор распространялся по азимуту  $\sim 295^\circ$  (северо-запад).
- Горизонтальная фазовая скорость мезосферного бора  $\sim 34$  м/с.
- Последовательно распространяющиеся за мезосферным бором волны наблюдались до 16:10 UT. Их длина волны равна  $\sim 15$  км.
- Случай явления темного бора предполагает, что его канал расположен ниже слоя ОН, соответственно высота распространения мезосферного бора меньше 87 км.



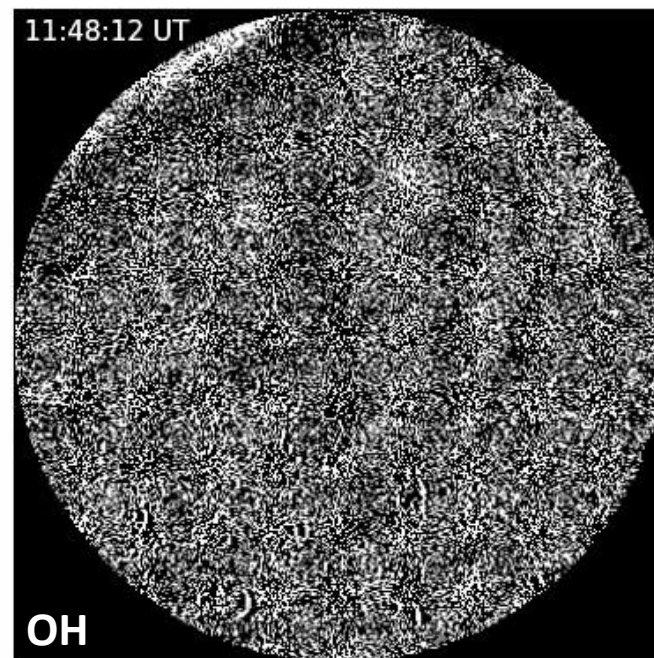
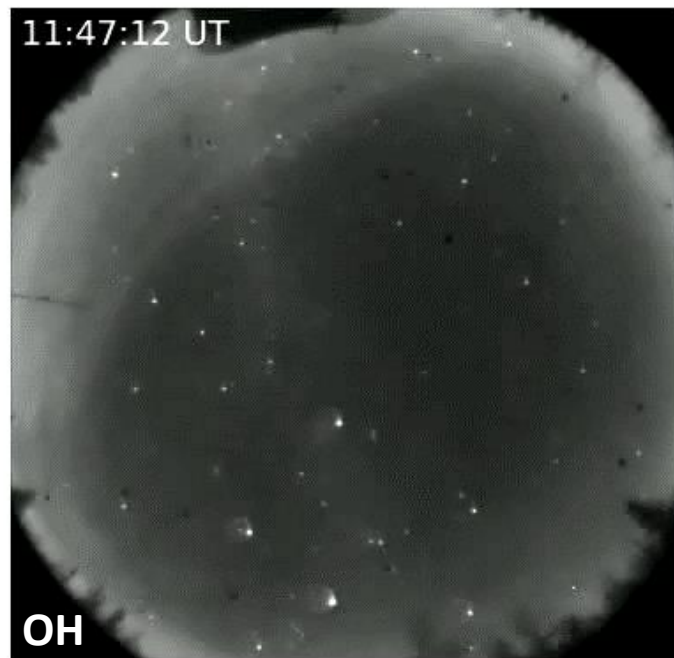


# Второе событие мезосферного бора зарегистрировано камерой всего неба 30 января 2022 г.



# Светлый мезосферный бор 30 января 2022 г.

- Мезосферный бор распространялся по азимуту  $\sim 135^\circ$  (юго-восток).
- Горизонтальная фазовая скорость мезосферного бора  $\sim 66$  м/с.
- Последовательно распространяющиеся за мезосферным бором волны наблюдались до 12:53 UT. Длина последовательных ВГВ составляет  $\sim 24$  км.
- Светлый бор, подразумевает, что его канал расположен выше слоя ОН. Из этого можно предположить, что бор распространялся на высотах между слоями ОН и ОI (87 и 96 км.)





