



*Четырнадцатая международная Школа-семинар
Спутниковые методы и системы исследования Земли*

**Морской лёд и атмосферные образования
в районе Северного морского пути на
радиолокационных изображениях
БРЛК со спутника «Метеор-М№ 2-4»**

Л.М. Митник, А.Л. Шлаферов

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

Владивосток, ул. Балтийская 43, e-mail: lm_mitnik@mail.ru

ФГУП «РНИИРС»





Стандартные трассы плавания в Российских арктических морях

(по данным <http://esimo.oceanography.ru/>)

Приоритетом является оперативный контроль обстановки в ключевых районах, в которых наблюдаются опасные для движения судов по трассам явления и процессы:

- пролив Карские ворота;
- район архипелага Новая Земля (прежде всего мыс Желания);
- район острова Белый и вход в Обскую губу;
- пролив Вилькицкого;
- эстуарий реки Оби;
- дельта реки Енисея.

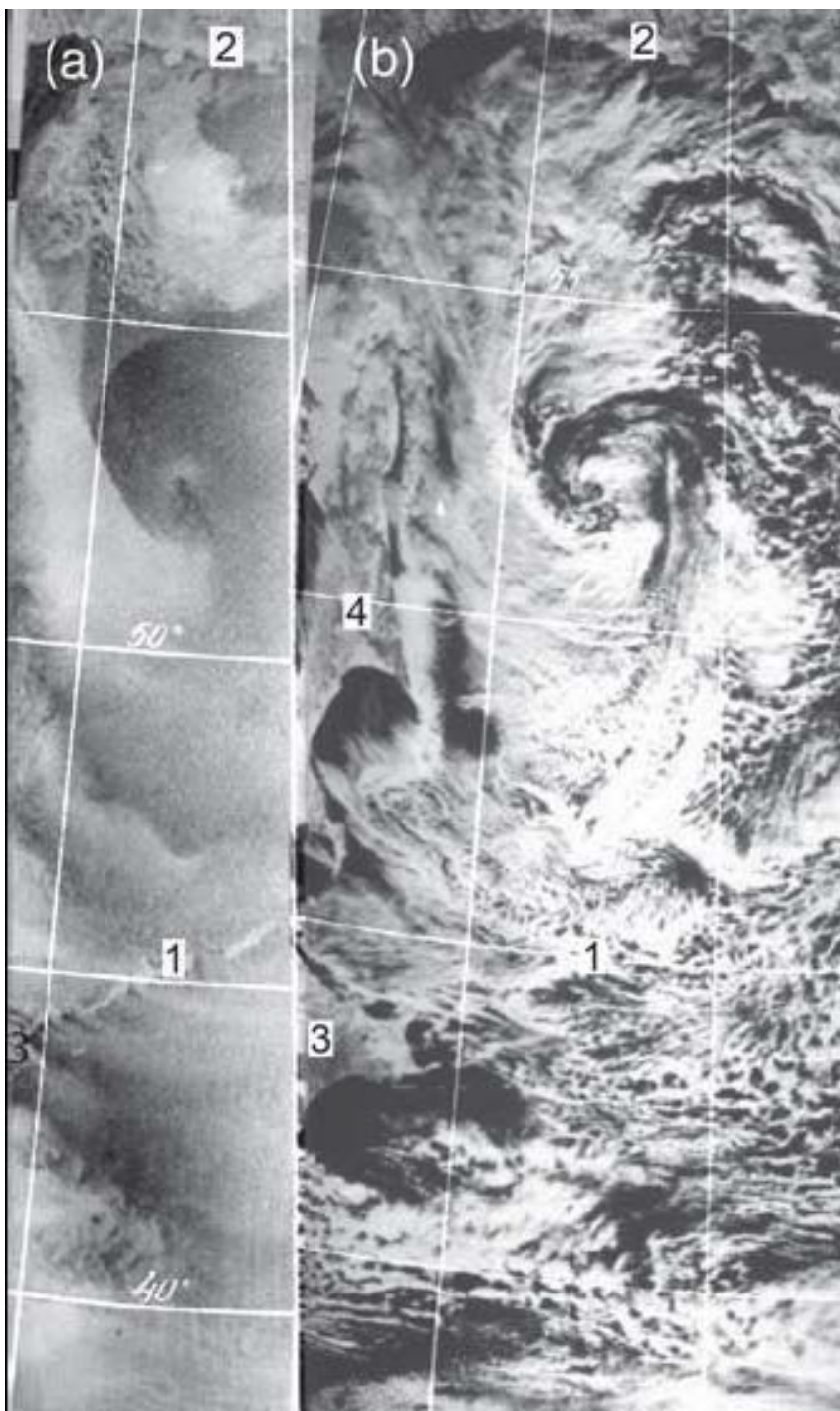
Космос-1500

Запуск океанографического спутника «Космос-1500», осуществленный 29 сентября 1983 г., положил начало функционированию оперативной системы всепогодных радиолокационных наблюдений (спутников серии «Океан»). Бортовой радиофизический комплекс (РФА) спутников «Океан» включал радиолокатор бокового обзора (РЛС БО) X-диапазона с длиной волны 3,2 см, разрешением 1,5-2,0 км, микроволновый радиометр (РМ08) с длиной волны 0,8 см, разрешением 15 км и 4-х-канальный (0.5-0.6, 0.6-0.7, 0.7-0.8, 0.8-1.1 мкм) оптический сканер малого разрешения (МСУ-М) с разрешением 1,5 км. Комплекс РФА позволял проводить синхронную съемку всеми дистанционными приборами (МСУ-М 0.8-1.1 мкм) в совмещенной полосе 470 км. Всего за период 1983-2000 гг. на орбите функционировало 10 спутников серии «Океан».

Запуск океанографического спутника «Космос-1500» 29 сентября 1983 г. положил начало функционированию оперативной системы всепогодных радиолокационных наблюдений (спутников серии «Океан»)

КОСМОС-1500

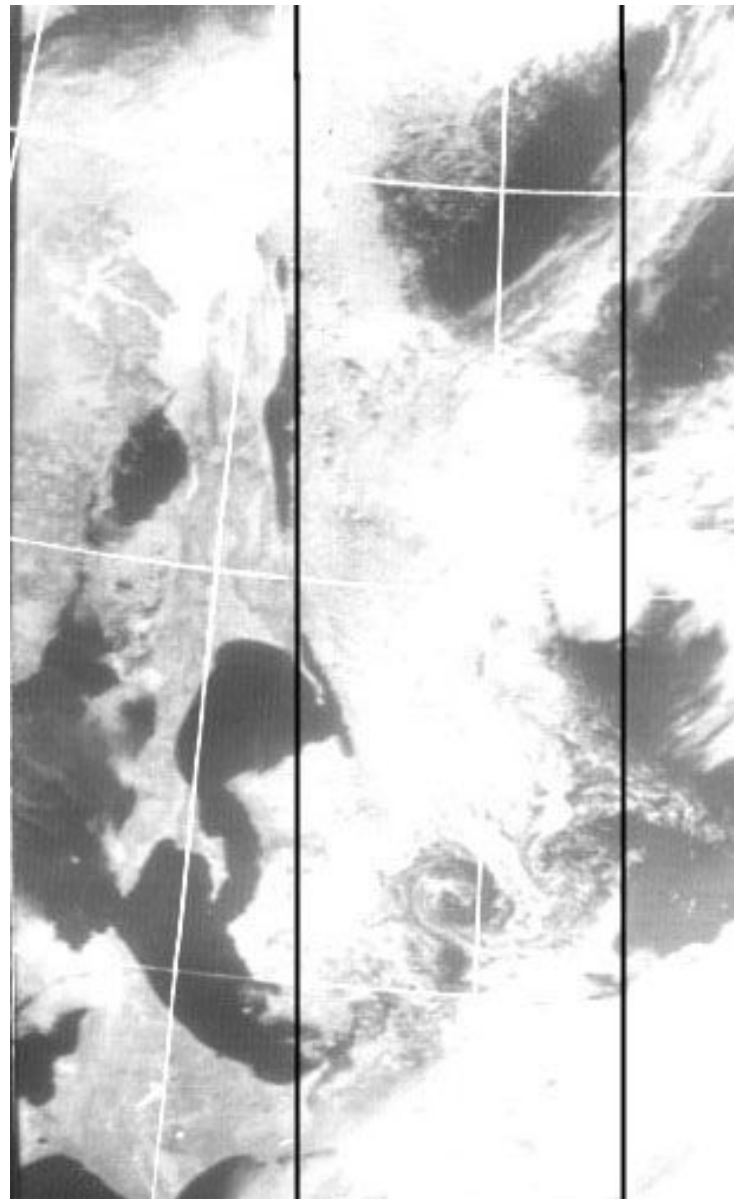
Seen on the left (a) is a **Real Aperture Radar (RAR)** and on the right (b) a visible image of an occluded cyclone over the Okhotsk Sea taken by **Kosmos-1500** on 29 December 1984. Iturup Island (1), northern coast of the Okhotsk Sea (2), Hokkaido (3), and Sakhalin (4) are identified. Brightness of the **RAR** image is influenced by wind speed and direction (relative to the radar direction), with brightness increasing with increasing wind speed. Comparison of two images shows a high correlation of wind field in (a) with cloudiness in (b). Radar images such as this have demonstrated their potential for monitoring the sea surface under all-weather conditions.



