

**Возможности изучения полярных циклонов
Арктического региона
в условиях непрерывного наблюдения по данным ВГКС «Арктика-М»**

Фролова Е.А.¹, Масляшова А. О.^{1,2}

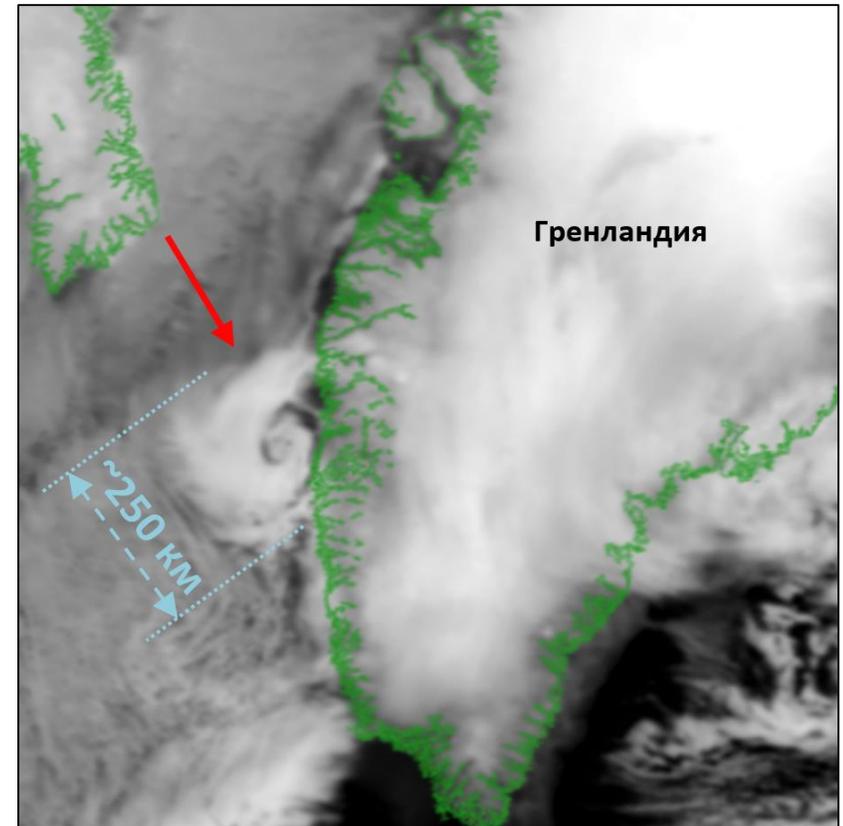
¹ ФГБУ «НИЦ «Планета»

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

В связи с активным развитием хозяйственной деятельности в Арктике важное значение имеет мониторинг и прогнозирование неблагоприятных и опасных явлений в её атмосфере. К числу таких явлений относятся полярные циклоны, способные внезапно и очень быстро приводить к развитию экстремальных погодных условий – сильному волнению до 8 баллов и ветру до 35 м/с, обледенению судов и сооружений, а также к снежным зарядам с ухудшением видимости. Область влияния мощного полярного циклона может достигать 600 000 км² [1].

Полярные циклоны – это наиболее опасный подтип мезомасштабных циклонов, образующихся в высоких широтах над морской поверхностью со скоростью ветра в приповерхностном слое >15 м/с [2].

В литературе описаны случаи губительного влияния полярных циклонов на судоходство, авиацию и другие сферы хозяйственной деятельности [3-6 и др.].



1. Нестеров Е. С. Полярные циклоны: наблюдения, реанализ, моделирование// Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 1 (375). С. 65-82.
2. Günther H., Øyvind S. Workshop on polar lows // BAMS. - 2013. - Vol. 94, No. 9. - P. ES123 - ES126.
3. Глазунов В. Г. Метеорологическая экспертиза катастрофы Ми-8МТ на Шпицбергене в 2008 г. // Aviation Explorer. 2012. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/2012/12/18/1697/>.
4. The Accident Investigation Board Norway. Report concerning aviation accident on the Cape Heer Heliport, Svalbard, Norway, 30 March 2008 with Mil Mi-8MT, RA-06152, operated by Spark+ Airline Ltd. Issued February 2013. URL: <https://www.nsia.no/Aviation/Published-reports/2013-06-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>.
5. Eirik Mikal Samuelsen, Sveinung Løset, Kåre Edvardsen Marine icing observed on KV Nordkapp during a cold air outbreak with a developing polar low in the Barents sea// Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions.- 2015.
6. Adekunle Peter Orimolade, O. Gudmestad, L. Wold. Vessel stability in polar low situations. November 2016 Ships and Offshore Structures 12(sup1): 1-6.

В настоящее время ВГКС «Арктика-М» состоит из двух космических аппаратов, функционирующих на высокоэллиптической орбите типа «Молния» (высота апогея ~ 40000 км, период обращения – 12 часов, из которых 6,5 часов – рабочий участок орбиты).

