

Мониторинг развития стихий конвективного характера с использованием данных системы спутников «Арктика – М» и сети ДМРЛ-С

Алексеева А.А.⁽¹⁾, Миронова Н.С.⁽²⁾, Дмитриева Т.Г.⁽¹⁾, Федоров Г.А.⁽²⁾, Бухаров В.М.⁽¹⁾,

(1) ФГБУ «Гидрометцентр России», (2) ФГБУ «НИЦ «Планета»

Введение

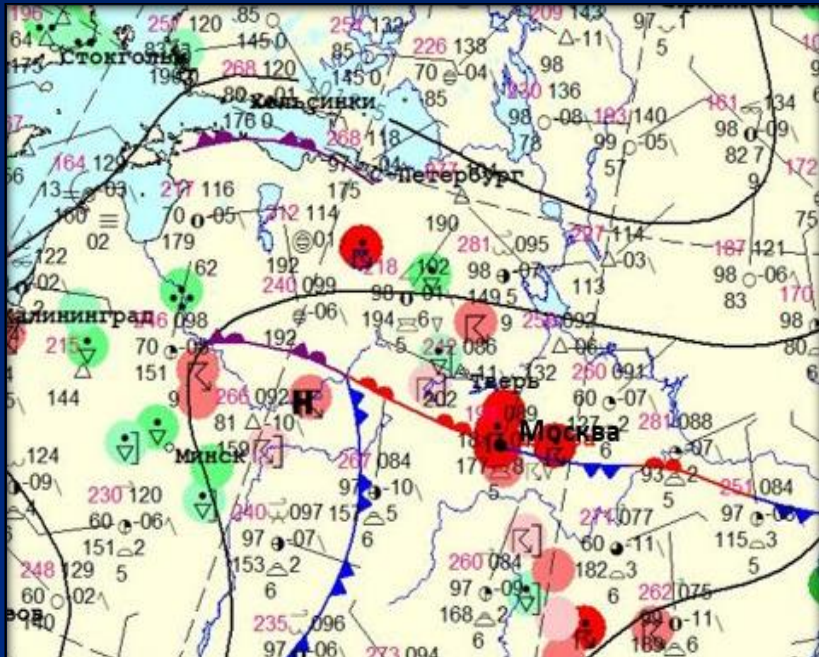
В НИЦ «Планета» с помощью системы «Метео-ИСЗ» выпускаются карты метеорологических явлений, объединяющие результаты спутникового зондирования и гидродинамического моделирования. Система «Метео-ИСЗ» адаптирована для обработки данных КА серии «Арктика-М». На полученных картах метеоявлений выявляются зоны таких явлений, как гроза, гроза со шквалом и град. Ценность этих продуктов особенно высока в условиях недостатка традиционной информации с наземной наблюдательской сети.

В Гидрометцентре России разработана технология радиолокационного диагноза опасных конвективных явлений с применением результатов гидродинамического моделирования. Её алгоритмы отличаются от реализованных в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», что позволяет получать дополнительные характеристики явлений. Диагностика мощных конвективных штормов осуществляется в реальном времени с периодичностью 10 минут и пространственным разрешением 0.05 градусов. Диагностируются сильные ливни, град, а также шквалы в градациях скорости ветра (15-19 м/с, 20-24 м/с и ≥ 25 м/с). Скорость ветра при порывах оценивается тремя независимыми методами, что дает синоптику надежную основу для принятия решения о выпуске штормового предупреждения.

В работе представлен разбор и анализ развития нескольких опасных явлений конвективного характера на основе вышеописанных технологий.

СИНОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ЗОН АКТИВНОЙ КОНВЕКЦИИ (ЗАК) 15 и 20 июля в Московском регионе

15 июля 2025 г.

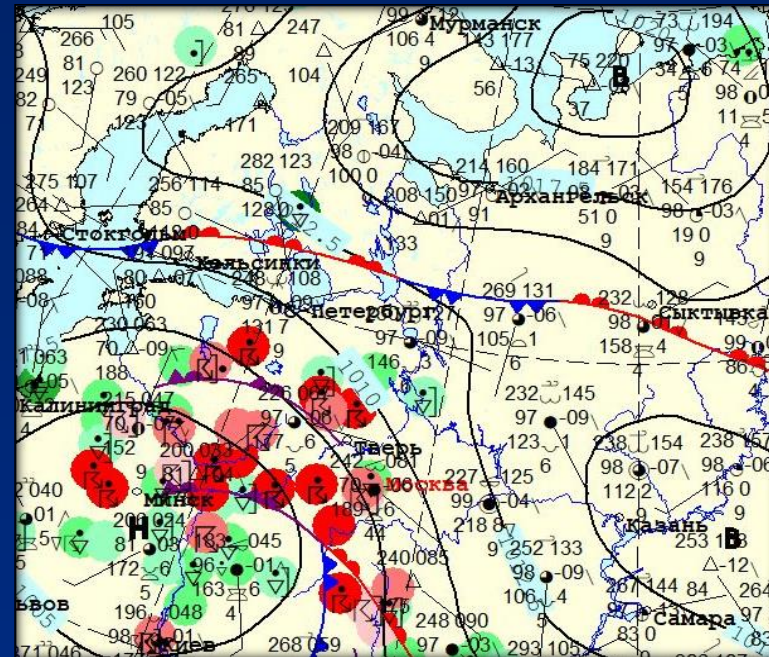


Карта погоды с фронтальным анализом
15.07.25 г. за 09 ВСВ.

