

**Мониторинг Арктического региона со спутников
Арктика-1М, GCOM-W1, GPM, Метеор-М № 2-2,
Sentinel-1A и Aqua по измерениям в видимом,
инфракрасном и микроволновом диапазонах**

Митник Л.М. (1), Кулешов В.П. (1), Баранюк А.В. (1), Митник М.Л. (1),
Хазанова Е.С. (1), Панфилова М. А. (2)

1 Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

2 Институт прикладной физики РАН

**Девятнадцатая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
ИКИ РАН, 15-19 ноября 2021 года**

Климат

- Важнейшей проблемой современности является быстрое изменение климата, проявляющееся в увеличении количества, интенсивности и продолжительности опасных явлений погоды: наводнений, засух, волн жары, лесных пожаров, в повышении уровня Мирового океана, в уменьшении площади морских льдов и др.
- 9 августа Межправительственная группа экспертов по изменению климата ООН представила отчет по климату за последние 7 лет, согласно которому глобальное потепление ускоряется. Предполагается, что средняя температура Земли повысится на $1,5^{\circ}\text{C}$ к 2030 г., — это на 10 лет раньше, чем в предыдущем прогнозе. Также отмечается, что увеличилось количество и тяжесть чрезвычайных природных явлений — от наводнений до аномальной жары. Ученые объясняют это выбросами парниковых газов в результате деятельности человека.

Нобелевская премия по физике 2021 года

Лауреатами стали *Сюкуро Манабе (Syukuro Manabe)* и *Клаус Хассельман (Klaus Hasselmann)* за **физическое моделирование климата Земли**, а также *Джорджо Паризи (Giorgio Parisi)* — за открытие взаимодействия между беспорядком и флуктуациями в физических системах.

- Определяющий вклад в работы по климатическим изменениям вносят измерения приборов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутников, запускаемых Европейским космическим агентством (ЕКА), Китаем, Россией, США, Японией и другими странами.
- Спутники обеспечивают получение ежедневной количественной информации о процессах на земной поверхности, в океане, нижней и верхней атмосфере.

- Для калибровки и интерпретации данных спутникового зондирования необходимо располагать детальными сведениями о преобразованиях принимаемых полезных сигналов и помех на спутнике, о влиянии на измеряемые сигналы земной поверхности, атмосферы и окружающего космического пространства.
- Задачи, связанные с обработкой, интерпретацией и использованием спутниковых наблюдений в оперативном режиме и в научных исследованиях включают в себя техническую и физическую составляющие.
- Представляется, что обе составляющие должны найти отражение в дистанционных и электронных формах образования, в программах повышения квалификации, в космическом просвещении, в популяризации в СМИ сведений о современных и перспективных приборах и спутниках и о результатах их применения.

23.04.1965 был успешно запущен на высокоэллиптическую (ВЭ) орбиту орбиту спутник "Молния 1-1". Первые спутники "Молния-1" использовались для гражданского ТВ, телекоммуникаций, дальней связи, для мониторинга погоды с помощью камер. Наклонение орбиты 63,4 град, период 12 час. Пересечение поясов Ван-Аллена.



Спутник "Молния-1"

Спутники "Арктика-М" № 1 и "Арктика-М" № 2

Цель: гидрометеорологические измерения арктического региона с временным разрешением 15-30 мин для мониторинга климата и окружающей среды

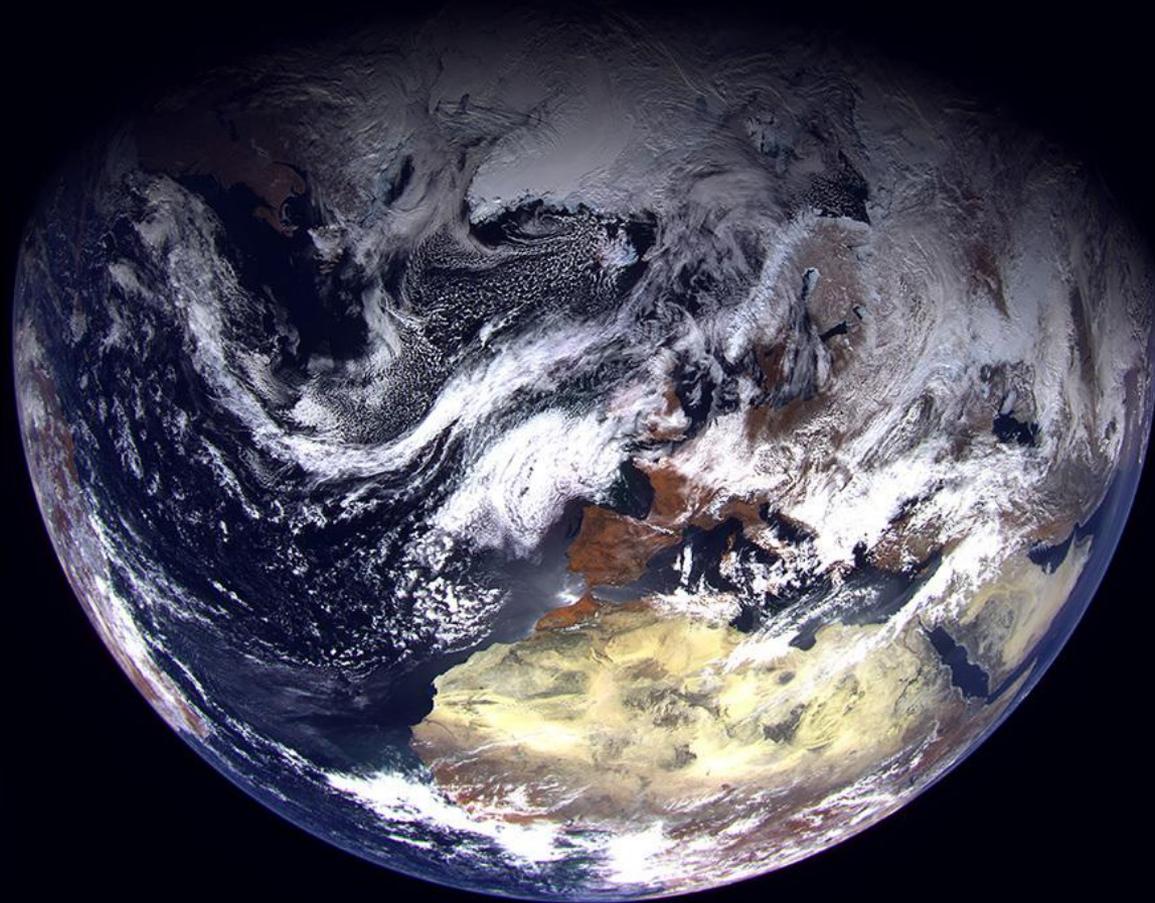


АРКТИКА-М №2

АРКТИКА-М №1

*3 канала в видимом диапазоне (0,5-0,9 мкм), разрешение 3" (угловые секунды),
7 каналов в ИК диапазоне (3,5-13,2 мкм), разрешение не хуже 23".*

Запуск спутника "Арктика-М" № 2 перенесен с 2021 на 2023 г. (Роскосмос).



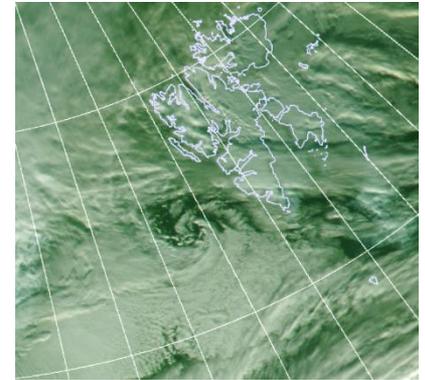
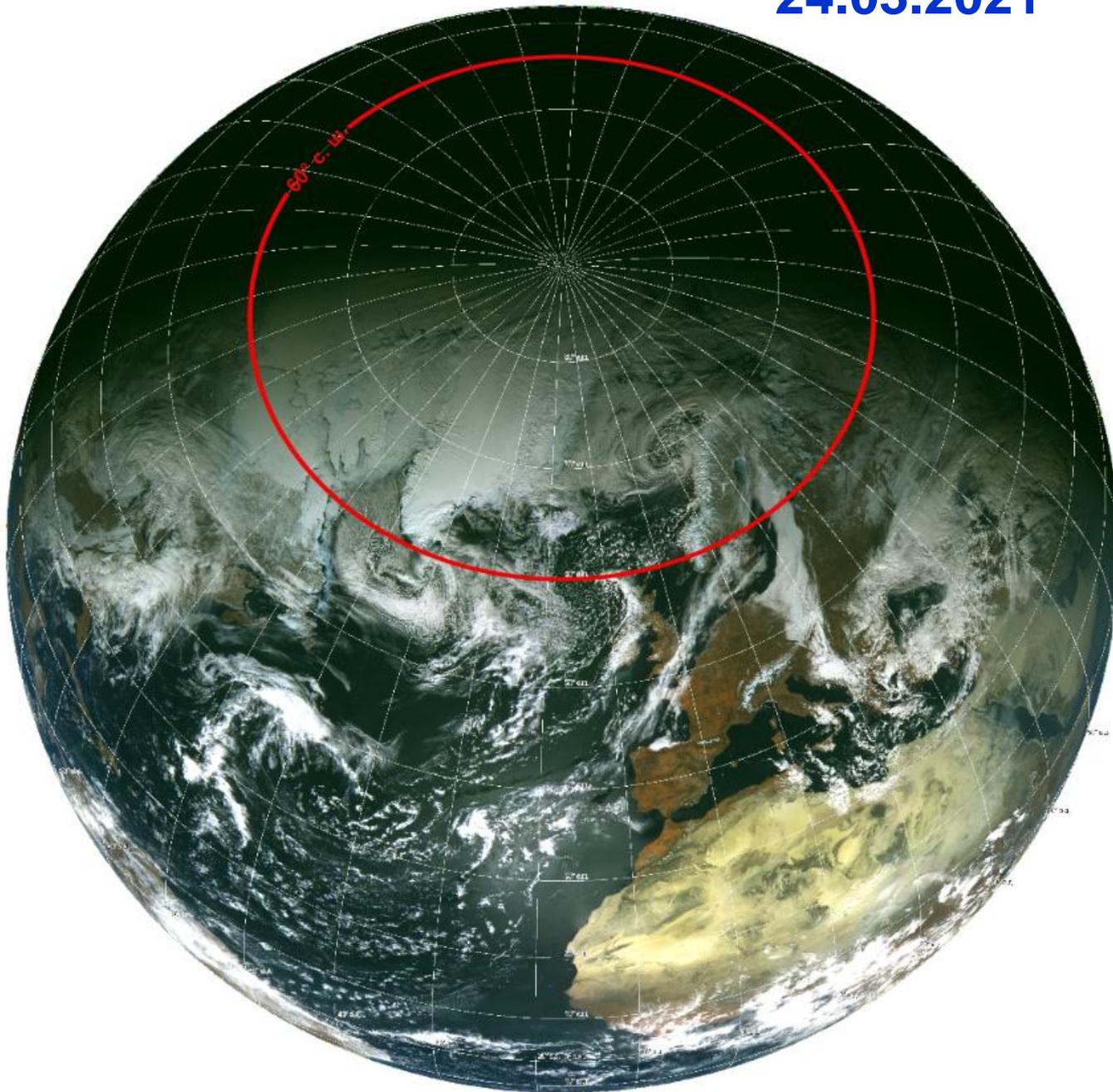
Первый снимок с
ВЭ орбиты КА
"Арктика-М" № 1
НПО им. С.А.
Лавочкина.

