

Анализ возможностей прогностической модели COSMO-Ru-SIB 2.2 при прогнозе опасных явлений погоды, связанных с глубокой конвекцией.

В ФГБУ «СибНИГМИ» производится оперативный расчет 4 раза в сутки по модели COSMO с использованием открытых данных глобальных моделей GFS и ICON для шага горизонтальной сетки: 13.2, 6.6 и 2.2 км. Расчет 13.2 км является базовым. На рис. 1 приведены области оперативного прогноза системы численного прогноза погоды COSMO-Ru-SIB в ФГБУ «СибНИГМИ».

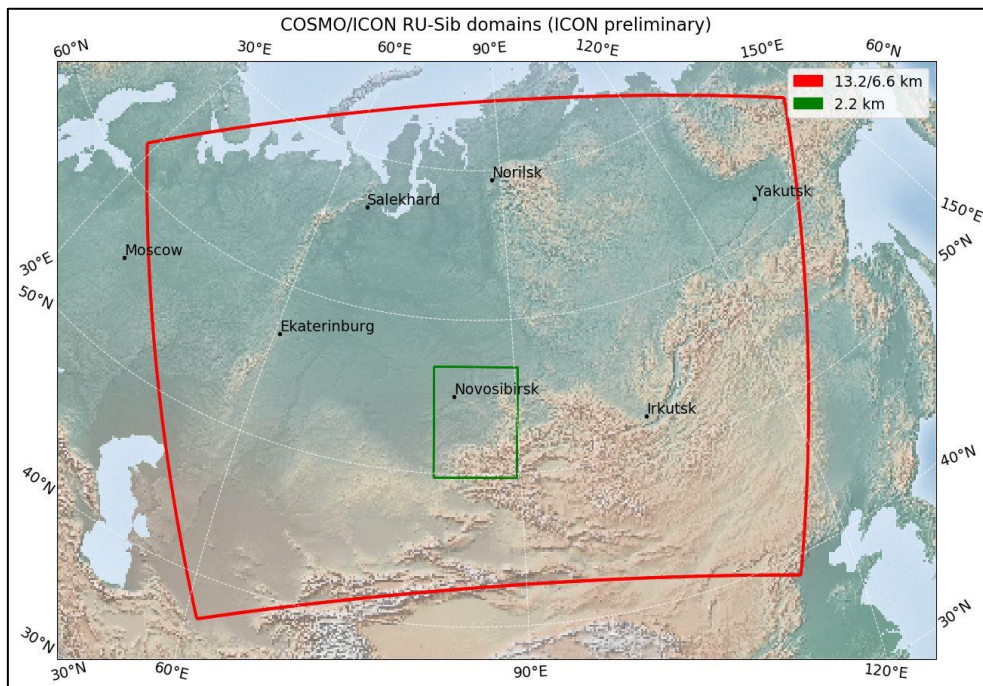


Рисунок 1 – Области оперативного прогноза системы COSMO-RU-SIB

Шаг сетки 2.2 км позволяет моделировать процессы глубокой конвекции в явном виде, в отличие от конфигурации модели с другим пространственным разрешением (13.2 и 6.6 км). Под глубокой конвекцией (deep convection) понимаются кучево-дождевые облака, достигающие тропопаузы, а также сопровождающиеся сильными осадками, грозами и шквалами. В отличие от процессов мелкой конвекции (shallow convection), которые по вертикали ограничены пограничным слоем и редко сопровождается осадками [1,2]

Использование конфигурации COSMO-Ru-SIB 2.2 на территории юга Западной Сибири позволяет производить расчет параметров для оценки рисков опасных явлений, связанных с развитием глубокой конвекции. Такими параметрами являются: радиолокационная отражаемость, индекс потенциала молний (Lightning Potential Index – LPI), диаметр града, индекс обнаружения суперячеек (Supercell Detection Index – SDI), параметр формирования значительных смерчей (Significant Tornado Parameter – STP), относительная спиральность (Storm-Relative Helicity – SRH). Далее приведем краткое описание каждого из параметров.

Радиолокационная отражаемость

Радиолокационной отражаемостью Z , $\text{мм}^6/\text{м}^3$, называют величину, характеризующую отражающие свойства единичного объема гидрометеоров. В связи с тем, что диапазон изменения отражаемости Z в реальных облаках и осадках очень велик, в практике радиолокационных наблюдений используют логарифмическую измерительную шкалу, в которой Z выражается в децилогарифмах $10 \cdot \lg Z$, а соответствующая единица измерений называется dBZ (“дебизет”) [3].

Эта величина сильно зависит от содержания гидрометеоров в атмосфере – чем больше и плотнее гидрометеоры, тем выше значение. На основе этой характеристики ЦАО рассчитывает вторичные продукты – облачность, осадки, ливни, грозы, град, шквалы.

Поскольку в модели рассчитывается количество и состояние гидрометеоров, это позволяет получить поле прогностической отражаемости. Модельная радиолокационная отражаемость показывает, какую картину (по версии модели) наблюдал бы пользователь радиолокатора в прогностический срок. Такое поле позволяет анализировать процессы с наличием гидрометеоров. Значения отражаемости выше 50 дБ указывают на потенциал к формированию опасных явлений (грозы, град, шквалы).

Lightning Potential Index (LPI)

Под LPI понимается объемный интеграл общей массы льда и жидкой воды между изотермами 0° и -20°С (где переохлажденная жидкая вода может сосуществовать с кристаллами льда, градом и снегом) в развивающемся грозовом облаке. Данный параметр демонстрирует потенциал грозового облака для отделения электрического заряда на соответствующей высоте посредством неиндуктивного механизма электрификации льда.

Существует связь между количеством частиц льда и жидкой воды, чье содержание в облаке учитывает параметр LPI, с количеством и частотой вспышек молний, но на данный момент конвертация является затруднительной [4,5].

Рассчитывается при помощи явно воспроизведенных моделью конвективных облаков, следовательно, применим для доменов COSMO-Ru с шагом сетки не более 2.2 км.

Диаметр града (HailCast)

Применяется одномерная модель HailCast, адаптированная для COSMO из модели WRF. В качестве продукта можно оценить максимальный диаметр града (в мм) в узле сетки модели. Методика основана на явном моделировании конвективной облачности и применима для доменов модели COSMO-Ru с шагом сетки не более 2.2 км [6].

Supercell Detection Index (SDI)

Индекс обнаружения суперячеек. В отличие от многих конвективных параметров данный индекс основан на явном воспроизведении моделью восходящих потоков конвективных ячеек. Следовательно, может применяться для доменов модели COSMO-Ru с шагом не более 2.2 км.

Основной динамической характеристикой суперячейки является устойчивый глубокий мезоциклон, и SDI способен определить его внутри суперячейки.

В COSMO рассчитываются две вариации индекса – SDI₁ и SDI₂. В первом случае знак указывает на направление движения по вертикали. Положительные значения соответствуют завихренным восходящим потокам, отрицательные – завихренным нисходящим. В версии SDI₂ рассматриваются только восходящие потоки, а знак указывает на направление вращения. Положительные значения соответствуют мезоциклонам, вращающимся против часовой стрелки, отрицательные – по часовой. Для использования в оперативной практике рекомендуется индекс SDI₂.

Особенное внимание следует уделить ситуациям, когда индекс превышает «значительный сигнал» $|SDI| > 0.003$ 1/с и совпадает с областями повышенных значений параметра STP [7].