В московском регионе днем наблюдались грозовые ливни, местами сильные (на АМС ТСХА 50 мм/ч, МС Дмитров 24 мм/ч), в отдельных районах с градом и шквалами (15-19 м/с), очень сильные дожди (на АМС ТСХА 72 мм/12 ч, АМС Электросталь 66 мм/12 ч).

Малоградиентное поле пониженного давления и слабые ветры на высотах способствовали накоплению влаги в нижней тропосфере, что привело к развитию грозовой деятельности.

20 июля 2025 г.

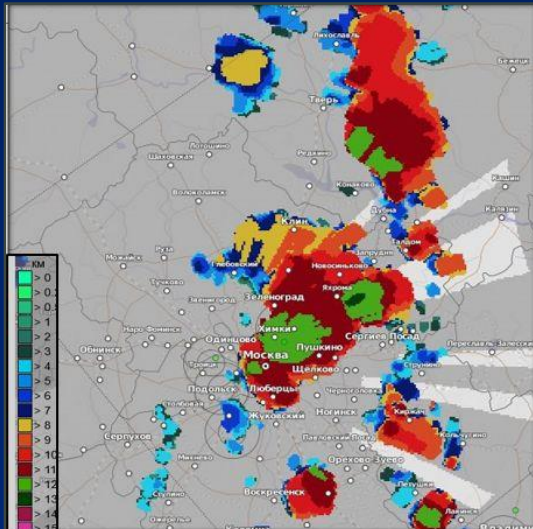


Карта погоды с фронтальным анализом
20.07.25 г. за 15 ВСВ.

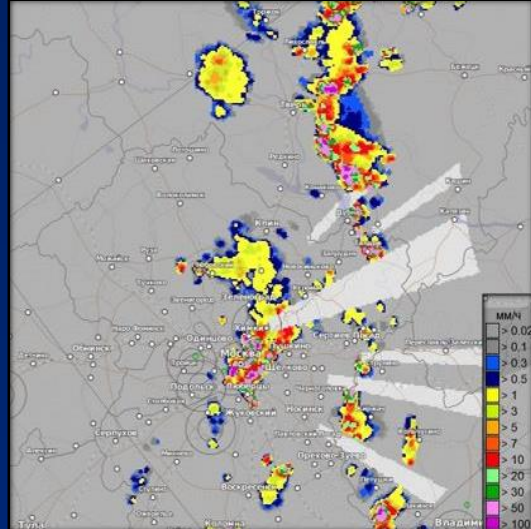
Московский регион был втянут в систему обширного высотного южного циклона. С 5 ч МСК с юга и юго-запада из-за неустойчивого состояния атмосферы через регион проходили несколько фронтов окклюзии по типу теплого (второй – в 18 ч МСК), выраженные в отдельных грозовых ливнях, местами с градово-шкваловыми ячейками.

Случаи сильных ливней с градом и шквалами 15 и 20 июля 2025г. связаны с областью пониженного атмосферного давления, когда московский регион находился в языке теплого влажного воздуха, переместившегося с Аравийского полуострова (в обоих случаях на 850 гПа изотерма 14°C). Различие в том, что 15 июля московский регион находился в юго-западной части высотной ложбины с центром над Таймыром, а 20 июля – в передней восточной части высотного циклона. Температурный фон ночью 15-21°C, днем – 25-28°C.

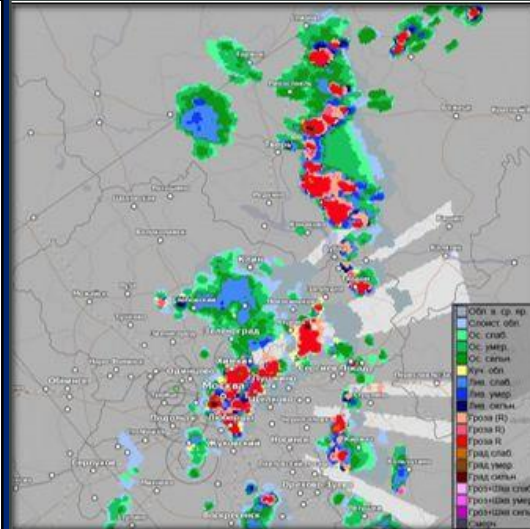
ДАННЫЕ ДМРЛ-С «Внуково»