# Профиль температуры верхней атмосферы по данным спутника Aura MLS (Microwave Limb Sounder) 19 ноября 2017 г.



Вертикальный профиль квадрата частоты Брента-Вяйсяля вычисляется по формуле:

$$N^2 = \frac{g}{T(\Delta T_z + \frac{g}{C_p})}$$

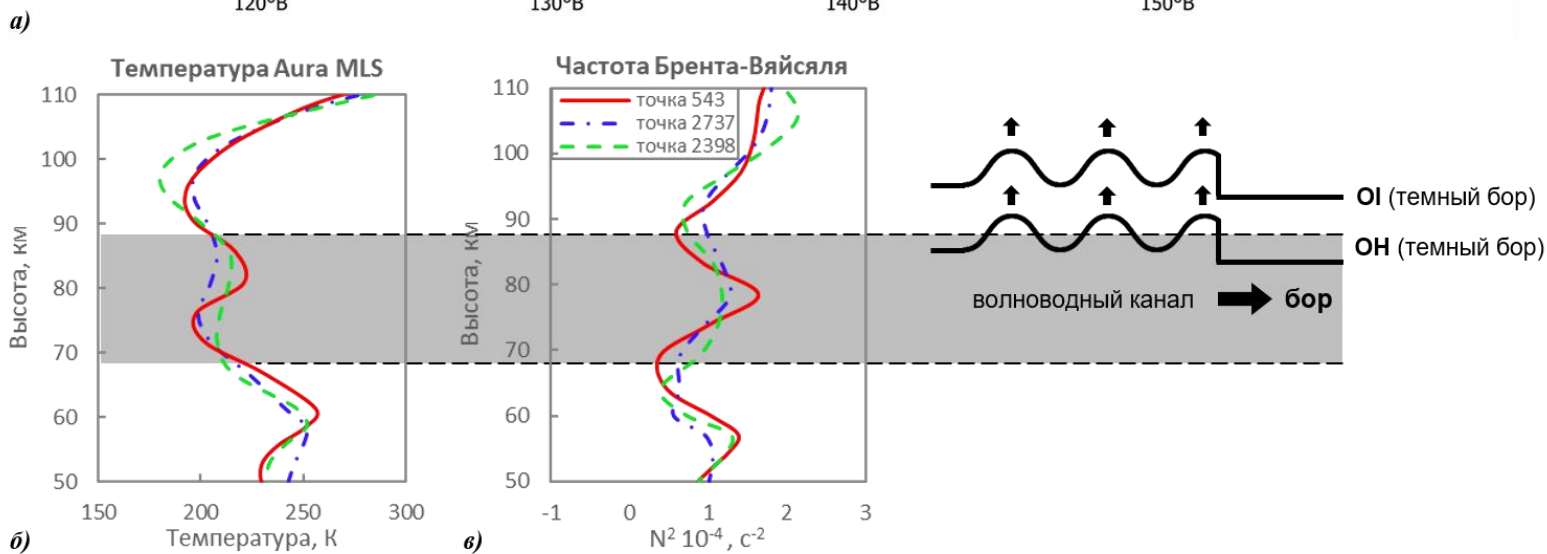
$$T = (T(z_1) + T(z_2)) / 2$$

$$\Delta T_z = (T(z_2) - T(z_1)) / (z_2 - z_1)$$

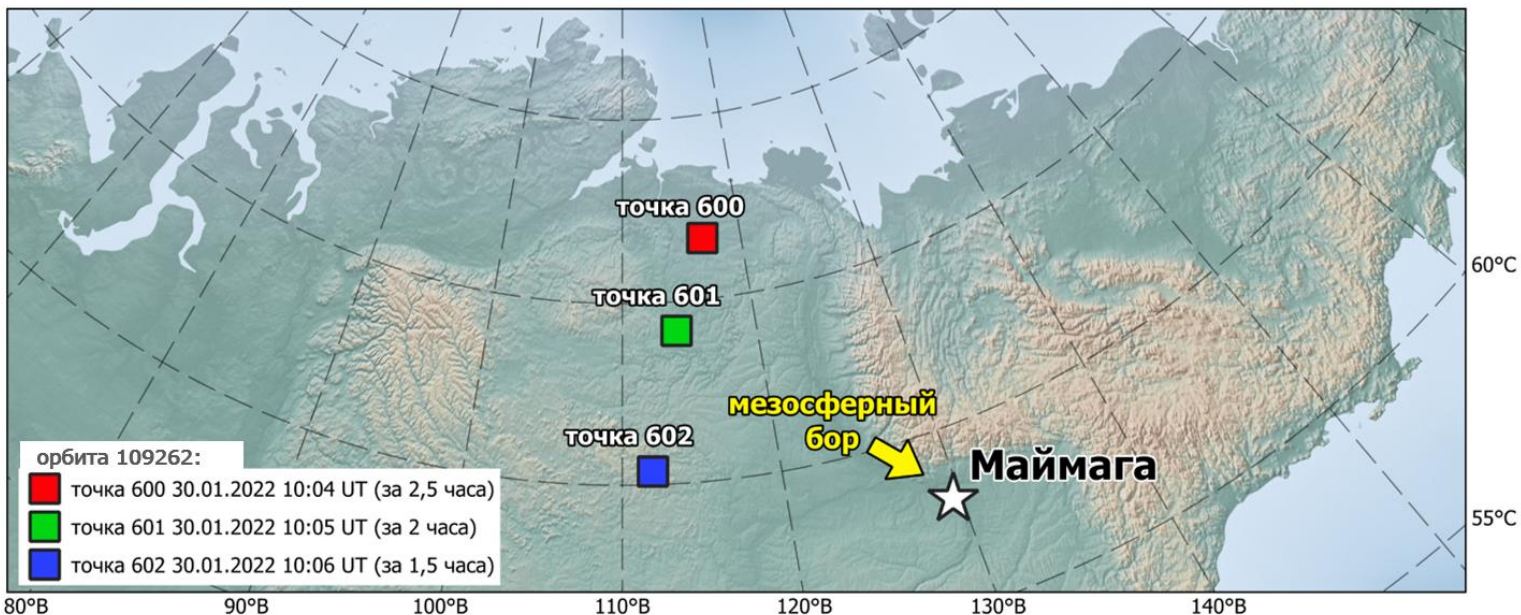