Significant Tornado Parameter (STP)

STP был разработан и испытан как инструмент, помогающий оперативным синоптикам различать значительные ураганные и неуреганные суперячейки.

Для расчета данного индекса привлекаются такие параметры как:

1. средний уровень конденсации при конвенции (mean layer lifting condensation level – MLLCL);

2. Индекс неустойчивости CAPE, оценивающий энергию нижнего (100 гПа) перемешенного слоя атмосферы (Mixed Layer CAPE – MLCAPE);
3. Относительная спиральность в слое 0-3 км (Storm-Relative Helicity – SRH)
4. Конвективная задержка в слое до 100 гПа.

Под значительными (Significant) подразумеваются смерчи, имеющие категорию EF-2 (порывы ветра 50-61 м/с) и выше по шкале Фудзиты. Для оценки риска слабых смерчей данный параметр не применяется.

Вероятность формирования значительных смерчей существует при значениях STP более 1. Чем больше индекс – тем выше вероятность формирования и возможная интенсивность смерчей.

В данный момент этот параметр показывает большой процент ложных тревог. Рекомендуется использовать в комплексе с индексом SDI [8, 9].

Анализ метеорологических условий в день с опасным явлением

Далее рассмотрим пример использования описанных параметров для задач краткосрочного прогноза. Для демонстрации был выбран случай в ночь с 25 на 26 июня 2022 года, когда прохождение скопления кучево-дождевых облаков вызвало шквалистое усиление ветра до 25 м/с (соответствует критерию опасного явления) в городе Купино Новосибирской области, что повлекло за собой материальный ущерб вследствие повреждения кровли зданий [10]. Для этого проведем краткий обзор синоптической ситуации, а также проанализируем спутниковые изображения в ИК диапазоне и данные ДМРЛ.

Рассмотрим кольцевые карты за 03 и 15 UTC и карту АТ-500. Треугольником обозначен Новосибирск, а звездочкой – Барабинск (130 км к северу от Купино). В утренние часы, согласно кольцевой карте от 03 UTC (рис. 2), синоптическая ситуация над Новосибирской областью характеризовалась барической ложбиной и наличием холодного фронта в западной части области. В районе города Кустанай (Север Казахстана) наблюдался циклон, который был ограничен одной замкнутой изобарой.

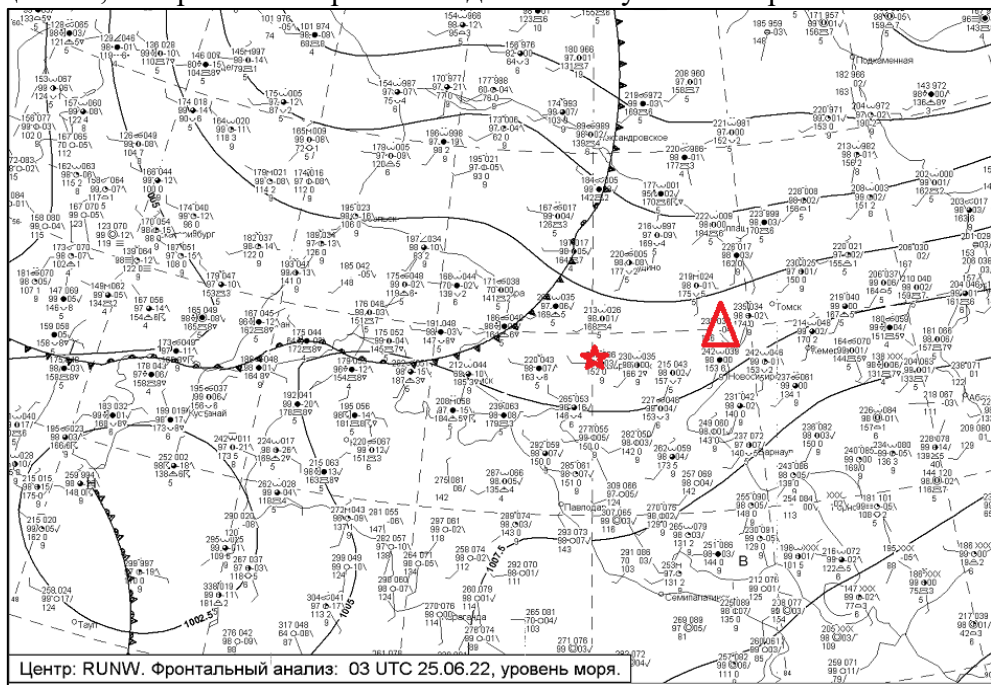


Рисунок 2 – Кольцевая карта за 03 UTC 25.06.22

К 15 UTC, в момент прохождения облачной системы, на территории Новосибирской области наблюдался барический гребень, а циклон сместился в районы Омской и Курганской областей и начал незначительно углубляться. Несмотря на то, что фронтальная

система проходит значительно севернее, в районе города Купино наблюдались грозы неустойчивость, что свидетельствует о возникновении конвективной неустойчивости.

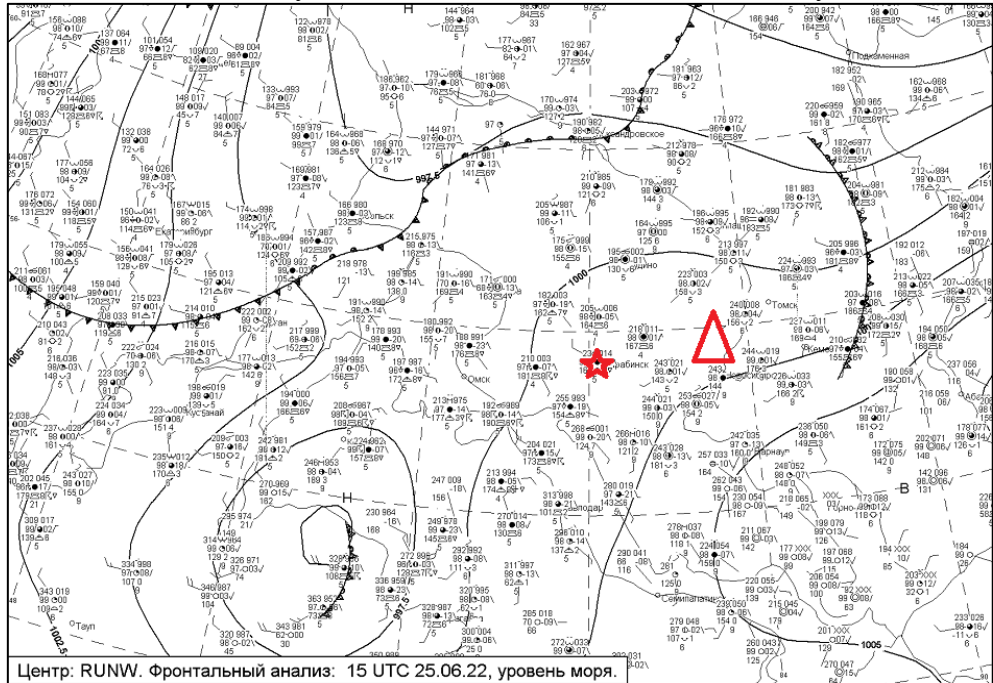


Рисунок 3 – Кольцевая карта за 15 UTC 25.06.22

На высотных картах циклон не прослеживался и являлся приземным барическим образованием. На рис. 4,5 представлены карты барической топографии АТ-500 за 00 и 12 UTC 25.06.22, где данному циклону соответствовал высотный гребень.