Многозональное
сканирующее
устройство
(МСУ-ГС-М)
изготовлено
холдингом
«Российские
космические
системы»

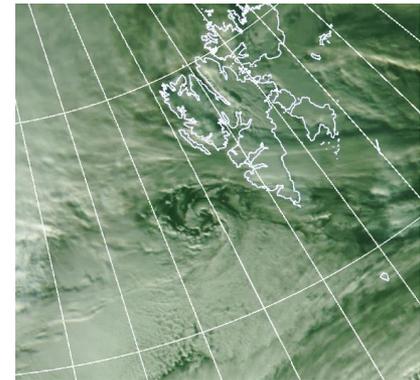
Цветосинтезиро-
ванное
изображение
в трех видимых
спектральных
каналах



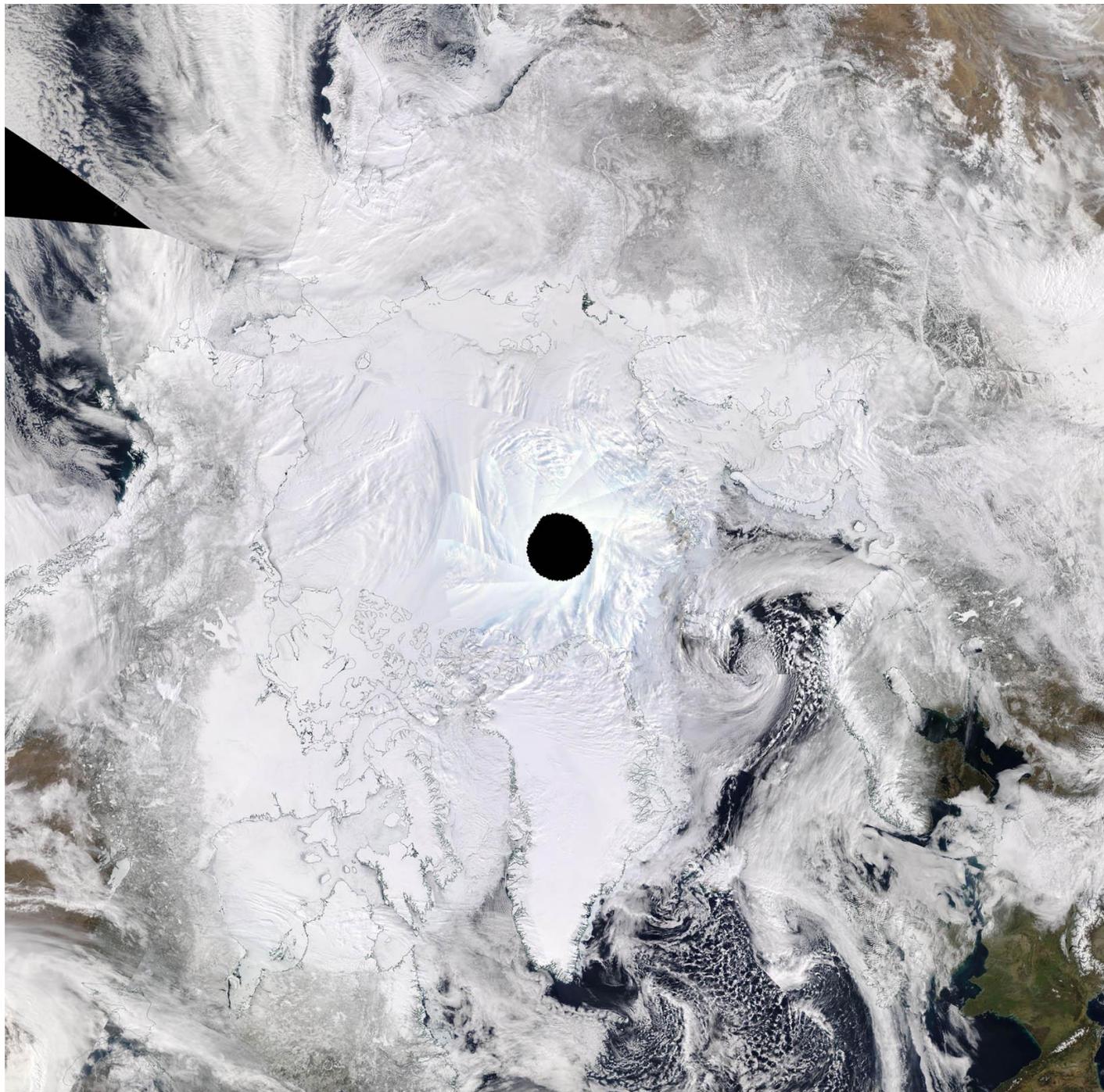
24.03.2021



13:30 UTC

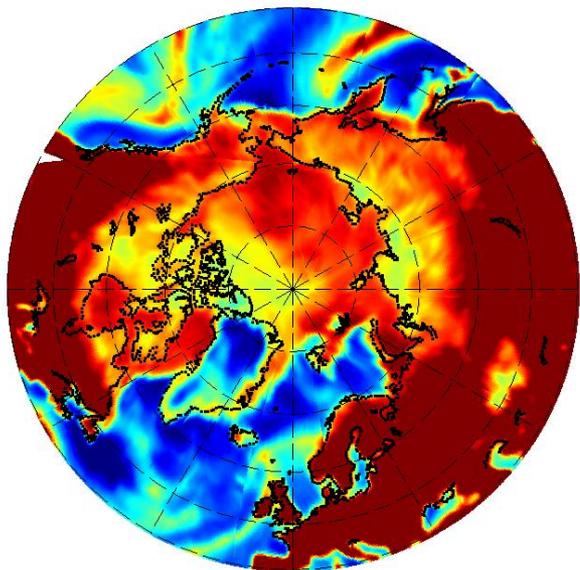


14:30 UTC



Облачный
покров по
данным
спектро-
радиометра
MODIS
со спутника
Aqua
23 марта 2021

23,8 ГГц, Г-поляризация

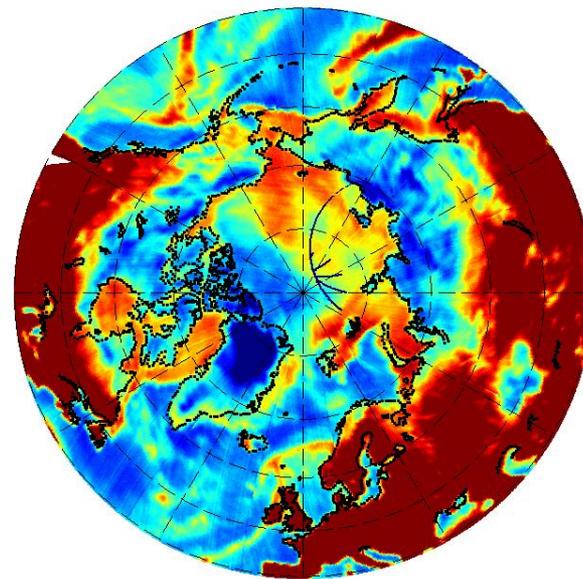


100 220

23 марта 2021

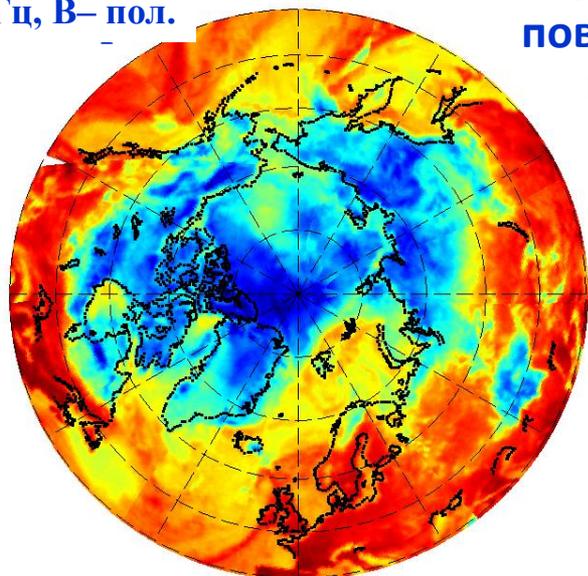
Яркостная температура (К) арктического региона по измерениям на частотах радиометра МТВЗА-ГЯ (спутник Метеор-М № 2-2)

42,8 ГГц, Г- поляризация



150 240

91,6 ГГц, В- пол.



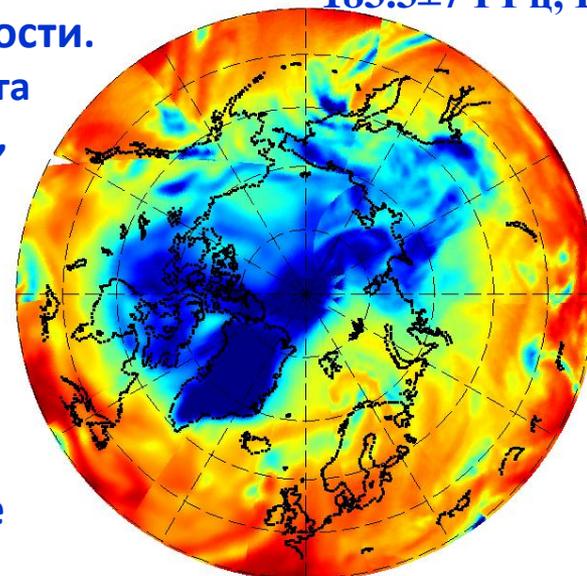
170 270

Приборы Арктики не видят поверхность при облачности.