$$z = (z_1 + z_2) / 2$$

В точке 543 на высоте 69–88 км выделяется область с наиболее высоким значением  $N^2$  (стабильный слой) окруженная областями с низким  $N^2$  (нестабильные слои).

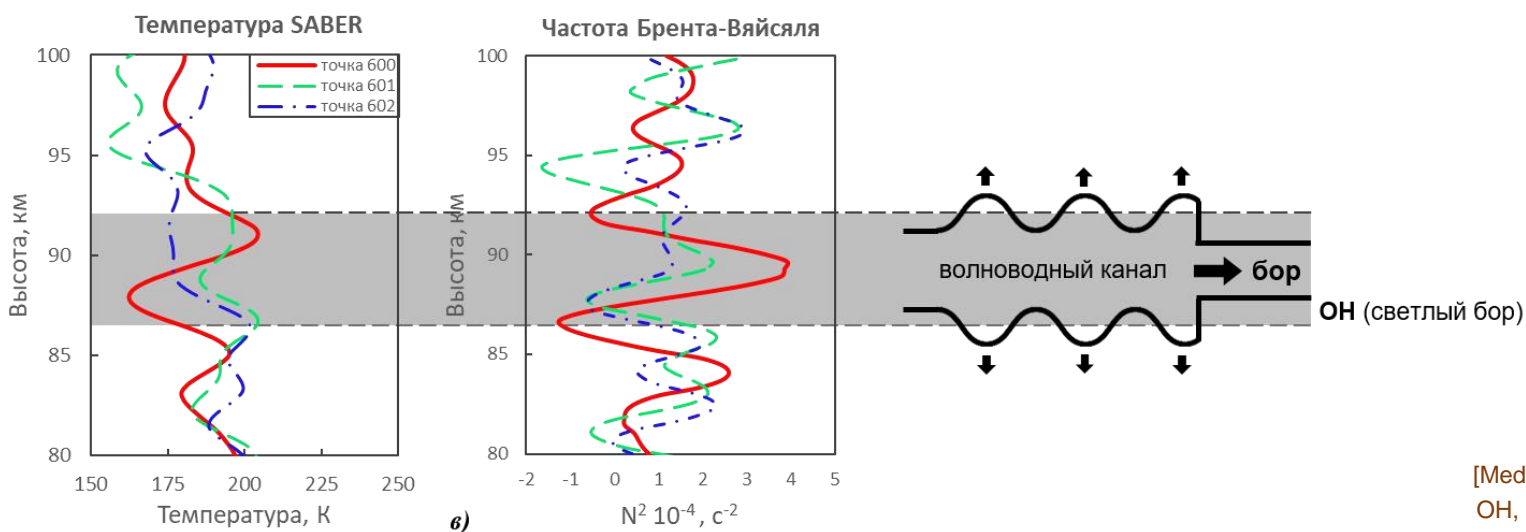
Данная структура предполагает существование мезосферного инверсионного слоя (MIL), что является благоприятным условием для распространения мезосферного бора.