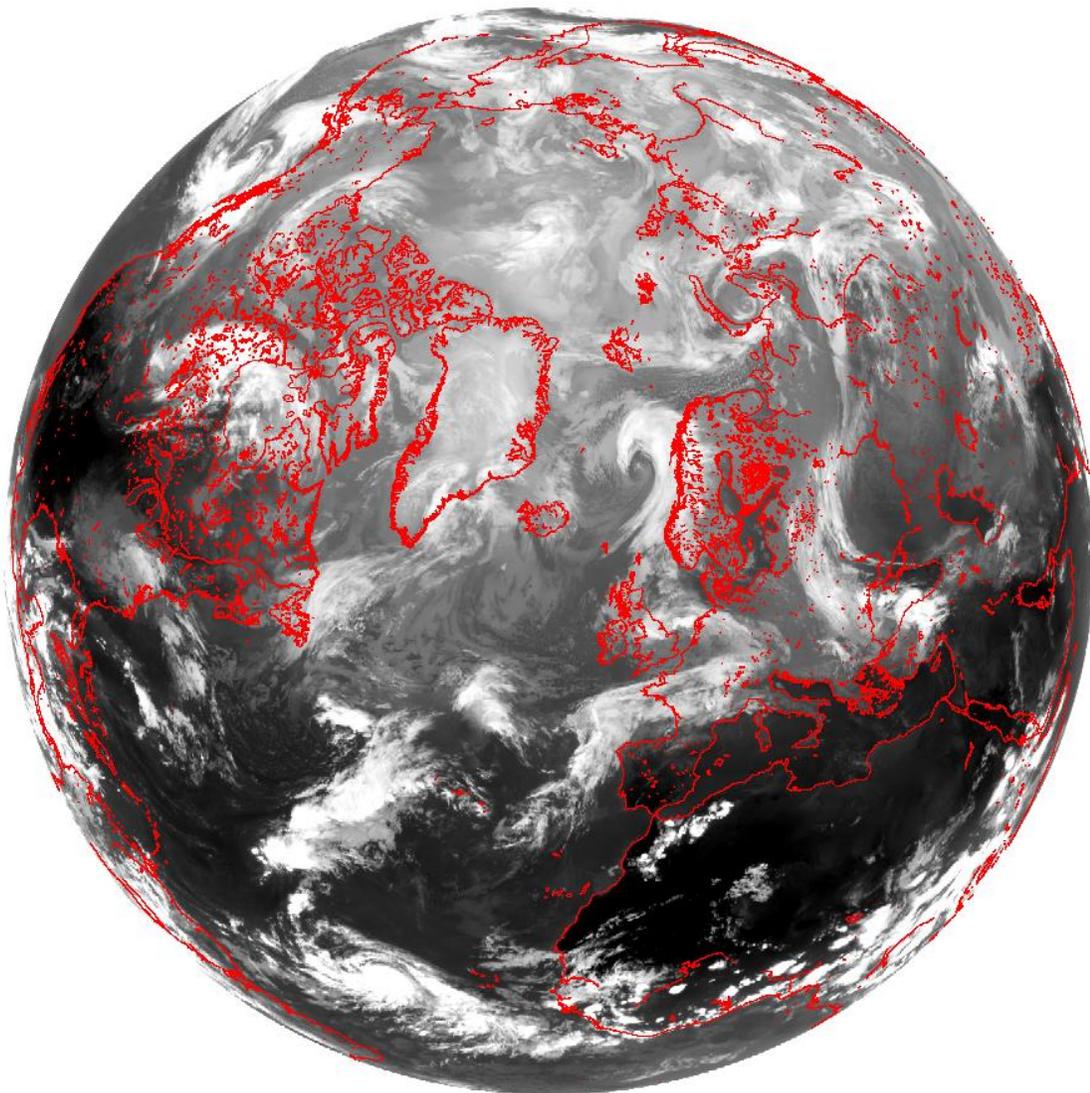
Первый аппарат серии «Арктика-М» был запущен 28 февраля 2021 года. Он обеспечил наблюдение за Арктическим регионом Земли в интересах гидрометеорологии в совокупности на 13 часов в сутки (с перерывами на нерабочий участок орбиты КА).

Второй аппарат серии «Арктика-М» дополнил ВГКС 25 декабря 2023 года, что обеспечило уже **непрерывное** круглосуточное наблюдение за атмосферой и подстилающей поверхностью Арктического региона Земли.

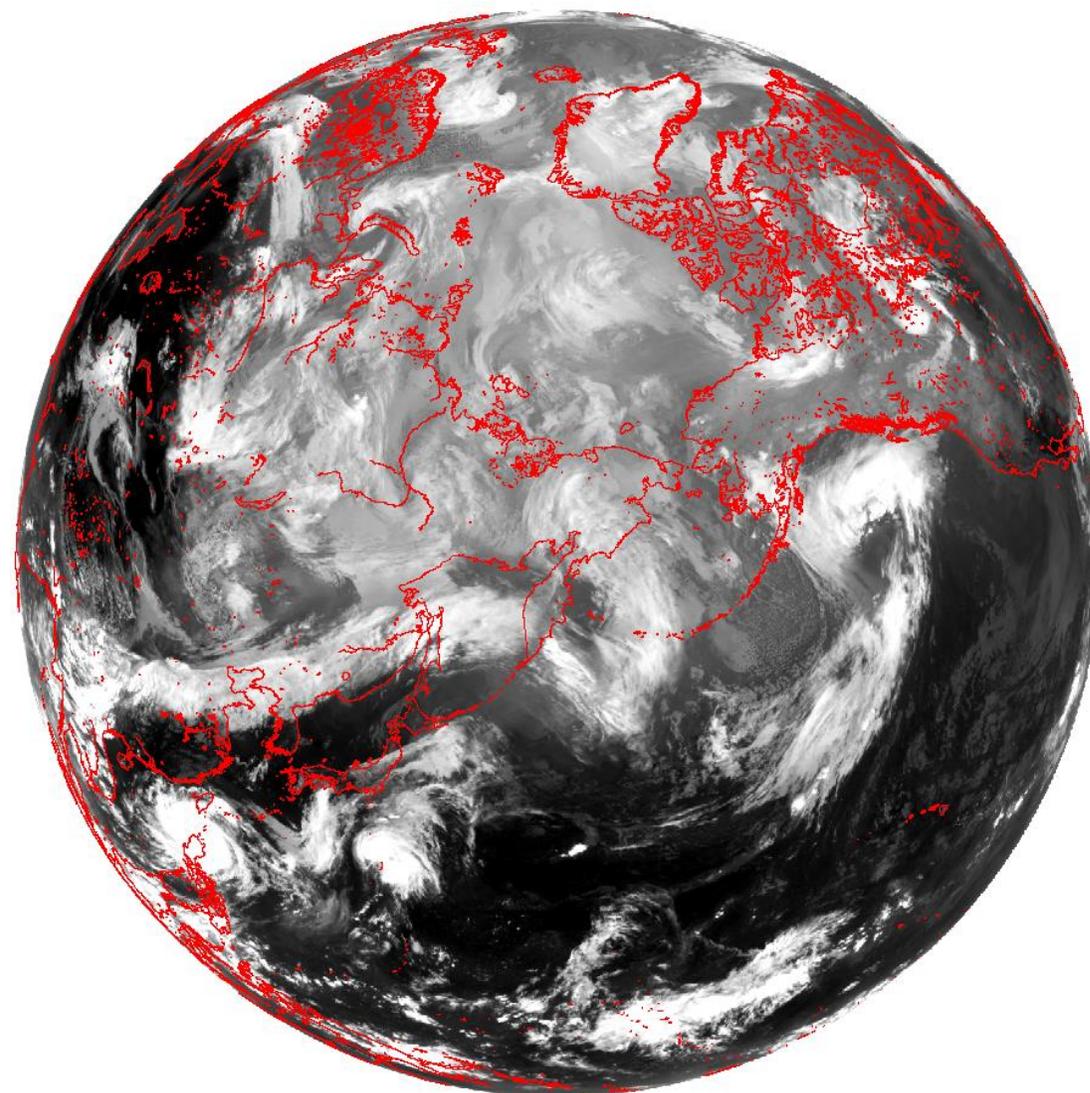
ВГКС «Арктика-М» в составе двух КА является уникальным инструментом для мониторинга и изучения мезоциклонической активности в Арктике.