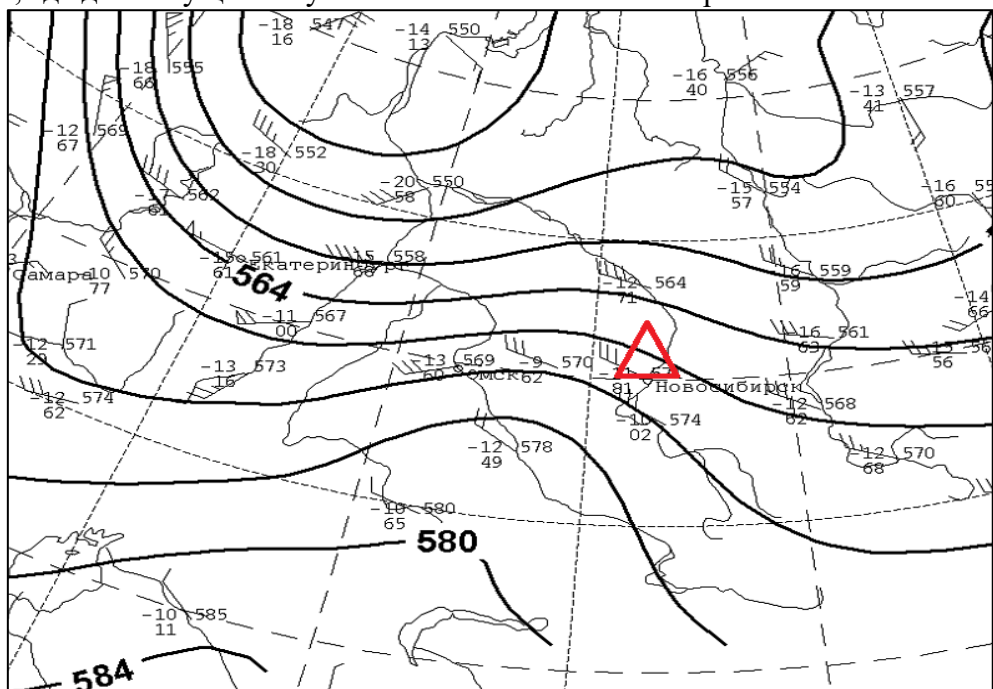


Рисунок 5 – Карта барической топографии АТ-500 за 00 UTC 25.06.22

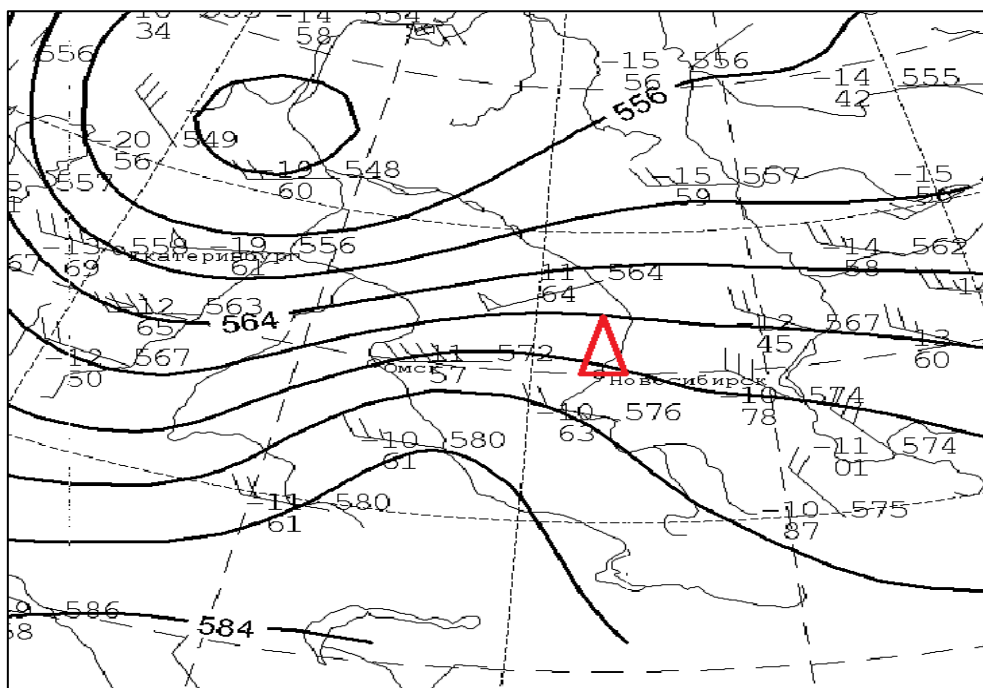


Рисунок 4 – Карта барической топографии АТ-500 за 12 UTC 25.06.22

Ниже представлены изображения, полученные с помощью КА TERRA спектрорадиометра MODIS в ИК диапазоне в часы ближайшие к 03 и 15 UTC.

Согласно изображению, за 05:48 UTC между Новосибирском и Омском сформировались линейно-ориентированные скопления кучево-дождевой облачности, а в районе Омска наблюдаются «яркая» облачность округлой формы. В обоих случаях такая структура облачности свидетельствует о значительной конвективной неустойчивости, которая впоследствии может сформировать либо мезомасштабный конвективный комплекс (МКК), либо мезомасштабную конвективную систему (МКС).

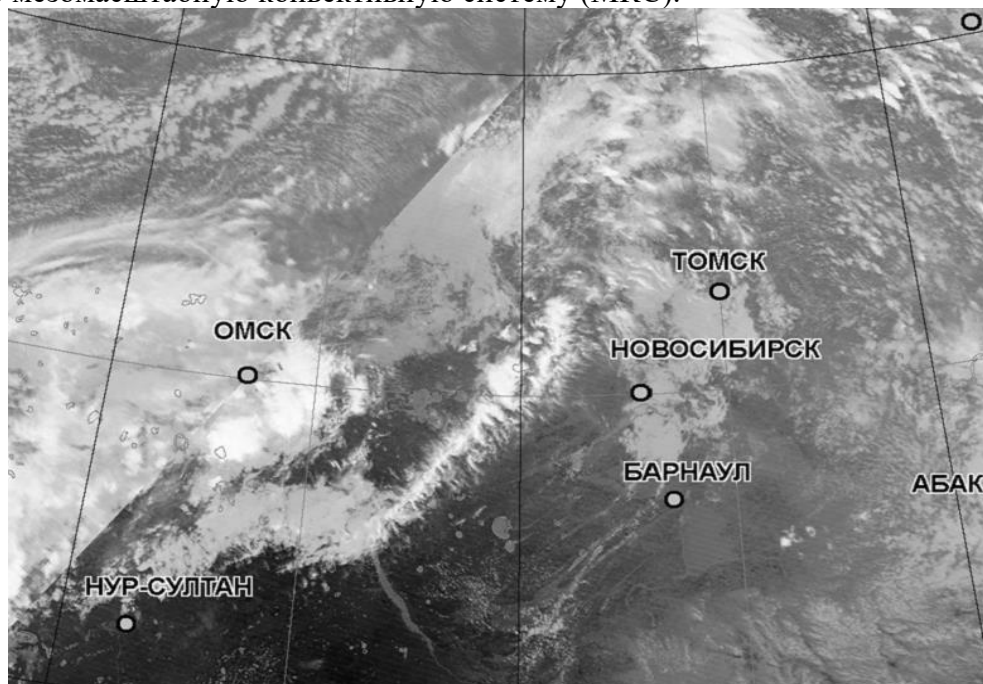


Рисунок 5 – Изображение, полученное с помощью КА TERRA в ИК диапазоне (время пролета 05:48 UTC)

Как видно на изображении за 17:02 (рис. 5) между в районе города Купино наблюдается обширная осесимметричная (имеющая четкую и устойчивую во времени

квази-круглую либо квази-овальную форму по спутниковым изображениям) конвективные система с линейными размерами 300-500 км (масштаб мезо- α) Характерный «облачный щит» свидетельствует о наличии единой «наковальни» (anvil cloud). Подобные характеристики означают, что данная облачная система наиболее вероятно является МКК, что также можно подтвердить с помощью радарных данных [11].