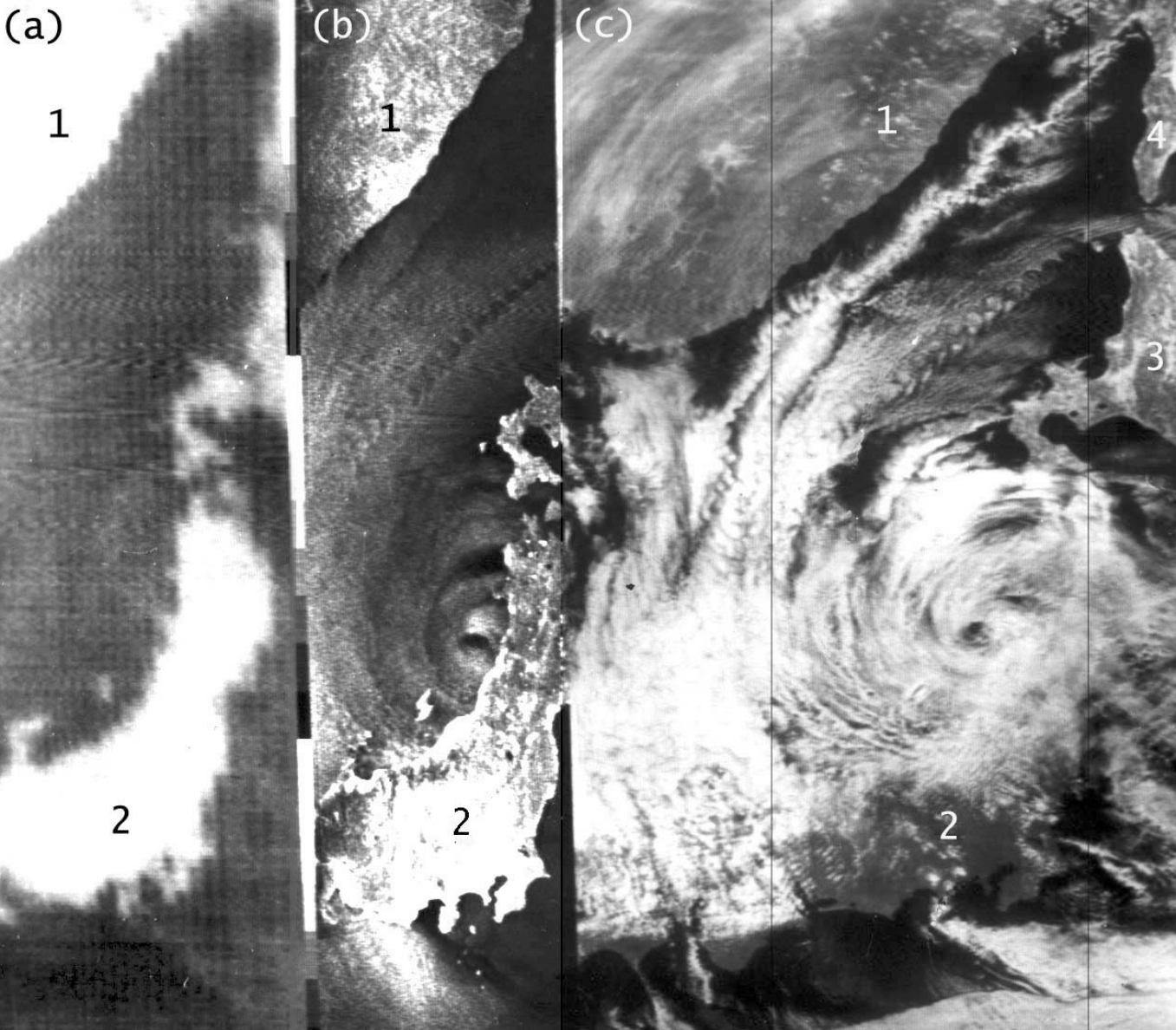
24 Jan 1996

28 March 1997

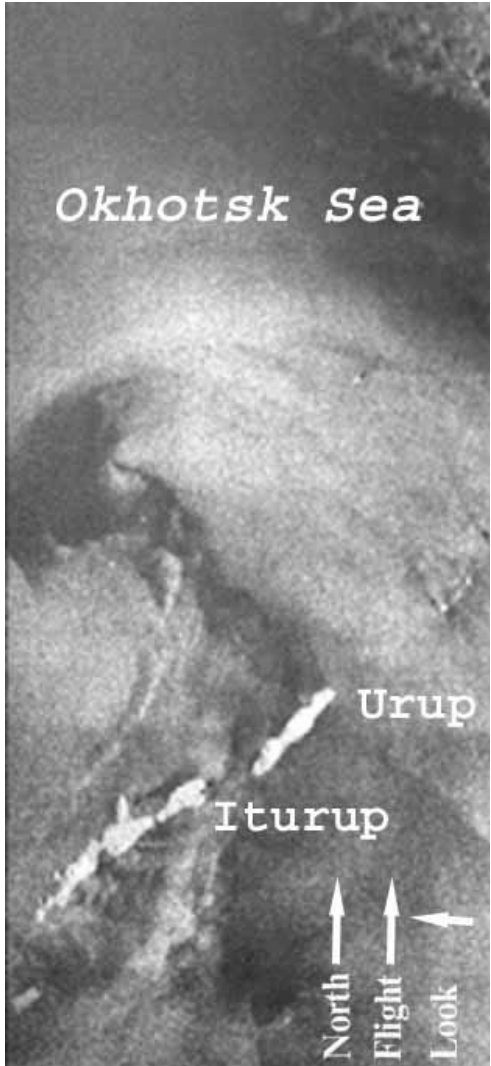
4 May 1996



Passive microwave at $\lambda = 0.8$ cm (a), X-band radar (b) and visible (c) images taken on 9 March 1996



24 December 1994

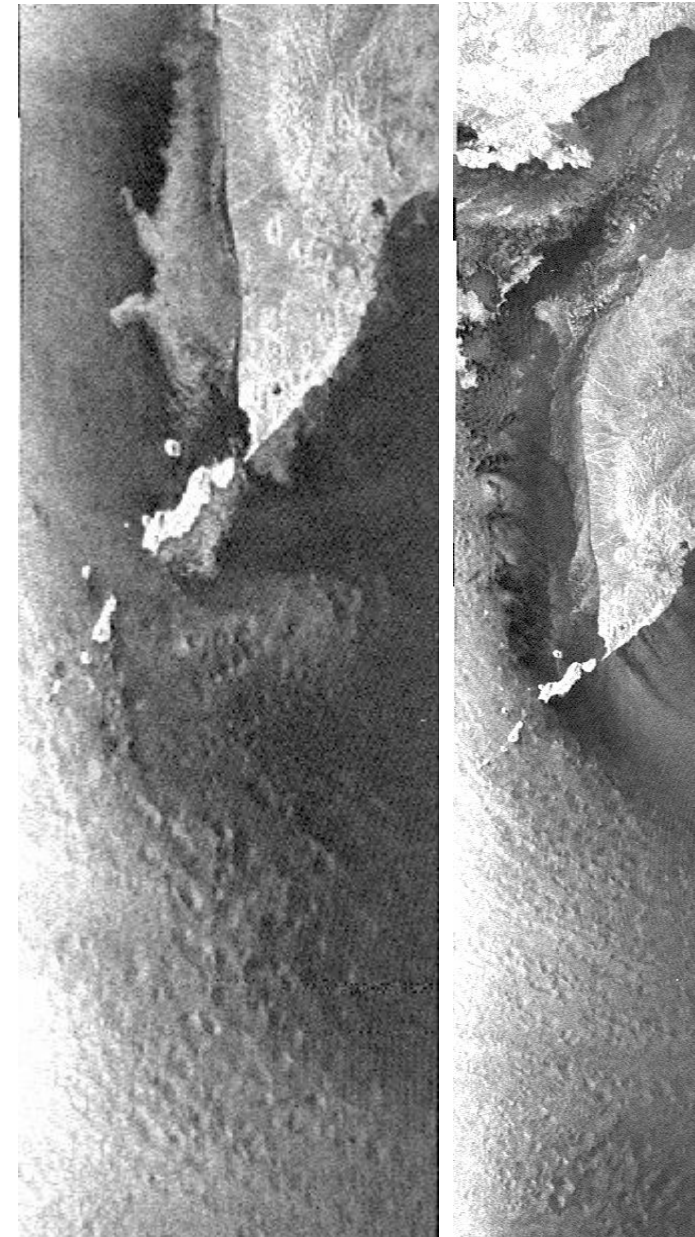
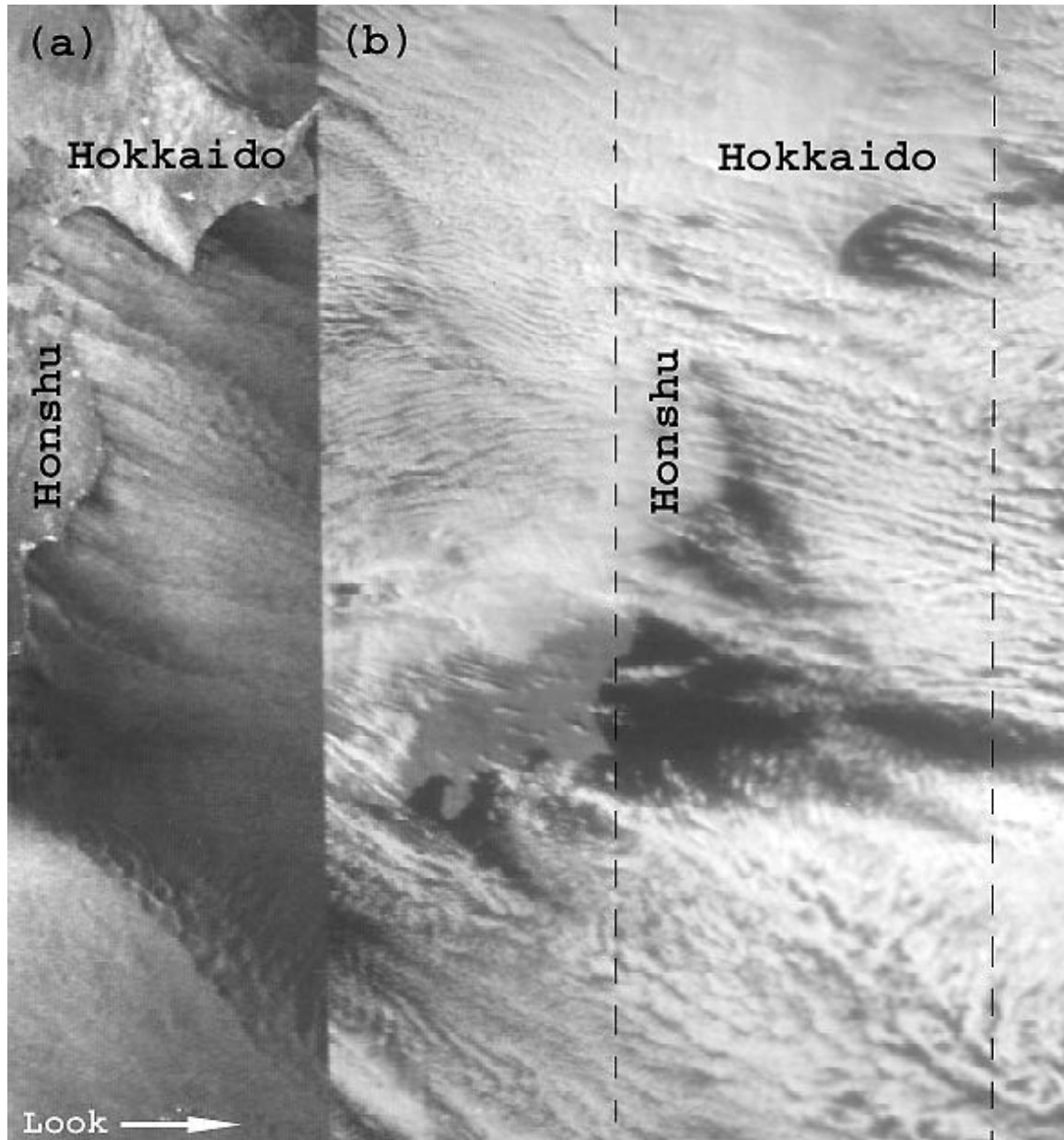