Непрерывная съемка Арктического региона Земли осуществляется многозональным сканирующим устройством (МСУ-ГС) **каждые 15 минут** во время рабочего участка орбиты КА (вблизи апогея) в 10 спектральных диапазонах электромагнитного спектра (0.5 – 12.5 мкм).

Параметры орбиты обоих КА заданы так, что как только один из них заканчивает съемку с одной одного ракурса относительно Земли (с западного или восточного), то другой в это время начинает съемку с противоположной стороны. Попеременный выход космических аппаратов на рабочие участки орбиты с противоположных сторон Земли обеспечивает непрерывный замкнутый цикл наблюдения за Арктическим регионом Земли. Охват Арктики с западного и восточного рабочих участков орбит обоих КА одинаковый, наглядно продемонстрирован на следующем слайде.

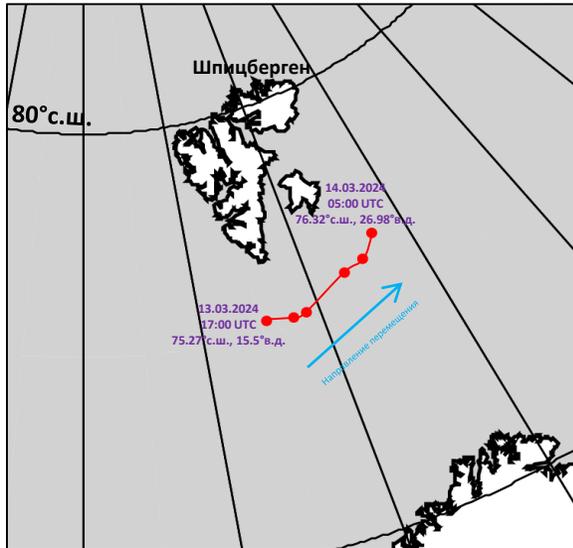


Зона обзора Арктического региона Земли
с западного рабочего участка орбиты
КА «Арктика-М» № 1, 30.09.2024 г. 17:00 UTC

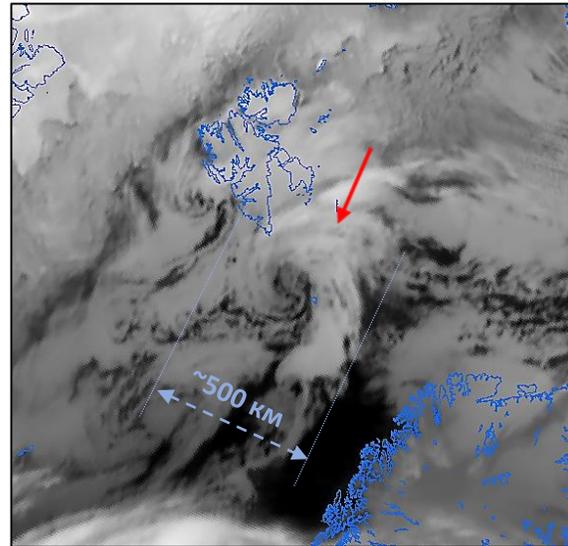


Зона обзора Арктического региона Земли
с восточного рабочего участка орбиты
КА «Арктика-М» № 2, 30.09.2024 г. 07:45 UTC

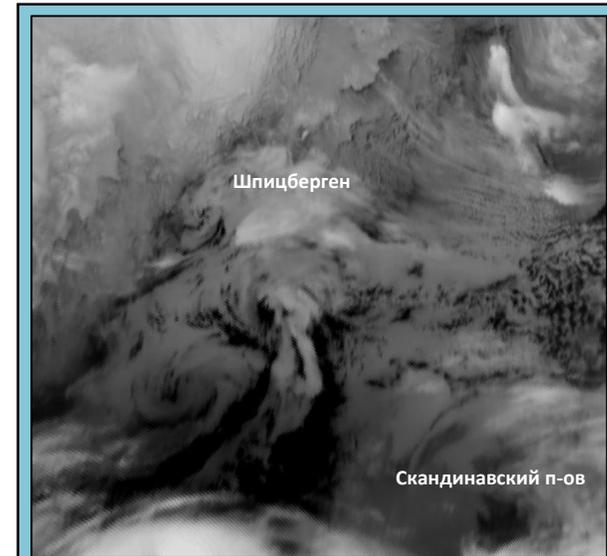
Непрерывное наблюдение за полярным циклоном на границе Гренландского и Баренцева морей



