

Использование данных МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 для мониторинга и анализа мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе

Е. А. Фролова¹, Е. С. Нестеров², А. А. Салагина¹

¹ Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
Москва, 123242, Россия
E-mail: katelinka@yandex.ru

² Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, Москва, 123242, Россия
E-mail: nesterov@mecom.ru

Несмотря на многолетние исследования мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе, начавшиеся ещё в 1960 г., данное атмосферное явление до сих пор является не до конца изученным и крайне трудно прогнозируется. Главным образом это связано с отсутствием до настоящего времени спутникового мониторинга атмосферы северных полярных широт с высоким временным разрешением и крайне разреженной сетью наземных наблюдений в Арктике. 28 февраля 2021 г. был запущен российский космический аппарат (КА) «Арктика-М» № 1 — первый в мире КА гидрометеорологического назначения, функционирующий на высокоэллиптической орбите типа «Молния». Запуск уникального КА с мезомасштабным сканирующим устройством (МСУ-ГС) в качестве основной бортовой целевой аппаратуры открыл возможность получения данных о состоянии атмосферы всего Арктического региона с периодичностью 15/30 мин за время рабочего участка орбиты КА. В частности, получение этих данных вносит неоценимый вклад в решение задач мониторинга и изучения мезомасштабных циклонов в северных полярных широтах, что наглядно показано в настоящей статье. Представлены первые сводные результаты мониторинга мезомасштабных циклонов в виде карты их повторяемости. Продемонстрированы возможности использования данных МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1, совмещённых с данными гидродинамической модели регионального прогноза, для выполнения синоптического анализа на примере проявления мезомасштабного циклогенеза в Баренцевом море 31.05.2021.

Ключевые слова: мезомасштабный циклогенез, мезомасштабный циклон, полярный циклон, Арктика, Арктический регион, спутниковый мониторинг, КА «Арктика-М» № 1, МСУ-ГС, синоптический анализ

Одобрена к печати: 29.06.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-293-305

Введение

Нарастающая хозяйственная деятельность в Арктике (судоходство, рыболовный промысел, добыча углеводородов на шельфе, перевозки по транспортному коридору «Северный морской путь») требует развития наблюдательных систем (Асмус и др., 2019). Большое значение имеют мониторинг и прогноз опасных и экстремальных природных явлений, которые усиливаются климатическими изменениями. К числу таких явлений относятся мезомасштабные циклоны в атмосфере Арктического региона.

Особое внимание к возникновению мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе и необходимость их непрерывного мониторинга обусловлены тем, что они способны вызывать экстремальные (опасные) явления погоды: ветер до 35 м/с и сильное волнение, обледенение судов и сооружений, а также снежные заряды с ухудшением видимости (Луценко, Лагун, 2010; Нестеров, 2020; Нестеров и др., 2021). Штормовая ситуация развивается обычно внезапно и за короткий период времени, что наряду с небольшими размерами мезомасштабных циклонов (до 1000 км, в среднем 200–600 км) и непродолжительным циклом эволюции (в среднем 15 ч) крайне затрудняет их прогнозирование.

Безусловно, важно проследить эволюцию мезомасштабных циклонических образований с момента обнаружения независимо от их интенсивности, так как при определённых условиях даже незначительные по силе вихри могут интенсифицироваться и трансформироваться в мощные полярные циклоны. Полярные циклоны — это подтип мезомасштабных циклонов, образующихся над морской поверхностью со скоростью приповерхностного ветра >15 м/с (Günther, Øyvind, 2013). Данный подтип признан опасным для осуществления судоходства, выполнения авиационных полётов, а также для прибрежной инфраструктуры в северных полярных широтах. Однако, как показывает практика, пороговое значение опасной скорости приземного ветра (>15 м/с) является достаточно условным для отдельных видов хозяйственной деятельности в сложных метеорологических условиях Арктического региона. Показательный случай — авиакатастрофа вертолёта МИ-8МТ на архипелаге Шпицберген в 2008 г., когда неспрогнозированные порывы ветра до 9 м/с, вызванные мезомасштабным циклоном, стали фатальными при заходе воздушного судна на посадку (Глазунов, 2012; Report..., 2013). Данный пример ещё раз подчёркивает важность мониторинга мезоциклонической активности и повышения качества её прогнозирования независимо от принятых условных пороговых значений метеорологических величин, характеризующих полярные мезомасштабные циклоны.

Одним из основных условий формирования полярных мезомасштабных циклонов стали выносы холодного арктического воздуха на относительно тёплую поверхность моря, образование которых связано с сильной бароклинностью в нижних слоях атмосферы (Kolstad, 2017). Дальнейшей интенсификации циклонов способствуют потоки скрытого и явного тепла на поверхности моря (Mallet et al., 2013). Наиболее часто полярные мезомасштабные циклоны возникают в области кромки льда и в районах тёплых течений (Noer et al., 2011; Rojo et al., 2015).

В работах по численному моделированию полярных мезомасштабных циклонов в большинстве случаев изучались условия, благоприятные для формирования и эволюции конкретного циклона. В исследовании (Adakudlu, Barstad, 2011) на основе атмосферной модели WRF (*англ.* Weather Research and Forecasting) с шагом сетки 9 км моделировались условия, благоприятные для формирования циклона в Норвежском море в марте 2008 г. в период проведения натурного эксперимента IPY-Thorpex (IPY — *англ.* International Polar Year). Показано, что формирование циклона было обусловлено бароклинной неустойчивостью в атмосфере. Подобный вывод был сделан в работе (Føre et al., 2012) при моделировании циклона в Баренцевом море в декабре 2002 г. Этот циклон был необычно глубок (961 гПа в центре) и подобен тропическому циклону, так как имел в центре «глаз», окружённый облачностью в виде спирали. Численные эксперименты на основе модели WRF с разрешением 3 км показали, что заглублению циклона способствовал рост бароклинности атмосферы.

В работе (Никитин и др., 2016) были выполнены численные эксперименты с моделью COSMO-Ru по изучению развития полярного циклона 25–27 марта 2014 г. в Баренцевом и Карском морях. Показано, что развитие циклона существенно зависит от состояния подстилающей поверхности. В частности, при уменьшении сплочённости льда циклон усиливается и может изменить траекторию, смещаясь в направлении открытой поверхности моря.

Для идентификации и изучения характеристик мезомасштабных циклонов широко используется спутниковая информация, в частности данные микроволнового зондирования. Преимуществом пассивного и активного микроволнового зондирования (по сравнению с инфракрасным и видимым диапазонами) выступает возможность количественно оценивать параметры циклонов независимо от времени суток и большинства форм облачности (Митник и др., 2015). В качестве примера в этом обзоре приводятся характеристики мезомасштабного циклона в Чукотском море в сентябре 2013 г. на основе информации спектро радиометра MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) со спутника Aqua.