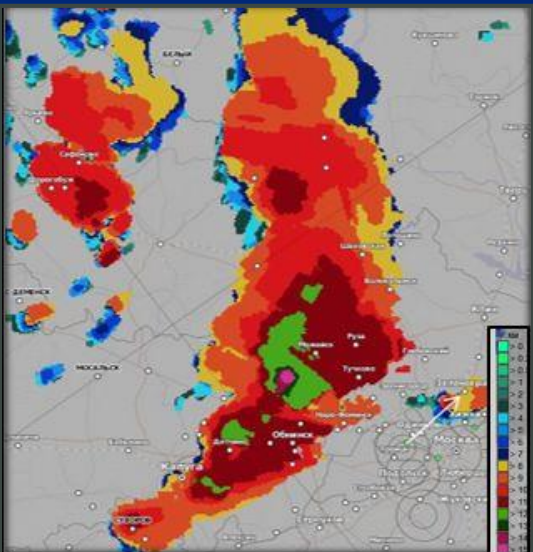
Карта высоты облачности ДМРЛ-С «Внуково» 15.07.25 г. за 09 ВСВ.



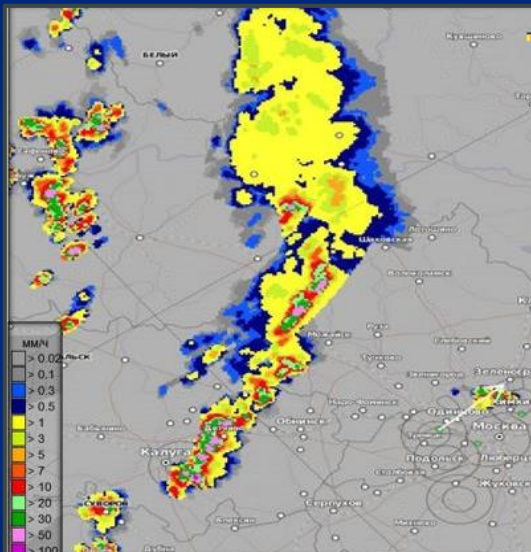
Карта интенсивности осадков ДМРЛ-С «Внуково» 15.07.25 г. за 09 ВСВ.



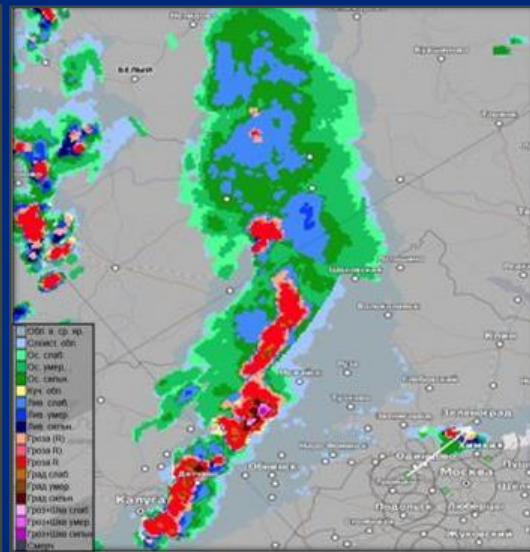
Карта явлений ДМРЛ-С «Внуково» 15.07.25 г. за 09 ВСВ.



Карта высоты облачности ДМРЛ-С «Внуково» 20.07.25 г. за 15 ВСВ.



Карта интенсивности осадков ДМРЛ-С «Внуково» 20.07.25 г. за 15 ВСВ.



Карта явлений ДМРЛ-С «Внуково» 20.07.25 г. за 15 ВСВ.

15 июля

С 10 ч МСК на севере и юго-востоке московского региона стали формироваться отдельные грозовые ячейки, достигшие местами высоты 13 км. В 11 ч 20 мин МСК ячейки объединились в МКС (мезомасштабная конвективная система) размером порядка 125 км локально с максимальной высотой до 15 км. В 12 ч 40 мин МСК образовался единый массив МКК (мезомасштабный конвективный комплекс) размером порядка 300 км с градовыми и шкваловыми ячейками. Около 15 ч МСК началась диссипация этого МКК: уменьшение высоты кучево-дождевых ячеек и затухание грозовой деятельности.

20 июля

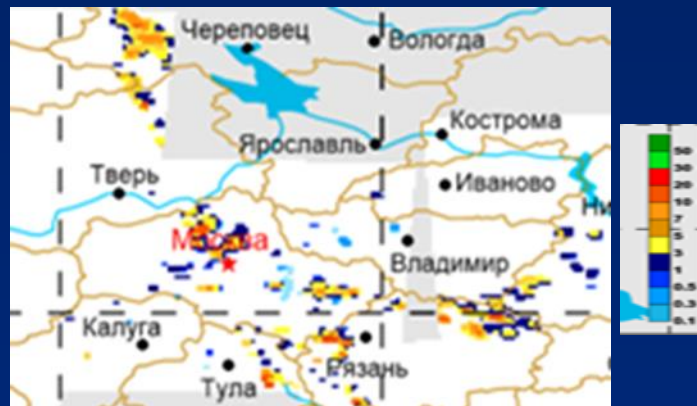
На первой волне в районе Можайска по ДМРЛ-С Внуково наблюдалась ячейка высотой до 15 км с ливнями, градом и шквалом, которые, видимо, прошли между наблюдательными станциями. При подходе к Москве около 7 ч МСК высота и интенсивность грозовых очагов снизилась, шквалы и град уже не отмечались.