Карта траектории полярного циклона по данным МСУ-ГС КА Арктика-М №1 и №2 1.03.2024 17:00 UTC - 14.03.2024 05:00 UTC



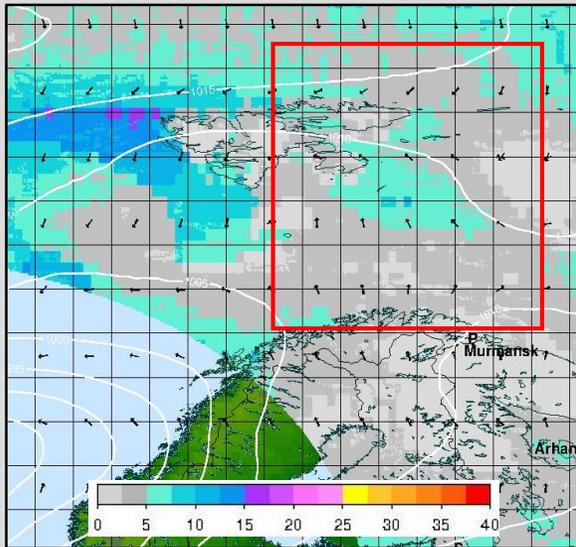
КА Арктика-М №1/МСУ-ГС (канал 9) 13.03.2024 19:30 UTC



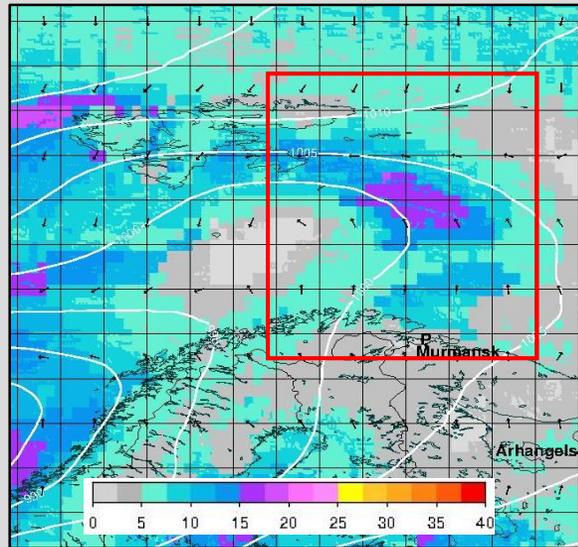
Анимационное изображение по данным МСУ-ГС КА Арктика-М №1 и №2 13.03.2024 15:00 UTC - 14.03.2024 06:00 UTC

13.03.2024	13.03.2024/14.03.2024	14.03.2024
15:00-20:30 UTC	21:00-02:30 UTC	03:00-07:00 UTC
Арктика-М № 1	Арктика-М № 2	Арктика-М № 1

Карты спутникового диагноза по данным ВГКС «Арктика-М», совмещенным с данными гидродинамической модели регионального прогноза

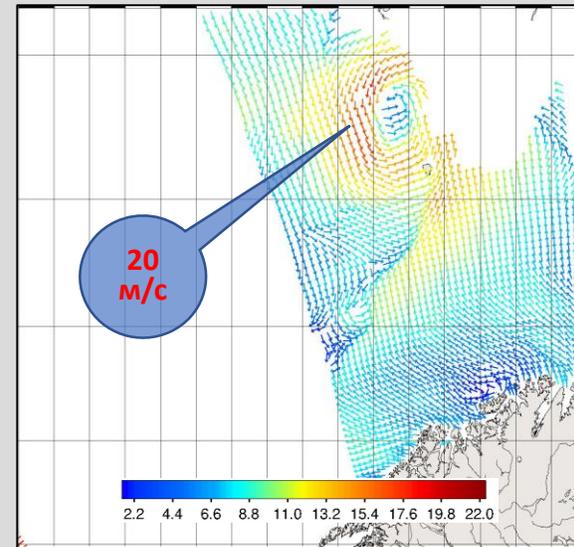


Карта максимальной скорости ветра у поверхности, м/с за 13.03.2024 18:00 UTC по данным КА Арктика-М №1/МСУ-ГС

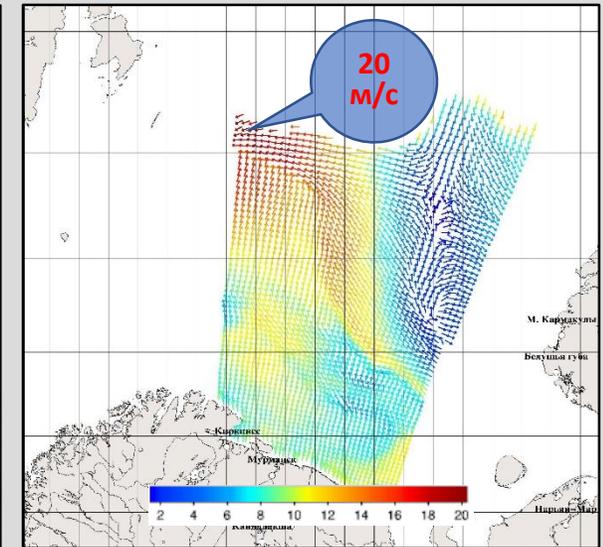


Карта максимальной скорости ветра у поверхности, м/с за 14.03.2024 04:00 UTC по данным КА Арктика-М №1/МСУ-ГС

