

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2024-2-51-64>

УДК 551.509

Особенности прогноза максимальных порывов ветра у земли в холодный период года на примере московского региона

Т.Г. Дмитриева, А.В. Смирнов, Е.В. Васильев

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
tdsin777@mail.ru*

Предлагается подход к прогнозу максимальных порывов ветра, в том числе при разработке штормовых предупреждений, в холодный период года с привлечением результатов экспериментального наукастинга порывов ветра (на период до 2 ч) на основе радиолокационной информации и результатов прогноза модели COSMO-Ru с шагом сетки 2.2 км на примере московского региона. Рассмотрен и проанализирован случай сильного ветра с порывами 19 м/с 11 января 2024 года во Внуково.

Ключевые слова: прогноз порывов ветра, холодный период года, продукция COSMO-Ru2.2, наукастинг порывов ветра, радиолокационная информация

Peculiarities of forecasting maximum surface wind gusts in the cold season: A case study for the Moscow region

Т.Г. Дмитриева, А.В. Смирнов, Е.В. Васильев

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia
tdsin777@mail.ru*

An approach is proposed to forecasting maximum wind gusts, in particular, for developing storm warnings in the cold season using the results of the experimental nowcasting of wind gusts (for a period to two hours) based on radar data and the forecast of the COSMO-Ru model with the grid spacing of 2.2 km for the Moscow region. The case of the strong wind with gusts up to 19 m/s recorded at Vnukovo on January 11, 2024 is analyzed.

Ключевые слова: forecast of wind gusts, cold season, COSMO-Ru2.2 products, nowcasting of wind gusts, radar data

Введение

В работе [3] основное внимание уделено прогнозам сильного ветра (шквала) в теплый период года, когда основной вклад вносит конвекция. В данной статье излагаются результаты сравнительного анализа прогнозов максимальных порывов ветра в холодный период года по моделям, используемым в Гидрометцентре России, в том числе с высоким разрешением:

COSMO-Ru2.2 и COSMO-Ru6. Известно, что в зимний период основное влияние на возникновение сильных порывов ветра оказывает барический градиент приземного давления, хорошо прослеживающийся на фактических и прогностических приземных метеорологических картах в зонах значительных контрастов приземной температуры воздуха, вызванных резкой сменой воздушных масс с разными термодинамическими характеристиками.

Кроме прогнозов моделей высокого пространственного разрешения, рассматриваются результаты экспериментального наукастинга порывов ветра на период до 2 ч на основе данных сети ДМРЛ-С и результатов прогноза модели COSMO-Ru с шагом сетки 2.2 км. Пример анализа для летнего периода года был показан в [3].

Анализ синоптических процессов за холодный период 2024 года над московским регионом показал, что практически весь январь и большую часть февраля преобладал циклогенез, основной составляющей которого были «ныряющие» атлантические циклоны, перемещавшиеся с севера Скандинавии или района Балтийского моря, иногда по более южной траектории. Процессы, связанные с этим циклогенезом в целом были схожи, модельные прогнозы идентичны, с той лишь разницей, что прогнозировалась разная интенсивность явлений (например, количество осадков и скорость максимальных порывов ветра). В таблице показано соотношение фактических и прогностических максимальных приземных порывов ветра (м/с) и ветра в слое 500–800 м (~950–925 гПа) (по численным расчетам моделей COSMO-Ru2, COSMO-Ru6 и комплексного прогноза Гидрометцентра России [1]). Сравнительный анализ производился по району, граничащему с московским мегаполисом, за период январь-февраль 2024 г. для случаев прохождения фронтальных разделов, вызванных процессами циклонического характера. Расчетным пунктом модельных прогнозов являлся аэропорт Внуково, где преимущественно и наблюдались максимальные порывы ветра в районе.

В таблице рассмотрены 17 случаев скорости ветра: фактических у поверхности Земли и в слое трения (~500–800 м) в срок аэрологического зондирования атмосферы (п. Долгопрудный), фактических и прогностических максимальных порывов ветра по п. Внуково, на примере которого хорошо видны повышенные скорости приземного ветра в пункте. В большинстве случаев просматривается связь повышенной скорости у земли и скорости в слое трения, что может быть прогностическим признаком и может использоваться для оперативного краткосрочного прогноза максимальных порывов ветра у земли.