На второй волне также с грозово-градовыми и шкваловыми ячейками МС Можайск был отмечен сильный ливень 20 мм/ч. На МС Балчуг в центре Москвы выпало 82 мм/сутки, МС Тушино 75 мм/сутки, МС Коломна 76 мм/сутки. Из-за сильных ливней уровень воды в р. Яуза поднялся на 2.5 м. В Московской области размывло мосты в Наро-Фоминском и Истринском округах, а также плотину около д. Шохово Можайского района.

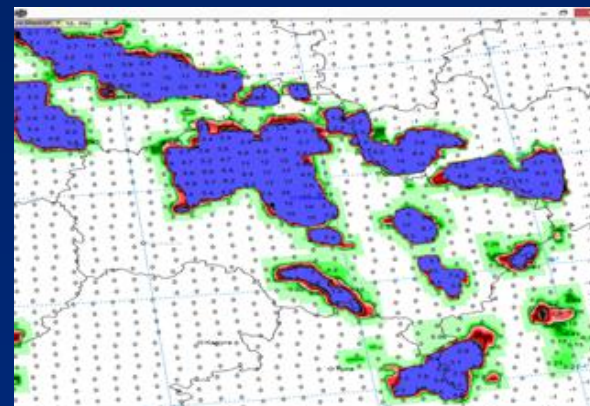
Радиолокационный диагноз ЗАК 15 июля в Московском регионе технологией, разработанной в Гидрометцентре России



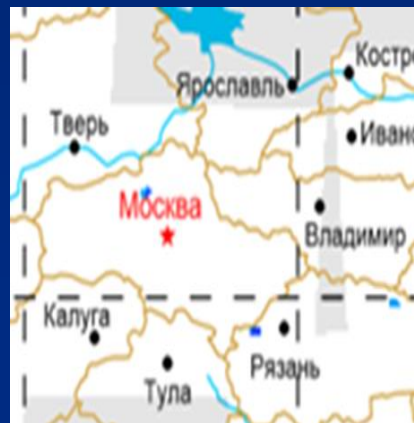
а)



б)



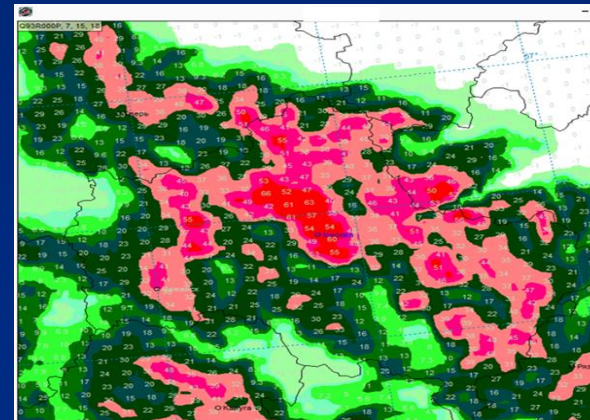
д)



в)



г)

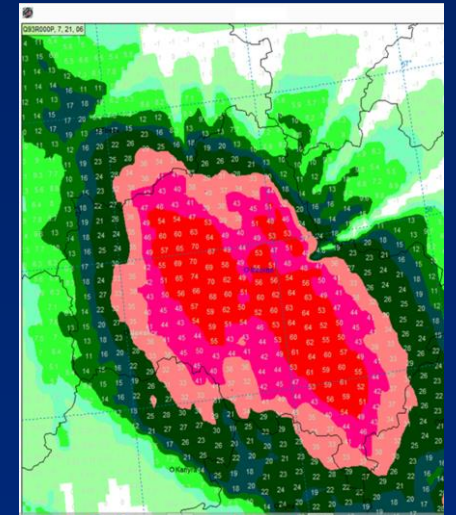
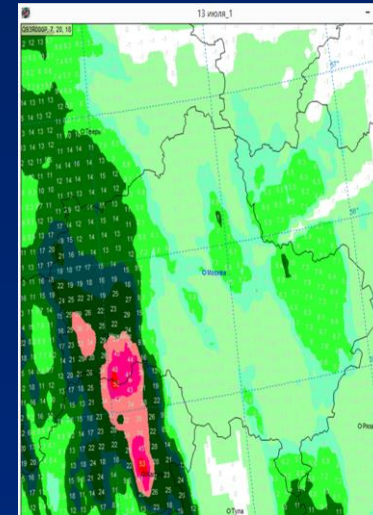
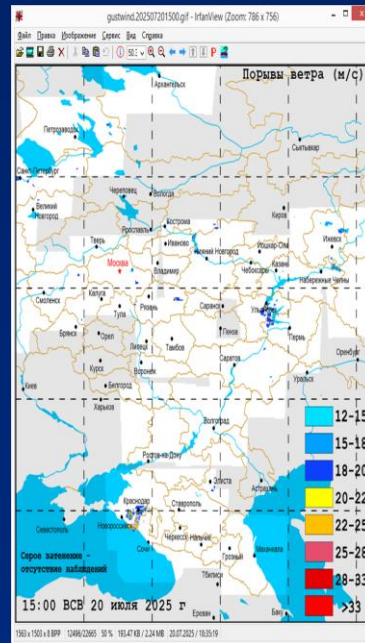
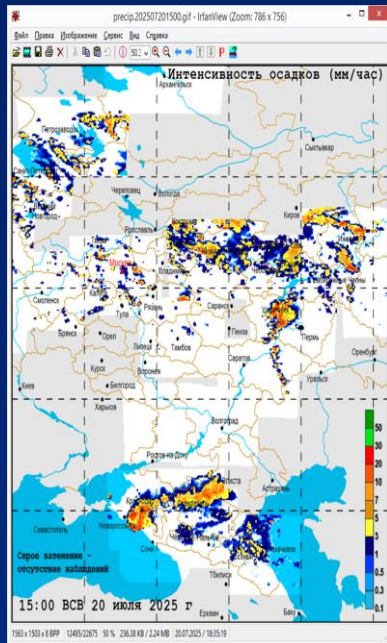
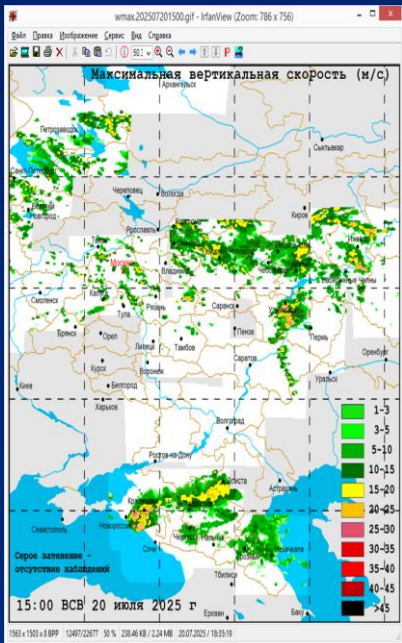