Cell and roll convection

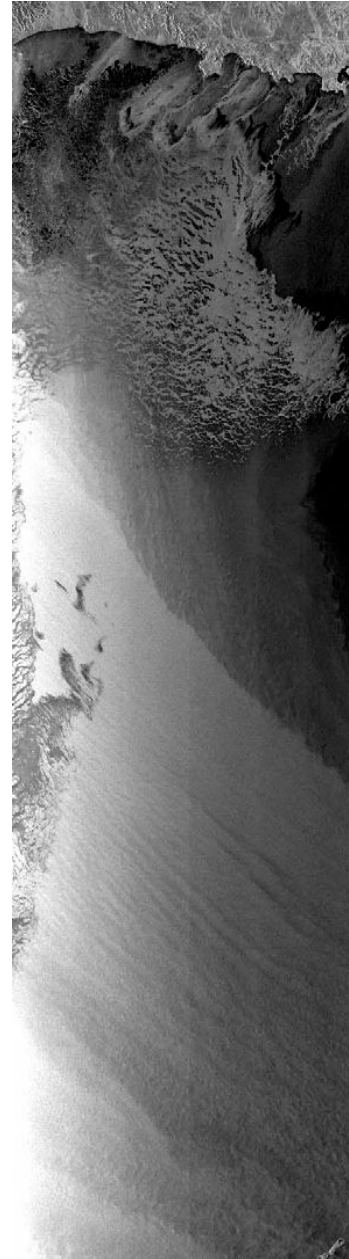
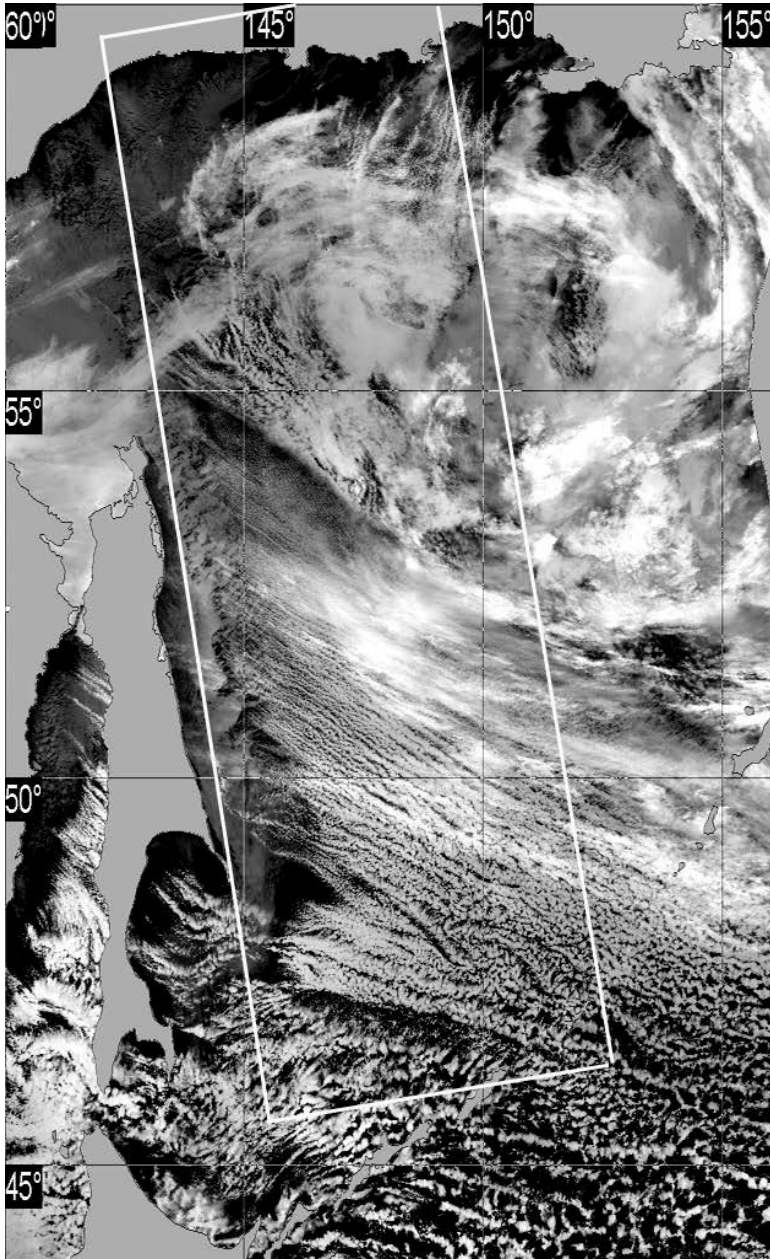
31 Jan 1996

8 February 2000

27 Jan 2000



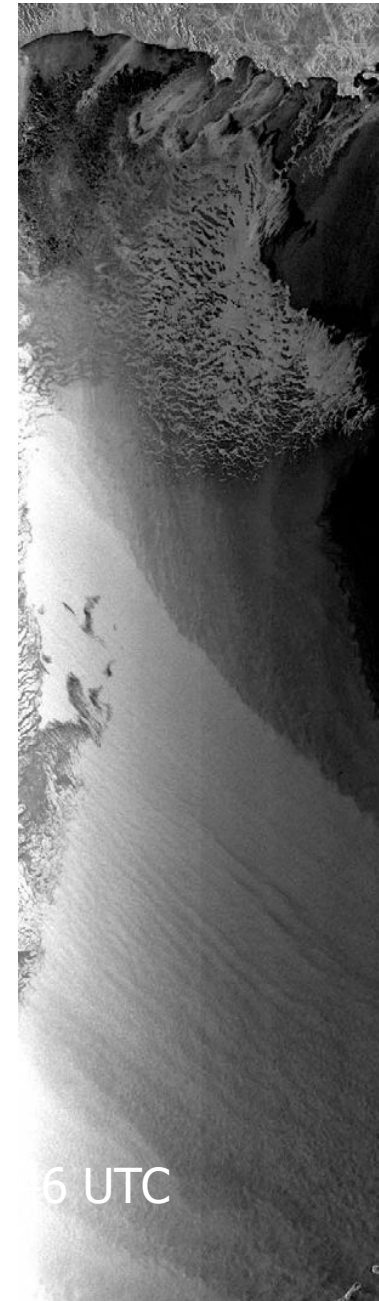
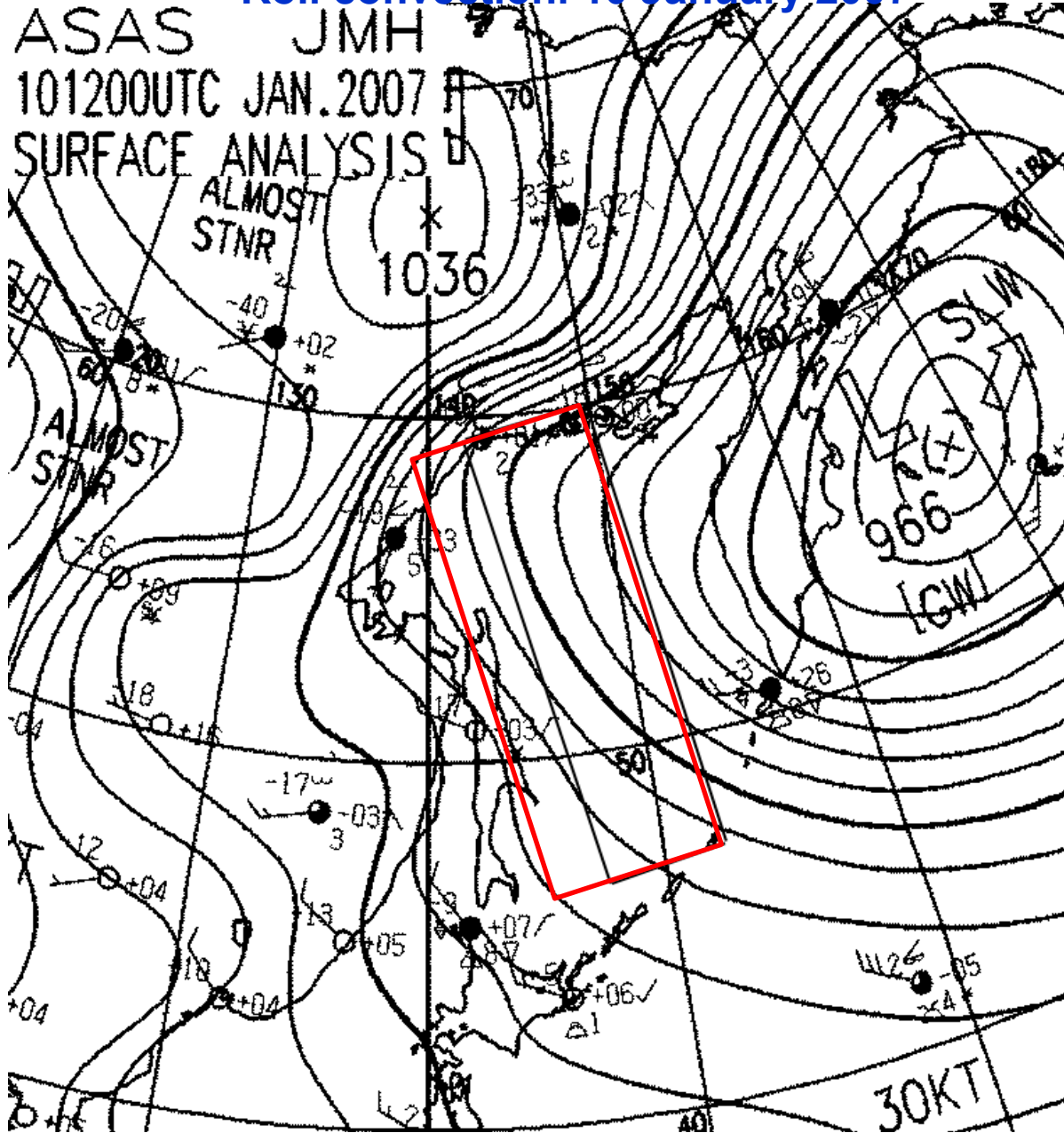
Roll and cell convection