Известно, что значительное усиление приземной скорости ветра связано с особыми метеорологическими условиями формирования поля ветра в нижних слоях атмосферы, вызванными резкой нестационарностью процессов при прохождении атмосферных фронтов у земной поверхности через пункт прогноза, формированием струйных течений нижних уровней

и др. [7]. В большинстве случаев усиление скорости приземного ветра (будем считать ее ≥ 12 м/с, так как с этой величины ветер для московского мегаполиса принято считать неблагоприятным явлением для жилищно-коммунального хозяйства города и области) связано с повышенной скоростью в слое 950–925 гПа (~500–800 м), т. е. в слое трения, толщина которого зависит от шероховатости земной поверхности и интенсивности турбулентности в приземном слое атмосферы.

Таблица. Соотношение фактических и прогностических максимальных приземных порывов ветра и ветра в слое 950-925 гПа (м/с) по району, граничащему с московским мегаполисом, за период январь-февраль 2024 г. при процессах циклонического характера

Table. The ratio of observed and predicted maximum surface wind gusts and wind in the 950-925 hPa layer (m/s) in the area bordering the Moscow megalopolis for January-February 2024 during cyclonic processes

№ п/п	Дата	Синоптическая ситуация у земной поверхности	Фактическая скорость ветра, м/с		Численный прогноз макс. порыва ветра в п. Внуково, м/с		
			¹ Порывы у земной поверхности	² Скорость ветра в слое 950-925 гПа	COSMO-Ru2	COSMO-Ru6	Комплекс. прогноз
1	01.01 ночь	Тыл балтийского Ц, ХФ	3/16	10	11	12	15
2	10.01 ночь	Скандинавский «ныряющий» Ц, ТФ, днем ХФ	2/17	16	8	10	16
3	11.01 день	Скандинавский «ныряющий» Ц, ХФ	5/19	12	15	16	18
4	12.01 ночь	Тыл скандинавского Ц, ХФ	5/18	17	15	15	17
5	17.01 ночь	Тыл Балтийского Ц, ХФ	4/15	8	12	12	15
6	17.01 день	Тыл Балтийского Ц, ХФ	3/14	9	12	12	15
7	18.01 день	Балтийская многоцентровая депрессия, Ц из восточной Европы, ТФ	1/18	6	17	16	19
8	22.01 день	ЮЗ часть скандинавского Ц, ТС	3/14	20	14	13	15
9	23.01 ночь	ЮЗ часть балтийского Ц, ФО	2/13	24	15	15	16

№ п/п	Дата	Синоптическая ситуация у земной поверхности	Фактическая скорость ветра, м/с		Численный прогноз макс. порыва ветра в п. Внуково, м/с		
			¹ Порывы у земной поверхности	² Скорость ветра в слое 950-925 гПа	COSMO-Ru2	COSMO-Ru6	Комплекс. прогноз
10	23.01 день	ЮЗ часть балтийского Ц, ХФ	1/15	17	15	13	16
11	30.01 ночь	ЮЗ часть скандинавского Ц, ХФ	3/14	21	10	9	14
12	02.02 день	Скандинавская депрессия, ХФ	3/17	11	16	14	15
13	04.02 день	Скандинавский Ц, ХФ	1/16	10	13	16	18
14	06.02 день	Тыл балтийского Ц, ВХФ	2/14	11	8	8	5
15	18.02 день	Скандинавская депрессия, ХФО	2/13	12	12	12	15
16	24.02 ночь	Балтийский Ц, ТФ	1/13	12	12	12	15
17	24.02 день	ТС Балтийский Ц	1/13	16	12	12	16

Примечание. ¹ Порывы у земной поверхности: в срок зондирования п. Долгопрудный / максимальный порыв в п. Внуково; ² Скорость ветра в слое 950–925 гПа в срок зондирования в п. Долгопрудный; Ц – циклон, ХФ – холодный фронт, ТФ – теплый фронт, ФО – фронт окклюзии, ВХФ – вторичный холодный фронт, ХФО – фронт окклюзии по типу холодного, ТС – теплый сектор циклона, ЮЗ – юго-западная часть циклона. Счет моделей от 03 ч МСК.

Скорость ветра в пограничном слое возрастает с высотой, приближаясь к скорости градиентного ветра на уровне трения [5]. К примеру, если построить графики зависимости максимального ветра от высоты в слое трения по нескольким наиболее показательным случаям, приведенным в таблице, можно увидеть подобную нелинейную зависимость (рис. 1). График будет тем более пологий с наклоном вправо, чем выше скорости ветра с увеличением высоты. В целом, можно сказать, что сильный ветер у земной поверхности в большинстве случаев коррелирует с повышенной скоростью в слое трения. Экспериментальные исследования показали, что в приземном слое атмосферы для скорости ветра выполняется логарифмический закон, т. е. зависимость скорости приземного ветра от высоты имеет логарифмический вид (теория подобия Минина – Обухова) [4].