е)

15 июля наибольшие конвективные скорости наблюдались на севере Московской области, локально достигая 20-25 м/с, вторая зона располагалась на юго-востоке области, где конвективные скорости составляли 15-20 м/с. Соответственно интенсивность осадков в северной зоне достигала 20-30 мм/ч, на юго-востоке ниже, до 10 мм/ч. Шквалы диагностированы в северной зоне, рассчитанные скорости ветра при шквале от 15 до 20 м/с. Видимость в ливнях на севере и юго-востоке опускалась до 1.8 км, вблизи Москвы до 1.2 км. В период с 8.00 до 9.00 ВСВ (т.е. за час) локально диагностировались осадки количеством до 20 мм. Полусуточные дневные осадки в Можайском районе достигали 41 мм/12ч, на юго-востоке до 51 мм/12ч. Количество осадков, диагностированное в Москве: 49-60 мм/12ч, а севернее Москвы еще больше, до 66 мм/12ч. При сравнении результатов с синоптическим анализом, можно констатировать, что по данным радиолокационного диагноза также выделены две зоны активной конвекции, которые хорошо совпадают с зонами, о которых указывалось в синоптическом анализе. Данные зоны связаны с сильными ливнями, диагностированное количество осадков хорошо согласуется с данными метеостанций. Диагностированные шквалы скоростью 15-20 м/с также хорошо согласуются с данными метеостанций.

Максимальная конвективная скорость (м/с) - (а), интенсивность осадков (мм/ч) - (б), скорость ветра при шквале (м/с) - (в), видимость в ливневых осадках (км) – (г) за 09.00 ВСВ, количество ежечасных осадков (мм) за период 08.00-09.00 ВСВ - (д) и полусуточных осадков за период 06.00-18.00 - (е) 15.07.25.

Радиолокационный диагноз ЗАК 20 июля в Московском регионе технологией, разработанной в Гидрометцентре России

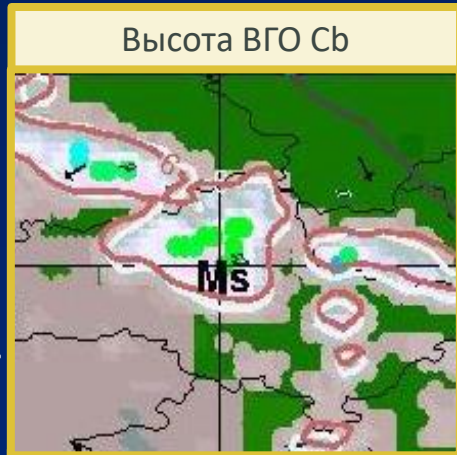


Фрагменты карт полусуточных осадков (мм/12ч) 20.07. 2025 г. за период 06.00 - 18.00 ВСВ (слева) и 21.07. 2025 г. за период 18.00 (20.07.2025 г.) - 06.00 (21.07.2025 г.) ВСВ (справа).