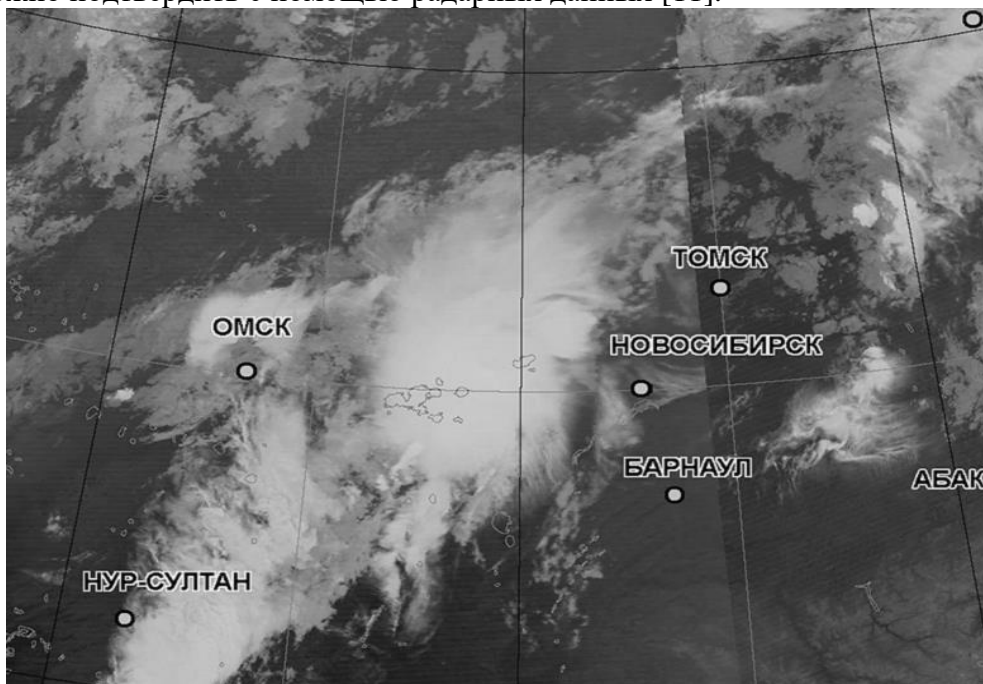


Рисунок 6 - Изображение, полученное с помощью КА TERRA в ИК диапазоне (время пролета 17:02 UTC)

Далее рассмотрим обзоры ДМРЛ в период с 12 до 16 UTC (красным квадратом выделено Купино). Обзоры ДМРЛ представлены в виде конвертированных значений радиолокационной отражаемости в тип метеоявления (рис. 7-9), а также вертикального разреза облачности (рис. 10).

Первые признаки формирования МКК прослеживаются уже в 12:00 UTC и достигают своей активной фазы к 15:00-16:00, когда в передней части комплекса имеется конвективный регион, а в тыловой части – слоистообразный, что подтверждает то, что рассматриваемый облачный массив является мезомасштабным конвективным комплексом.

Также признаком МКК является наличие купола (пробой тропопаузы) – локальные области с экстремально низкой $T_{вго}$, соответствующих сильным восходящим потокам. По данным ДМРЛ этим областям соответствуют наибольшие значения верхней границы облачности, которая в нашем случае достигает 13,5 км (рис. 10)

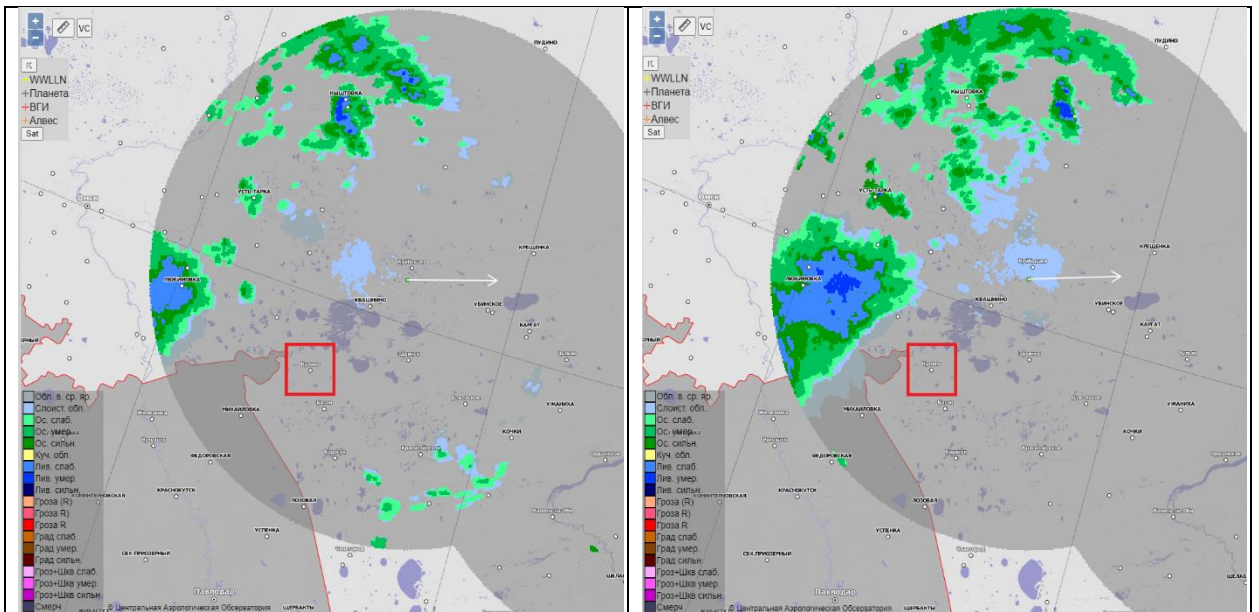


Рисунок 7 – Обзоры ДМРЛ за 12:00 и 13:00 UTC (слева и справа соответственно)