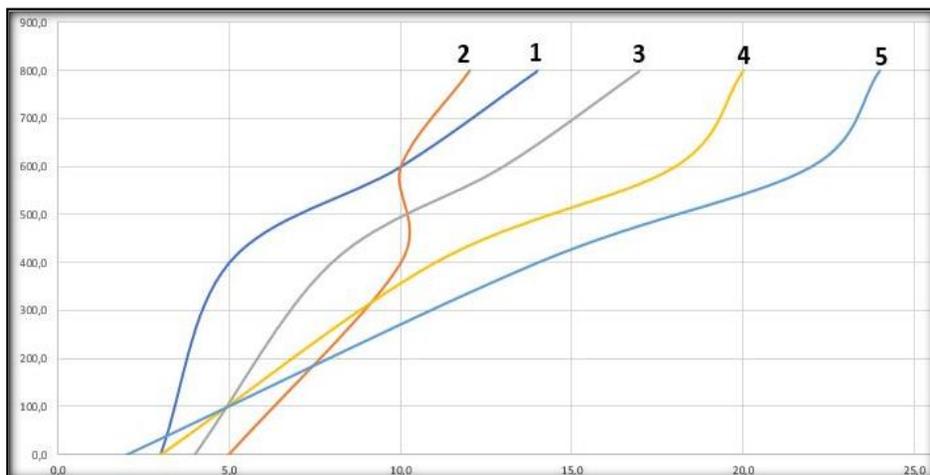


Рис. 1. Изменение скорости ветра в слое трения на примерах случаев в январе 2024 г.: 1 – 01.01, 2 – 11.01, 3 – 12.01, 4 – 22.01, 5 – 23.01. По оси x – скорость приземного ветра в м/с, по оси y – высота в м.

Fig. 1. The change in wind speed in the friction layer – the examples for January 2024: 1 – January 1, 2 – January 11, 3 – January 12, 4 – January 22, 5 – January 23. Surface wind speed (m/s) is given along the x -axis, the height (m) is given along the y – axis.

Случай сильных порывов ветра 16–19 м/с в московском регионе 11 января 2024 года

Рассмотрим наиболее показательный (см. таблицу) с точки зрения соотношения фактических и прогностических порывов ветра случай 11 января 2024 года, вызванный обширным «ныряющим» скандинавским циклоном с центром над Центральным районом ЕТР. Синоптический анализ показал наличие просматривающегося на всех изобарических поверхностях высокого циклона в стадии максимального развития с высотной осью, наклоненной в сторону очага холода, с имеющейся на 12 ч МСК в передней части изаллобарической пары (минимальное падение давления 7.6 гПа/3ч и максимальный рост 5.9 гПа/3ч). Циклон имел также хорошо выраженную систему фронтальных разделов с высотной фронтальной зоной и струйным течением на высоте 500 гПа.

После прохождения арктического холодного атмосферного фронта приземная температура воздуха в московском регионе за сутки понизилась на 10–12 °С (с 0–1 °С до -12...-10 °С). По данным наземной наблюдательной сети, включая автоматические метеорологические станции, в московском регионе, включая аэропорты, отмечались порывы ветра 16–19 м/с, в районе старой Москвы – 12–14 м/с. На рис. 2 приведен фронтальный анализ по данному случаю, где видно, что через московский регион в 12 ч МСК проходил холодный атмосферный фронт, на котором и осуществились максимальные порывы приземного ветра до 19 м/с.