Валидация с эталонными данными (MetOp-B/ASCAT)



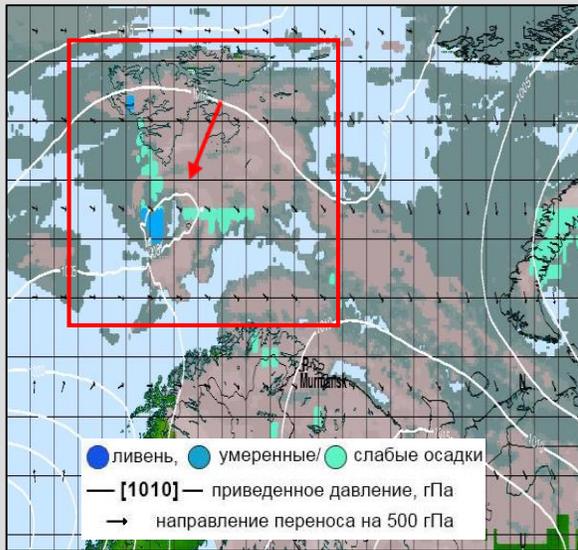
Оценка скорости приводного ветра по данным КА MetOp-B/ASCAT 13.03.2024 19:24 UTC



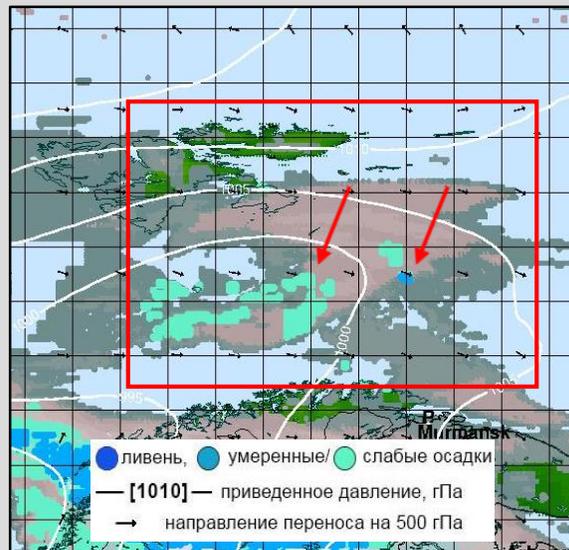
Оценка скорости приводного ветра по данным КА MetOp-B/ASCAT 14.03.2024 07:27 UTC

По спутниковым данным диагностирована скорость приводного ветра до 22 м/с, что хорошо соотносится с фактическими данными зарубежного скаттерометра.

Карты спутникового диагноза по данным ВГКС «Арктика-М», совмещенным с данными гидродинамической модели регионального прогноза

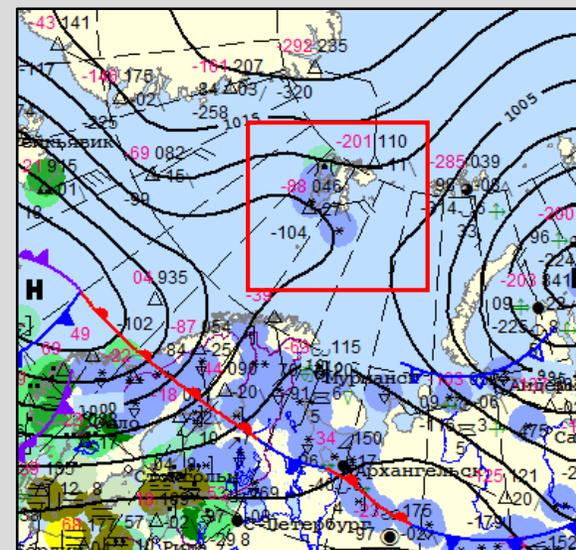


Карта зон и интенсивности осадков за 13.03.2024 18:00 UTC по данным КА Арктика-М №1/МСУ-ГС

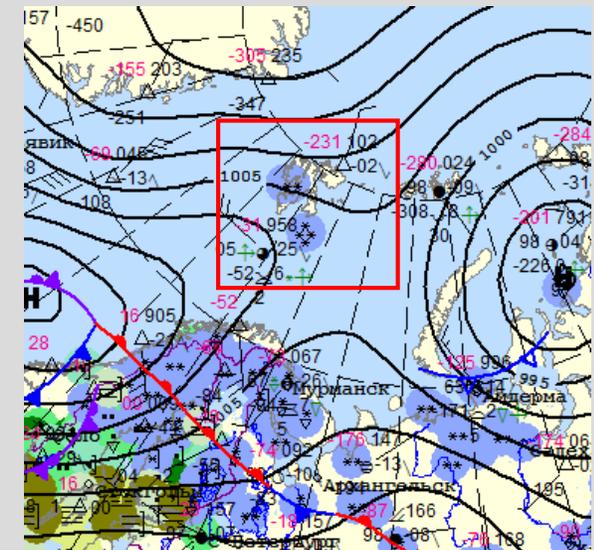


Карта зон и интенсивности осадков за 14.03.2024 02:00 UTC по данным КА Арктика-М №2/МСУ-ГС