Важные для мониторинга скорость ветра, осадки, положение границы и характеристики льда не определяются

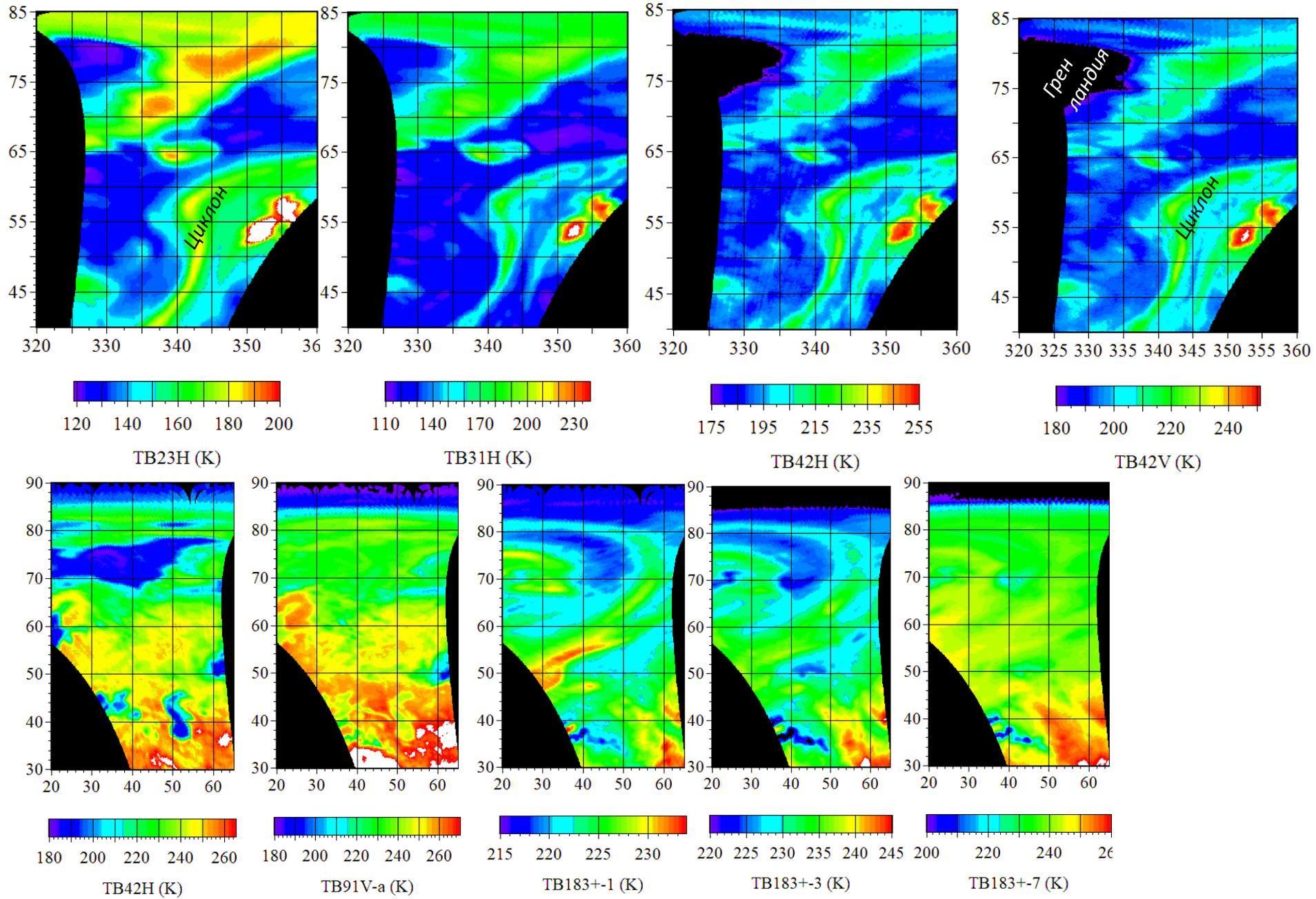
Необходимо использовать пассивное и активное зондирование в МВ диапазоне

183.3±7 ГГц, В- пол.



200 260

Циклоны и Гренландия в полях яркостных температур на частотах МТВ3А-ГЯ по измерениям на нисходящих и восходящих витках 23 марта 2021 г.



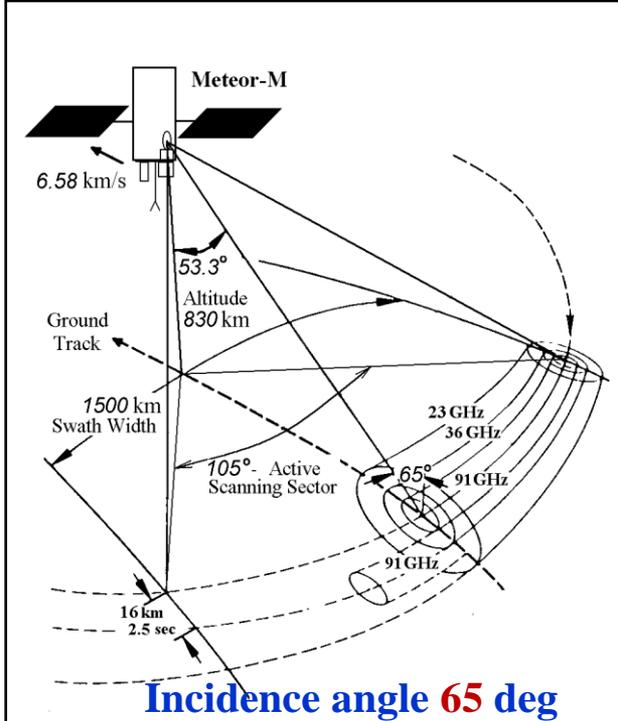


Meteor-M № 2 (Jul 2014–Aug 2017)
Meteor-M № 2-2 (July 2019 -)

MTVZA-GY
**(Microwave Imaging/Sounding
 Microwave Radiometer)**

MTVZA-GY was named in memory of
Gennady Ya Gus'kov (1919-2002, Moscow) - the
 Russian designer of various spaceborne instruments.

Imager characteristics



Frequency (GHz), polar/	Band width (MHz)	Effective FOV (km × km)	Imagery pixel (km × km)	Sensitivity (K/pixel)
6.9 V,H	350	137x 250	32 x 32	0.3
10.6 V,H	100	89 x 198	32 x 32	0.5
18.7 V,H	200	52 x 116	32 x 32	0.4
23.8 V,H	400	42 x 94	32 x 32	0.3
31.5 V,H	1000	35 x 76	32 x 32	0.3
36.5 V,H	1000	30 x 67	32 x 32	0.3
42.0 V,H	1000	26 x 60	32 x 32	0.4
48.0 V,H	1000	24 x 43	32 x 32	0.4
91.65 V,H	2500	14 x 30	16 x 16	0.6

Swath width is 2500 km (ascending) and 1500 km (descending due to shadowing by solar panels).

Норвежское, Баренцево и Балтийское моря по данным AMSR2

23 марта 2021

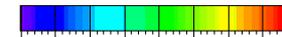
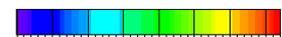
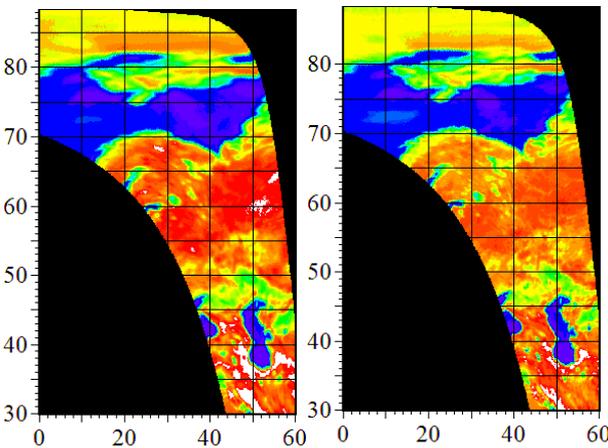
Многоканальный
МВ радиометр

AMSR2

спутник Японии

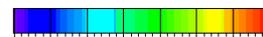
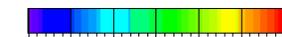
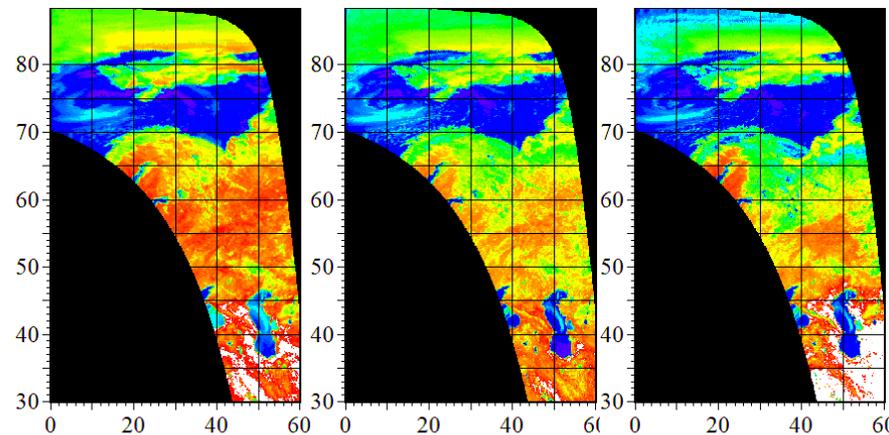
GCOM-W1

Частоты 6,9-89 ГГц,
антенна D = 2 м



ТВ6Н (К)

ТВ10Н (К)



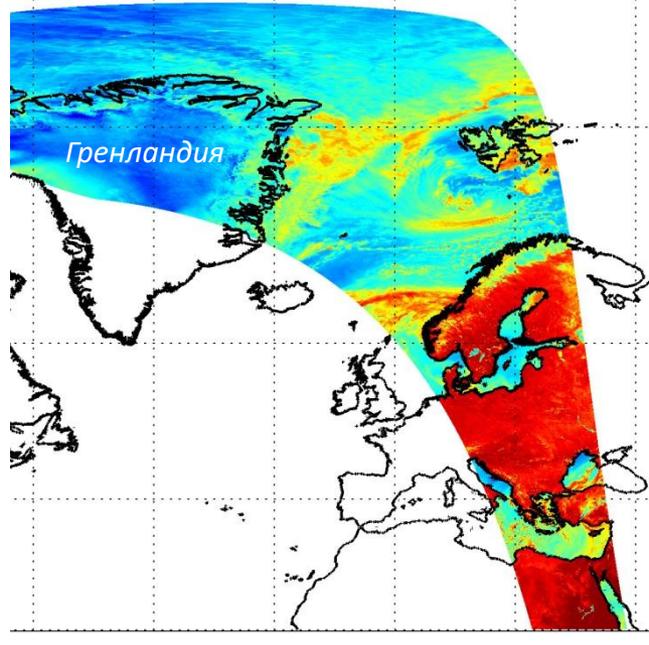
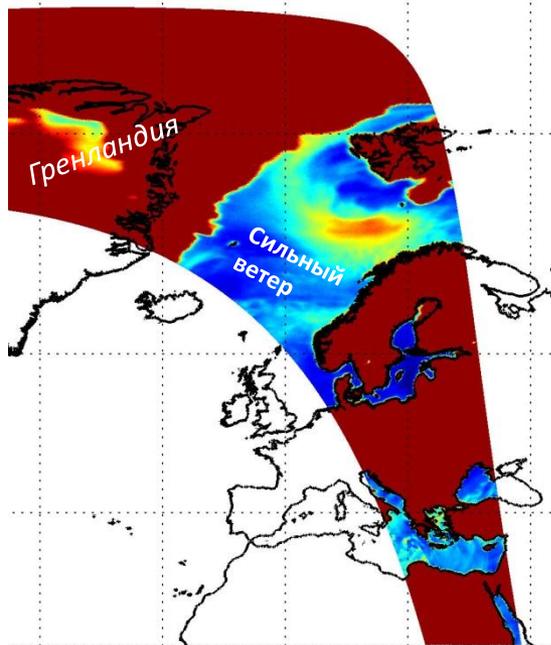
ТВ23Н (К)

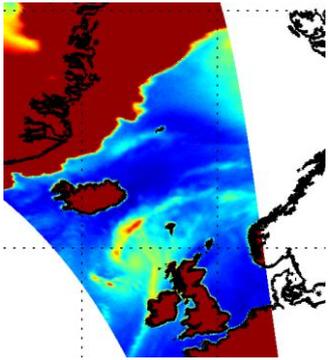
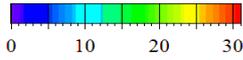
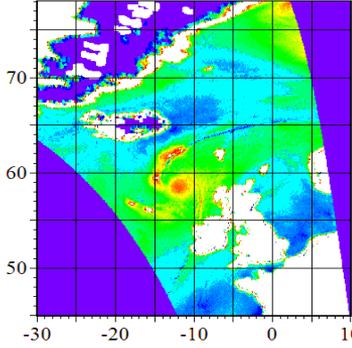
ТВ36Н