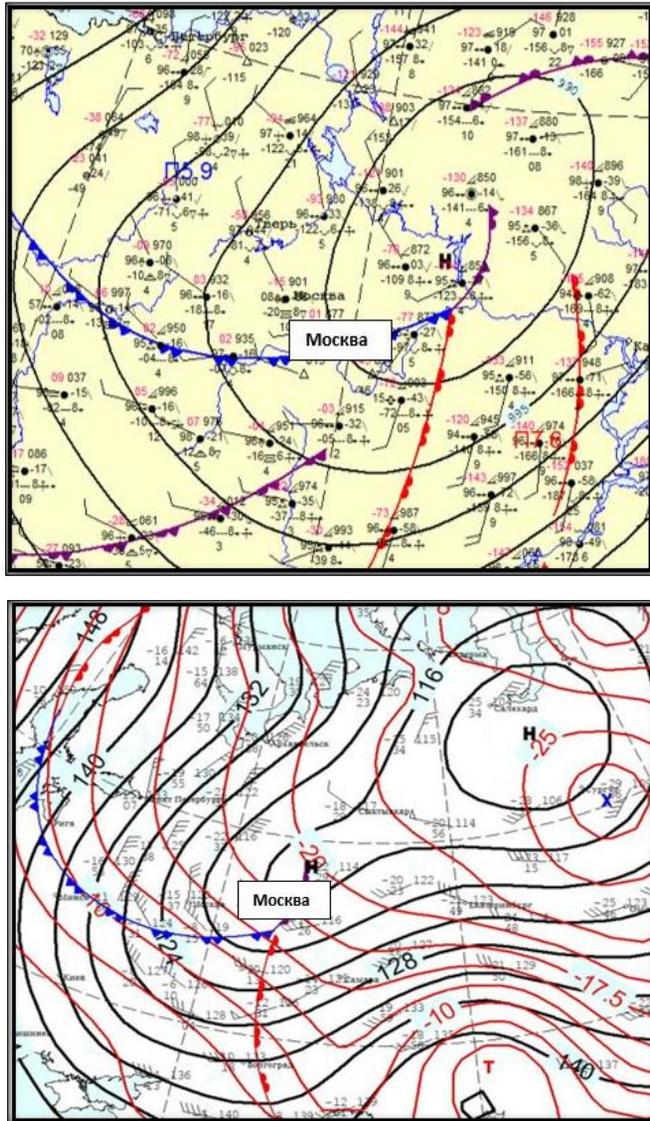


Рис. 2. Карты погоды с фронтальным анализом 11.01.2024: приземная (сверху) за 12 ч МСК и АТ-850 (снизу) за 15 ч МСК. Цветом нанесены изобарии: изобары и изогипсы – черным, у земной поверхности и на поверхности 850 гПа; красным – изотермы на поверхности 850 гПа; атмосферные фронты: синим – холодный, красным – теплый, сиреневым – окклюзии.

Fig. 2. The weather maps with frontal analysis for January 11, 2024: the surface chart (top) for 12:00 Moscow time and the AT-850 chart (bottom) for 15:00 Moscow time. The isolines are drawn in the following colors: isobars at the surface level and isohypsals at the 850 hPa level are black; isotherms at the 850 hPa level are red; atmospheric fronts: cold fronts are blue, warm fronts are red, occlusion fronts are lilac.

На рис. 3 приведены фрагменты графического представления наиболее значимых метеорологических параметров, резкое изменение которых даже в пределах ~1 часа (с 11 до 12 ч МСК) показывает момент прохождения в 12 ч МСК п. Внуково арктическим холодным фронтом: температура воздуха на высоте 2 м падает с 0 до -2°C , относительная влажность воздуха – с 90 до 81 %, направление ветра изменяется с западного на северо-западный (с 270 до 340°), средняя скорость ветра увеличивается с 9 до 10 м/с с порывами до 19 м/с. На следующей кольцевой карте погоды за 15 ч МСК уже виден рост атмосферного давления, что говорит о зафронтальной тыловой зоне, также с сильными порывами ветра, но уже меньшей силы (максимальный порыв до 17 м/с по п. Внуково).

Из анализа приземной карты погоды (рис. 2, сверху) видно, что по ЦФО в целом наблюдались порывы ветра 12–17 м/с, максимальный порыв 19 м/с был отмечен только в аэропорту Внуково. Приземный барический градиент в районе московского региона также нельзя назвать максимальным, южнее и юго-западнее, судя по приземной карте, он был значительнее.

На рис. 4, где показаны фрагменты карт ДМРЛ-С «Внуково» (явлений, интенсивности осадков и высоты верхней границы облачности), можно сказать о наличии ливнеопасных очагов интенсивностью 1–3 мм/ч, локально до 5 мм/ч, и высотой верхней границы облачности в основном 3–4 км, локально до 5 км. Указанная величина высоты облачности вполне достаточна для развития конвекции в холодный период года, вызывающей порывы ветра менее 20 м/с.

Если сложить все факторы, указывающие на вероятность возникновения сильных порывов ветра, то они будут такими: барический градиент приземного давления (порядка 3 гПа/100км), контраст температуры воздуха (до $12^{\circ}\text{C}/3\text{ч}$), т. е. контрастный холодный фронт, зимняя конвекция на фронте и, для некоторых пунктов (в данном примере – аэропорт Внуково), особые локальные местные географические особенности, способствующие усилению скорости приземного ветра [6].

Именно наличием местных особенностей можно обосновать повышенные скорости приземного ветра в п. Внуково относительно всего района московского мегаполиса практически круглогодично.

Аэропорт Внуково, где проводятся измерения метеорологических параметров, в том числе и порывов ветра, расположен между Смоленско-Московской (максимальная высота 319 м над уровнем моря) и Среднерусской (максимальная высота 293 м над уровнем моря) возвышенностями, в пониженной части, окаймленной с трех сторон водоразделами больших рек – Москвы и Оки и с нескольких сторон лесными массивами длиной порядка 4 км. Высота п. Внуково повышенная относительно окружающей местности (209 м над уровнем моря).