В работе (Гурвич и др., 2010) на основе анализа спутниковых данных, полученных в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах, рассмотрены траектории и эволюция нескольких мезомасштабных циклонов в Японском море в январе 2009 г. В публикации (Митник и др., 2013) представлены результаты анализа спутниковых измерений нескольких

циклонов над Тихим океаном в холодные сезоны 2009–2011 гг. На основе информации радиометра AMSR-E (*англ.* Advanced Microwave Scanning Radiometer) со спутника Aqua определены зоны со скоростью ветра, превышающей 20–25 м/с, которые располагались преимущественно в юго-западном секторе циклонов.

Характеристики полярных циклонов в Баренцевом и Норвежском морях в 1995–2008 гг. исследовались по данным спутниковых микроволновых радиометров (SSM/I — *англ.* Special Sensor Microwave/Imager) (Смирнова и др., 2016). Для идентификации циклонов применялась методология, основанная на анализе полей восстановленных значений интегрального содержания водяного пара в атмосфере. Получены оценки времени жизни, размеров, скорости перемещения и интенсивности полярных циклонов.

Одними из наиболее ценных источников спутниковой информации о мезомасштабных (полярных) циклонах представляются изображения радиолокационных станций с синтезированной апертурой (РСА) и данные микроволновых многоканальных сканирующих радиометров, таких как AMSR-E и SSM/I (Заболотских и др., 2010). Перспективно совместное использование данных различных приборов.

До настоящего времени мезоциклоническую активность в Арктическом регионе можно было исследовать в основном по данным полярно-орбитальных КА и наблюдениям наземной гидрометеорологической сети. При этом полярно-орбитальные КА обладают низким временным разрешением для одной и той же области покрытия, а пункты наземных наблюдений крайне разрежены в данном регионе. Как следствие, эти недостатки не позволяли получать необходимый объём данных для обнаружения и детального анализа всех возникающих мезомасштабных циклонов. Кроме того, численные прогностические модели, с помощью которых проводится анализ условий возникновения и прогноз развития мезомасштабных циклонов, для ряда случаев не обладают достаточным пространственно-временным разрешением (Фролова и др., 2021).

Мониторинг мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе по данным аппаратуры МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1

Космический аппарат «Арктика-М» № 1 на высокоэллиптической орбите, в состав бортовой целевой аппаратуры которого входит сканер МСУ-ГС (многозональное сканирующее устройство гидрометеорологического обеспечения), — уникальный инструмент для полноценного мониторинга и изучения мезоциклонической активности на территории Арктического региона (Асмус и др., 2021). Уникальность КА «Арктика-М» № 1 состоит в том, что он с высокой периодичностью позволяет получать данные о состоянии атмосферы всего Арктического региона в совокупности на протяжении 13 ч в сутки (рабочий участок орбиты КА — ~6,5 ч, орбитальный период — ~12 ч). Такой режим достигается за счёт особенностей баллистического построения орбиты типа «Молния».

Съёмка осуществляется сканером МСУ-ГС каждые 15/30 мин во время рабочего участка орбиты КА (вблизи апогея) в 10 спектральных диапазонах электромагнитного спектра (0,5–12,5 мкм) (*рис. 1*, см. с. 296). Это каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов электромагнитного спектра с пространственным разрешением съёмки 1 км, а также среднего и дальнего инфракрасного диапазонов с пространственным разрешением съёмки 4 км (Высокоэллиптическая..., 2021).

Благодаря получаемым данным осуществляется практически непрерывный мониторинг и изучается в динамике эволюция мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе (с частотой 15 мин — впервые). Пример формирования мезомасштабного циклона в Гренландском море представлен на *рис. 2* (см. с. 296).

На основе регулярного анализа данных МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 строятся карты повторяемости мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе (включая опасные полярные циклоны, скорость приповерхностного ветра в зоне влияния которых больше 15 м/с). Пример карты за период 22.03.2021–03.02.2022 приведён на *рис. 3* (см. с. 297).

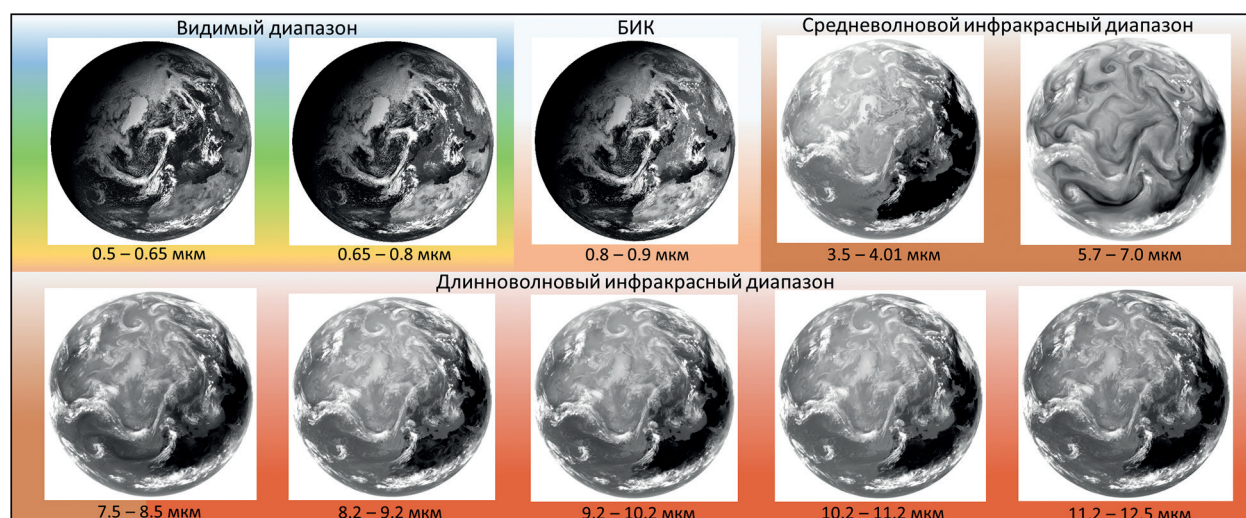


Рис. 1. Пример изображений (снимков) видимого диска Земли с КА «Арктика-М» № 1 в 10 спектральных диапазонах электромагнитного спектра