# Профиль температуры в области MLT (мезосфера и нижняя термосфера) по данным спутника SABER TIMED 30 января 2022 г.



a)

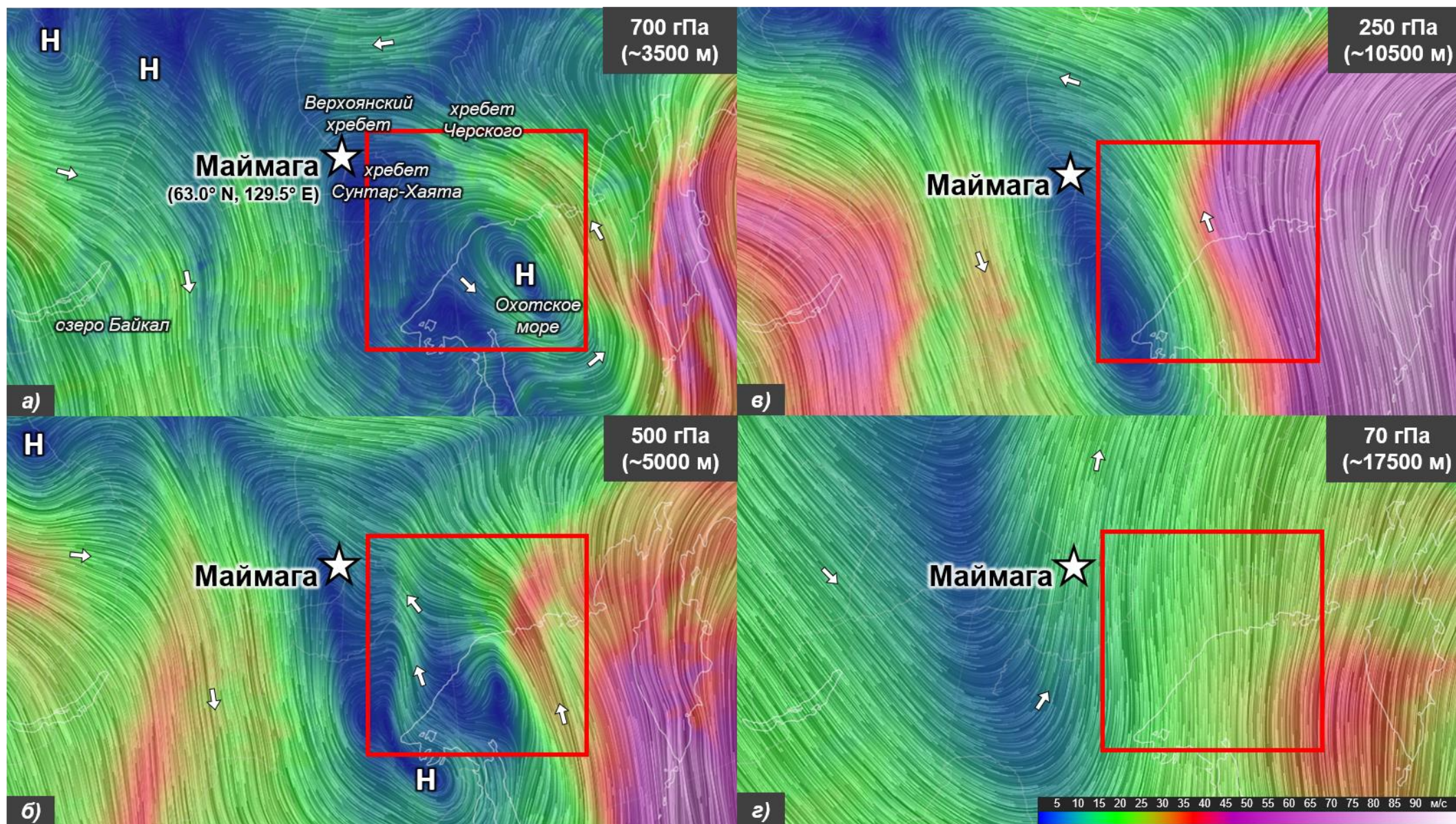


b)

На вертикальном профиле квадрата частоты Брента-Вяйсяля ( $N^2$ ) явно выделяется стабильная область над точкой 600 в диапазоне высот 87–92 км. Это соответствует теории [Medeiros et al., 2005]. Над другими точками измерения не наблюдается структуры ML, соответственно можно предположить, что бор распространился мимо зоны точки 600, а это вероятно означает небольшое изменение траектории движения со временем.



# Синоптические карты ААНИИ и глобальные карты ветров и погодных условий по данным NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 19 ноября 2017 г. в 12:00 UT