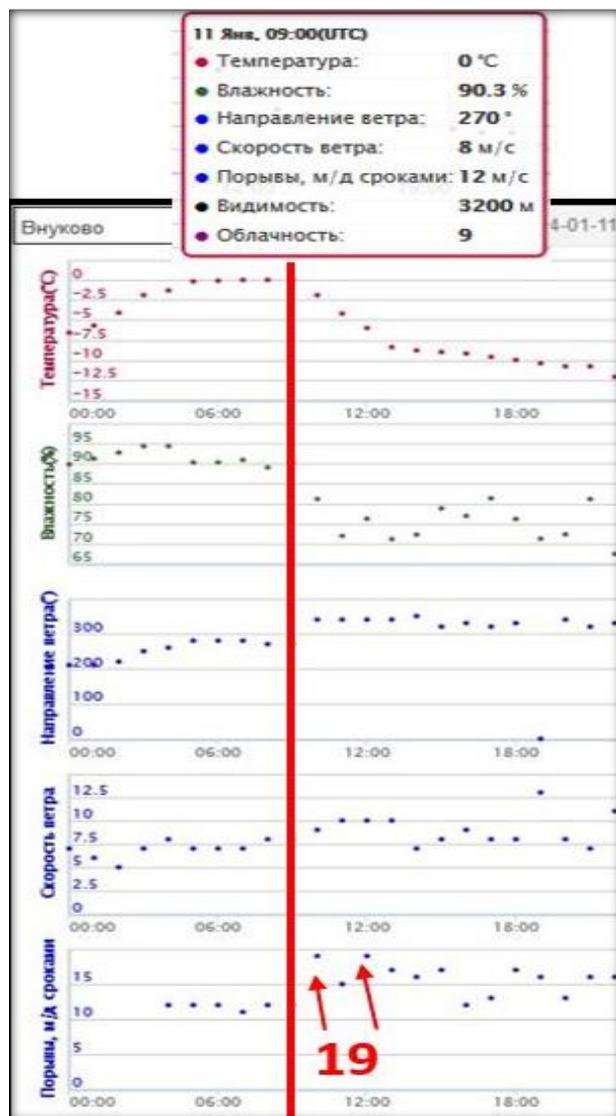


Рис. 3. Фрагменты хода метеорологических параметров в графическом виде на МС Внуково за период 00–18 ч ВСВ (03–21 Moscow time) 11.01.2024: температура воздуха на высоте 2 м (°C), относительная влажность воздуха (%), направление ветра (в градусах по румбам), скорость и порывы ветра (м/с). По изменению параметров (разделяющая красная вертикальная линия) видно прохождение холодного фронта через п. Внуково в 09 ч ВСВ (12 ч МСК).

Fig. 3. The fragments of variations in the meteorological parameters in a graphical form at the Vnukovo weather station for 00:00-18:00 UTC (03-21 MCK) on January 11, 2024: 2 m air temperature (°C), relative humidity (%), wind direction (deg.), wind speed and gusts (m/s). The change in the parameters (the dividing red vertical line) allows observing the passage of a cold front through Vnukovo at 09:00 UTC (12:00 Moscow time).

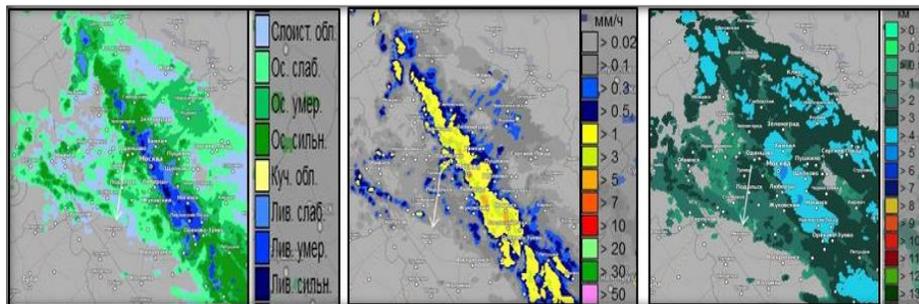


Рис. 4. Фрагменты карт ДМРЛ-С «Внуково» 11.01.2024 в 12 ч МСК: явлений (слева), интенсивности осадков (в центре), верхней границы облачности (справа). Градации метеоявлений, интенсивности осадков и высоты облачности даны в цветовой шкале.

Fig. 4. The fragments of the DMRL-C Vnukovo maps for January 11, 2024 at 12:00 Moscow time: weather phenomena (left), precipitation intensity (center), cloud top height (right). The gradations of weather phenomena, precipitation intensity, and cloud top height are given on a color scale.