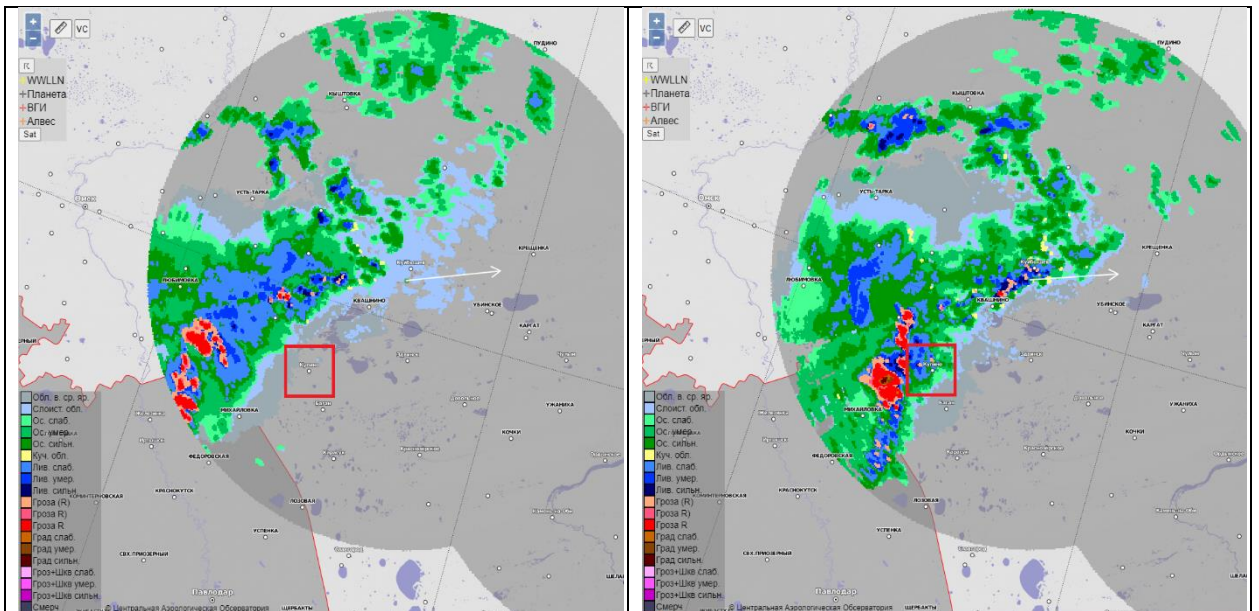


Рисунок 8 – Обзоры ДМРЛ за 14:00 и 15:00 UTC (слева и справа соответственно)

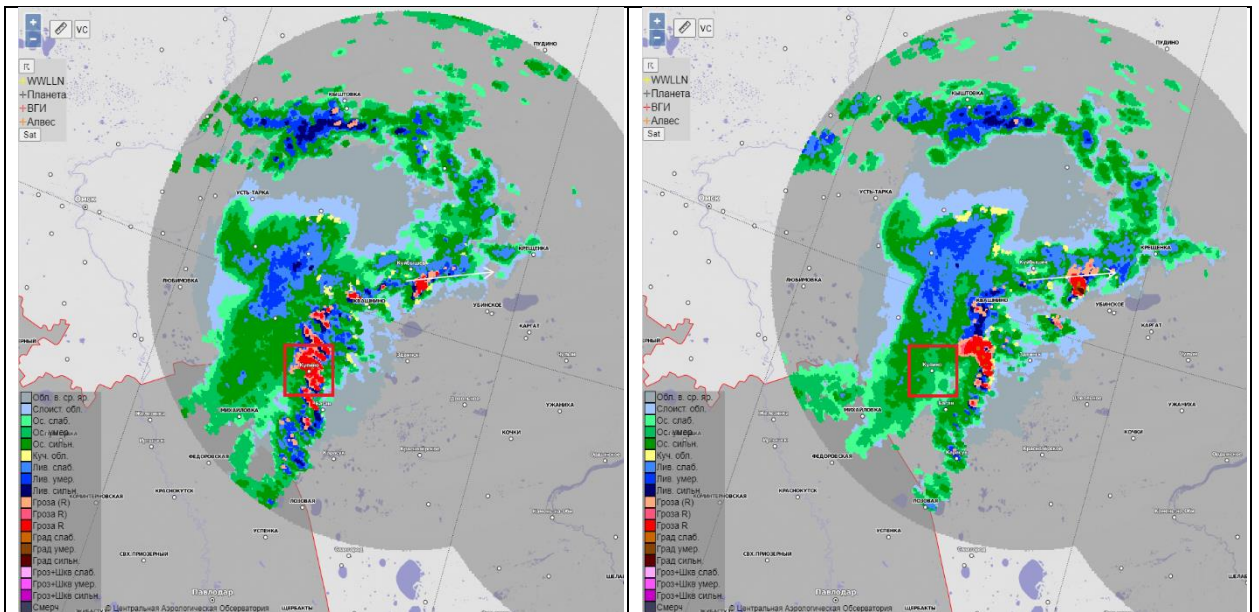


Рисунок 9 – Обзоры ДМРЛ за 15:30 и 16:00 UTC (слева и справа соответственно)

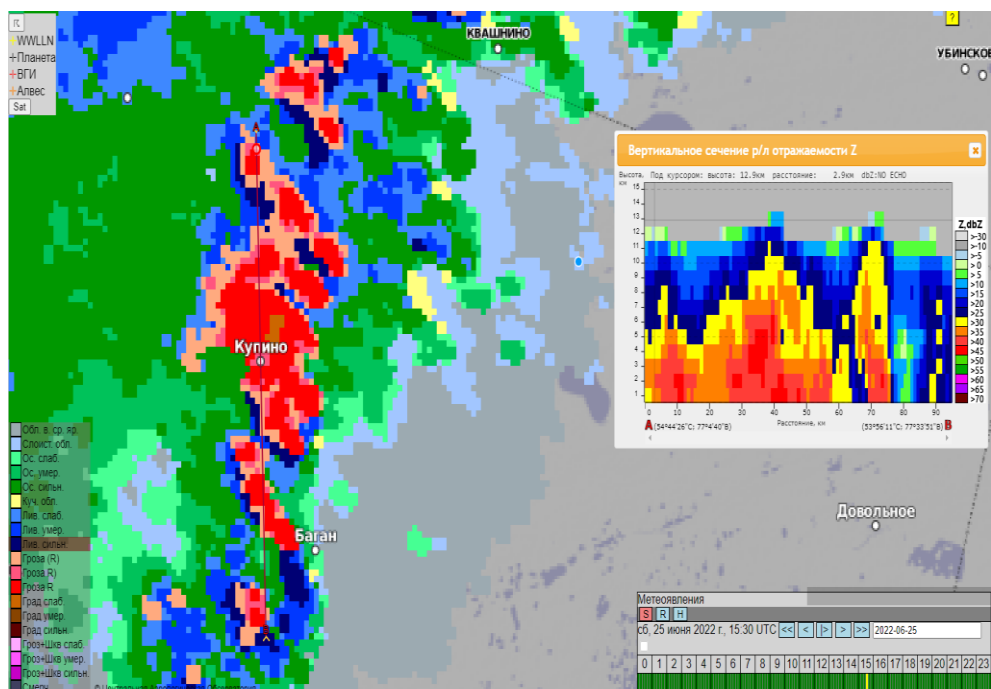


Рисунок 10 – Вертикальный разрез облачного массива в момент прохождения через Купино (15:30 UTC)

Использование параметров, рассчитываемых в COSMO-Ru-SIB 2.2 для прогноза опасных явлений

Исходя из прогностических значений параметров, прохождение МКК воспроизводилось моделью уже начиная с прогноза, рассчитанного в 00 UTC 24.06.2022, но до прогноза, рассчитанного в 12 UTC 24.06.2022 имеются неточности по времени и локализации. Прогноз же от 18 UTC 24.06.2022 уже позволяет сделать корректные выводы, а также имеет хорошую заблаговременность. Поэтому далее рассмотрим графический материал для прогноза на 16 UTC 25.06.2022 (передняя часть МКК проходила через Купино между 15 и 16 UTC) этому прогнозу, составленному в 18 UTC 24.06.2022. На картах (рис. 11-15) Купино находится между Барабинском и Карасуком.