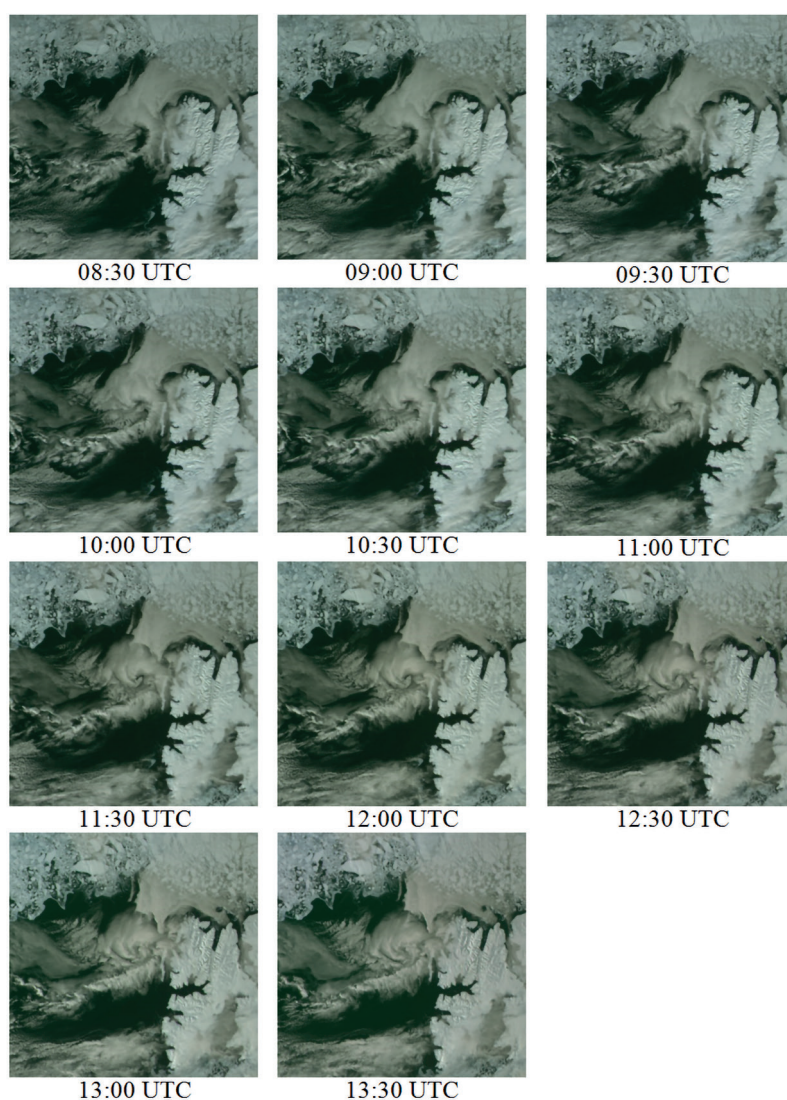


Рис. 2. Формирование мезомасштабного циклона в Гренландском море 07.05.2021, серия фрагментов RGB-изображений (R — *англ.* red, красный; G — *англ.* green, зелёный; B — *англ.* blue, синий) по данным МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 с частотой 30 мин (UTC — *англ.* Coordinated Universal Time, всемирное координированное время)

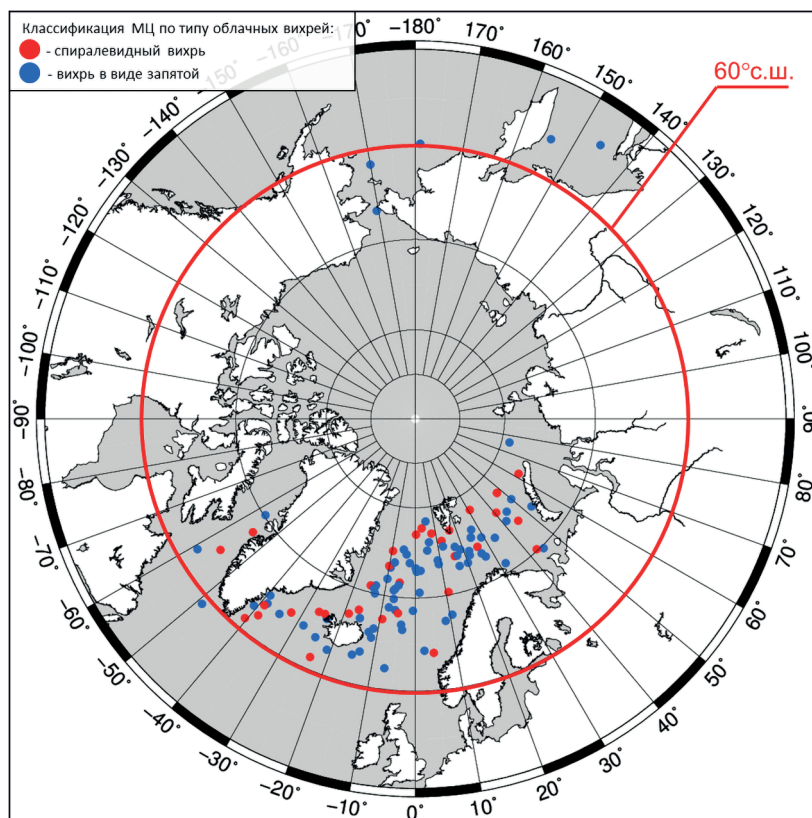


Рис. 3. Карта повторяемости мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе по данным МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 за период 22.03.2021–03.02.2022

За указанный период обнаружено 109 случаев возникновения мезомасштабных циклонов.

Маркеры на карте соответствуют положению центров мезомасштабных циклонов на момент их обнаружения. Цвет маркера отражает тип облачного вихря (классификация проводится по двум основным типам: «запятая», «спираль»).

При анализе данных особое внимание уделяется областям наиболее активного мезомасштабного циклогенеза — акваториям Баренцева, Северного, Гренландского, Норвежского, Карского морей, моря Баффина, Девисова пролива, а также дальневосточных морей.

Для наиболее выраженных случаев мезомасштабного циклогенеза выполняется детальный синоптический анализ. Далее в качестве примера представлены основные результаты проведённого синоптического анализа образования полярного циклона.

Полярный циклон в Баренцевом море 31 мая 2021 г.

Полярный циклон, сформированный в Баренцевом море 31.05.2021, представлен на рис. 4 (см. с. 298). Географические координаты центра циклона на момент обнаружения: 77° 22' 44,30" с. ш., 47° 23' 49,61" в. д. Диаметр полярного циклона составляет чуть более 400 км, он имеет спиралевидный тип облачного вихря. Средняя скорость перемещения в юго-западном направлении — более 40 км/ч. Район формирования полярного циклона в спектральной полосе поглощения водяного пара (5,7–7,0 мкм) представлен на рис. 5 (см. с. 298).

По данным прогностической модели GFS (англ. Global Forecast System) в районе полярного циклона было спрогнозировано усиление ветра до 8 м/с, в то время как реанализ показал скорость практически в 2 раза больше — 15–16 м/с (рис. 6, см. с. 299). Это выступает наглядным представлением того, что развитие неблагоприятных погодных условий, которые могут возникнуть в области мезомасштабного циклона, прогнозируются с недостоверной точностью.