Валидация с данными приземного анализа Гидрометцентра России



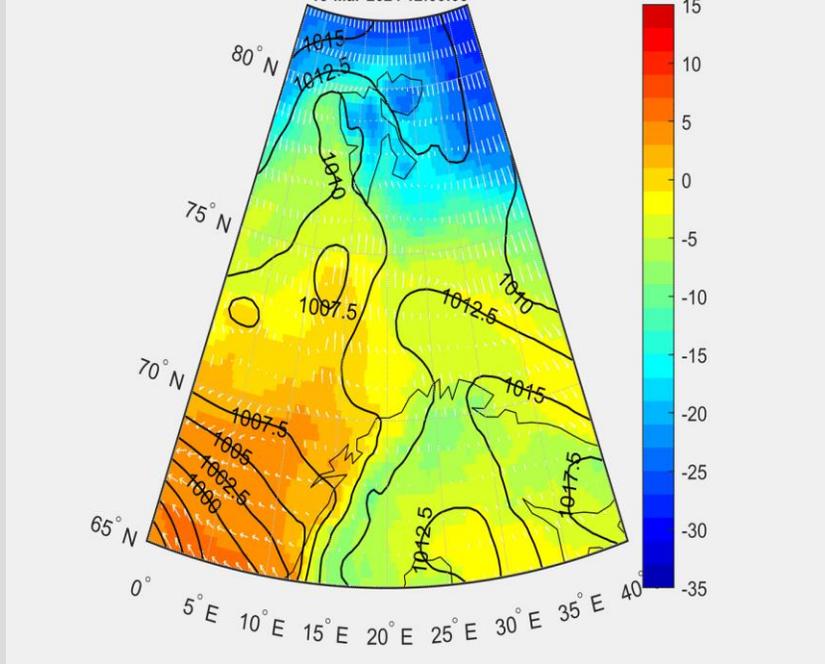
Приземный анализ от 13.03.2024 18:00 UTC Гидрометцентр России



Приземный анализ от 14.03.2024 00:00 UTC Гидрометцентр России

По спутниковым данным диагностированы осадки слабой и умеренной интенсивности. Приземный анализ Гидрометцентра России также подтверждает наличие осадков.

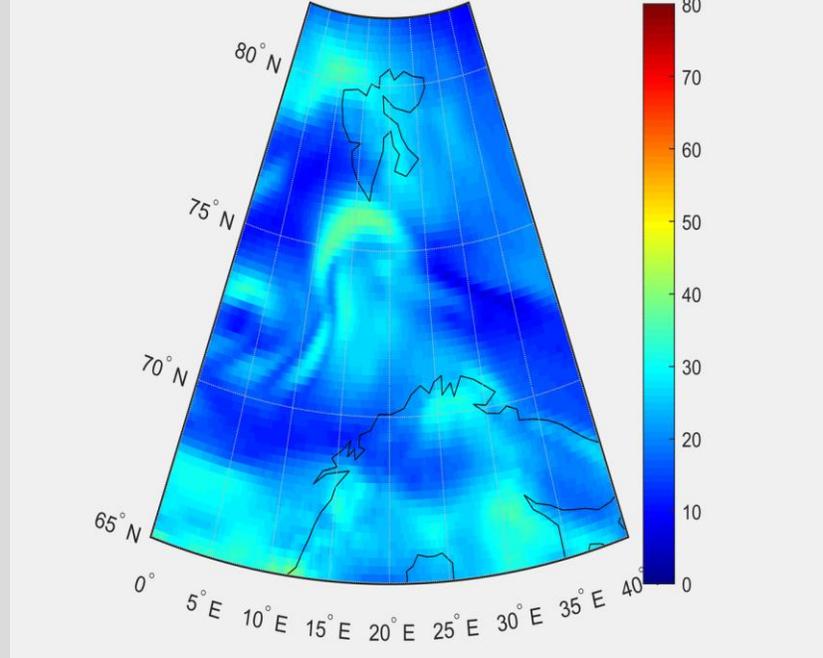
Давление на уровне моря(гПа), температура на 2 метрах (С) and направление ветра на 10 метрах,
13-Мар-2024 12:00:00



Первые признаки ПЦ в поле давления и ветра проявились 12:00 UTC 13 марта.

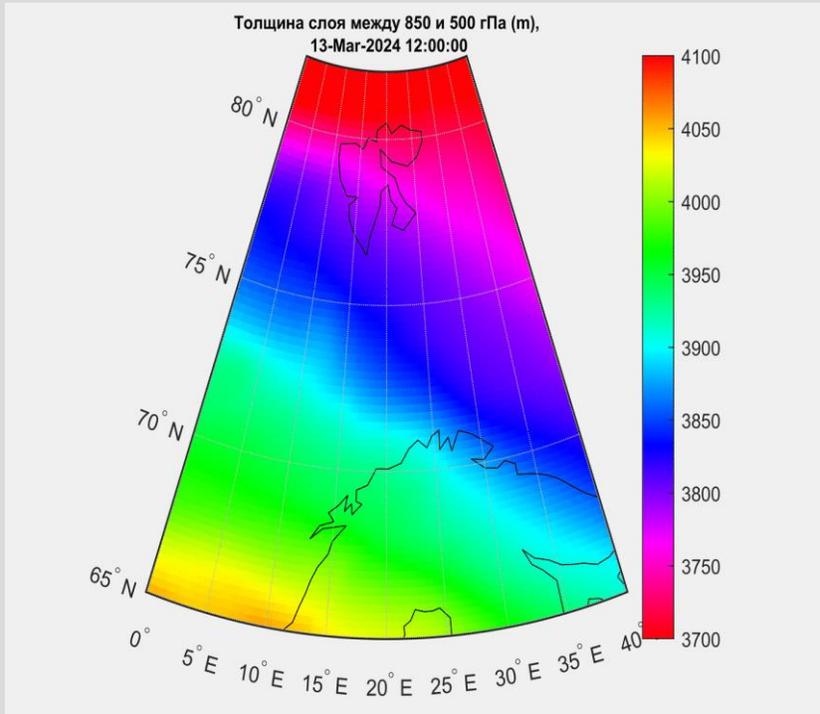
Минимум давления наблюдался с 01:00 до 4:00 14 марта.