На ЕТР преобладающим переносом является западно-восточный, поэтому и наиболее сильные порывы ветра отмечаются при ветрах западной составляющей (от юго-западных до северо-западных). В [2] было показано влияние географических условий на величину порывов ветра при шквалах, т. е. учет соотношения высоты местности пункта со средней высотой местности по территории, и введение в связи с этим дополнительной поправки (на 5–10 м/с) на повышение скорости ветра в местности выше средней, что и имеет место в районе п. Внуково. В приведенных примерах за январь-февраль 2024 г. только несколько случаев порывистого ветра скоростью 13–16 м/с были юго-восточного направления. Можно сделать вывод, что совокупность таких географических условий и создает для п. Внуково повышенный ветровой фон в рассмотренный период относительно всего московского мегаполиса.

Далее приведем результаты численных расчетов максимальных порывов ветра по моделям, используемым в Гидрометцентре России, в том числе по моделям с высоким пространственным разрешением COSMO-Ru2.2 и COSMO-Ru6, а также комплексному прогнозу Гидрометцентра России (автор – А.Н. Багров и др.).

Численный прогноз порывов ветра на день 11 января 2024 года по моделям Гидрометцентра России

Из таблицы и рис. 5 видно, что наиболее успешно по п. Внуково были спрогнозированы порывы ветра по комплексному прогнозу Гидрометцентра России (автор – А.Н. Багров и др.) – 18 м/с при фактическом порыве 19 м/с (зеленая линия на графике), несколько хуже – по COSMO-Ru2.2

и COSMO-Ru6 – 15–16 м/с (синяя и красная линии). Однако учитывая, что в районе аэропорта Внуково максимальные порывы ветра чаще всего имеют повышенные значения относительно основной территории мегаполиса, где, наоборот, на некоторых внутригородских станциях наблюдаются заниженные значения порывов ветра из-за близлежащей застроенной территории, модели COSMO-Ru2.2 и COSMO-Ru6 хорошо уловили усиление ветра, в том числе по порядку величины порывов, по данному району московского региона при прохождении холодного фронта. В мегаполисе, с учетом показаний автоматических метеорологических станций, были зафиксированы порывы 12–16 м/с.

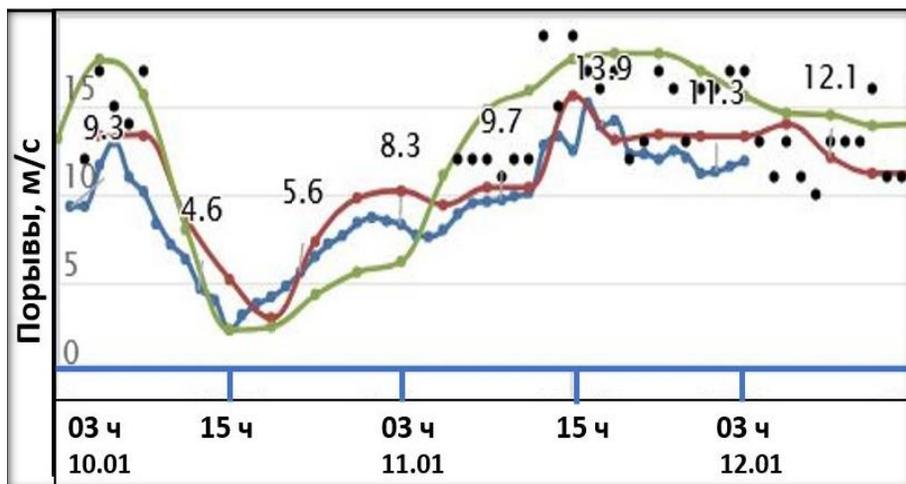


Рис. 5. Графическое представление численных расчетов максимальных порывов ветра по моделям от счета 03 ч МСК 10.01.2024: COSMO-Ru2.2, COSMO-Ru6 и комплексного прогноза Гидрометцентра России по п. Внуково. Прогностические порывы ветра: COSMO-Ru2.2 (синяя линия); COSMO-Ru6 (красная); комплексный прогноз Гидрометцентра России (зеленая). Жирные точки без линий – фактические порывы ветра. Временная шкала дана в МСК.

Fig. 5. The graphical representation of numerical simulations of maximum wind gusts according to models for the model run at 03:00 Moscow time on January 10, 2024: COSMO-Ru2.2, COSMO-Ru6, and the complex forecast of the Hydrometcentre of Russia for Vnukovo. Predicted wind gusts: COSMO-Ru 2.2 (blue line); COSMO-Ru 6 (red line); complex forecast of the Hydrometcentre of Russia (green). Bold dots without lines are actual wind gusts. The timescale is given in Moscow time.