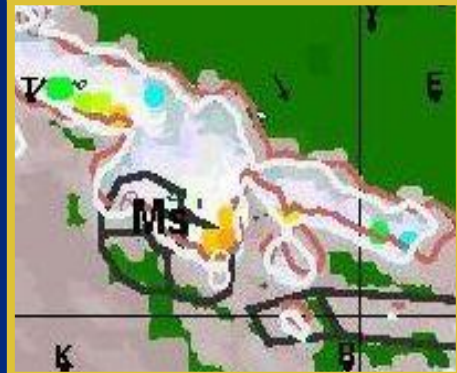
Осадки 20 июля, как указывалось в синоптическом анализе, были связаны с прохождением нескольких фронтов окклюзии. Второй фронт проходил регион после 18 ч. МСК. Основное количество осадков выпало поздно вечером и ночью 21 июля. В 15.00 ВСВ локально диагностированные конвективные скорости достигают 15-25 м/с. Рассчитанная интенсивность осадков местами достигала 20 мм/ч. На востоке и юго-востоке диагностировались шквалы скоростью ветра до 20 м/с. Диагностированное количество осадков днем в Можайском районе от 22 до 48 мм/12ч. Ночью в том же районе диагностировано еще до 32 мм/12ч. Значительное количество осадков ночью было диагностировано на большой площади московского региона: на западе от Москвы до 74 мм/12ч., на юго-востоке до 64 мм/12ч. Сильные ливни практически диагностированы во всей Московской области. Диагностированные суточные осадки хорошо согласуются с данными метеостанций.