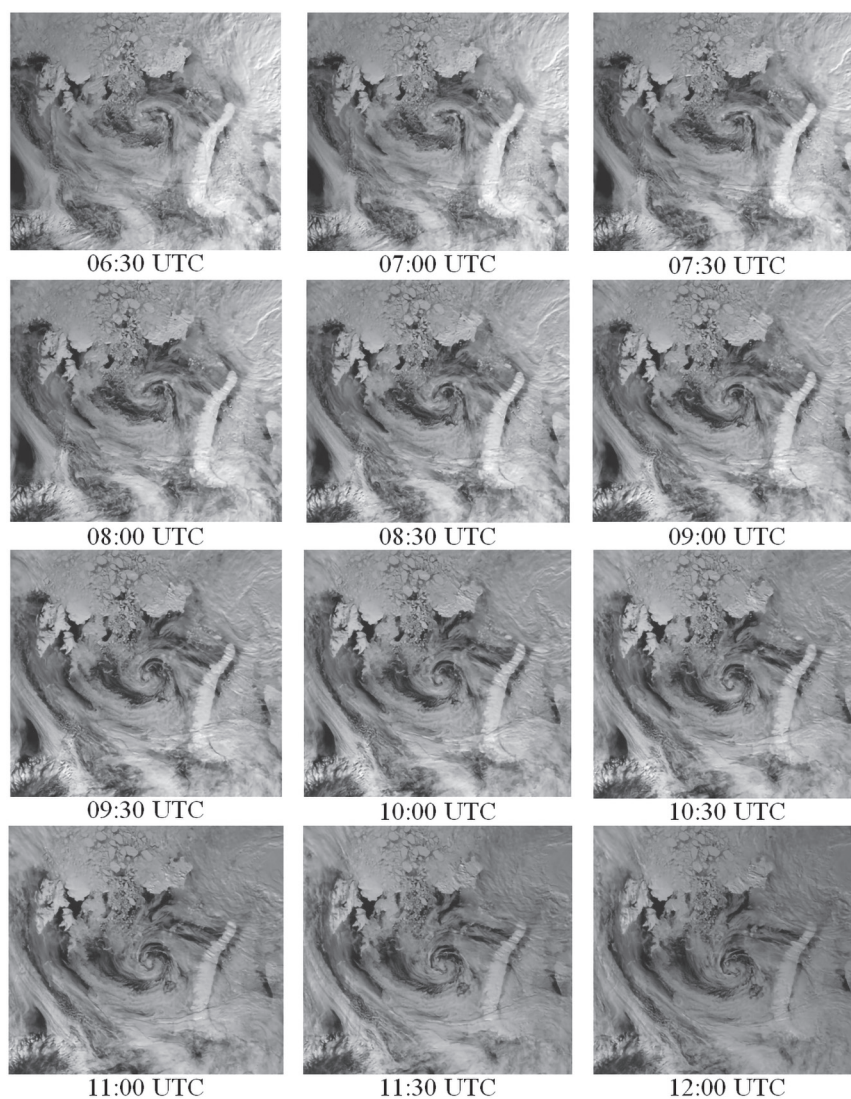


Рис. 4. Полярный циклон в Баренцевом море 31.05.2021, фрагменты изображений по данным канала 0,50–0,65 мкм МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1

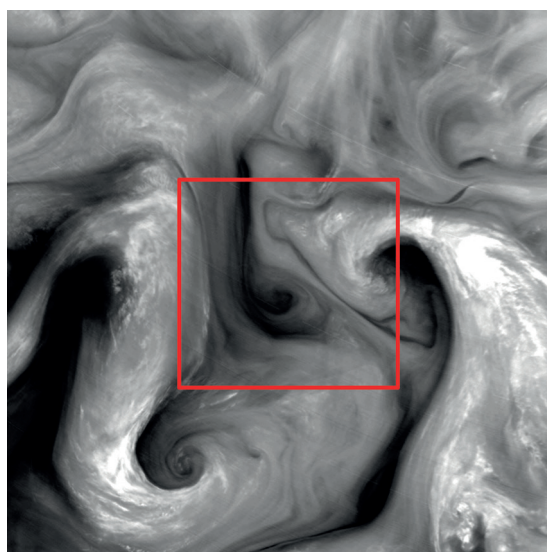


Рис. 5. Район формирования полярного циклона в спектральной полосе поглощения водяного пара по данным канала 5,7–7,0 мкм МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1

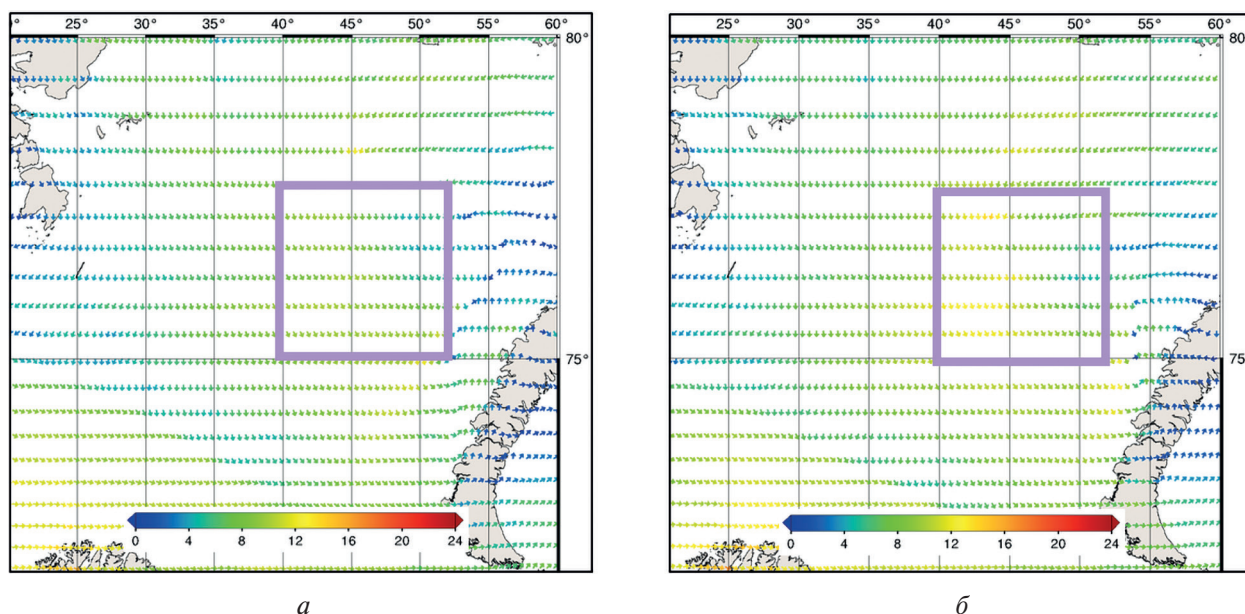


Рис. 6. Прогноз на 06:00 UTC 31.05.2021 с заблаговременностью 3 ч (а);
реанализ за 06:00 UTC 31.05.2021 (б)

На карте радиационной температуры, совмещённой с приземным барическим полем, видно, что полярный циклон образовался в тылу циклона синоптического масштаба, центр которого (с давлением 995 гПа) расположен над Карским морем. Он совершенно не просматривается в поле приземного давления, но отчётливо виден при анализе поля радиационной температуры и поля облачности. На уровне 500 гПа присутствует холодное циклоническое ядро, внёсшее вклад в образование полярного циклона. Высота верхней границы облачного вихря составляет 3–6 км, а температура на верхней границе облачности — около -35°C (рис. 7–8, см. с. 300).