*Okhotsk Sea
10 January 2007*

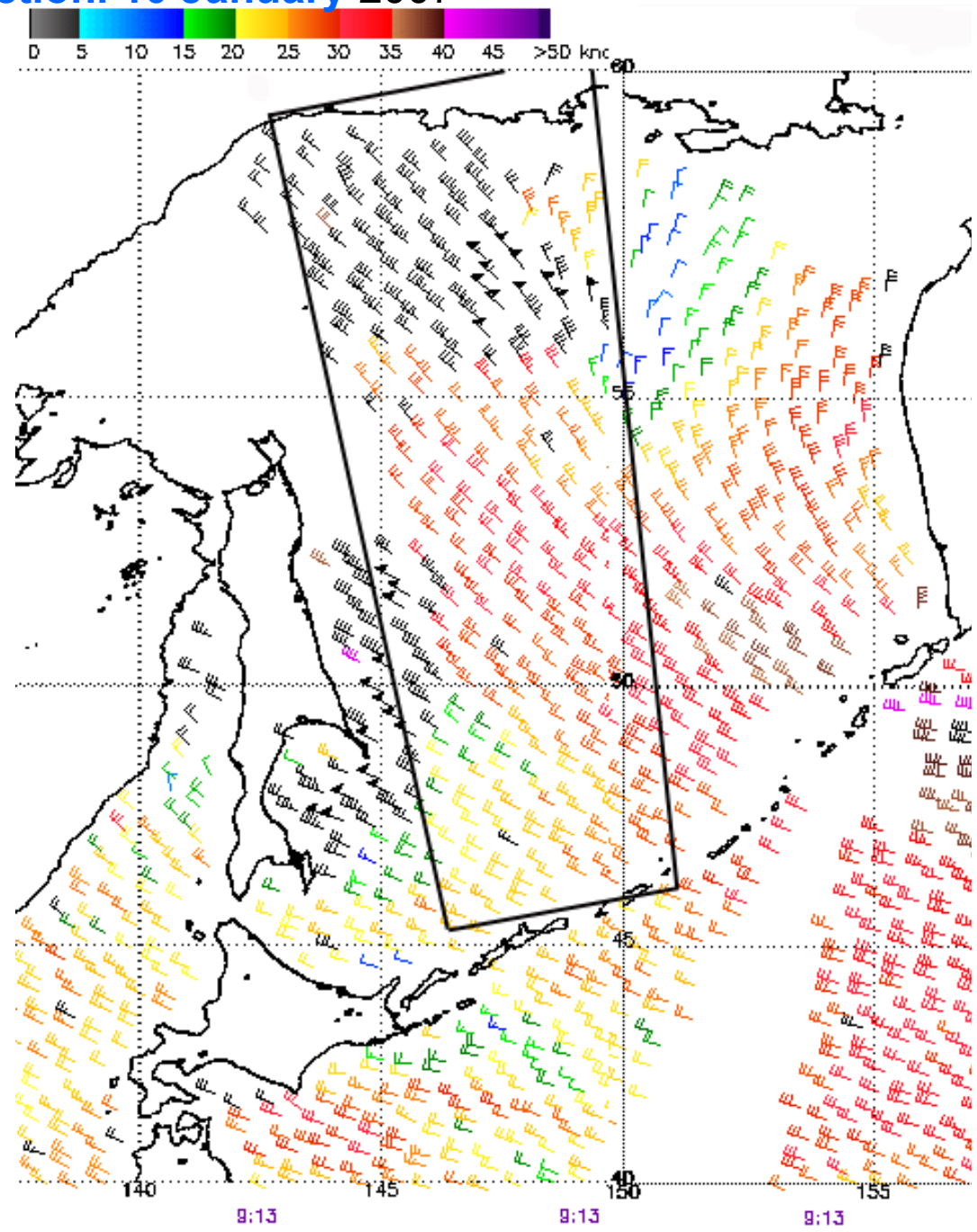
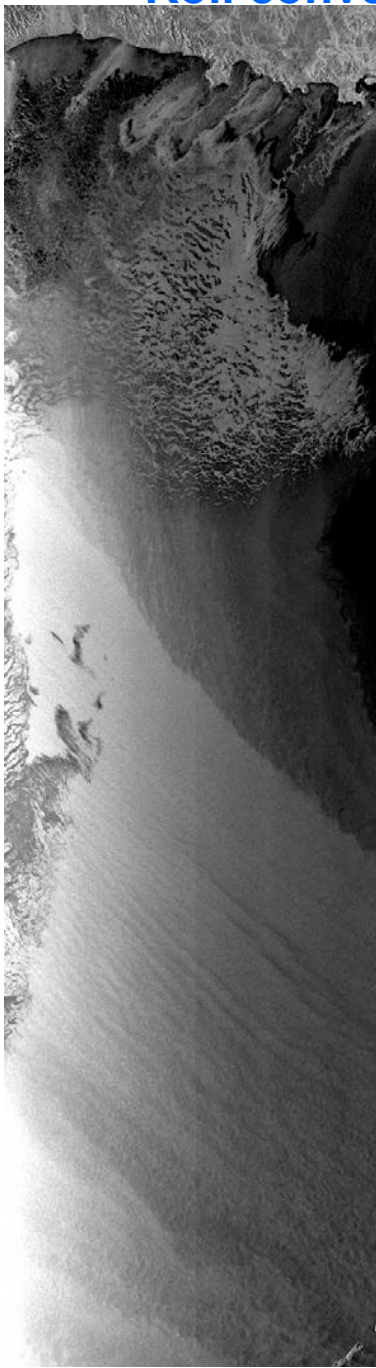
*Mesoscale
rolls and cells
on NOAA
visible (a) and
Envisat ASAR
(b) images*

Roll convection. 10 January 2007



Surface Analysis of Japan Meteorological Agency. 12:00

Roll convection. 10 January 2007



QuikSCAT
-derived
wind field
acquired
on 09:13
UTC.

Dark lines
mark the
boundaries
of **Envisat**
ASAR image
taken at
11:46 UTC

Радиолокация
поверхности
Земли
из космоса

Экспериментальный океанографический спутник «Космос-1500»

**Физические основы РЛ-съеомок с
орбиты ИСЗ.**

**Радиолокационная система
бокового обзора ИСЗ «Космос-1500»**

**Предварительная обработка
данных РЛС БО**

**Характеристики морской
поверхности**

Характеристики морского льда

Характеристики материкового

льда

*Под редакцией
канд. физ-мат. наук Л. М. Митника,
канд. физ-мат. наук С. В. Викторова*

В 2009 и 2014 г.г. были предприняты попытки использовать радиолокаторы, установленные на КА Метеор-М №1 и №2 (БРЛК «Северянин-М») для мониторинга морского льда. Антенные устройства этих БРЛК в предполетном положении состояли из 4 волноводно-щелевых антенн, каждая из которых имела длину более 3 м, которые должны были после выхода спутника на орбиту раскрыться и выстроиться в единую линию. При этом никакой регулировки с Земли не было предусмотрено. Антенны раскрылись, но потери мощности отраженных РЛ сигналов были настолько велики, что регистрировались только сильные сигналы от торосистых льдов (динамический диапазон значений УЭПР морского льда не превышал 12 дБ, вместо 25 дБ по ТЗ), и только в зоне больших углов (не более 35°) наблюдения.

Для мониторинга льда использовались доступные данные КА Envisat (в 2002-2010 г.), Sentinel-1a/1b и Sentinel-1c (запущен в 2024 г.).

Создание российского бортового радиолокационного комплекса (БРЛК) МетеоСАР КА «Метеор-М» № 2-4, запущенного 29.02.2024 г., явилось продолжением работ по развитию радиолокаторов, установленных на спутниках серии «Океан». За 40 лет между КА «Космос-1500» и БРЛК МетеоСАР «Метеор-М» № 2-4 космическая техника значительно изменились. Поэтому разработка всех функциональных узлов БРЛК МетеоСАР проводилась с учетом новейших технологий.

БРЛК МетеоСАР предназначен прежде всего для всепогодного мониторинга морского ледяного покрова в районе пролегания трассы Севморпути.