Спутниковый диагноз ЗАК 15 июля 9:00 ВСВ в Московском регионе

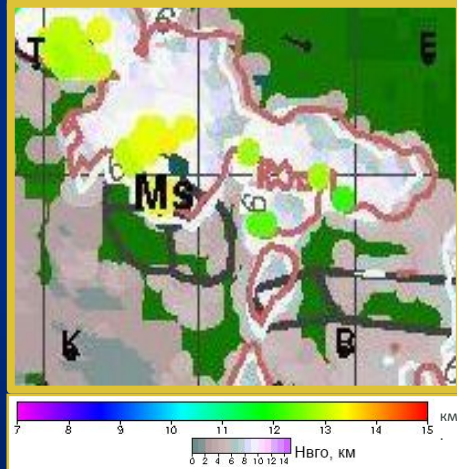
Арктика-М



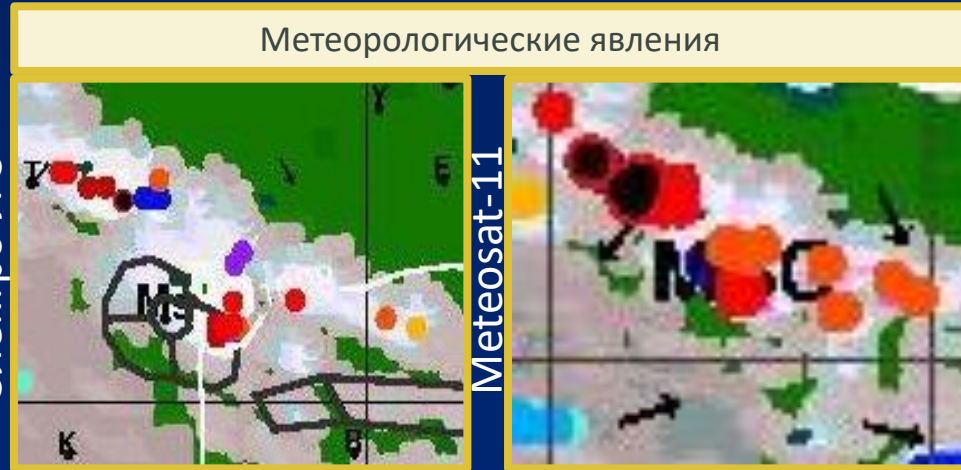
Электро-Л 3



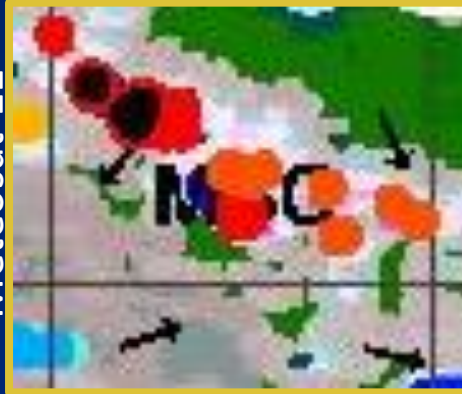
Meteosat-11



Электро-Л 3

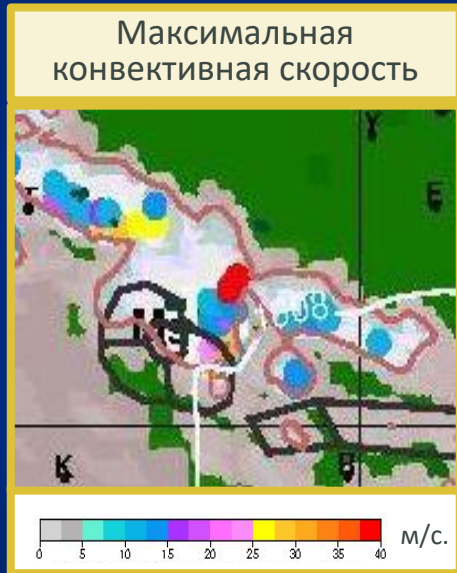


Meteosat-11

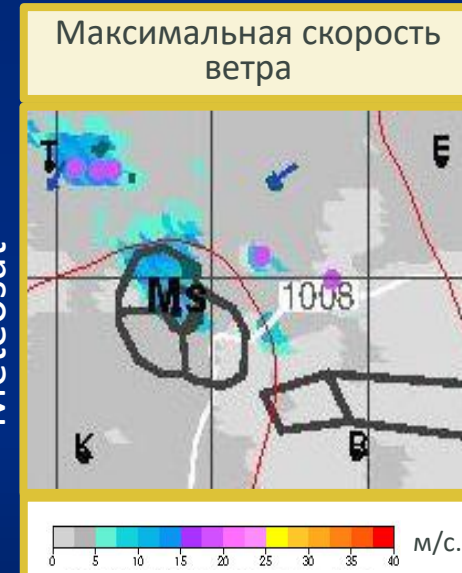


- гроза со шквалом, ● град в облаках, ● облака,
- высокая/ ● средняя/ ● низкая вероятность гроз,
- сильный ливень, ● ливень, ● ум./ ● слаб. осадки,

Электро-Л 3



Meteosat



Был проведен анализ ЗАК на основе карт спутникового диагноза. Карты были построены по данным КА серий Арктика-М, Электро-Л и Meteosat-11 в оперативном режиме.

Из представленных фрагментов карт видно, что высота ВГО превышала 12 км, были диагностированы грозы, ливни и сильные ливни, град в облаках, максимальные скорости ветра достигали, 20 м/с.

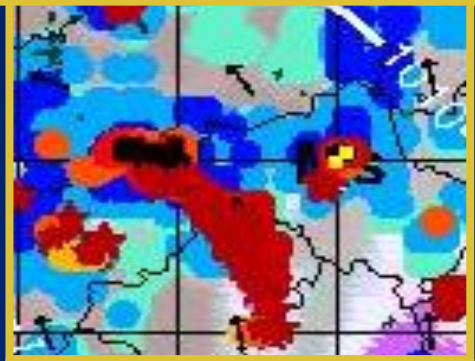
По данным спутникового диагноза построена карта максимальной конвективной скорости, фрагмент которой представлен на слайде, и наглядно показывающая вклад конвективных процессов в усиление ветра и активизацию возникновения опасных явлений.

Спутниковый диагноз и его анализ подтверждает результаты синоптического и радиолокационного диагноза.

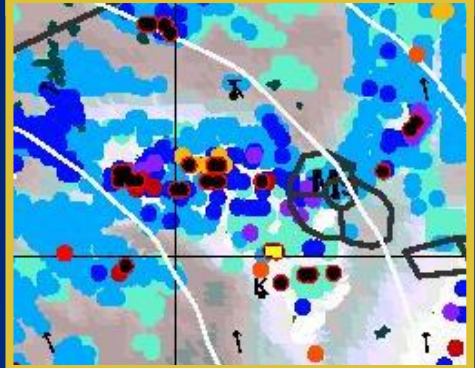
Спутниковый диагноз ЗАК 20 июля 15:00 ВСВ в Московском регионе

Метеорологические явления

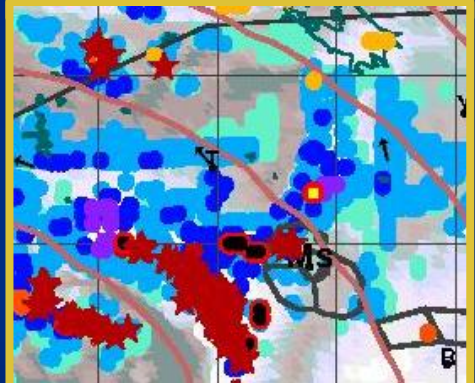
Арктика-М



Электро-Л 3



Meteosat



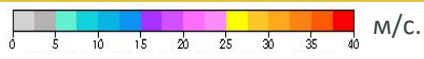
- гроза со шквалом, ● град в облаках, ● облака,
- высокая/ ● средняя/ ● низкая вероятность гроз,
- сильный ливень, ● ливень, ● ум./ ● слаб. осадки,