Модели достаточно хорошо спрогнозировали также время начала и пик максимальных порывов ветра (около 15 ч МСК), лишь с небольшим запаздыванием (на 1–2 ч) (рис. 4).

В целом для всех случаев, приведенных в таблице, можно сделать общий вывод, подтвержденный анализом случая 11.01.2024: наиболее

близкие значения порывов ветра по п. Внуково были спрогнозированы по комплексному прогнозу Гидрометцентра России (автор – А.Н. Багров и др.), более низкие значения в сравнении с фактическими получены по COSMO-Ru2.2 и COSMO-Ru6, хотя в целом погрешности прогнозов всех моделей были невелики, а в некоторых случаях комплексный метод, наоборот, давал завышение на несколько м/с. В связи с этим для прогноза порывов ветра в градации до 20 м/с (которая в течение всего года является наиболее используемой в московском регионе для прогноза сильного ветра, так как ветры более 20 м/с достаточно редки) приведенные модели являются успешными и базовыми для использования в оперативной практике прогноза по московскому региону.

В примерах (см. таблицу) не всегда повышенной скорости по данным наземной станции Внуково соответствует высокая скорость ветра в слое 500–800 м (на поверхностях 950–925 гПа). Видимо, на возникновение сильных порывов ветра в районе аэропорта дополнительно влияют местные особенности, накладывающиеся на общие факторы, обусловленные синоптической обстановкой для данного региона и, соответственно, увеличивающие максимальные порывы.

Наукастинг порывов ветра на период до 2 ч по Центральному региону ЕТР 11 января 2024 года

В [3] приведен пример экспериментального наукастинга порывов ветра, разработанного в Гидрометцентре России на основе данных метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С и численного прогноза модели с высоким пространственно-временным разрешением (COSMO-Ru с шагом сетки 2,2 км) по территории Центрального федерального округа, который был апробирован на летнем периоде 2023 г. в случаях развитой конвекции. В данной статье рассмотрен пример наукастинга порывов ветра в холодный период года, когда вклад конвекции в возникновение порывов ветра незначителен, а основной составляющей являются градиенты приземного давления и контрастность холодного атмосферного фронта, вызванные активной циклонической деятельностью, наблюдавшейся над Центральным регионом в январе-феврале 2024 года.

Необходимо отметить, что расчет наукастинга порывов ветра производится лишь в случае наличия кучево-дождевой облачности в зоне обзора ДМРЛ-С, являющейся признаком развития конвекции. Таким образом, карты наукастинга порывов ветра в холодный период года при синоптической ситуации, когда порывы ветра вызваны преимущественно наличием барического градиента давления даже при слабо развитой конвективной облачности, вряд ли дадут хорошие результаты прогноза порывов ветра. В приведенном примере наукастинга на 14.50 ч МСК 11.01.2024 (рис. 6) достаточно хорошо спрогнозированы максимальные порывы ветра по московскому региону, так как основной холодный фронт, при прохождении

которого отмечались максимальные порывы ветра 16–19 м/с, был хорошо выражен в кучево-дождевой облачности и, соответственно, в осадках ливневого характера (рис. 4). По данным ДМРЛ-С «Внуково» прослеживалась зона основного арктического холодного атмосферного фронта, пересекавшего московский регион с северо-востока на юго-запад и выраженного полосой слоисто-кучевой и кучево-дождевой облачности высотой 3–4 км, локально до 5 км, с ливневыми осадками интенсивностью 1–3 мм/ч, локально до 5 мм/ч. То есть для зимнего периода года на основном холодном фронте была достаточно хорошо выражена конвекция, внесшая свой вклад в возникновение сильных порывов северо-западного ветра. Из практики наблюдений за ветром по московскому региону также замечено, что при развороте ветра на северо-западный и северный румбы происходит усиление его скоростей до высоких, часто штормовых значений.

На рис. 6 показан фрагмент наукастинга с максимальными порывами ветра по московскому региону в градации 15–20 м/с (зеленая зона).