ТВ36V

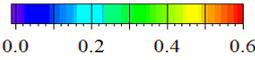
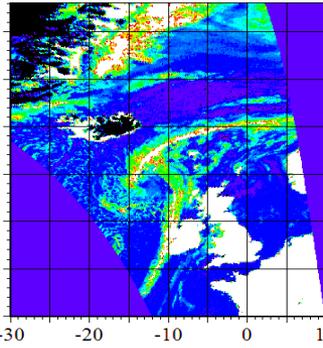
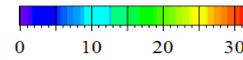
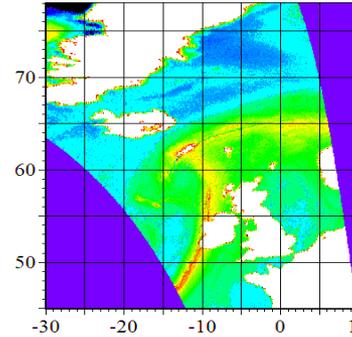
11.00.00 10.45.00 10.40.00 10.35.00 11.00.00 40°

11.00.00 10.45.00 10.40.00 10.35.00 11.00.00 40°

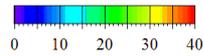
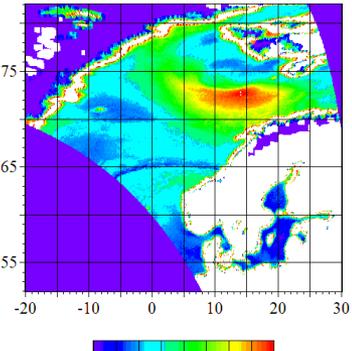
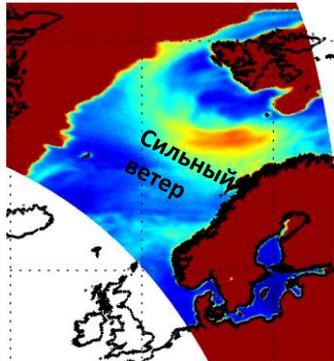


А**Б**

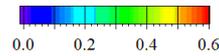
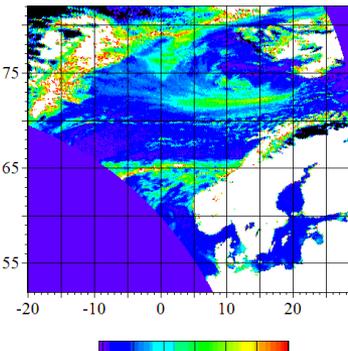
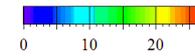
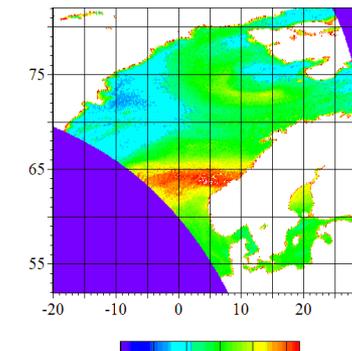
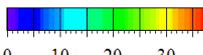
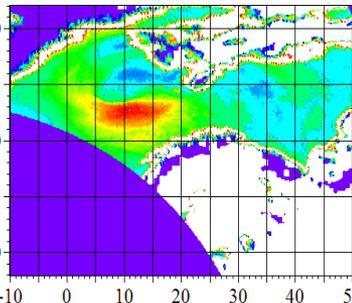
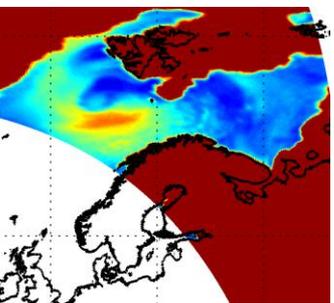
Wind (m/s)

ВCloud (kg/m²)**Г**Vapor (kg/m²)**23 марта 2021****AMSR2**

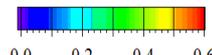
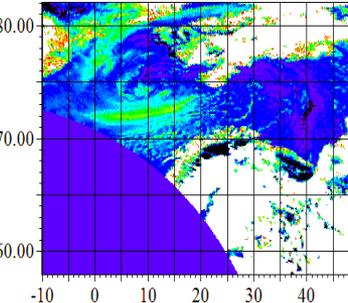
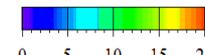
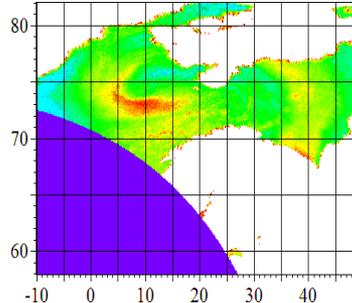
А-яркостная температура на 10,6 ГГц на горизонт поляр.
Б - скорость ветра
В - водозапас облаков и
Г – паросодержание атмосферы (алгоритм ТОИ ДВО РАН) (Последовательные восходящие витки сверху вниз и с запада на восток)



Wind (m/s)

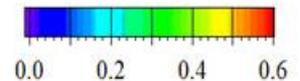
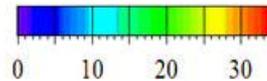
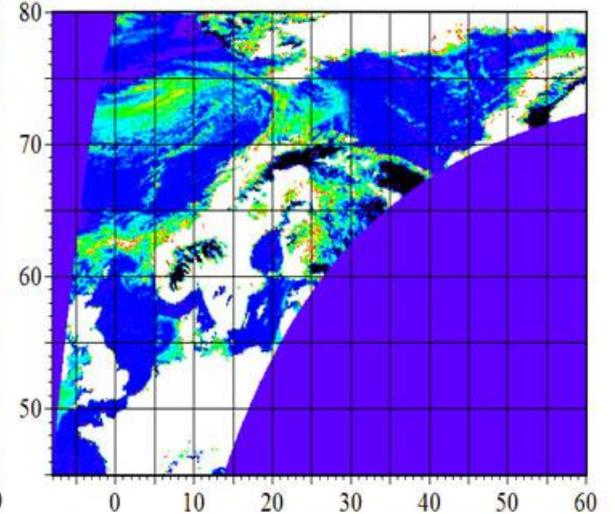
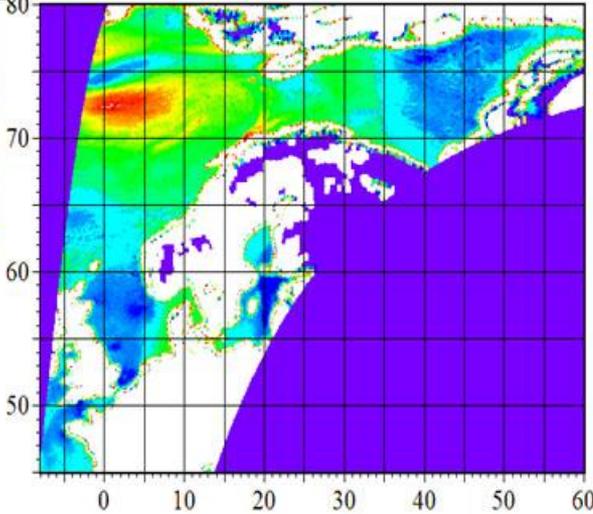
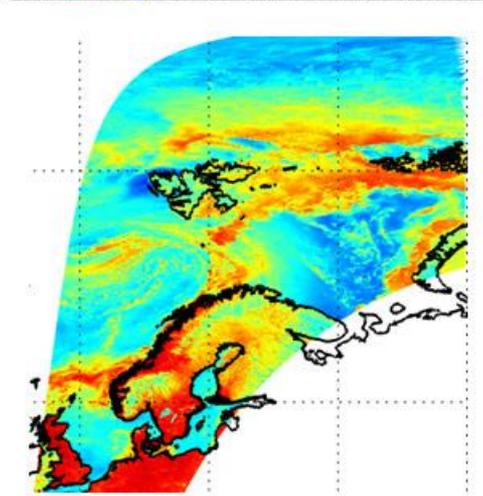
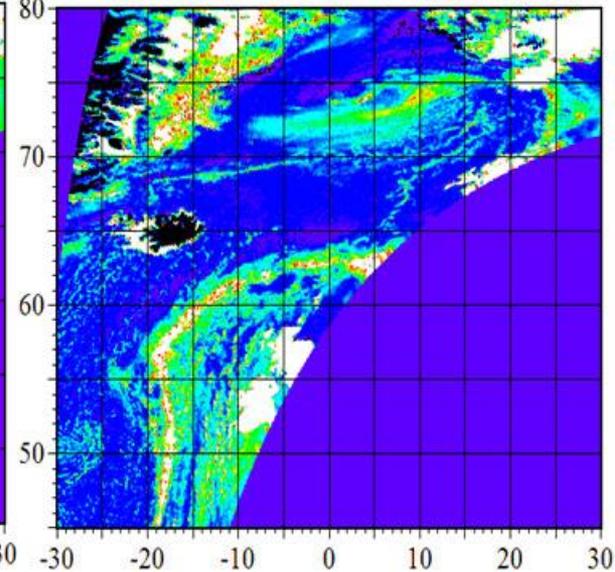
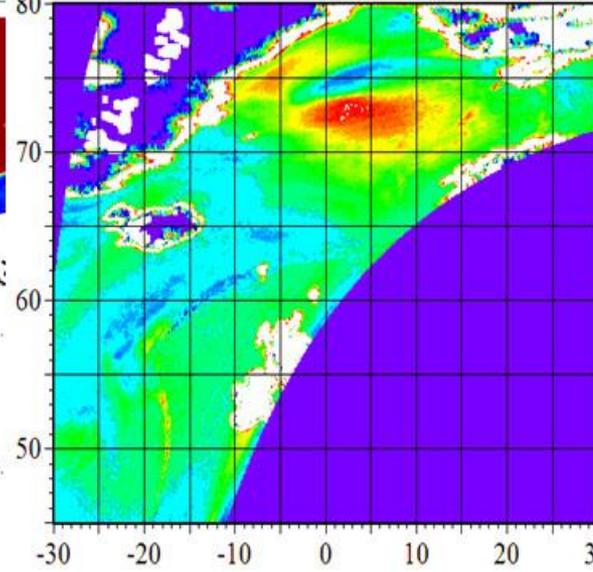
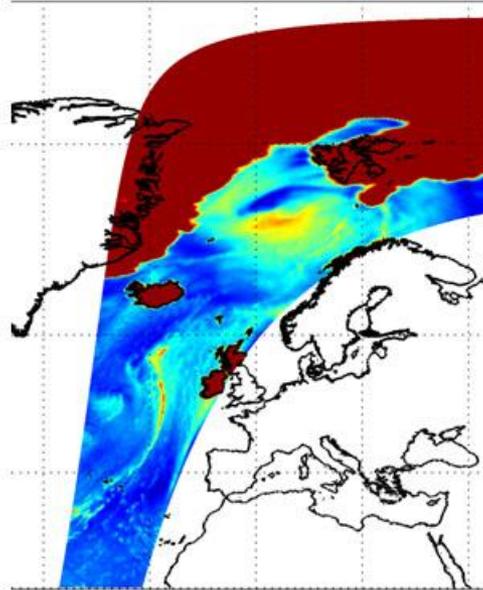
Cloud (kg/m²)Vapor (kg/m²)