Основные технические характеристики БРЛК МетеоСАР, осуществляющего РЛ съемку в X-диапазоне (длина волны 3 см), следующие: поляризация вертикальная – VV, пространственное разрешение в режиме низкого разрешения (СНР) – 1000 м, пространственное разрешение в режиме среднего разрешения (ССР) – 500 м, ширина полосы обзора – 600 км.

Для мониторинга ледяного покрова в районе трассы СМП используется режим ССР-О, реальное значение которого составляет 400 м [16],

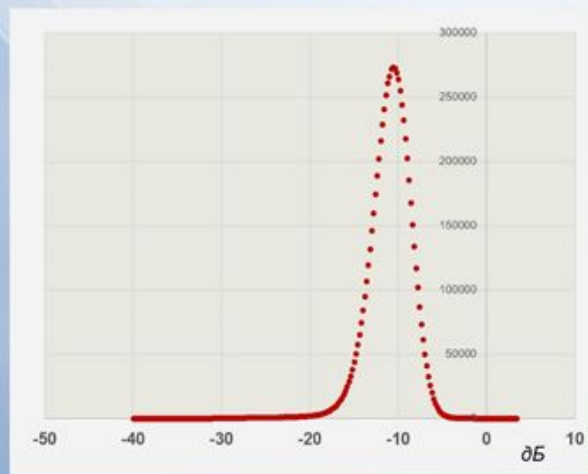
В БРЛК МетеоСАР реализовано два вида модуляции зондирующего сигнала: линейно-частотной модуляции (ЛЧМ) и фазово-кодовой модуляции (ФКМ). Использование зондирующих ЛЧМ-сигналов позволяет обеспечить выполнение заданных требований к динамическому диапазону измеряемых значений УЭПР (удельной эффективной площади рассеяния), а использование ФКМ-сигналов – улучшить пространственное разрешение БРЛК. Для мониторинга трассы СМП использовалась ЛЧМ модуляция.

На БРЛК МетеоСАР КА «Метеор-М» №2-4 используется антенна, изготовленная по технологии активной фазированной антенной решетки (АФАР). Конструктивно излучающий раскрыв АФАР состоит из 5 сложенных на этапе запуска и вывода на орбиту секций, которые после вывода КА на целевую орбиту последовательно раскрываются и располагаются вдоль силовой рамы. Каждая секция включает 13 подрешеток, общее число которых в АФАР составляет 65. Антенна включает 8320 антенных элементов (АЭ), которые объединены по 128 АЭ в 65 подрешетках. К каждой подрешетке подключен приемопередающий модуль, позволяющий управлять амплитудой и фазой токов АЭ в подрешетке. Это дает возможность обеспечивать электронное сканирование луча и установку его в нужном направлении путем изменения соотношения фаз между подрешетками без поворота антенной системы. Такое построение АФАР позволяет корректировать амплитудно-фазовое распределение в излучающем раскрыве для восстановления ДН при нарушении его формы на этапе развертывания антенны или в процессе эксплуатации.

ДН антенны настраивается перед запуском КА на Земле. Под влиянием дестабилизирующих факторов космического пространства, возникающих после запуска КА, могут наблюдаться нарушения формы ДН. К наиболее распространенным относятся искажения, вызванные изменениями положения секций антенной системы относительно друг друга. Коррекция искажений ДН для этих случаев осуществляется путем изменения весовых коэффициентов в каналах АФАР.

В ходе летних испытаний (ЛИ) БРЛК в НИЦ «Планета» была проведена оценка радиометрических характеристик радиолокатора. Для этой цели была проведена РЛ съемка антарктического ледника Ламберта и его сопредельной территории, выбранной в качестве природного полигона.

Шумовой эквивалент РЛ изображения составляет -28 дБ. Динамический диапазон значений УЭПР изменяется от -28 дБ до +2 дБ, разность между максимальным и минимальным значениями УЭПР на гистограмме составляет 30 дБ.



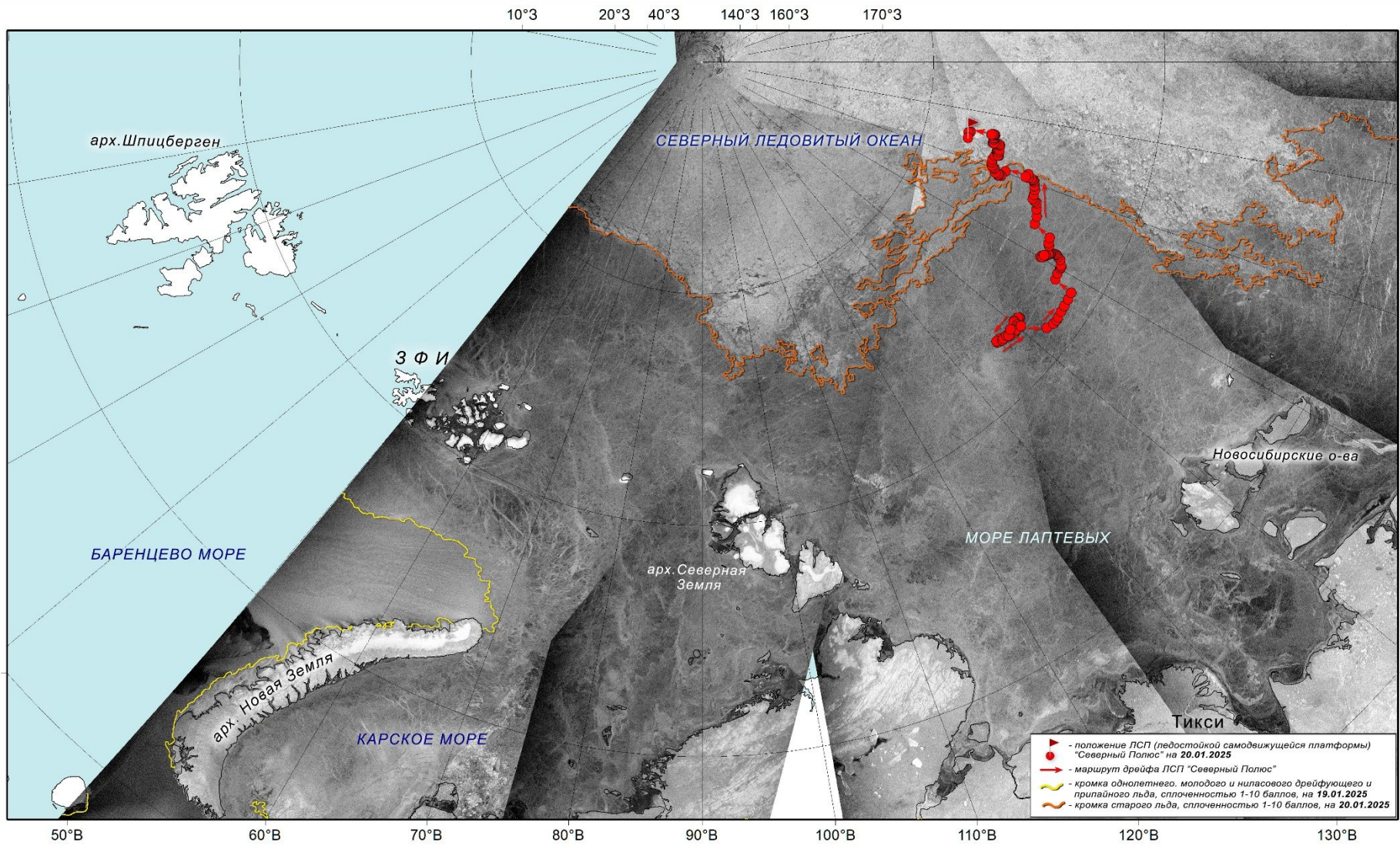
а)



б)

Второй тестовый полигон, тропический лес в бассейне реки Амазонки, был выбран для сравнения результатов калибровки МетеоСАР с зарубежными аналогами. Полигон характеризуется тем, что значения УЭПР не меняются в течении всего года. Поэтому среднее значение УЭПР используется для калибровки и интеркалибровки зарубежных радиолокаторов.

- а) гистограмма РЛ изображения тропических лесов бассейна реки Амазонки;
- б) радиолокационное изображение района