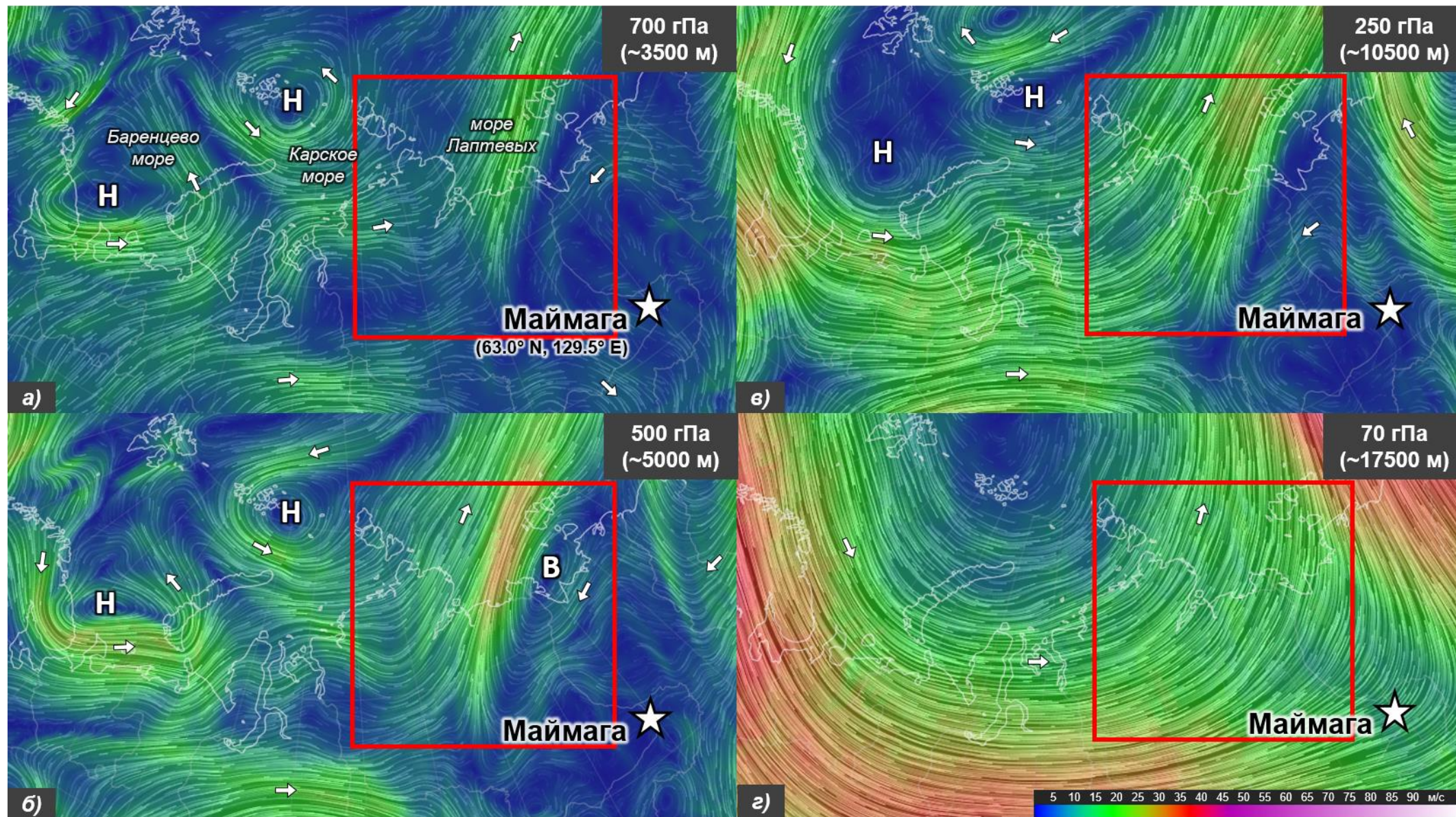


[Иванов В.В., Алексеенков Г.А. Приземные и высотные метеорологические карты. ОДМП ААНИИ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aari.ru/data/realtime>]

[Cameron Vessario. Earth: a visualization of global weather conditions [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.nullschool.net>]



# Синоптические карты ААНИИ и глобальные карты ветров и погодных условий по данным NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 30 января 2022 г. в 11:00 UT



[Иванов В.В., Алексеенков Г.А. Приземные и высотные метеорологические карты. ОДМП ААНИИ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aari.ru/data/realtime>]

[Cameron Vessario. Earth: a visualization of global weather conditions [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.nullschool.net>]