Согласно полю радиолокационной отражаемости в районе озера Чаны, а также к востоку от Кыштовки наблюдаются максимальные значения радиолокационной отражаемости, превышающие 50 дБ, что указывает на высокую вероятность формирования опасных явлений. Можно также отметить, что в целом прогностическое поле в целом соответствует фактическим радарным данным.

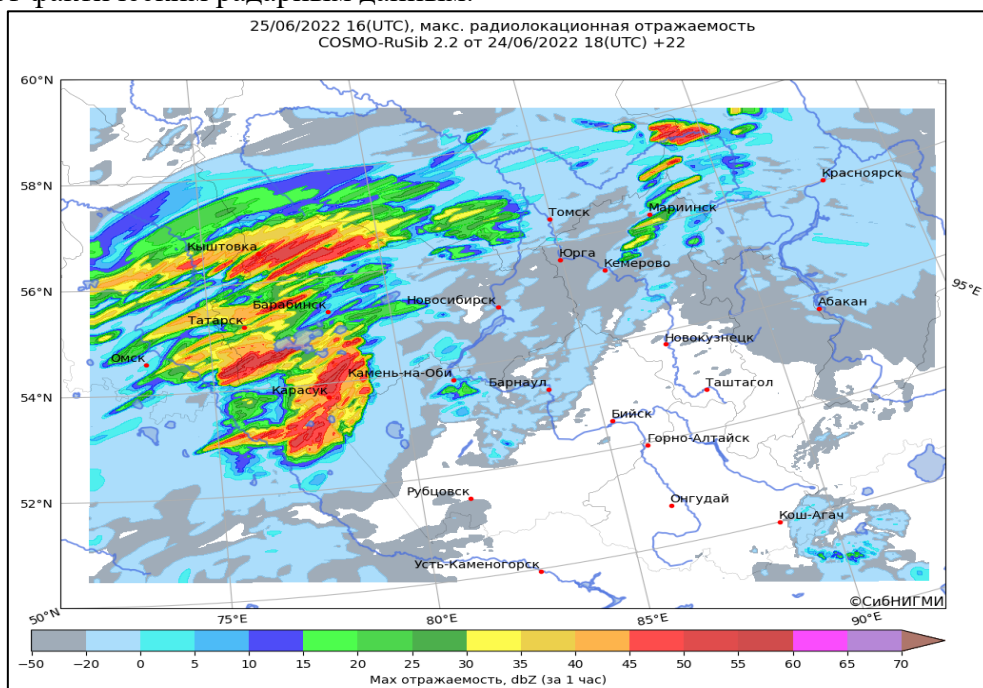


Рисунок 11 – Поле радиолокационной отражаемости (16 UTC 25.06.2022)

Как видно из рис. 12 наибольшие значения максимального молниевоего потенциала соответствуют наибольшим значениям радиолокационной отражаемости и максимальные значения LPI локализованы в районе Купино.

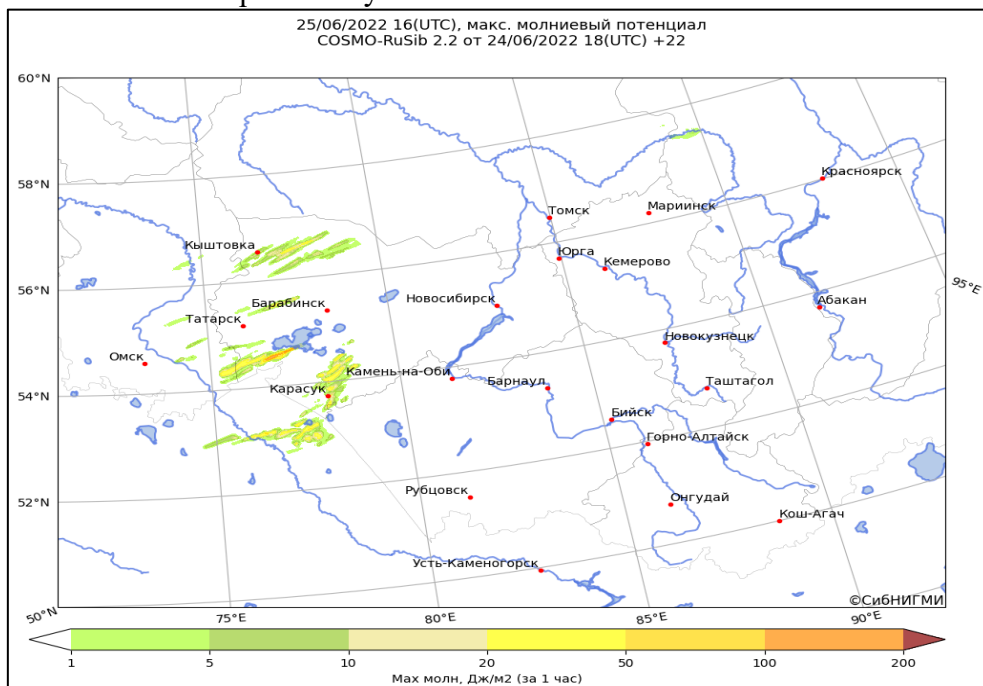


Рисунок 12 – Поле максимального молниевоего потенциала LPI (16 UTC 25.06.2022)

Как уже было сказано, параметр STP рекомендуется использовать в комплексе с индексом SDI, чтобы избежать ошибочных выводов возникающих вследствие большого процента ложных тревог у показателя риска формирования значительных смерчей.

Наибольшее внимание стоит уделять тем районам, где максимальные значения STP и SDI совпадают. В нашем случае таким районом является область, занятая МКК. Также в этой области SDI превышает «значительный сигнал» (0,003), что говорит о наличии вращения внутри конвективных ячеек.