Ветер, м/с

Водозапас, кг/м²Паросодержание, кг/м²

23 March 2021, AMSR2, descending orbits

0m 23-Mar-2021 03:20:39 to 23-Mar-2021 04:11:29 40°



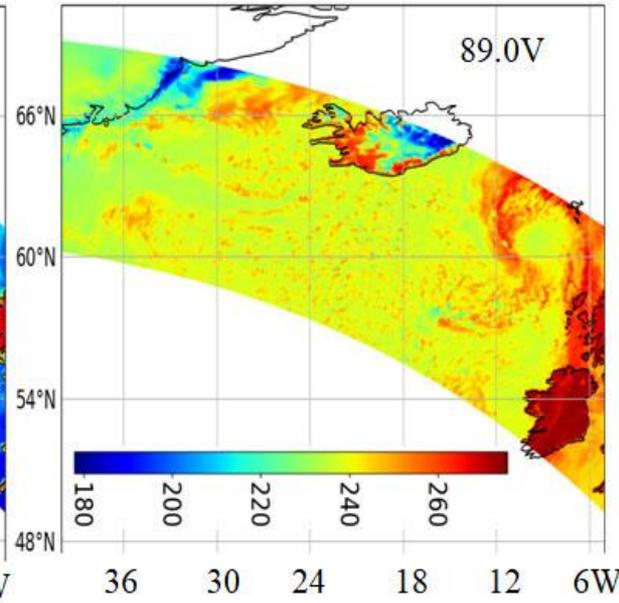
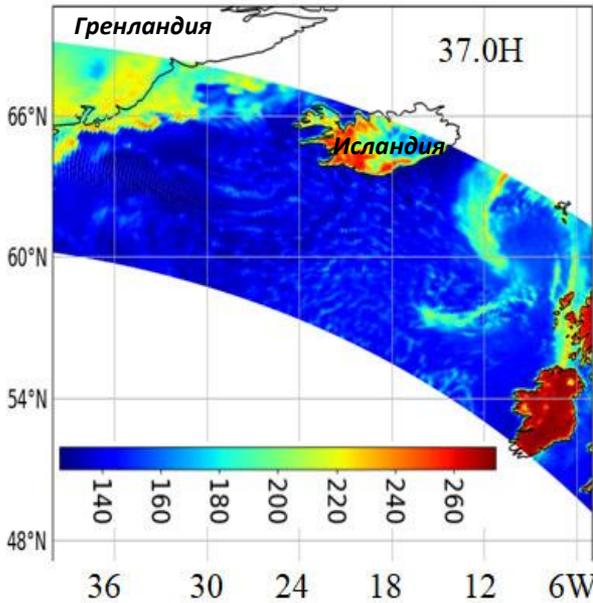
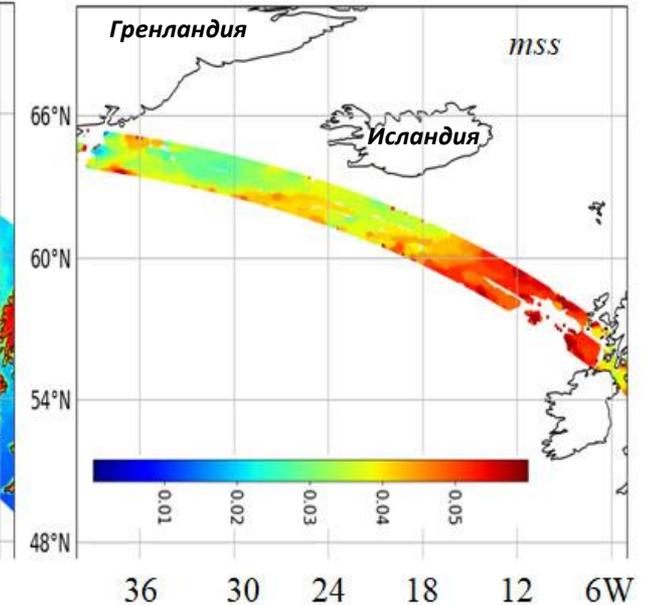
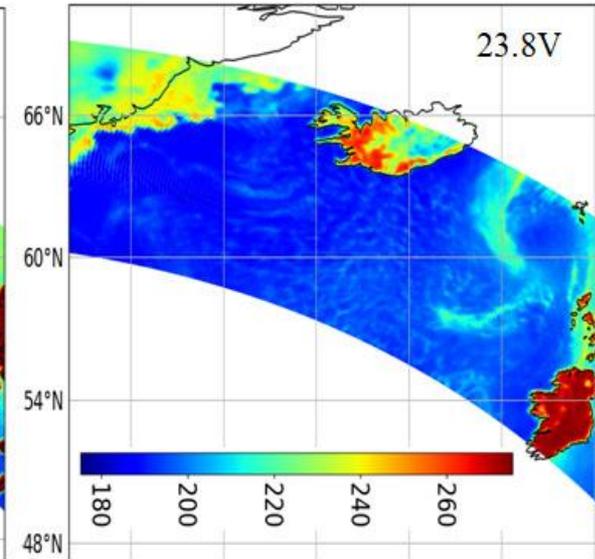
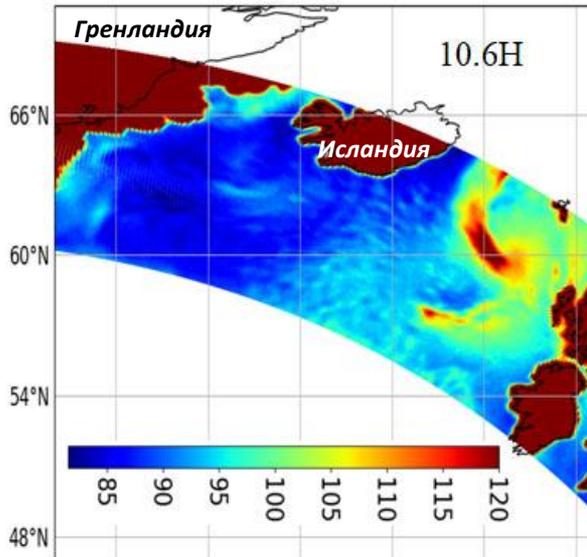
Скорость ветра, м/с

Водо запас облаков, кг/м2

Приборы Арктики не видят поверхность при облаках. Важные для мониторинга скорость ветра, осадки, границы и характеристики льда не определяются

Измерения радиометра GMI со спутника GPM

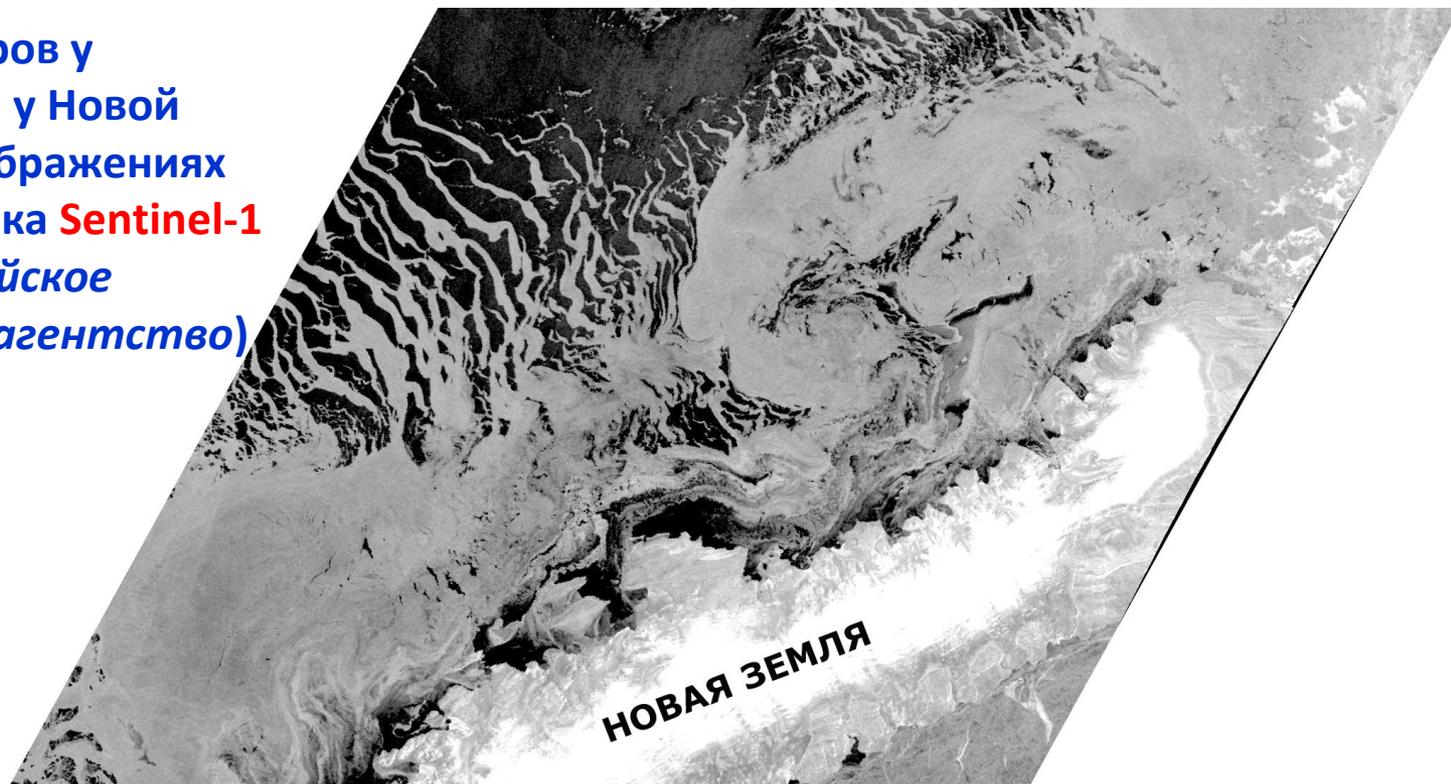
23 марта 2021



Полярный циклон, мезомасштабные конвективные ячейки в поле яркостной температуры на частотах 10,65, 23,8, 37,0 и 89,0 ГГц и среднеквадратичный уклон морской поверхности
GPM – Global Precipitation Measurements (США, Япония)
GMI – GPM Microwave Imager



Ледяной покров у
Гренландии и у Новой
Земли на изображениях
РСА со спутника **Sentinel-1**
(*ESA – Европейское
космическое агентство*)