Сдвиг ветра между 1000 и 500 гПа (с'1),
13-Мар-2024 12:00:00

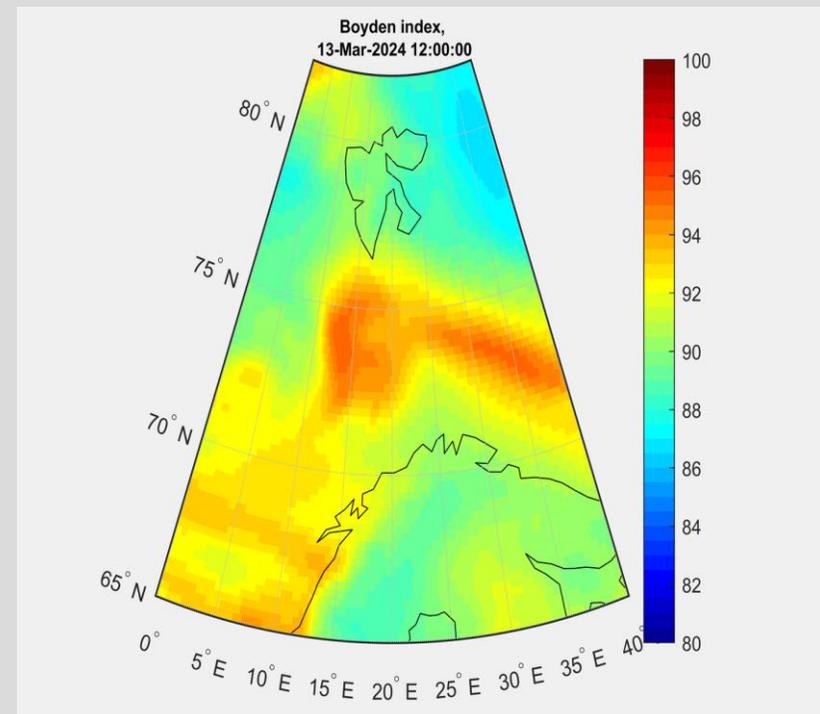


Максимальная скорость ветра составила 22 м/с. Средняя скорость – 17-18 м/с.

Сдвиги ветра наблюдались на протяжении всего развития циклона. Средние значения – 50 1/с. Максимальные значения – 75 1/с (в конце периода)



Эквивалент температуры слоя. Прослеживается теплое ядро циклона, увеличивается горизонтальный градиент характеристики с 21:00 13 марта и до конца существования ПЦ.



Индекс Бойдена вычисляется по формуле:

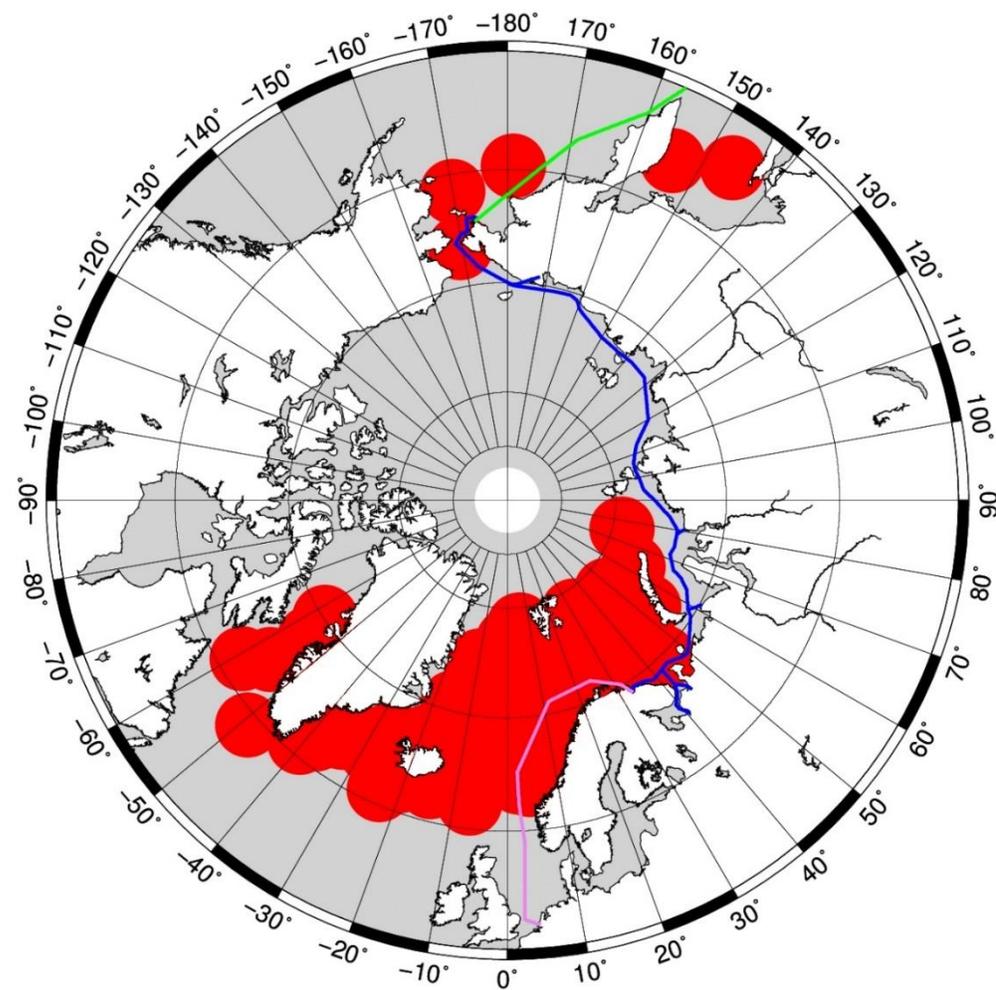
$$I_{\text{Boyden}} = Z_{700} - Z_{1000} - T_{700} - 200$$

Повышенные значения наблюдаются до формирования ПЦ. Значения больше 90 наблюдаются на протяжении всего существования ПЦ и располагаются на восточной части вихря.