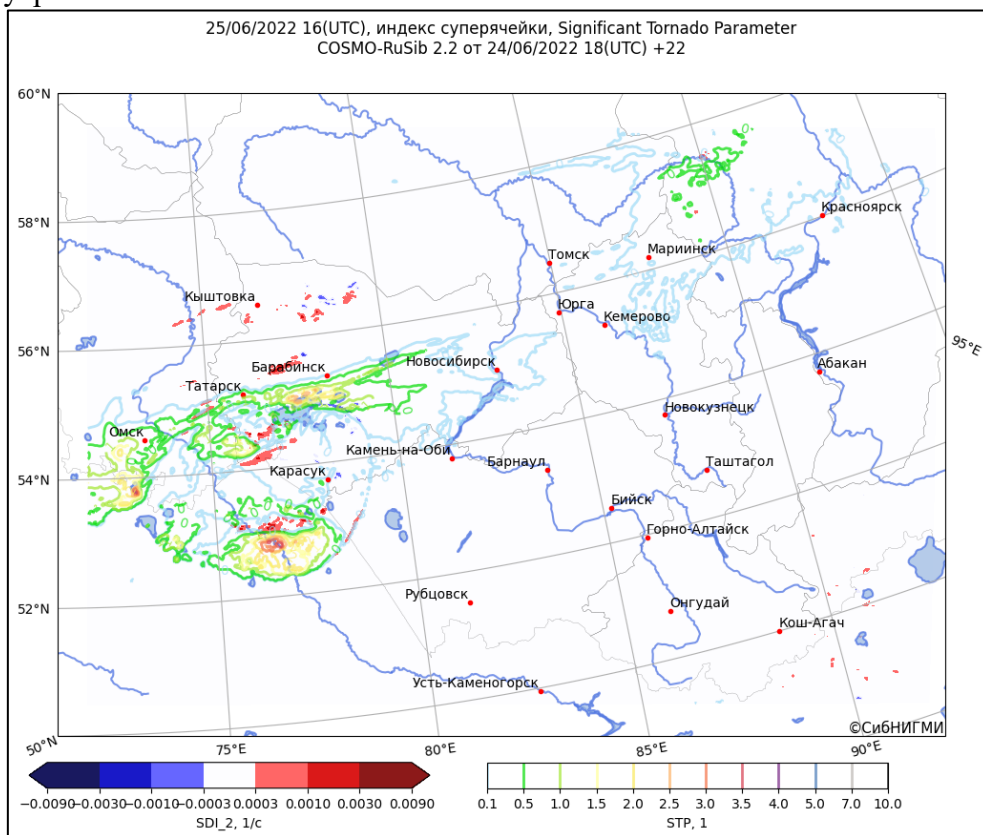


Рисунок 13 – Поле индекса обнаружения суперячеек SDI и показателя риска формирования значительных смерчей STP (16 UTC 25.06.2022)

Прогноз же для максимального диаметра градин от 18 UTC 24.06.2022 не дает столь однозначной картины и наибольшая площадь, где прогнозировался град находится несколько южнее, а также зоны с градом являются изолированными. Для прогноза же от 00 UTC 25.06.2022 район с максимальным диаметром градин занимает более локализованную область и приходится именно на район озера Чаны и Купино в том числе.

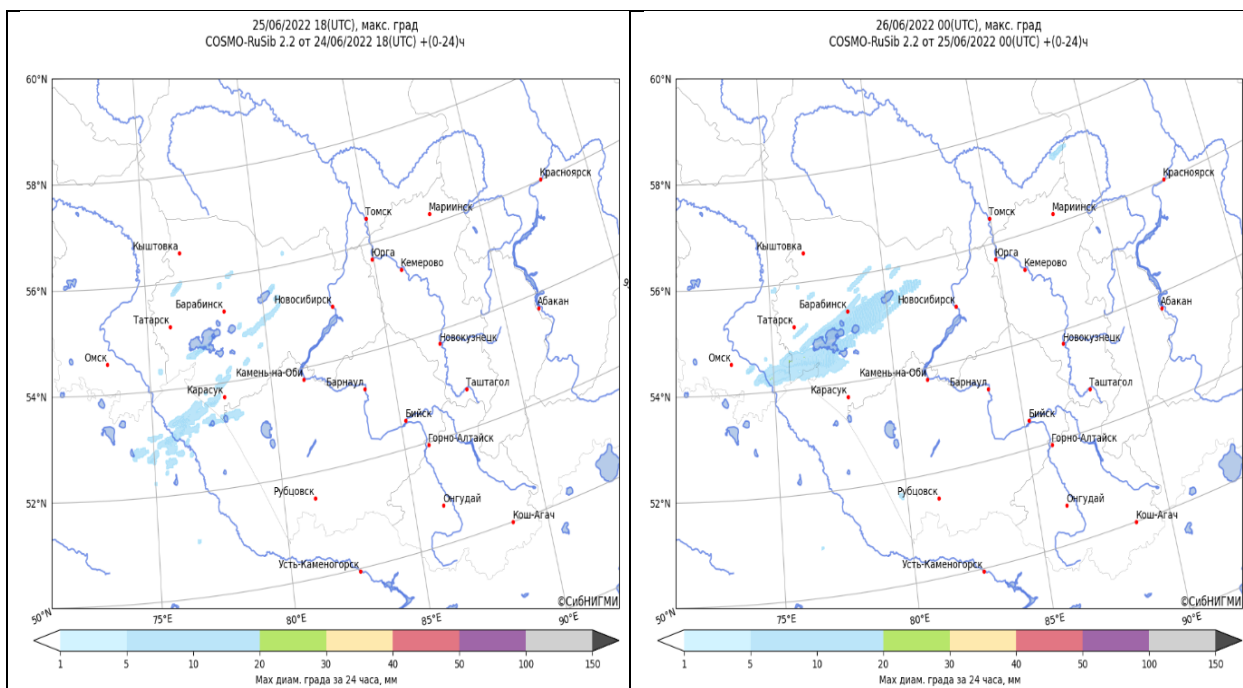


Рисунок 14 – Поле максимального диаметра градин на 24 часа для прогноза от 18 UTC 24.06.2022 (слева) и от 00 UTC 25.06.2022 (справа)

Помимо параметров для прогноза опасных явлений в рамках конфигурации модели COSMO-Ru-SIB 2.2 рассчитывается поля ветра и осадков. Приведем карту только для поля скорости, направления и порыва ветра.

Визуально наибольшие значения порыва ветра повторяют границы МКК и соответствуют его передней части с прогнозируемыми значениями, превышающими 30 м/с.

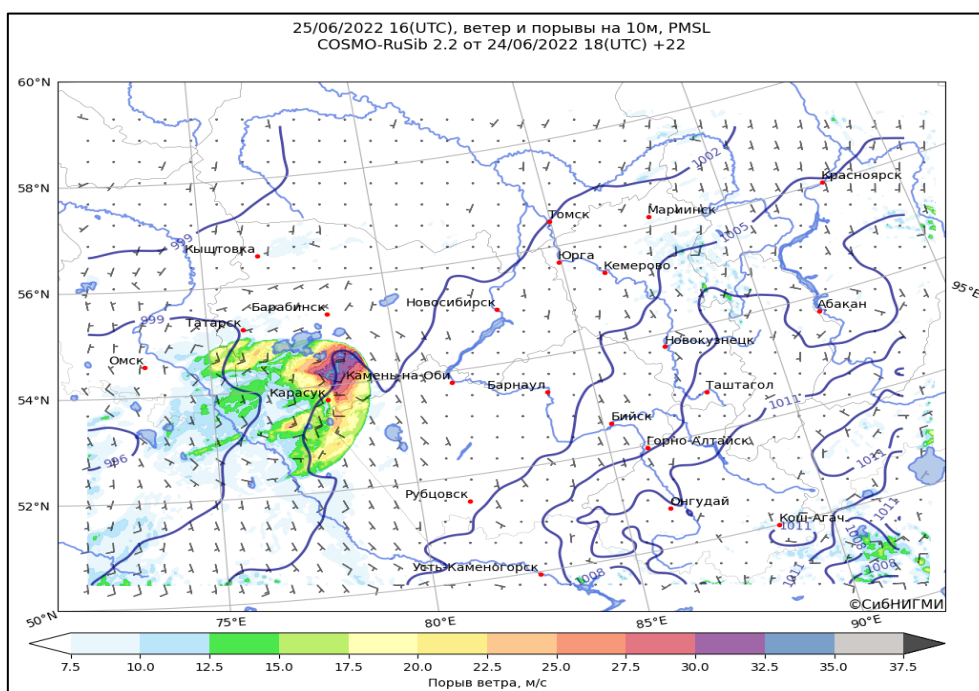


Рисунок 15 – Поле скорости, направления и порыва ветра (16 UTC 25.06.2022)

Сравним поле ветра, рассчитанное с помощью модели COSMO-Ru-SIB 2.2 с аналогичным, но с шагом сетки 6,6 км. Конфигурация COSMO-Ru-SIB 6.6 модели предоставляет продукцию с временным шагом в 3 часа, поэтому приведена карта с

прогнозом на 15 UTC 25.06.2022, составленного в 18 UTC 24.06.2022. Как видно из рис. 16 к 15 часам UTC область с максимальным порывом ветра прогнозировалась значительно западнее и значения не превышали 20 м/с. В районе Купино усиление ветра прогнозировалось только к 21 UTC и также не превышало 20 м/с (рис. 17).