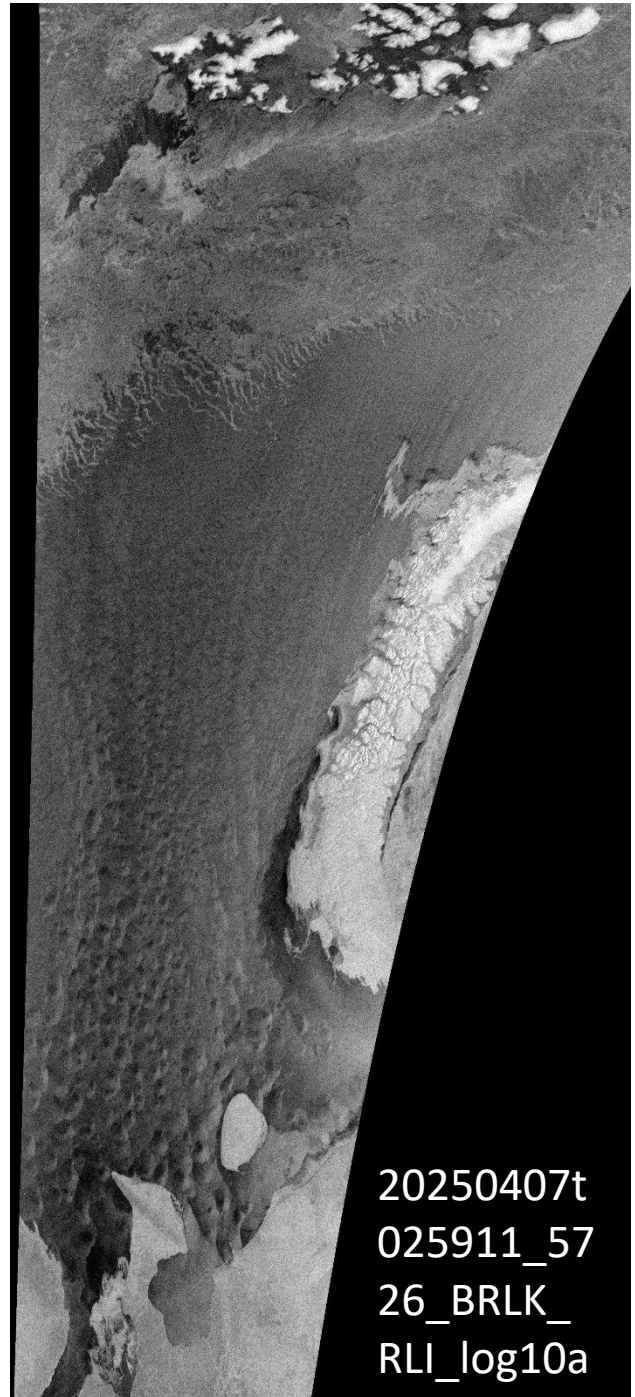


КА "Метеор-М" №2-4/МетеоСАР, разрешение 400 м

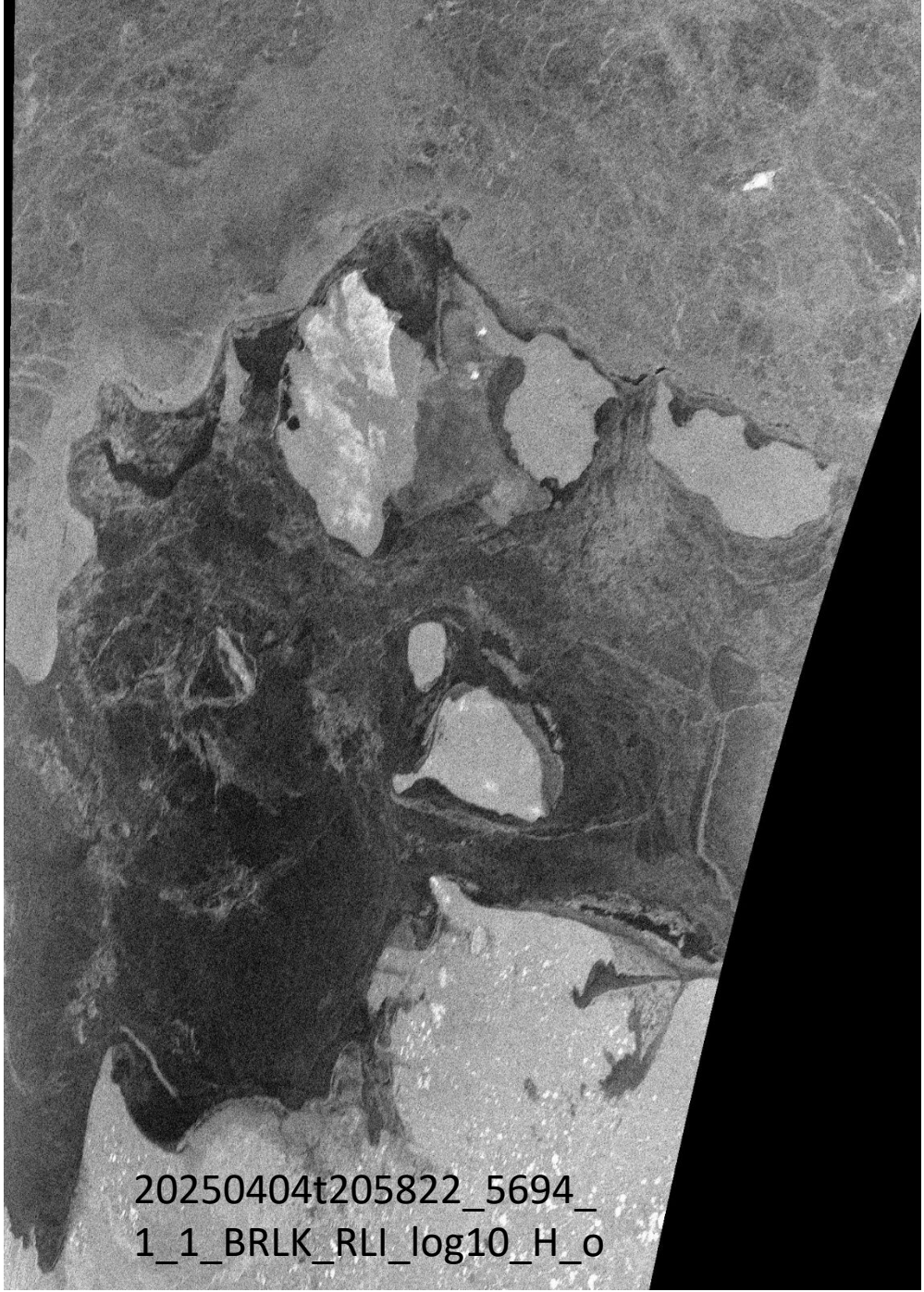
17 - 20 января 2025

Мониторинг дрейфа ЛСП "Северный полюс"

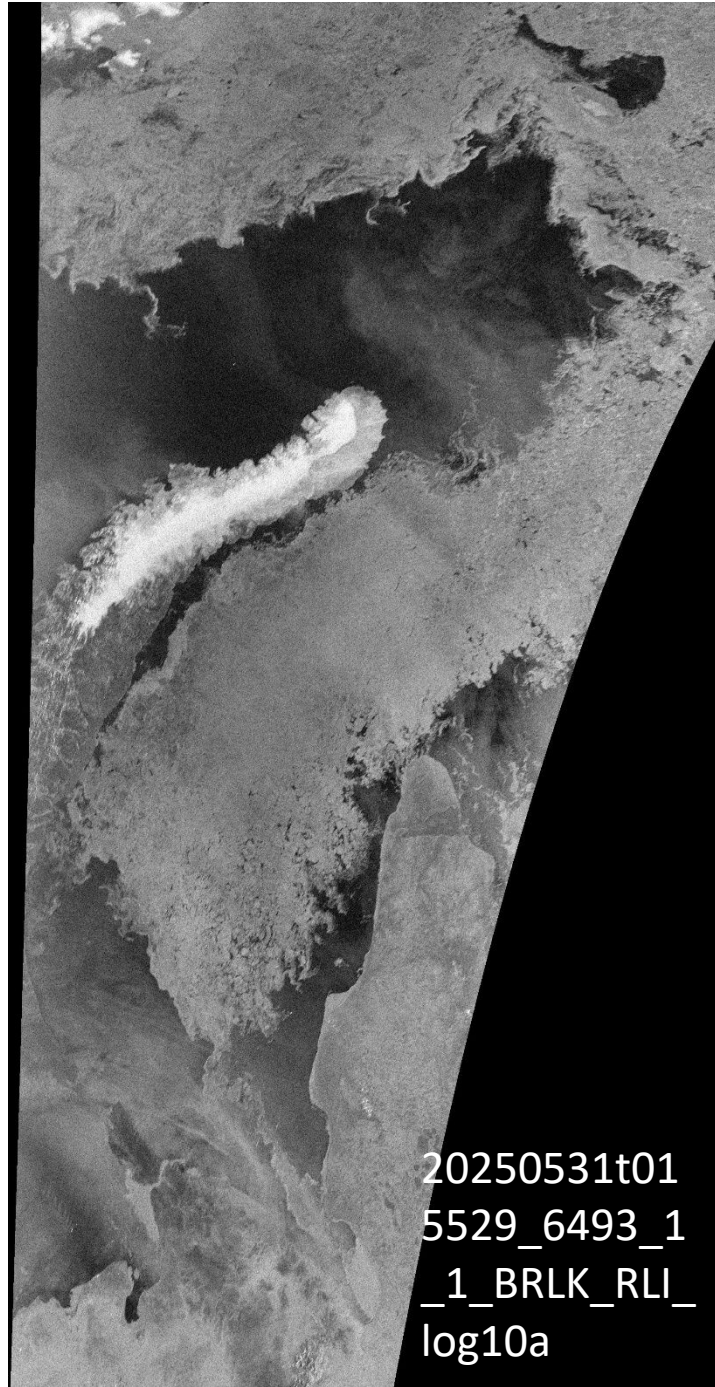
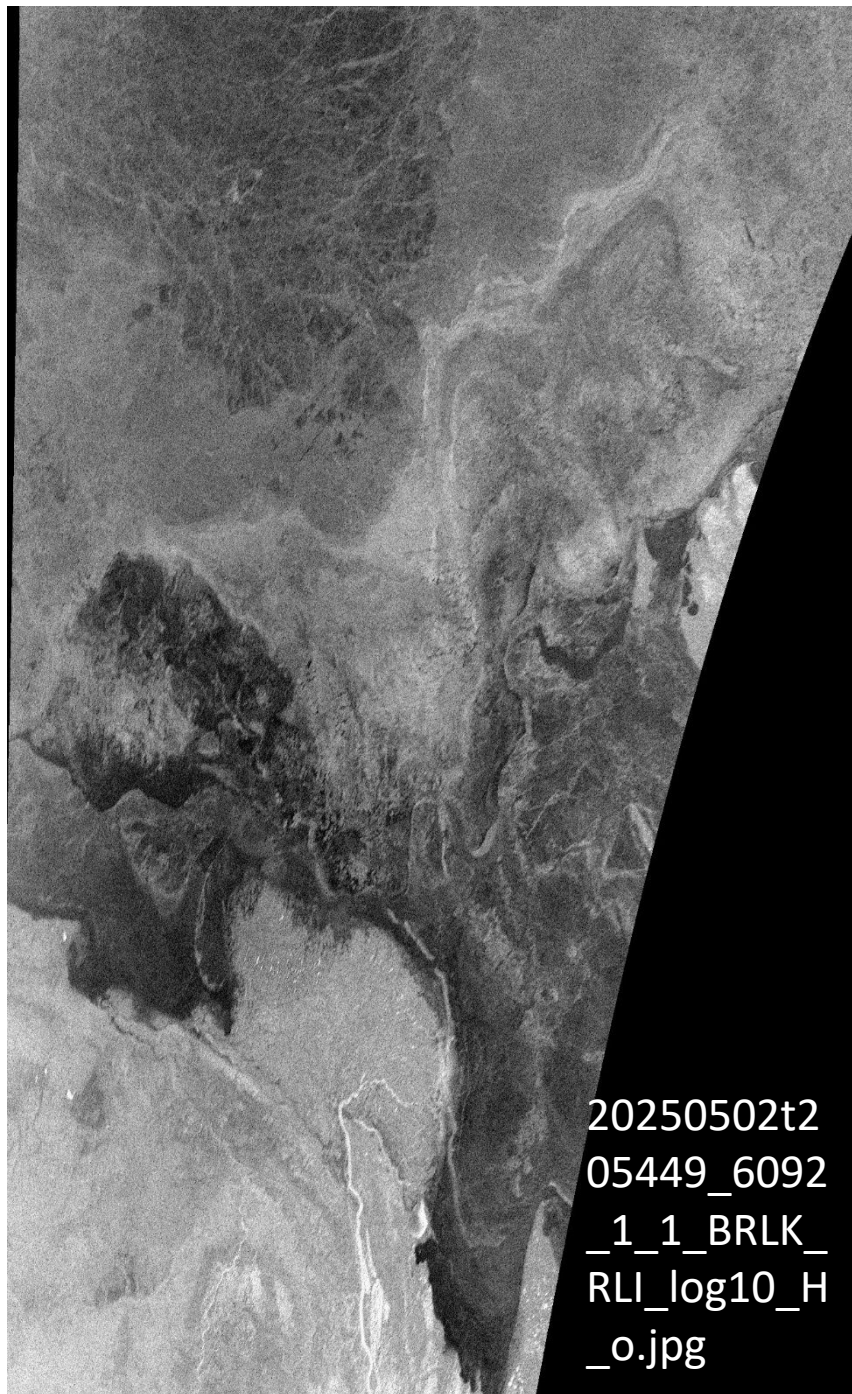