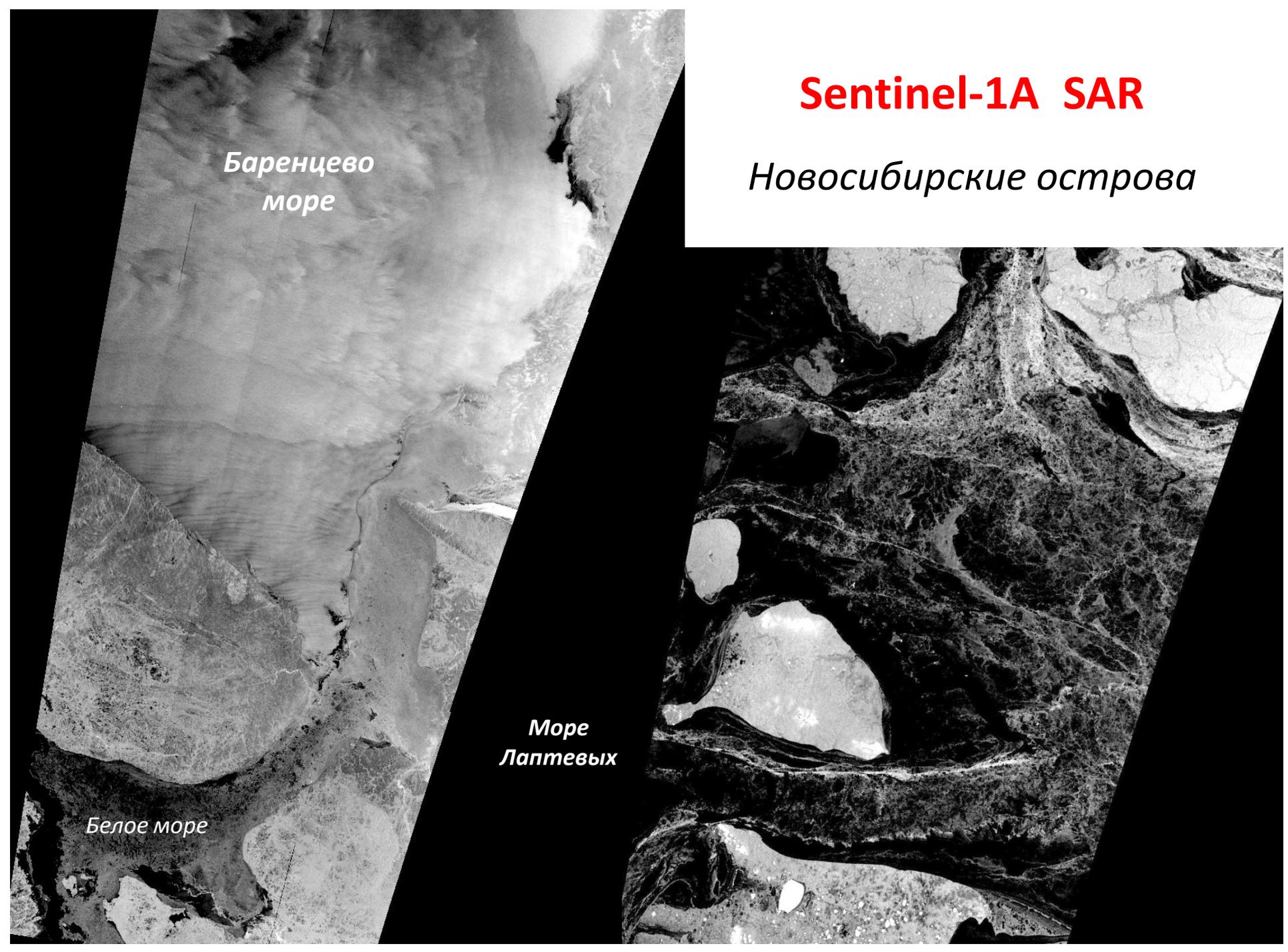
Sentinel-1A SAR

Новосибирские острова

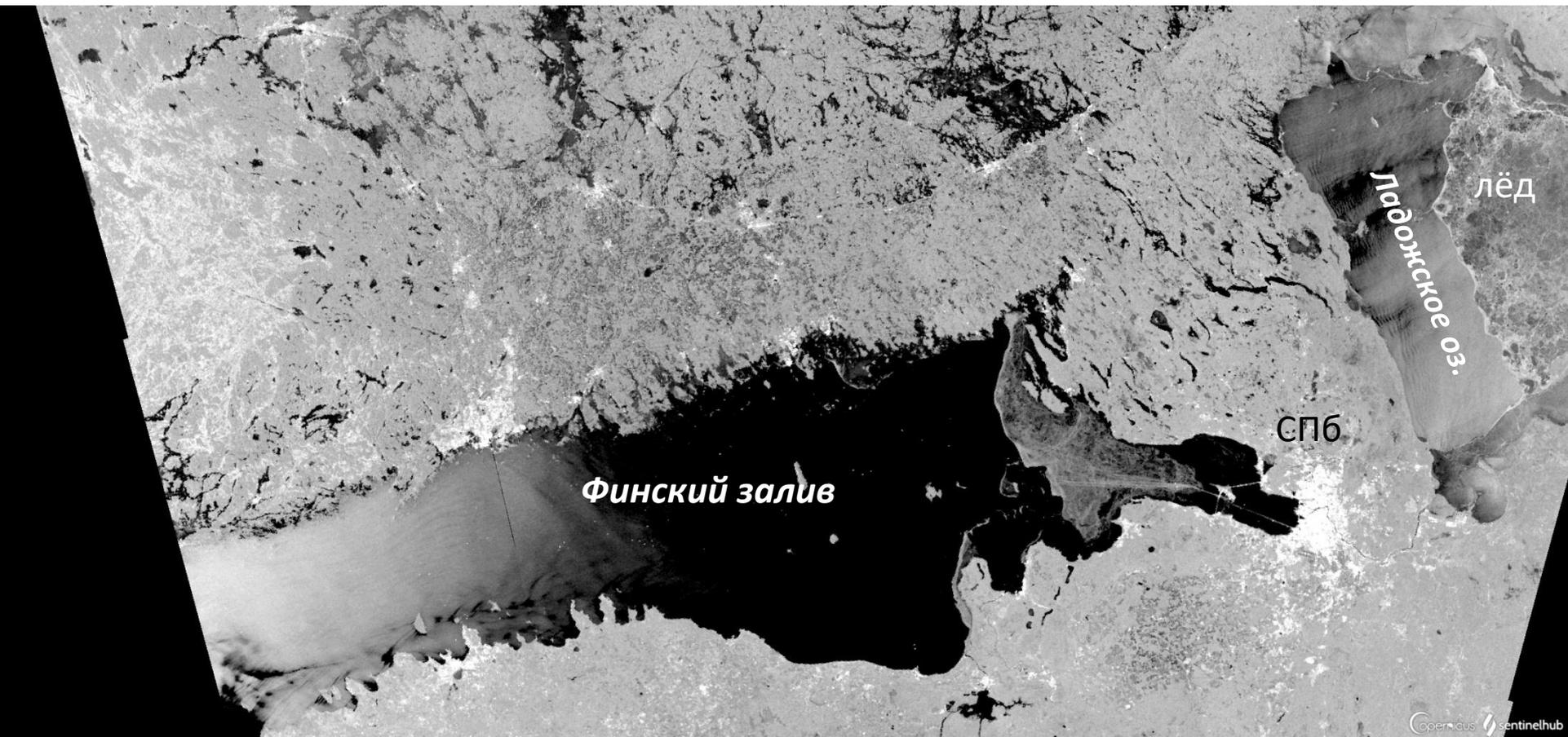
*Баренцево
море*

*Море
Лаптевых*

Белое море

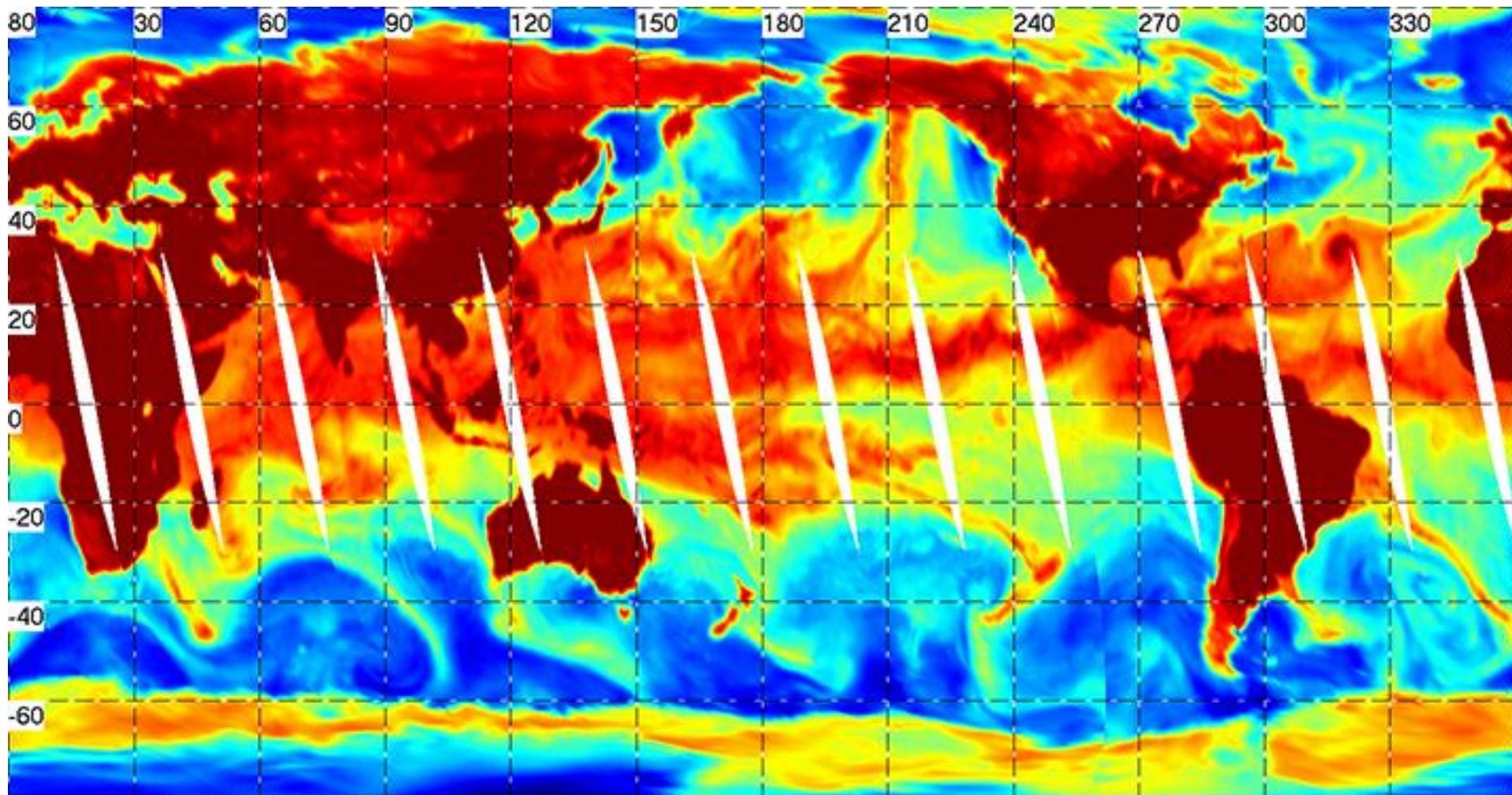


Sentinel-1A SAR Финский залив и Ладожское озеро

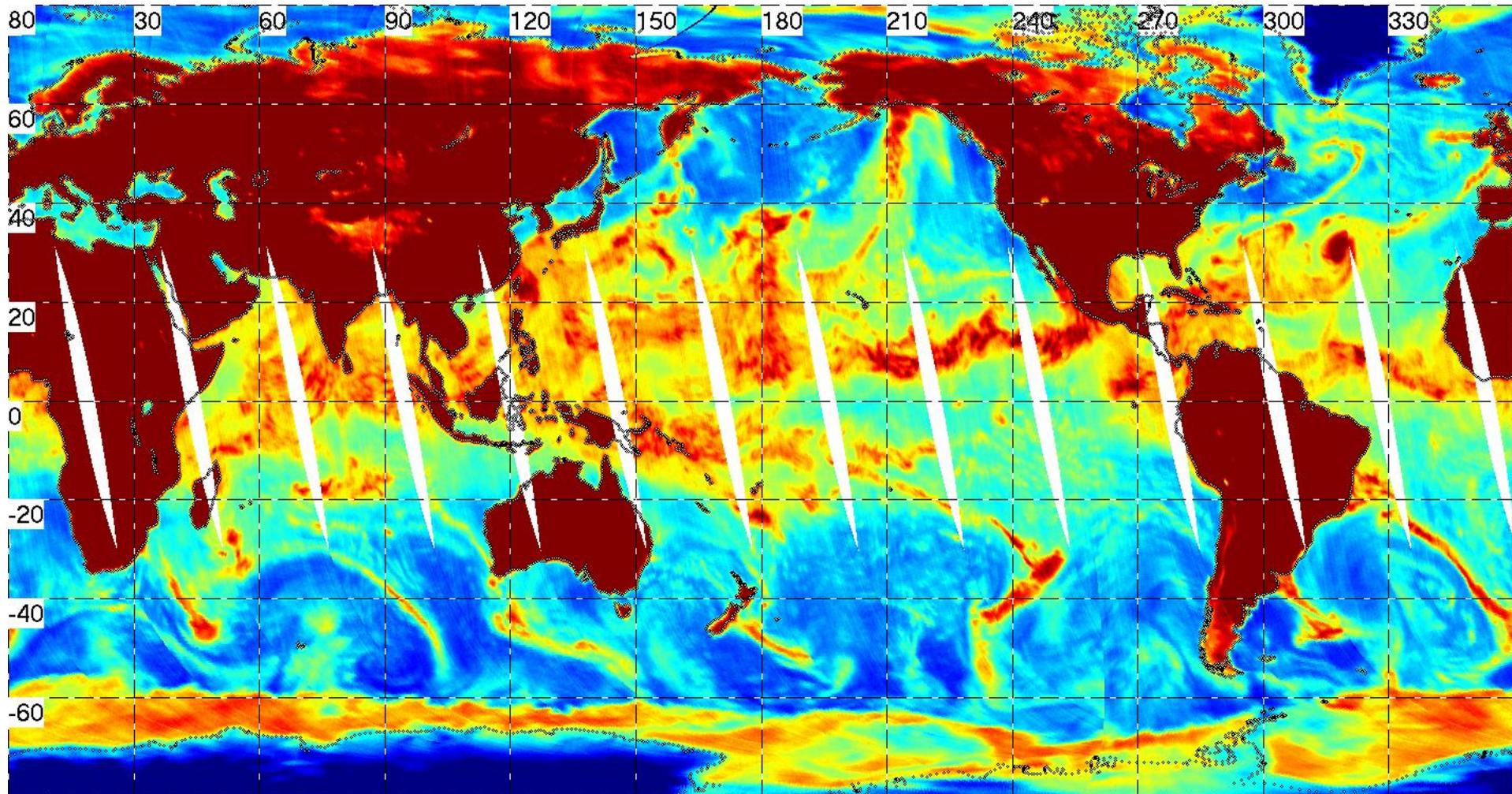


Послушайте!
Ведь, если спутники запускают —
значит — это кому-нибудь нужно?

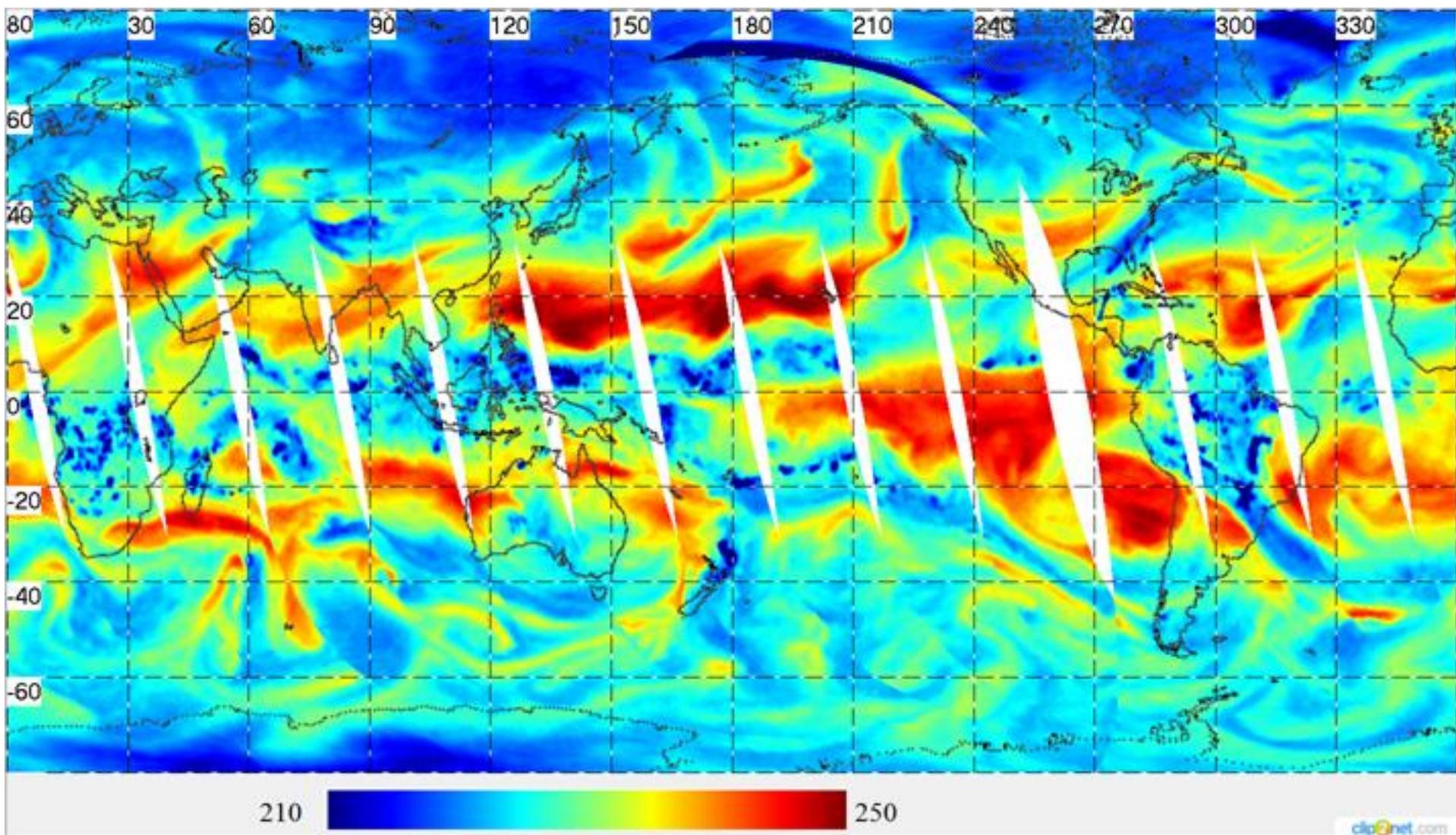
Яркостная температура Земли на частоте 23,8 ГГц на Г- поляриз.
по измерениям **МТВЗА-ГЯ** на восходящих витках (ширина полосы