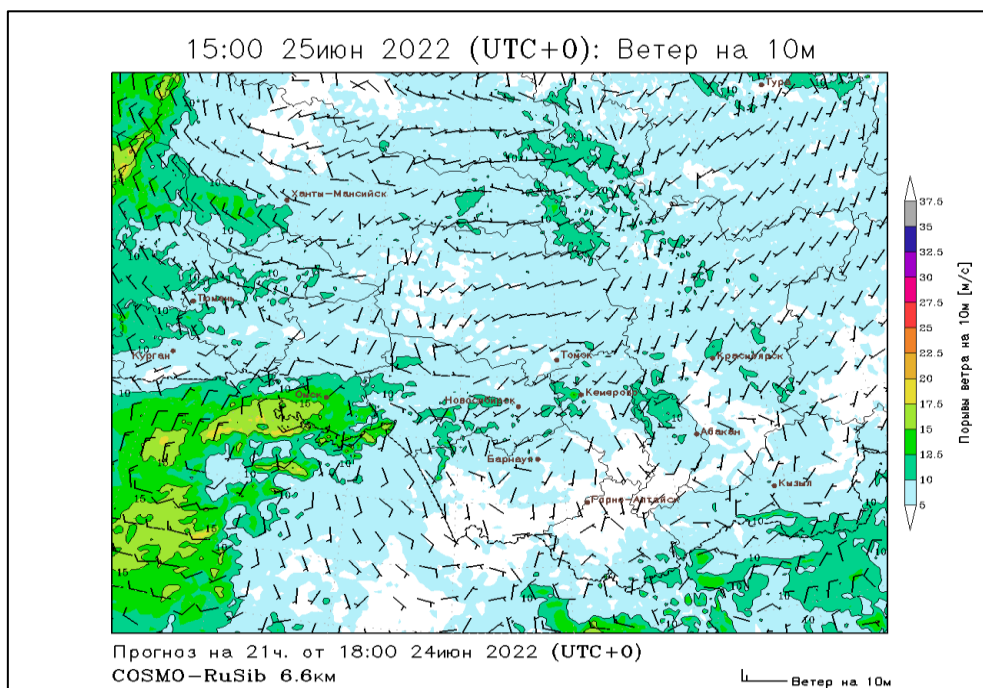


Рисунок 16 - Поле скорости, направления и порыва ветра COSMO-Ru-SIB 6.6 (15 UTC 25.06.2022)

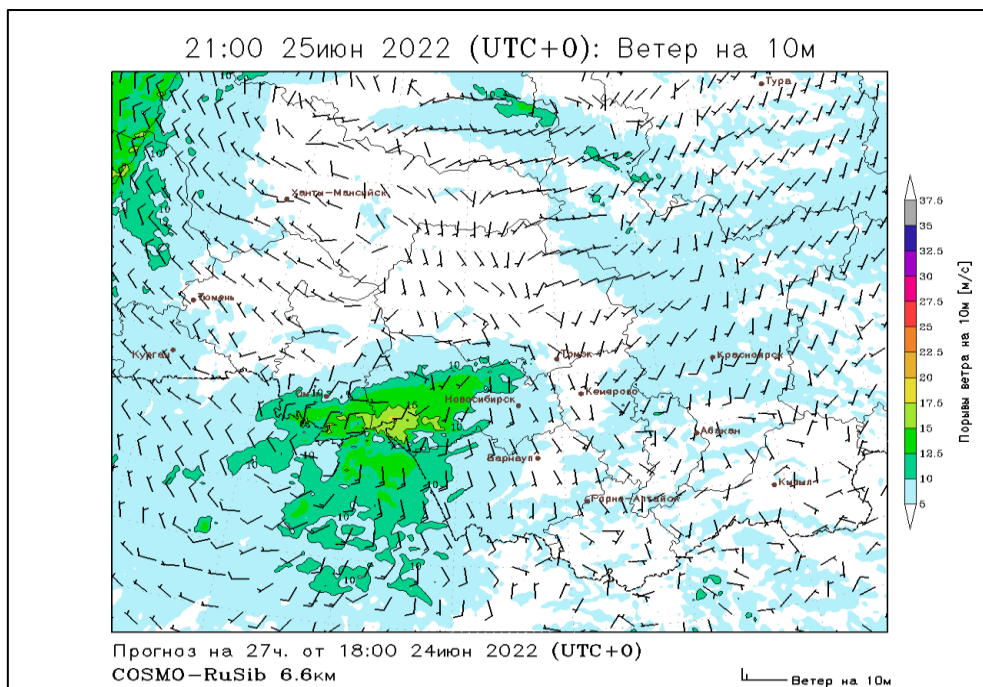


Рисунок 17 - Поле скорости, направления и порыва ветра COSMO-Ru-SIB 6.6 (21 UTC 25.06.2022)

Таким образом, согласно приведенному выше материалу, можно сделать вывод, что модель COSMO-Ru-SIB с шагом сетки 2,2 км позволяет достаточно точно смоделировать мезомасштабные процессы, связанные с конвективной деятельностью, что может улучшить

точность краткосрочного прогноза погоды и может рекомендоваться как консультативная информация для синоптиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stensrud D. J. et al. Numerical models: Model physics parameterization //Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition. – Elsevier Inc., 2015. – С. 167-180.
2. Yano J. I., Plant R. Interactions between shallow and deep convection under a finite departure from convective quasi equilibrium //Journal of the atmospheric sciences. – 2012. – Т. 69. – №. 12. – С. 3463-3470.
3. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. – М.: Росгидромет, третья ред., 2019. – 129 с.
4. Lynn B., Yair Y. Prediction of lightning flash density with the WRF model //Advances in Geosciences. – 2010. – Т. 23. – С. 11-16.
5. Demytyeva S. O., Ilin N. V., Mareev E. A. Calculation of the lightning potential index and electric field in numerical weather prediction models //Izvestiya, Atmospheric and oceanic physics. – 2015. – Т. 51. – №. 2. – С. 186-192.
6. HAILCAST Homepage [Электронный ресурс] URL: <http://hailcast.aer.com/>
7. Zeng Y. et al. Assimilating radar radial wind and reflectivity data in an idealized setup of the COSMO-KENDA system //Atmospheric Research. – 2021. – Т. 249. – С. 105282.
8. Thompson R. L. et al. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle //Weather and Forecasting. – 2003. – Т. 18. – №. 6. – С. 1243-1261.
9. Thompson R. L., Edwards R., Mead C. M. An update to the supercell composite and significant tornado parameters //Preprints, 22nd Conf. on Severe Local Storms, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc. P. – 2004. – Т. 8.
10. Новости Новосибирска [Электронный ресурс] URL: <https://ngs.ru/text/incidents/2022/06/27/71440457/>
11. Спрыгин А. А. Параметры долгоживущих мощных конвективных структур на Европейской территории России и сопредельных территориях и возможности унификации их прогноза //Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – №. 1. – С. 21-47.