В относительной завихренности и потенциальном вихре Эртеля ядро ПЦ проявляется повышенными положительными значениями относительно фоновых значений. В температуре на 500 гПа ПЦ не прослеживается.

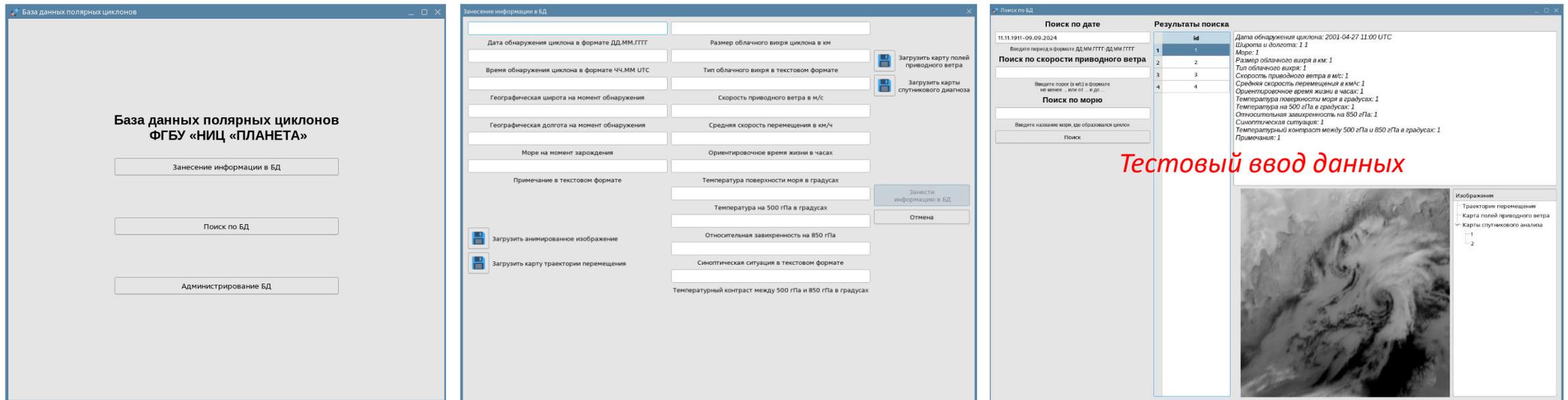
В ходе регулярного анализа данных МСУ-ГС КА серии «Арктика-М» проведена работа по выделению зон формирования полярных циклонов. Анализу подверглись данные МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 за период с 22.03.2021 г. по 30.05.2024 г. и КА «Арктика-М» № 2 за период с 15.01.2024 г. по 30.05.2024 г. Результат в виде схематической карты зон обнаружения полярных циклонов, совмещенных с условной трассой Северного морского пути и прилегающих транспортных морских коридоров, представлен на слайде.

В [6] отмечено, что осуществление морских мероприятий нежелательно вдоль возможных областей влияния полярных циклонов, так как есть вероятность столкнуться с серьезным обледенением от брызг, что может вызвать проблемы с устойчивостью судов.



Транспортные коридоры: — Северный морской путь, — Баренцево-Евроарктический, — Азиатско-Тихоокеанский.
● зоны обнаружения полярных мезомасштабных циклонов

6. Adekunle Peter Orimolade, O. Gudmestad, L. Wold. Vessel stability in polar low situations. November 2016 Ships and Offshore Structures 12(sup1): 1-6.



Все известные на сегодняшний день базы данных полярных циклонов включают статические изображения и картографический материал, но не содержат указания на жизненные циклы [7] и не содержат детализированные траектории перемещения за весь жизненный цикл. В настоящее время ФГБУ «НИЦ «Планета» ведет разработку базы данных с собственным пользовательским интерфейсом, учитывающую эти нюансы.

7. В. В. Степанов Полярные фронтальные и арктические циклоны в поле облачности. Санкт-Петербург, АНИИИ 2022.

Изучение полярных циклонов в условиях непрерывного наблюдения за Арктическим регионом с высоким временным разрешением (каждые 15 минут) и одновременным охватом всего региона позволит по-новому посмотреть на этапы их жизненного цикла и другие особенности формирования и развития.

Функционирование ВГКС «Арктика-М», состоящей из двух КА, дает возможность восполнить пробел в научных исследованиях таких опасных и плохо прогнозируемых атмосферных явлений, как полярные циклоны.

Промежуточные итоги исследования:

- ✓ Выделены области формирования и влияния полярных циклонов по данным ВГКС «Арктика-М».
- ✓ Разработана база данных полярных циклонов с собственным пользовательским интерфейсом, осуществляется её наполнение уникальным материалом на основе непрерывного наблюдения за Арктическим регионом.
- ✓ Разработана программная утилита для построения траекторий полярных циклонов. Детализированные траектории перемещения полярных циклонов с высоким временным разрешением строятся впервые с появлением ВГКС «Арктика-М» в составе двух КА.
- ✓ Проводится анализ с использованием карт спутникового диагноза по данным ВГКС «Арктика-М» и гидродинамической модели регионального прогноза, которые выпускаются в ФГБУ «НИЦ «Планета» по собственной методике (команда разработчиков – М.В. Бухаров, Н. С. Миронова, В. М. Бухаров, Г. А. Федоров) в оперативном режиме каждые 15 минут.
- ✓ Данные реанализа ERA5 подтверждают точность используемых методик для определения различных метеорологических параметров, получаемых по данным ВГКС «Арктика-М», а также существенно дополняют информацию по механизмам возникновения полярных циклонов.

Спасибо за внимание!