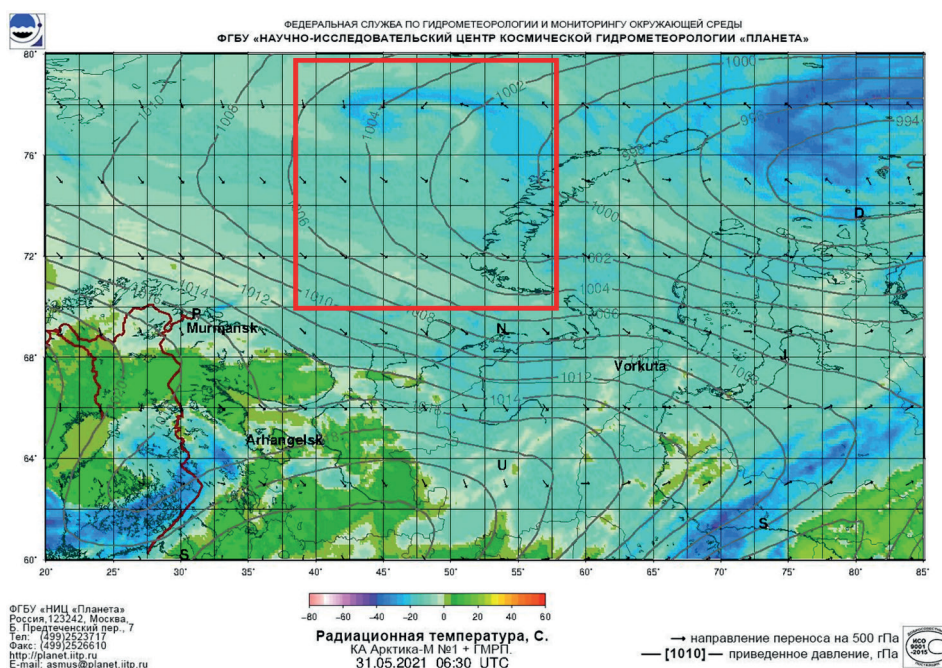


Рис. 7. Карта радиационной температуры за 06:30 UTC 31.05.2021, построенная по данным канала 10,2–11,2 мкм МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 с привлечением данных гидродинамической модели регионального прогноза

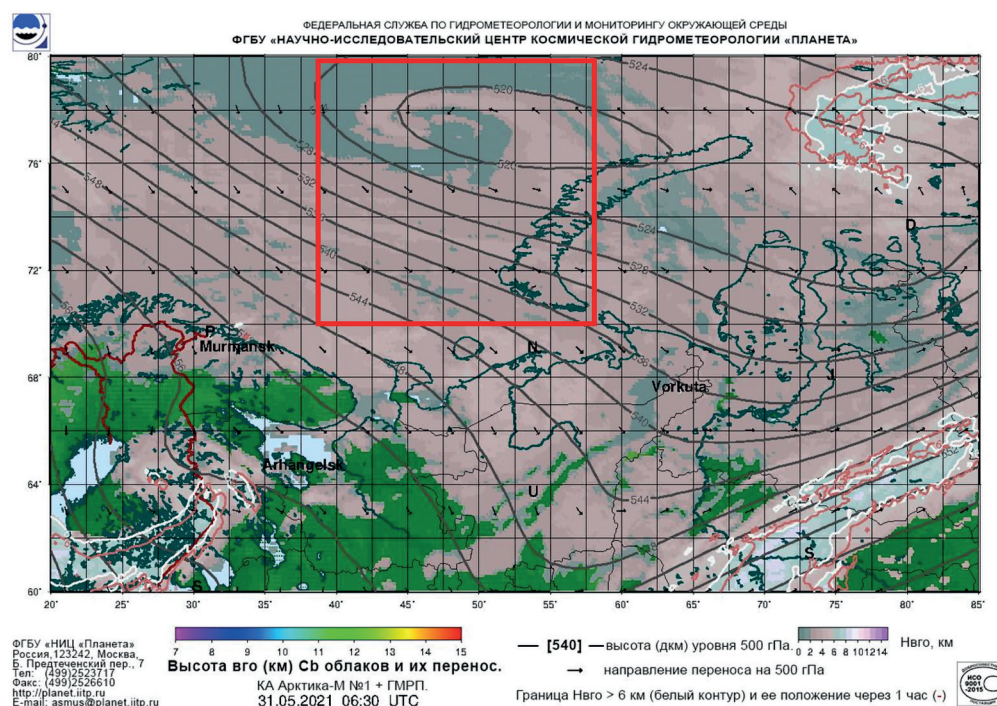


Рис. 8. Карта высоты верхней границы облачности за 06:30 UTC 31.05.2021, построенная по данным канала 10,2–11,2 мкм МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 с привлечением данных гидродинамической модели регионального прогноза

В районе образования полярного циклона наблюдалось мощное струйное течение. Его нижняя граница постепенно опускалась почти до 5 км, что хорошо прослеживается на рис. 9–10 (см. с. 301). Максимальная скорость ветра в слое 925–100 гПа при этом достигала 170 км/ч.

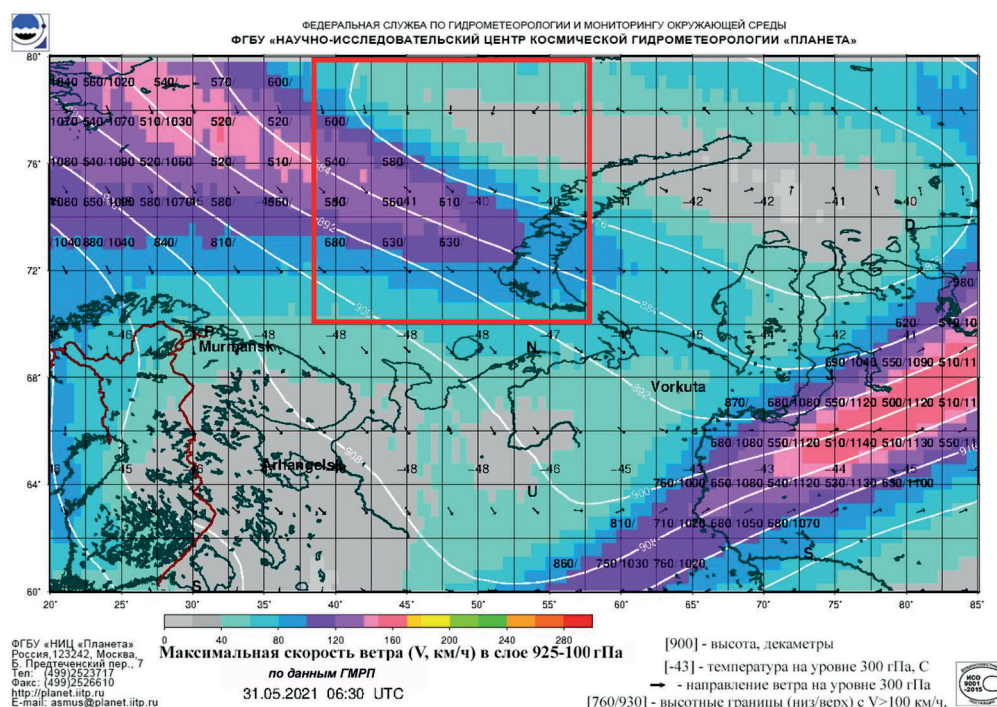


Рис. 9. Карта максимальной скорости ветра в слое 925–100 гПа за 06:30 UTC 31.05.2021, построенная по данным гидродинамической модели регионального прогноза на момент спутниковой съёмки