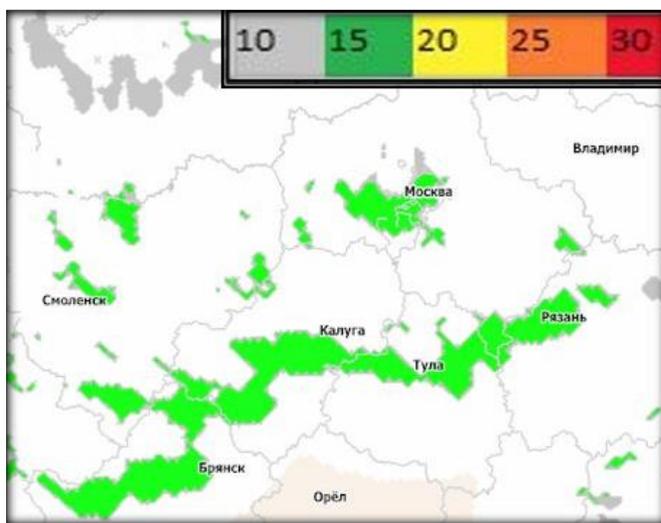


Рис. 6. Пример наукастинга Гидрометцентра России порывов ветра на 14.50 ч МСК 11.01.2024. Величина порывов ветра, соответствующая градации 15-20 м/с, определяется по цветовой шкале.

Fig. 6. The example of nowcasting of wind gusts (Hydrometcentre of Russia) at 14:50 Moscow time on January 11, 2024. The magnitude of wind gusts corresponding to a gradation of 15-20 m/s is determined by the color scale

Выводы

При прогнозе максимальных порывов ветра в холодный период года необходимо:

- 1) учитывать главный фактор из действующих:
– конвекция;

- барический градиент давления;
- температурный контраст;
- 2) обращать внимание на прогнозы порывов ветра моделями, которые уже учитывают все перечисленные выше факторы соответственно сезону и синоптической обстановке, отдавая предпочтение одному из них или учитывая комплексно, внося наибольший вклад в количественное значение порыва ветра;
- 3) учитывать сложность численного прогноза при перестройке процессов от холода к теплу и наоборот и, соответственно, делать «добавки» к результату численного расчета с учетом результатов приведенного исследования;
- 4) учитывать прогнозируемую величину скорости ветра на поверхностях 950–925 гПа (т. е. ~в слое 500–800 м), а также некоторое завышение ее значений моделями;
- 5) учитывать фактор возможного усиления порывов ветра, вызванный местными географическими особенностями, в том числе превышением местности относительно всей обслуживаемой территории.

Список литературы

1. Багров А.Н., Быков Ф.Л., Гордин В.А. Комплексный прогноз приземных метеорологических величин // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 5-16.
2. Дмитриева Т.Г., Бухаров М.В., Песков Б.Е. Анализ условий возникновения сильных шквалов по спутниковой и прогностической информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Том 8, № 3. С. 244-250.
3. Дмитриева Т.Г., Смирнов А.В., Алексеева А.А., Васильев А.А. Опыт тестирования экспериментальных методов Гидрометцентра России при составлении штормовых предупреждений о неблагоприятных и опасных явлениях погоды // Труды Гидрометцентра России. 2023. № 4 (390). С. 46-71.
4. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного обмена в приповерхностном слое // Труды Института геофизики АН СССР. 1954. № 24. С. 163-187.
5. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь. Том 2. СПб.: Летний сад, 2009. 320 с. С. 260-261.
6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды: Часть I. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 704 с.
7. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 302 с. С. 25-26.

References

1. Bagrov A.N., Bykov P.L., Gordin V.A. Complex forecast of surface meteorological parameters. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 5, pp. 283-291.
2. Dmitrieva T.G., Bukharov M.V., Peskov B.E. Analysis of arising of strong squalls using satellite and forecast data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Cosmic Research]*, 2011, vol. 8, no. 3, pp. 244-250 [in Russ.].
3. Dmitrieva T.G., Smirnov A.V., Alekseeva A.A., Vasil'ev E.V. Experimental Methods of Hydrometcentre of Russia for Producing Storm Warnings about Adverse and Severe Weather Events. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2023, vol. 390, no 4, pp. 46-71 [in Russ.].

4. Monin A.S., Obuhov A.M. Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo obmena v pripoverhnos'tnom sloe. *Trudy Instituta geofiziki AN SSSR*, 1954, no. 24, pp. 163-187 [in Russ.].

5. Rossijskij gidrometeorologičeskij enciklopedičeskij slovar'. Tom 2. Sankt-Peterburg: Letnij sad publ., 2009. 320 p., pp. 260-261 [in Russ.].

6. Rukovodstvo po kratkosročnym prognozam pogody: Chast' I, Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1986, 704 p. [in Russ.].

7. Rukovodstvo po prognozirovaniyu meteorologičeskix uslovij dlya aviacii. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1985, 302 p., pp. 25-26 [in Russ.].

*Поступила 13.05.2024; одобрена после рецензирования 06.06.2024;
принята в печать 17.06.2024.*

*Submitted 13.05.2024; approved after reviewing 06.06.2024;
accepted for publication 17.06.2024.*