Максимальная скорость ветра

Электро-Л 3

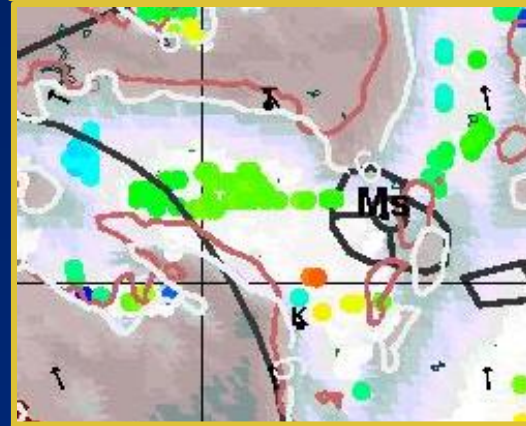


Meteosat

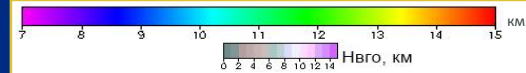
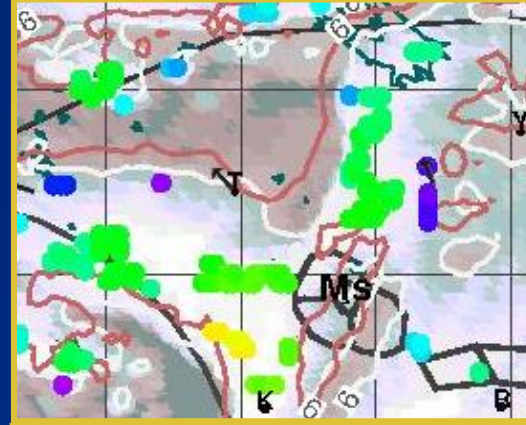


Высота верхней границы Сb

Электро-Л 3

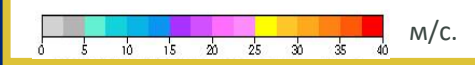
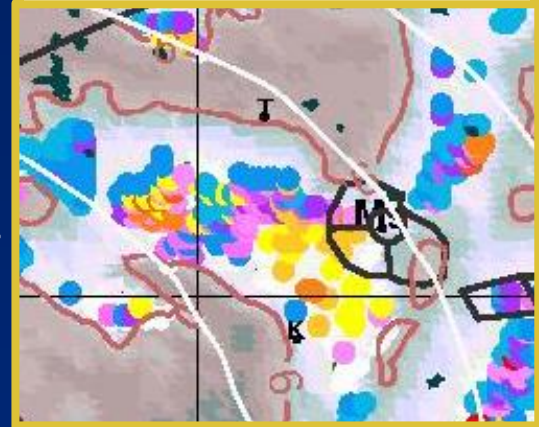


Meteosat



Максимальная конвективная скорость

Электро-Л 3



Карты были построены по данным КА серий Арктика-М, Электро-Л и Meteosat в оперативном режиме. На представленных фрагментах карт отчетливо прослеживается активизация процессов при прохождении фронтов.

Как видно на фрагментах карт, высота ВГО превышала 12-13 км, были диагностированы грозы, ливни и сильные ливни, град в облаках и грозы со шквалами, диагностированные порывы ветра достигали 25-30 м/с. По данным спутникового диагноза построена карта максимальной конвективной скорости, фрагмент которой представлен на слайде, и наглядно показывающая активизацию конвективных процессов при прохождении фронтов и вклад конвективных потоков в усиление ветра.

Выводы

Ключевое преимущество совместного мониторинга опасных конвективных явлений погоды (ливней, града и шквалов) с использованием данных КА и радиолокационных наблюдений — высокая оперативность и временная детализация информации на обширных территориях, что критически важно для России с её огромной площадью и ограниченной плотностью наземной сети. Использование результатов мониторинга позволяет синоптикам оперативно в случае необходимости уточнять время, место и интенсивность возникновения опасных явлений, т.е. уточнить прогноз и заблаговременно дать штормовое предупреждение о конвективных штормах, с которыми нередко связан значительный экономический ущерб, а иногда и гибель людей. Поэтому исследования по разработке и усовершенствованию алгоритмов спутникового и радиолокационного диагноза опасных конвективных явлений не потеряли актуальности и в настоящее время и являются практически значимыми, т.к. частота возникновения таких явлений по причине потепления климата повышается во всем мире, Россия также не является исключением.

Литература

- Алексеева А.А., Васильев Е.В., Бухаров В.М.* Прогноз сильных шквалов на Европейской территории России и их идентификация доплеровскими радиолокаторами // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 363. С. 47-64.
- Алексеева А.А., Бухаров В.М., Лосев В.М.* Диагноз сильных шквалов на основе данных ДМРЛ-С и результатов численного моделирования // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 3 (381). С. 6-23.
- Алексеева А.А., Бухаров В.М., Лосев В.М.* Диагноз града на основе данных ДМРЛ-С и результатов численного моделирования // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 2 (388). С. 114-127.
- Алексеева А.А., Бухаров В.М.* Идентификация порывов ветра при шквале по данным сети ДМРЛ-С и численного моделирования // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2024. № 2 (392). С. 25-50.
- Бухаров М.В., Дмитриева Т.Г., Миронова Н.С.* Применение карт спутникового диагноза для анализа метеорологических условий при смерче в Башкирии 29 августа 2014 г. // Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 10–14 ноября 2014 г. Тезисы докладов. С. 169.
- Бухаров М.В., Кухарский А.В., Мисник Л.А.* Автоматизированное рабочее место «Планета-метеобзор» для мониторинга опасных атмосферных явлений, связанных с конвективной облачностью // Метеорология и гидрология. 2008. № 2. С. 64-69.