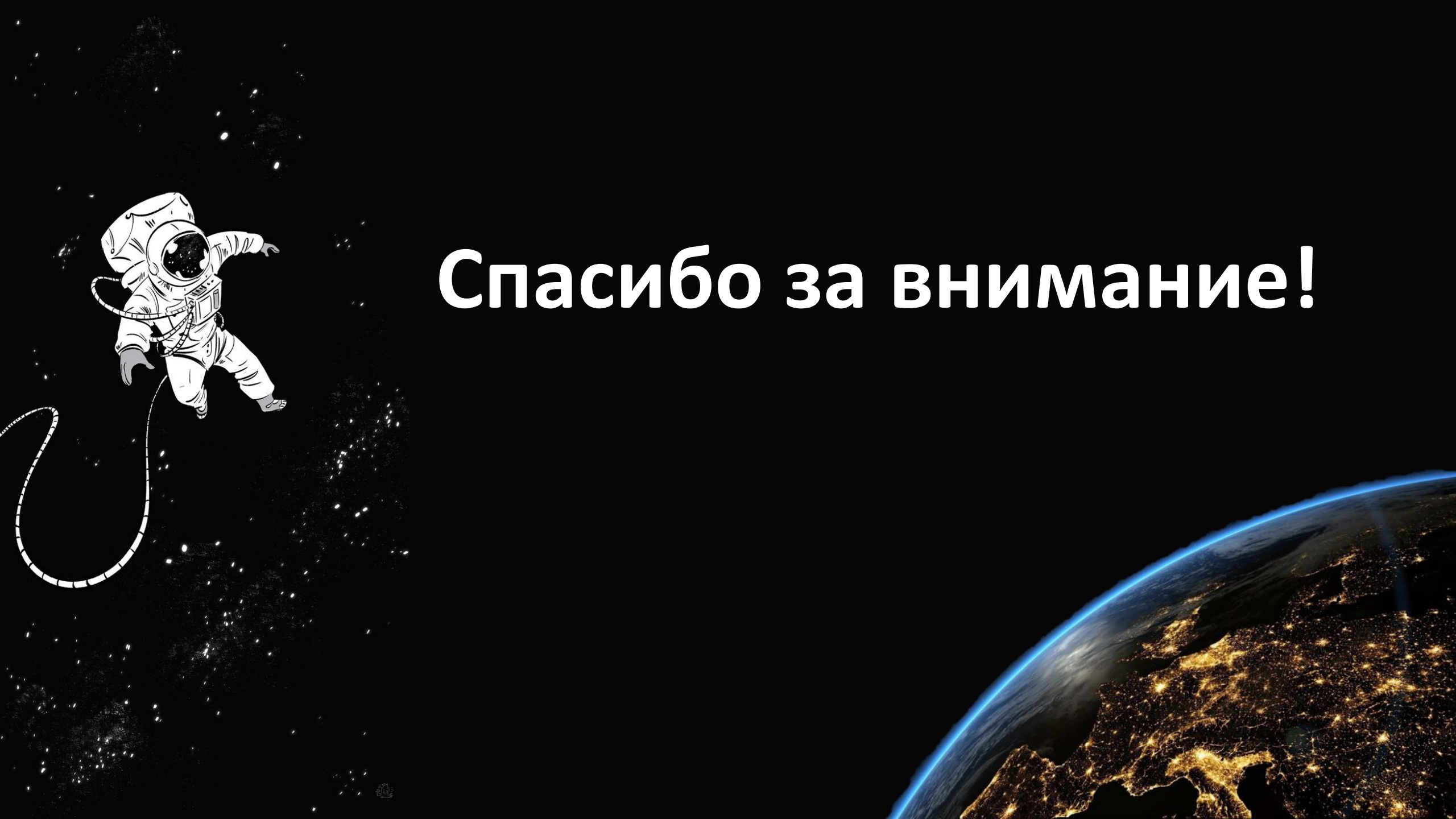
# Заключение

В данной работе представлены два события явления мезосферного бора наблюдавшихся на приполярных широтах ( $63.0^{\circ}$ сш,  $129.5^{\circ}$ вд) при наблюдениях свечения эмиссионных слоев камерами всего неба.

- Первое событие было зарегистрировано 19 ноября 2017 г. Светлый мезосферный бор распространялся с юго-востока на северо-запад (азимут  $295^{\circ}$ ). Горизонтальная фазовая скорость мезосферного бора составила  $\sim 34$  м/с. Длина последовательных ВГВ равна  $\sim 15$  км.
- Второе событие зарегистрировано 30 января 2022 г. Темный мезосферный бор распространялся с северо-запада на юго-восток (азимут  $135^{\circ}$ ). Горизонтальная фазовая скорость мезосферного бора составила  $\sim 66$  м/с. Длина последовательных ВГВ равна  $\sim 24$  км.

Явление мезосферного бора зарегистрированное камерой всего неба было подтверждено вертикальными профилями температуры верхней атмосферы по спутниковым данным Aura MLS и вертикальными профилями температуры в области MLT по спутниковым данным SABER TIMED.

Благодаря синоптическим картам ААНИИ и глобальным картам ветров и погодных условий по данным NCEP сделаны предположения о возникновении бора для первого события. Предполагаемым источником генерации мезосферного бора являлся сдвиг ветра, вызванный орографическими особенностями местности. Протяженные горные хребты могут вызывать роторные возмущения воздушных потоков атмосферных завихренностей, которые подвергаясь фильтрующему эффекту струйного течения могут образовывать ВГВ. Во втором событии сложно судить о точной причине генерации мезосферного бора в данный день.



**Спасибо за внимание!**