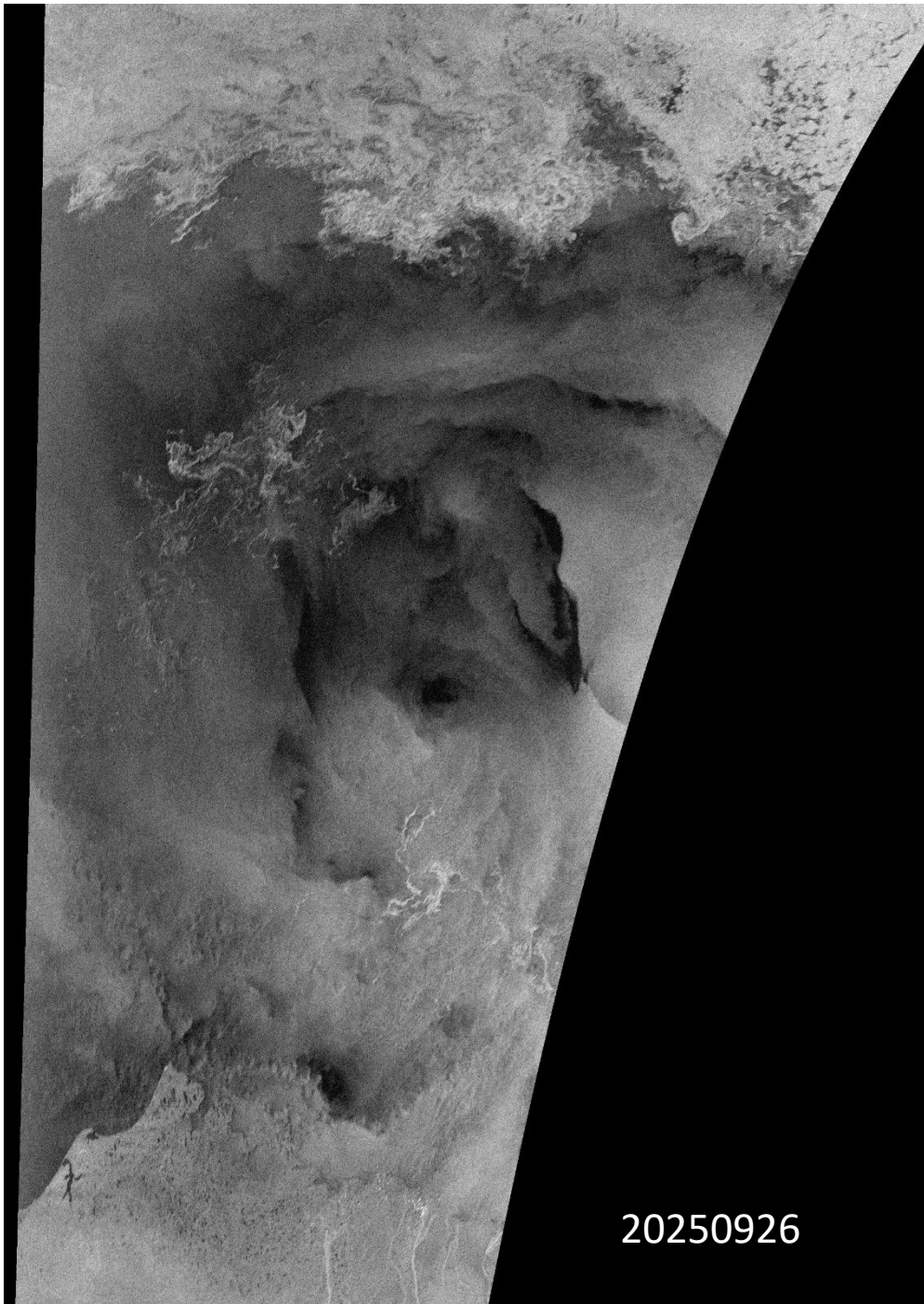


20250407t
025911_57
26_BRLK_
RLI_log10a

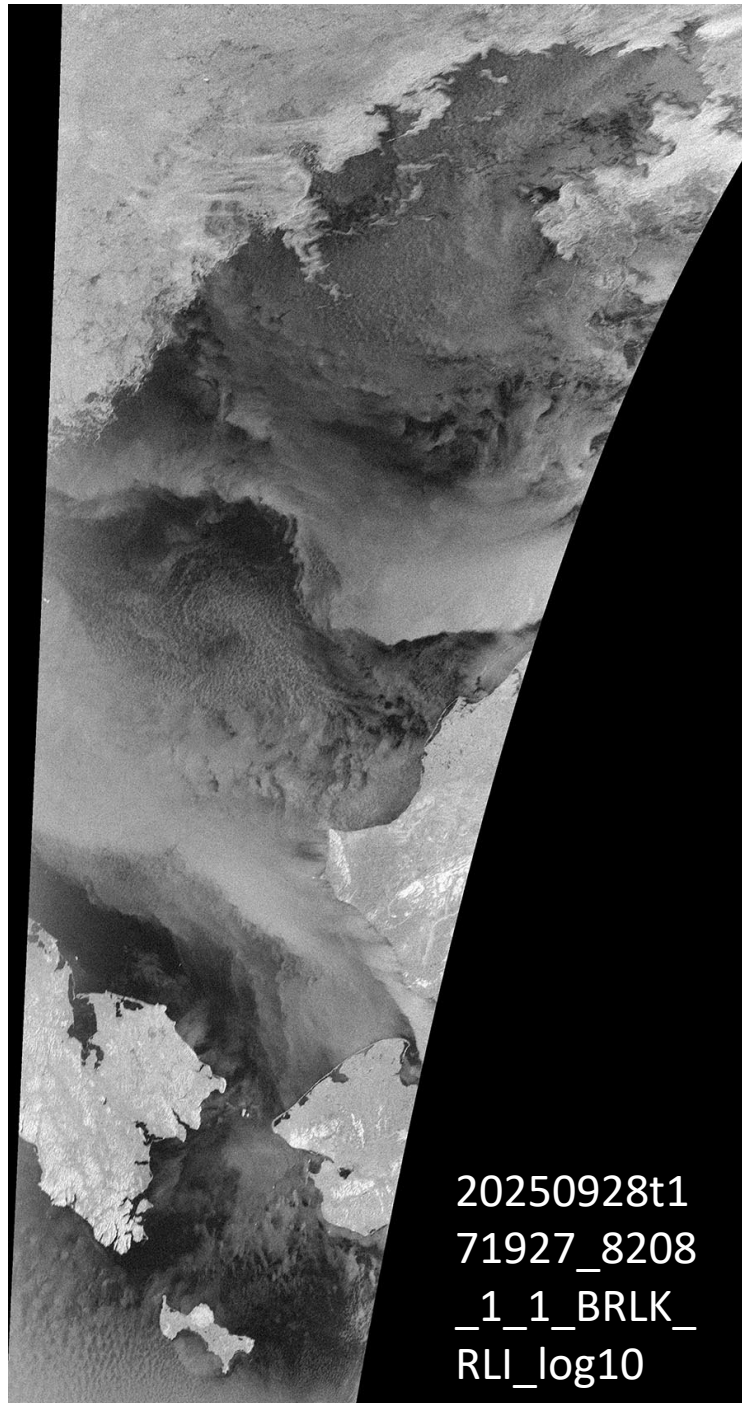


20250404t205822_5694_
1_1_BRLK_RLI_log10_H_o

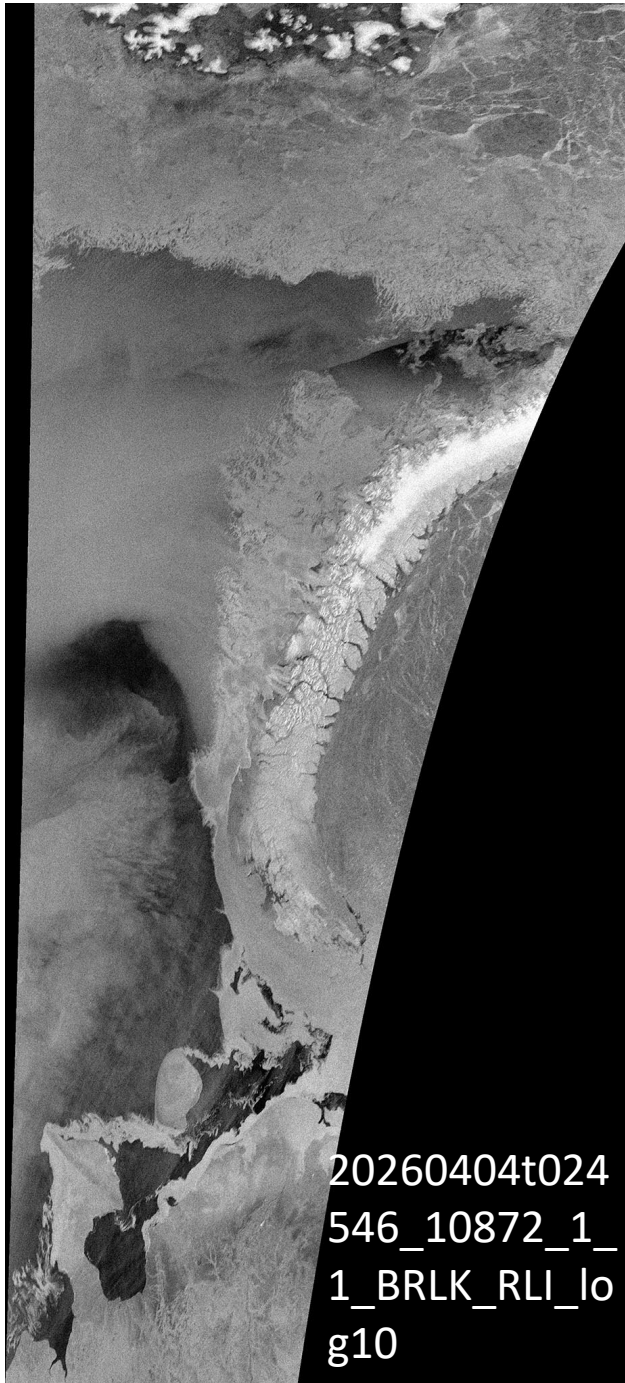




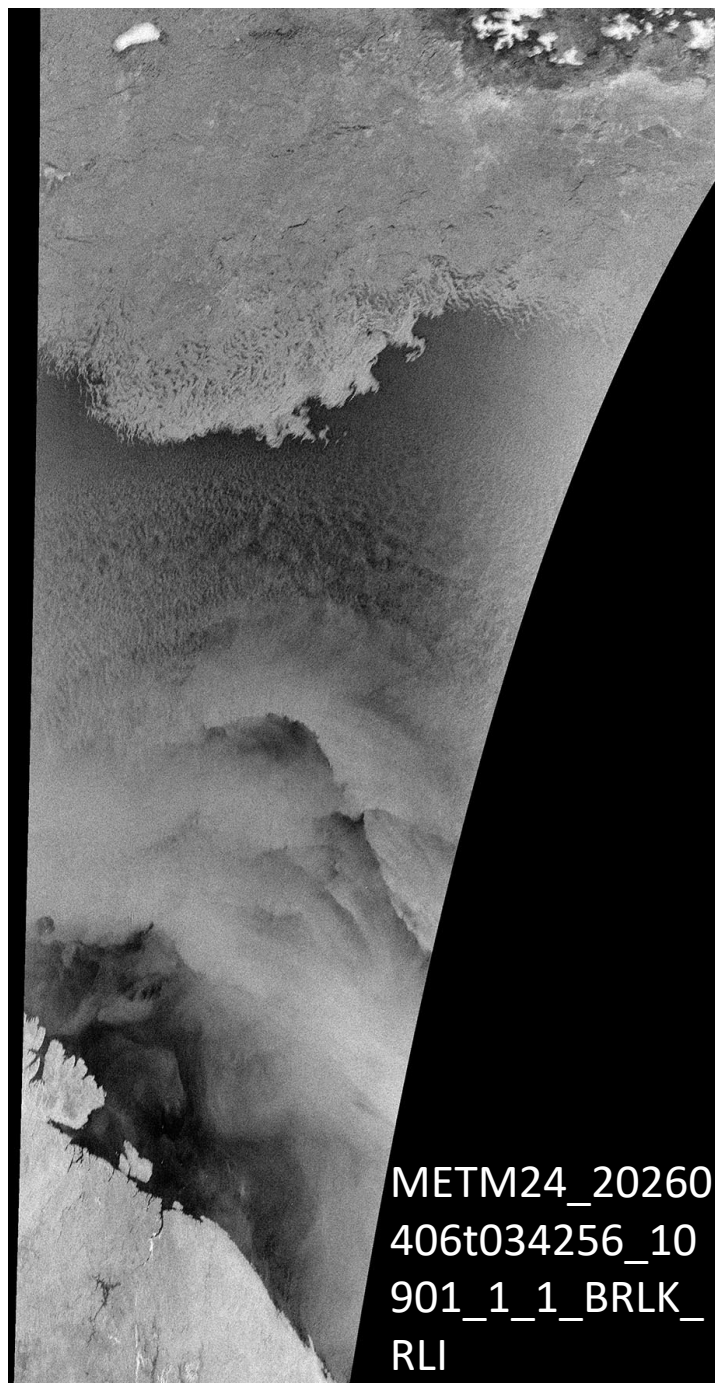
20250926



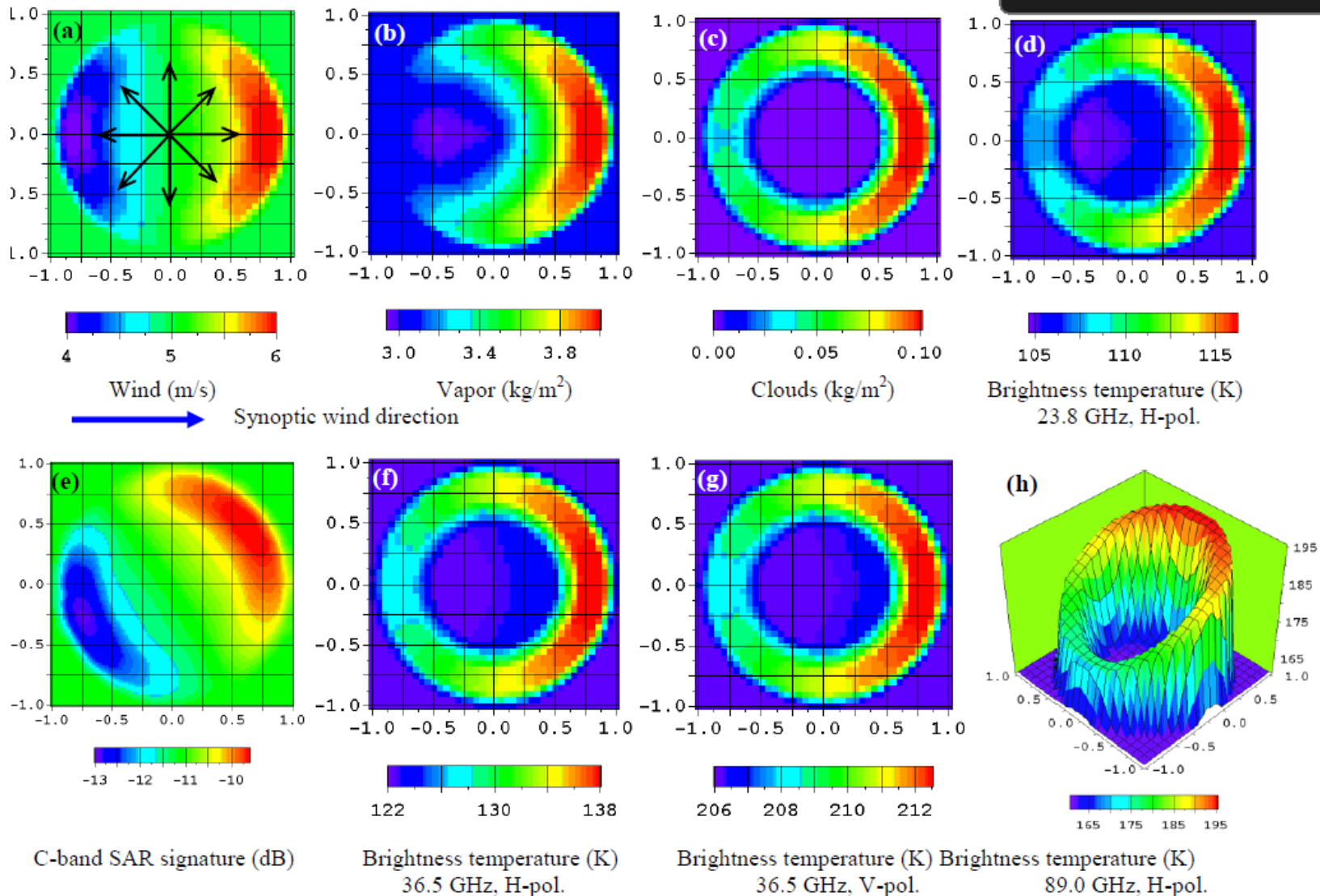
20250928t1
71927_8208
_1_1_BRLK_
RLI_log10



20260404t024
546_10872_1_
1_BRLK_RLI_lo
g10



METM24_20260
406t034256_10
901_1_1_BRLK_
RLI



Fields of sea surface wind (a), total water vapor content (b) and total cloud liquid water content (c) in an open cell constructed in dimensionless coordinates and fields of simulated brightness temperatures at 23.8 GHz with H-pol (d), at 36.5 GHz with H-polarization (f) and V-polarization (g) and at 89.0 GHz with H-polarization (h) and field of C-band Normalized Radar Cross Section (e) corresponding to fields (a) – (c). Sea surface temperature is 0°C .