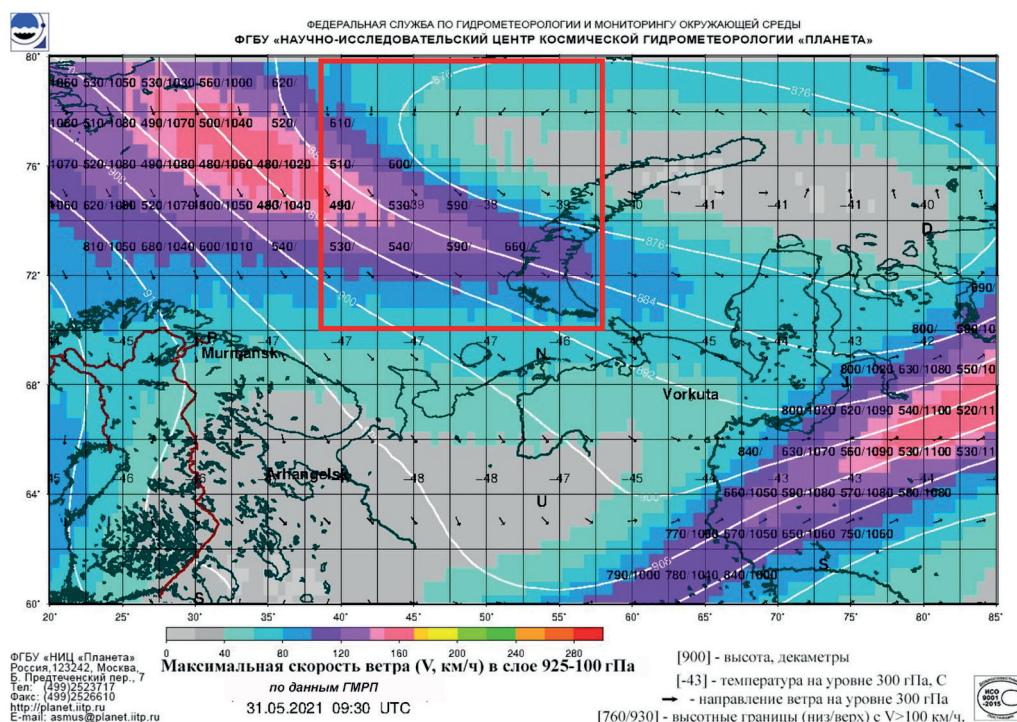


Рис. 10. Карта максимальной скорости ветра в слое 925–100 гПа за 09:30 UTC 31.05.2021, построенная по данным гидродинамической модели регионального прогноза на момент спутниковой съёмки

Для построения фрагментов спутниковых изображений, определения географических координат, расчёта диаметра и средней скорости перемещения полярного мезомасштабного циклона использовалось специальное программное обеспечение интерактивного анализа и обработки информации МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 (рис. 11), разработанное Рязанским государственным радиотехническим университетом им. В. Ф. Уткина.

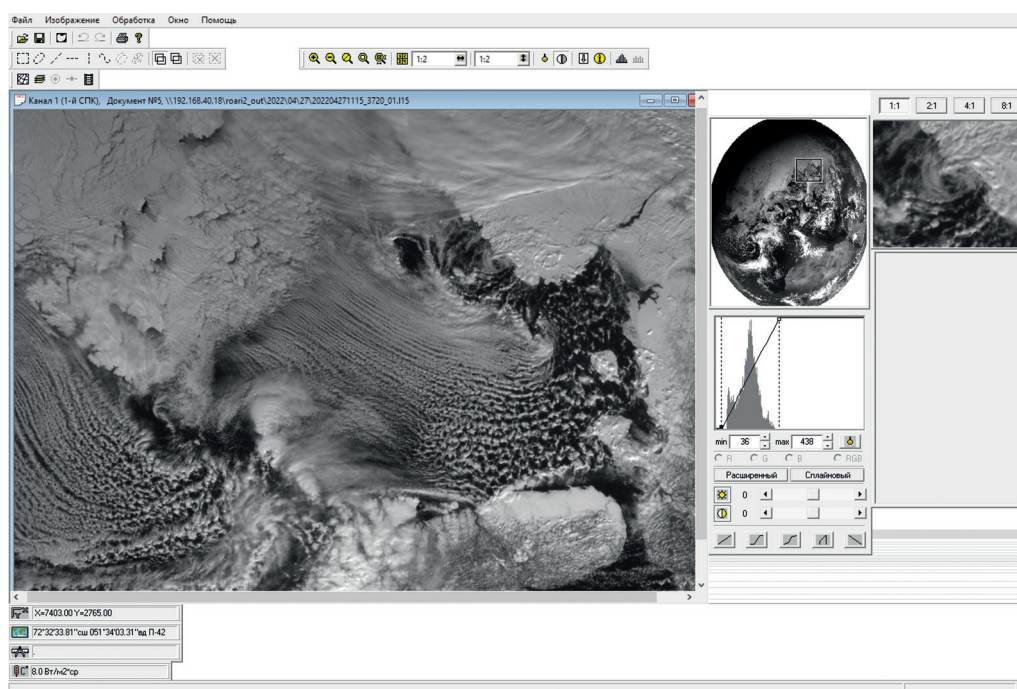


Рис. 11. Пользовательский интерфейс специального программного обеспечения интерактивного анализа и обработки информации МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1

Анализ синоптической ситуации проводился по картам спутникового метеоанализа, построенным по результатам инновационной автоматизированной метеорологической дешифровки спутниковых измерений и численных прогностических полей. Методика дешифровки, разработанная специалистами Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета»), уже применялась ранее для диагностирования опасных атмосферных явлений по данным геостационарных КА (система «МЕТЕО-ИСЗ» одобрена Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 16 декабря 2020 г., п. 6.9) (Решение..., 2020) и впоследствии была адаптирована для работы с данными высокоэллиптического КА.

Заключение

В перспективе регулярный мониторинг и детальный анализ условий возникновения и эволюции мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе по данным МСУ-ГС КА «Арктика-М» № 1 позволит приблизиться к созданию системы их прогнозирования, что представляется одной из приоритетных задач оперативной метеорологии.