обзора 2500 км) со спутника **Метеор-М № 2-2** 30 августа 2019 г.
Полярноорбитальные спутники: взаимосвязь процессов и
явлений в высоких, умеренных и низких широтах.



Яркостная температура Земли на частоте 42,0 ГГц на Г-поляриз. по измерениям **МТВЗА-ГЯ** на восходящих витках (ширина полосы обзора 2500 км) со спутника **Метеор-М № 2-2** 30 августа 2019 г.
Взаимосвязь процессов на различных широтах.



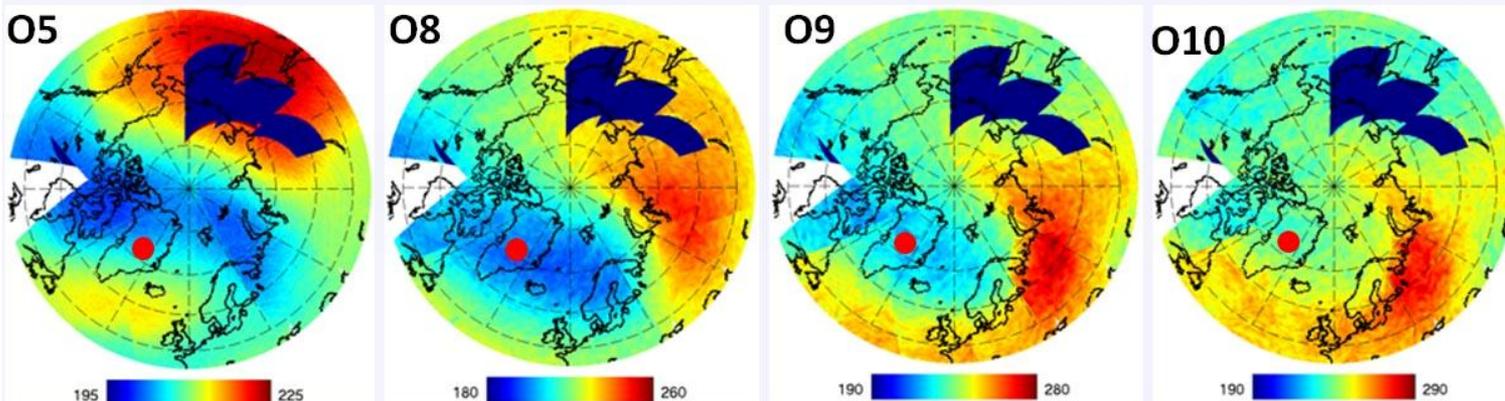
Яркостная температура Земли на частоте $183,31 \pm 1,4$ ГГц по измерениям **МТВЗА-ГЯ** 17 декабря 2019 г.