В настоящее время НИЦ «Планета» ведёт разработку базы данных анимированных изображений мезомасштабных циклонов, возникающих в Арктическом регионе. Помимо самих уникальных анимаций (с частотой 15 мин строятся впервые) база данных содержит основные сведения о каждом случае мезомасштабного циклогенеза и краткое описание результатов синоптического анализа.

Коллектив авторов выражает благодарность заведующей отделом космической метеорологии НИЦ «Планета» Н. С. Мироновой за ценные советы и замечания при выполнении данной работы, а также за предоставление спутниковых информационных карт для проведения синоптического анализа.

Литература

1. Асмус В. В., Волгутов Р. В., Дерюгина В. В., Кровотынцев В. А., Максимов А. А., Милехин О. Е., Тренина И. С. Использование космических технологий для решения гидрометеорологических задач в Арктике // Метеорология и гидрология. 2019. № 4. С. 54–69.
2. Асмус В. В., Милехин О. Е., Крамарева Л. С., Хайлов М. Н., Шишаков А. Е., Шумаков И. А. Первая в мире высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» // Метеорология и гидрология. 2021. № 12. С. 11–26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-12-11-26.
3. Высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» / АО «НПО Лавочкина». 2021. 8 с. URL: https://www.laspace.ru/press/news/information_brochure_arctic.pdf.
4. 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/>.
5. Гурвич И. А., Митник Л. М., Митник М. Л. Мезомасштабный циклогенез над Японским морем 7–13 января 2009 г. по спутниковым мультисенсорным данным // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 4. С. 11–22.
6. Заболотских Е. В., Митник Л. М., Бобылев Л. П. Сравнительная оценка существующих и перспективных методов исследования в области мониторинга и прогнозирования мезомасштабных циклонических вихрей, включая полярные циклоны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 23–29.
7. Луценко Э. И., Лагун В. Е. Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики: справоч. пособие. СПб.: ААНИИ, 2010. 98 с.
8. Митник Л. М., Митник М. Л., Гурвич И. А., Выкочко А. В., Кузлякина Ю. А., Чёрный И. В., Чернявский Г. М. Мультисенсорное спутниковое зондирование зимних циклонов со штормовыми и ураганскими ветрами в северной части Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 161–174.
9. Митник Л. М., Трусенкова О. О., Лобанов В. Б. Дистанционное радиофизическое зондирование океана и атмосферы из космоса: достижения и перспективы (обзор) // Вестн. Дальневосточного отделения Российской акад. наук. 2015. № 6(184). С. 5–20.

10. Нестеров Е. С. Полярные циклоны: наблюдения, реанализ, моделирование // Гидрометеоролог. исслед. и прогнозы. 2020. № 1(375). С. 65–82. DOI: 10.37162/2618-9631-2020-1-65-82.
11. Нестеров Е. С., Жупанов В. Д., Федоренко А. В. Особенности формирования и эволюции полярного циклона в Баренцевом и Карском морях в декабре 2020 года // Гидрометеоролог. исслед. и прогнозы. 2021. № 3(381). С. 44–52. DOI: 10.37162/2618-9631-2021-3-44-52.
12. Никитин М. А., Ривин Г. С., Розинкина И. А., Чумаков М. М. Использование прогностической системы COSMO-Ru для исследования свойств полярных циклонов: эпизод 25–27 марта 2014 года // Тр. Гидрометцентра России. 2016. Вып. 361. С. 128–145.
13. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 16 декабря 2020 г. М.: Росгидромет, 2020. 11 с. URL: <http://method.meteorf.ru/cmkp/dec20.pdf>.
14. Смирнова Ю. Е., Заболотских Е. В., Бобылев Л. П., Шапрон Б. Статистические характеристики полярных циклонов в морях Северо-Европейского бассейна по данным спутниковых микроволновых радиометров // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 3. С. 27–36. DOI: 10.7868/S0205961415040119.
15. Фролова Е. А., Садовникова Е. В., Салагина А. А., Нестеров Е. С. Мониторинг мезомасштабных циклонов в Арктическом регионе по данным КА «Арктика-М» № 1 // Материалы 19-й Международ. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 15–10 ноября. 2021. М.: ИКИ РАН, 2021. С. 209. URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2021/8563.htm>.
16. Adakudlu M., Barstad I. Impacts of the ice-cover and sea-surface temperature on a polar low over the Nordic seas: a numerical case-study // Quarterly J. Royal Meteorological Society. 2011. V. 137. P. 1716–1730. DOI: 10.1002/qj.856.
17. Fore I., Kristjansson J. E., Kolstad E. W., Bracegirdle T. J., Saetra Ø., Røsting B. A “hurricane-like” polar low fuelled by sensible heat flux: high-resolution numerical simulations // Quarterly J. Royal Meteorological Society. 2012. V. 138. P. 1308–1324. DOI: 10.1002/qj.1876.
18. Günther H., Øyvind S. Workshop on polar lows // Bull. American Meteorological Society. 2013. V. 94. No. 9. P. ES123–ES126. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00190.1.
19. Kolstad E. W. Higher ocean wind speeds during marine cold air outbreaks // Quarterly J. Royal Meteorological Society. 2017. V. 143. No. 706. P. 2084–2092.
20. Mallet P.-T., Claud C., Cassou C., Noer G., Kodera K. Polar lows over the Nordic and Labrador seas: synoptic circulation patterns and associations with North Atlantic-Europe wintertime weather regimes // J. Geophysical Research: Atmospheres. 2013. V. 118. P. 2455–2472.
21. Noer G., Saetra O., Lien T., Gusdal Y. A climatological study of polar lows in the Nordic Seas // Quarterly J. Royal Meteorological Society. 2011. V. 137. P. 1762–1772. DOI: 10.1002/qj.846.
22. 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. / Accident Investigation Board Norway. 2013. 37 p. URL: <https://www.nsia.no/Aviation/Published-reports/2013-06-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>.
23. Rojo M., Claud C., Mallet P.-E., Noer G., Carleton A. M., Vicomte M. Polar low tracks over the Nordic Seas: A 14-winter climatic analysis // Tellus. 2015. V. 67A. P. 1–20. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.

Using Arktika-M No. 1 satellite MSU-GS data for monitoring and analyzing mesoscale cyclones in the Arctic region

E. A. Frolova¹, E. S. Nesterov², A. A. Salagina¹

¹ State Research Center for Space Hydrometeorology “Planeta”, Moscow 123242, Russia
E-mail: katelinka@yandex.ru

² Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow 123242, Russia
E-mail: nesterov@mecom.ru

Despite long-term studies of mesoscale cyclones in the Arctic region, which started in 1960, this atmospheric phenomenon has not been fully understood yet and is extremely difficult to predict. This is mainly due to the lack of satellite monitoring of the atmosphere in the northern polar latitudes with a high temporal resolution and an extremely sparse network of ground-based observations

in the Arctic. On February 28, 2021, the Russian Arktika-M No. 1 satellite was launched, which is the world's first hydrometeorological satellite operating in a highly elliptical Molniya-type orbit. The launch of the unique satellite with the multi-channel scanning unit (MSU-GS) as the main on-board mission equipment opened a possibility of obtaining data on the state of the atmosphere over the entire Arctic region with a frequency of 15/30 minutes during the working section of the satellite orbit. In particular, obtaining these data makes an invaluable contribution to solving the problems of monitoring and studying mesoscale cyclones in the northern polar latitudes, which is clearly shown in the present paper. The first summary results of monitoring mesoscale cyclones are presented as a map of their occurrence frequency. The potential of using the Arktika-M No. 1 MSU-GS data coupled with data of the regional hydrodynamic forecast model to perform synoptic analysis by the example of the manifestation of mesoscale cyclogenesis in the Barents Sea on May 31, 2021 is demonstrated.

Keywords: mesoscale cyclogenesis, mesoscale cyclone, polar low, Arctic, Arctic region, satellite monitoring, Arktika-M No. 1 satellite, MSU-GS, synoptic analysis

Accepted: 29.06.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-293-305

References

1. Asmus V. V., Volgutov R. V., Deryugina V. V., Krovotyntsev V. A., Maksimov A. A., Milekhin O. E., Trenina I. S., Satellite technologies applied to hydrometeorological problems in the Arctic region, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, Vol. 44, No. 4, pp. 250–261.
2. Asmus V. V., Milekhin O. E., Kramareva L. S., Khailov M. N., Shirshakov A. E., Shumakov I. A., Arktika-M: the world's first highly elliptical hydrometeorological space system, *Meteorologiya i gidrologiya*, 2021, No. 12, pp. 11–26 (in Russian), DOI: 10.52002/0130-2906-2021-12-11-26.
3. *Vysokoellipticheskaya gidrometeorologicheskaya kosmicheskaya sistema "Arktika-M"* (Arktika-M High-Elliptical Hydrometeorological Space System), Lavochkin Association, 2021, 8 p. (in Russian), available at: https://www.laspace.ru/press/news/information_brochure_arctic.pdf.
4. Glazunov V. G., Meteorological examination of the Mi-8MT disaster in Svalbard in 2008, *Aviation Explorer*, 2012 (in Russian), available at: <https://www.aex.ru/docs/4/2012/12/18/1697>.
5. Gurvich I. A., Mitnik L. M., Mitnik M. L., Mesoscale Cyclogenesis over the Japan Sea on 7–13 January 2009 from Satellite Multisensor Data, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2010, No. 4, pp. 11–22 (in Russian).
6. Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Bobylev L. P., Comparative evaluation of existing and prospective research methods in the field of monitoring and forecasting mesoscale cyclonic eddies, including polar cyclones, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 3, pp. 23–29 (in Russian).
7. Lutsenko E. I., Lagun V. E., *Polyarnye mezomasshtabnye tsiklonicheskie vikhri v atmosfere Arktiki* (Polar mesoscale cyclonic vortices in the Arctic atmosphere), Saint Petersburg: AARI, 2010, 98 p. (in Russian).
8. Mitnik L. M., Mitnik M. L., Gurvich I. A., Vykocho A. V., Kuzlyakina Yu. A., Chornyy I. V., Multisensor satellite sounding of winter cyclones with storm and hurricane winds in the North Pacific Ocean, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 4, pp. 161–174 (in Russian).
9. Mitnik L. M., Trusenkov O. O., Lobanov V. B., Microwave remote sensing of ocean and atmosphere from space: achievements and prospects (review), *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2015, No. 6(184), pp. 5–20 (in Russian).
10. Nesterov E. S., Polar cyclones: observations, reanalysis, modeling, *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2020, No. 1(375), pp. 65–82 (in Russian), DOI: 10.37162/2618-9631-2020-1-65-82.
11. Nesterov E. S., Zhupanov V. D., Fedorenko A. V., Features of the formation and evolution of the polar cyclone in the Barents and Kara Seas in December 2020, *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2021, No. 3(381), pp. 44–52 (in Russian), DOI: 10.37162/2618-9631-2020-1-65-82.
12. Nikitin M. A., Rivin G. S., Rozinkina I. A., Chumakov M. M., Using the COSMO-Ru forecasting system to study the properties of polar cyclones: March 25–27, 2014 episode, *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2016, No. 361, pp. 128–145 (in Russian).
13. *Decision of the Central Methodological Commission for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts of 16 December 2020*, Moscow: Roshydromet, 2020, 11 p. (in Russian), available at: <http://method.meteorf.ru/cmcp/dec20.pdf>.
14. Smirnova Yu. E., Zabolotskikh E. V., Bobylev L. P., Shapron B., Statistical Characteristics of Polar Lows in the Nordic Seas Using Satellite Passive Microwave Data, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, No. 3, pp. 27–36 (in Russian), DOI: 10.7868/S0205961415040119.

15. Frolova E. A., Sadovnikova E. V., Salagina A. A., Nesterov E. S., Monitoring of mesoscale cyclones in the Arctic region according to the data of the Arktika-M No. 1 satellite, *Materialy 19-i Mezhdunarodnoi konferentsii "Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 19th Intern. Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), 15–19 Nov. 2021, Moscow: IKI RAN, 2021, p. 209 (in Russian), available at: <http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2021/8563.htm>.
16. Adakudlu M., Barstad I., Impacts of the ice-cover and sea-surface temperature on a polar low over the Nordic seas: a numerical case-study, *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 2011, Vol. 137, pp. 1716–1730, DOI: 10.1002/qj.856.
17. Førre I., Kristjansson J. E., Kolstad E. W., Bracegirdle T. J., Sætra Ø., Røsting B., A "hurricane-like" polar low fuelled by sensible heat flux: high-resolution numerical simulations, *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 2012, Vol. 138, pp. 1308–1324, DOI: 10.1002/qj.1876.
18. Günther H., Øyvind S., Workshop on polar lows, *Bull. American Meteorological Society*, 2013, Vol. 94, No. 9, pp. ES123–ES126, DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00190.1.
19. Kolstad E. W., Higher ocean wind speeds during marine cold air outbreaks, *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 2017, Vol. 143, No. 706, pp. 2084–2092.
20. Mallet P.-T., Claud C., Cassou C., Noer G., Kodera K., Polar lows over the Nordic and Labrador seas: synoptic circulation patterns and associations with North Atlantic-Europe wintertime weather regimes, *J. Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, Vol. 118, pp. 2455–2472.
21. Noer G., Sætra O., Lien T., Gusdal Y., A climatological study of polar lows in the Nordic Seas, *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 2011, Vol. 137, pp. 1762–1772, DOI: 10.1002/qj.846.
22. *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.*, Accident Investigation Board Norway, 2013, 37 p., available at: <https://www.nsia.no/Aviation/Published-reports/2013-06-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>.
23. Rojo M., Claud C., Mallet P.-E., Noer G., Carleton A. M., Vicomte M., Polar low tracks over the Nordic Seas: A 14-winter climatic analysis, *Tellus*, 2015, Vol. 67A, pp. 1–20, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.