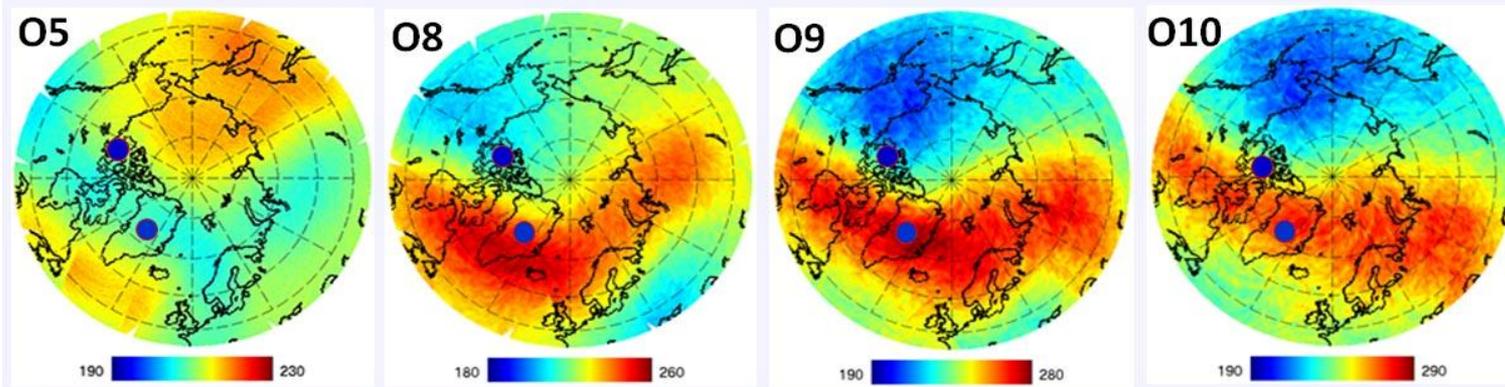
Brightness temperature (K)

Внезапные стратосферные потепления (ВСП) в СП были обнаружены со спутника **Meteor-M №2** в 2015 и в 2016 г. (СП) и со спутника **Meteor-M №2-2** в сент. 2019 г. (ЮП) и в янв. 2021 г.(СП)

MTVZA-GY brightness temperatures (K), 1 January 2015



MTVZA-GY brightness temperatures (K), 5 January 2015

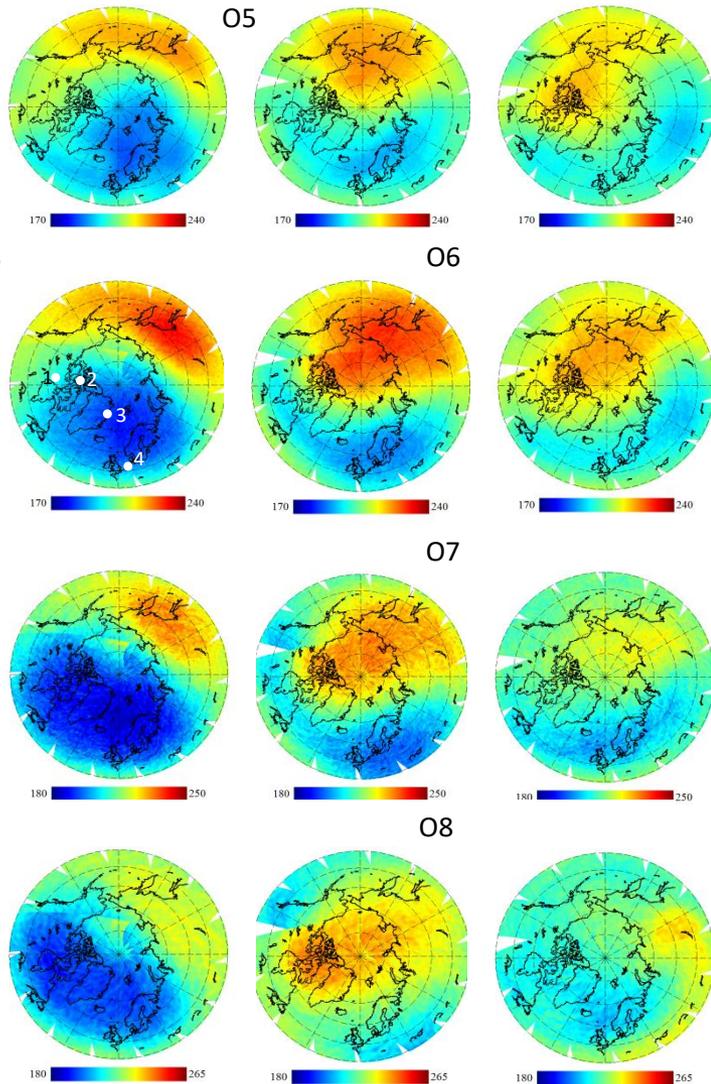


Яркостные температуры над Северным полушарием по измерениям **MTVZA-GY** на частотах **кислородных каналов O5, O8, O9 и O10** до (1 янв) и во время (5 и янв. 2016) ВСП. Красные и синие кружки отмечают положение станции Summit в Гренландии. Темные области - нет данных.

25 декабря 2020

5 января 2021

15 января 2021



Взаимосвязь явлений и процессов в стратосфере, тропосфере и на поверхности

Показано влияние ВСП и процессов в стратосфере на засухи и суровые зимы, траектории штормов и струйных течений, холодные вторжения, режим погоды, морской лёд

Аномалии проявляются в резких похолоданиях, штормовых ветрах, интенсивных снегопадах, оказывающих всё возрастающее влияние на ежедневную жизнь и экономику разных стран.

Изменчивость яркостной температуры на по данным каналов O5-O8 МТВЗА-ГЯ со спутника "Метеор-М" № 2-2 до и во время внезапного стратосферного потепления

Благодарности

Авторы благодарят:

- **Черного И.В.** за предоставление данных МТВЗА-ГЯ со спутников серии Метеор, постоянное внимание и помощь в исследованиях.
 - **JAXA** – за многолетнее плодотворное сотрудничество и помощь в работе с данными микроволновых радиометров со спутников AMSR, AMSR-E и AMSR2 и GPM.
 - **ESA** - за изображения PCA со спутников Setinel-1A/-1И
- Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 20-17-00179.**

Выводы

- Приборы спутника **Арктика-М** (модули видимого спектрального и теплового ИК-диапазона) не видят подстилающую поверхность при облачности. При вероятности облачной погоды в арктическом регионе 50-80% возможности мониторинга ограничены. Важные для приложений параметры: скорость ветра, тип и интенсивность осадков, положение границ и характеристики льда, влажность почвы и др. определены быть не могут .
- Существенный прогресс в решении задач мониторинга может быть достигнут при совместном использовании изображений со спутника **Арктика-М** и радиометрических и радиолокационных данных с полярно орбитальных спутников различных стран, которые находятся в открытом доступе. В совокупности такая комбинация служит источником всепогодной количественной информации с высоким пространственным и временным разрешением.
- Вклад России – изображения со спутников **Арктика-М** и калиброванные микроволновые многоканальные изображения со спутников серии **Метеор-М** и восстановленные по ним поля параметров атмосферы, океана и материковых покровов.

References

Cherny I.V., Mitnik L.M., et al. On-orbit calibration of the “Meteor-M” Microwave Imager/Sounder // *Proc. IGARSS 2010*. Hawaii, P. 558-581.

Митник Л.М. и др. Исследование эволюции тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана по данным СВЧ-радиометров МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №1 и AMSR-E со спутника Aqua // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 4. С. 121-128.

Митник Л.М., Чёрный И.В. и др. Мультисенсорное спутниковое зондирование зимних циклонов со штормовыми и ураганскими ветрами в северной части Тихого океана // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10. № 4. С. 161-174.

Митник Л.М., Митник М.Л. Мультисенсорный спутниковый мониторинг явлений и процессов в океане и атмосфере // *Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. / Гл. ред. В.А. Акуличев; ТОИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 2013. Кн. 1. С. 208-230.*

Митник Л.М., и др. Приводный ветер и морской лёд в Баренцевом море по данным микроволновых измерений со спутников Метеор-М № 1 и GCOM-W1 в январе-марте 2013 г. // *Исслед. Земли из космоса*. 2015. № 6. С. 36-46.

Митник Л.М., Митник М.Л. Спутниковое микроволновое зондирование Камчатки и окружающих морей // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2015. № 1. Вып. № 25. С. 231-238.

Митник Л.М., Хазанова Е.С. Динамика ледяного покрова в морях Восточно-Сибирском и Лаптевых по данным спутникового микроволнового зондирования во второй половине октября 2014 г. // *Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса*. 2015. № 2. С. 100-113.

Mitnik L.M., Mitnik M.L. Calibration and validation are required components of microwave radiometric measurements from Meteor-M series satellites // *Current problems of the Earth remote sensing from Space*. 2016. V. 13. No 1. P. 95-104 (in Russian).

Barsukov I. et al. New Russian meteorological satellite Meteor-M N 2: Sensing of the subsurface, surface and atmospheric characteristics by MTVZA-GY microwave imager/sounder // *Proc. IGARSS 2016*, P. 5528-5531.

Mitnik L.M., et al. Sea surface wind and sea ice in the Barents Sea using microwave sensing data from Meteor-M N1 and GCOM-W1 satellites in January–March 2013 // *Izv. Atm. Oceanic Physics*, 2016, V. 52, No. 9, P. 1041–1050.

Mitnik L., et al. Microwave scanner sounder MTVZA-GY on new Russian meteorological satellite Meteor-M N 2: modeling, calibration and measurements // *IEEE J. Selected Topics Appl. Earth Obs. Remote Sensing*. 2017. Vol. 10. N. 7. P. 3036-3045.

Cherny I.V., et al. Advanced Microwave Imager/Sounder MTVZA-GY-MP for new Russian meteorological satellite // *Proc. IGARSS 2017, USA*. 1220-1223.

Mitnik L.M., Kuleshov V.P., Mitnik M.L., Baranyuk A.V. Passive microwave observations of South America and surrounding oceans from Russian Meteor-M No. 2 and Japan GCOM-W1 satellites // *Int. J. Remote Sens*. 2018. V. 39. N. 13, 4513-4530.

Mitnik L., et al. External calibration of MTVZA-GY/ Meteor-M No.2 imager channel // *GSICS Quarterly Newsletter*. 2018, V. 12. N 1, 9-10.

Чернявский Г.М., Митник Л.М., Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника Метеор-М № 2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 78-100. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-78-100.

Mitnik L.M., et al. Sudden stratospheric warming in 2015-2016: Study with satellite passive microwave data and reanalysis // *Proc. IGARSS 2018*. Valencia. 23-27 July, P. 5560-5563.

Mitnik L., Kuleshov V., Mitnik M., Khazanova E. Temporal variations of surface and atmosphere characteristics in TaklaMakan desert from AMSR2 observations // *Proc. IGARSS 2019*. Yokogama. Japan, 28 July–2 Aug, P. 6429-6432.

Митник Л.М., Хазанова Е.С. Радиолокационные, термические и оптические контрасты морского льда в Охотском море зимой // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 5. с. 255–267.

Чернявский Г.М. и др. Моделирование яркостных температур и первые результаты, полученные микроволновым радиометром МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М № 2-2 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т.17. № 3. С. 51-65. .

Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л. Внезапное стратосферное потепление над Антарктидой в сентябре 2019 г. по данным радиометра МТВЗА-ГЯ со спутника "Метеор-М" № 2-2 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т.17. № 7. С. 229-242.

Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л. Внезапное стратосферное потепление в январе 2021 года по микроволновым измерениям со спутника "Метеор-М" № 2-2 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. №3. С. 139-148.

Mitnik L. et al. Satellite study of atmospheric cyclones and rivers around Antarctica // *Proc. IGARSS, 2021*, pp. 7071-7074.

Mitnik L.M., Kuleshov V.P., Mitnik M.L., Chernyavski G.M., Cherny I.V., Streltsov A.M. Microwave radiometer MTVZA-GY on new Russian satellite Meteor-M No 2-2 and sudden stratospheric warming over Antarctica // *IEEE Journal of Selected Topics of Applied Remote Sensing*, 2021 (in press)