

УДК 551.509.52

Технология наукастинга скорости порывов ветра в летний период на основе данных дистанционного зондирования атмосферы и численных прогнозов погоды

Киктёв Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В.

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

В период май–сентябрь 2024 года проводились испытания технологии наукастинга порывов ветра на основе трех типов информации: 1) наукасты (прогностические поля) порывов ветра до 150 мин в области обзоров радиолокаторов ДМРЛ-С в 10-минутных интервалах (по 144 прогноза ежесуточно); 2) поля прогнозов (мезопрогнозы) средней скорости и порывов ветра на 720 мин через каждые 3 часа с помощью модели COSMO-Ru/2.2 (8 прогнозов ежесуточно в 10-минутной дискретности); 3) наблюдения автоматических метеорологических станций (АМС) в 10-минутных интервалах (по 144 телеграмм ежесуточно). В выборках для каждой заблаговременности содержалось примерно по 20600 полей наукастов и по 1150 полей мезопрогнозов, а для всех сроков наблюдений – 21024 одновременных станционных сообщений. Области охвата всеми типами информации расположены в Центральном федеральном округе (ЦФО) и имеют большое взаимное перекрытие (рисунок).

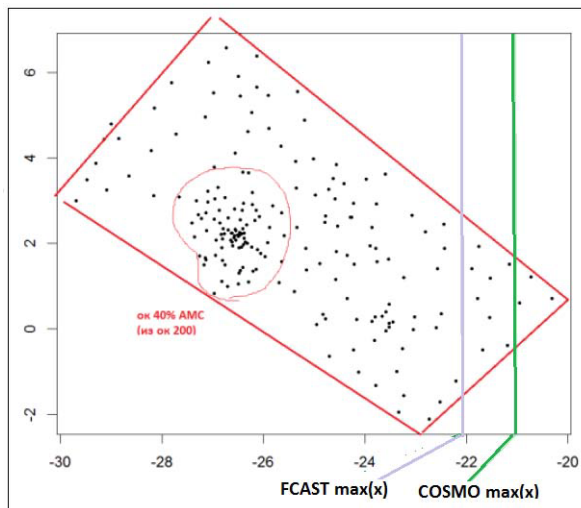
Машинное обучение: алгоритм "Случайный лес". Технология наукастинга порывов на срок до 2.5 часов тестировалась с применением алгоритма машинного обучения "Случайный лес". Для построения решающих правил использовалась информация последнего доступного оперативного ЧПП модели COSMO-Ru/2.2, представленного с 10-минутной детализацией внутри периода прогноза. Расчет ЧПП системы COSMO-Ru/2.2 на срок до 12 часов проводился восемь раз в сутки по начальным данным за 00, 03, ..., 21 ч ВСВ.

В качестве предикторов выбирались шесть параметров ЧПП: максимальная отражаемость, высота верхней границы облачности, высота нулевой изотермы, средняя скорость ветра на высоте 1 км, средняя скорость ветра на высоте 3 км, средняя скорость ветра на 10 метрах. В обучающую выборку включались попадающие на период наукастинга 10-минутные поля скорости порывов и шести предикторов из последнего численного прогноза модели COSMO-Ru/2.2.

Предварительно модельные значения предикторов и предиктанта "агрегировались" – осреднялись по окрестным узлам сетки в окнах определенных размеров, при этом для максимальной отражаемости и высоты ВГО отбирались максимальные значения в некоторых окрестностях; все параметры агрегирования подбирались экспериментально.



а)



б)

Рисунок. Зоны обзора радиолокаторов и расчетная область для наукастинга скорости порывов ветра (а); распределение AMC (б, точки), максимальные значения оси x зоны наукастинга (б, сиреневая линия) и зоны мезопрогноза (б, зеленая линия) в повернутой системе координат модели COSMO2/2. Выделен четырехугольник, окаймляющий сеть AMC (б, красный цвет).

По агрегированным значениям в каждой точке сетки с помощью алгоритма «Случайный лес» строятся обобщенные связи, "наилучшим" образом обеспечивающие восстановление значений предиктанта для региона прогноза в целом. Для этих целей создается ансамбль из 200 решающих деревьев регрессионного типа и в итоговом прогнозе обобщаются ответы множества деревьев.

Авторская особенность предложенной технологии состоит в следующем. На начальном этапе прогноза часть модельных предикторов заменяется результатами пространственно-временной экстраполяции радиолокационных характеристик, полученных с помощью модели ruSTEPS [5] в приложении к композитным радарным полям максимальной отражаемости и высоты верхней границы облачности. "Замена" обусловлена тем, что модель ruSTEPS, предназначенная исходно для прогноза осадков, способна воспроизводить структуру и этих полей [2].

Условия верификации. Для верификации исходные мезопрогнозы преобразуются в пространственный формат наукастов с помощью обрезки границ и интерполяции методом "ближайшего соседа". Качество наукастинга оценивается по дихотомическим полям из нулей и единиц, при этом единицей маркируются категории порывов относительно следующих порогов: 15 м/с как "неблагоприятное метеорологическое явление", 20 м/с – как "сильный ветер" и более 25 м/с – как "очень сильный" ветер [4]. За основную меру качества принята оценка "по пространственным долям" (FSS, [1, 3, 6]), рассчитываемая в квадратных окнах со стороной от нуля км (поточечное сравнение) до 40 км на километровой сетке верификации размером 978×978.

Очевидно априори, что различие типов исходной информации по значениям скорости порывов, по пространственной структуре и по временному регламенту выдачи оказывает критичное воздействие на статистическую значимость результатов оценок.

Приведем пример распределения единиц в наблюдениях сети АМС, призванных служить основной мерой "истинности прогнозов". Так, среди примерно 20600 стационарных сообщений обнаружено 549 сообщений с порывами не менее 15 м/с (менее 3 %) и 119 сообщений с порывами не менее 20 м/с (менее 0.1 %). Распределение сообщений по количеству станций, одновременно зафиксировавших такой порыв в интервале 10 мин, выглядит следующим образом. По одному и двум порывам (т. е. на одной-двух станциях) было зафиксировано в 497 сообщениях (около 91 % от 549). По три порыва – в 19 сообщениях, по четыре – в 15, по 5 и 6 порывов – в 13 сообщениях. Более 10 станций (с максимумом 13 станций) сообщили одновременно о порывах такой силы в четырех случаях. В сообщениях о порывах не менее 20 м/с единственный порыв отмечен в 111 сообщениях (93 %), 2 порыва – в 4 сообщениях, 3 и 4 порыва отмечены в 2 сообщениях. Крайне разреженным и эпизодическим сообщениям АМС о существенных порывах соответствуют иногда тысячи и десятки тысяч единиц в полях наукастинга и мезопрогноза.

В то же время общие характеристики наукастов с порывами из модели машинного обучения могут заметно отличаться от характеристик полей с такими же порывами из системы ЧПП. Так, для каждой заблаговременности в интервале от 10 до 150 минут обнаружено примерно 350–400 полей

наукастинга с порывами не менее 20 м/с, при этом максимальное количество точек с порывами изменяется с заблаговременностью в интервале примерно 20–30 тысяч. Количество аналогичных полей в мезопрогнозах для этих же заблаговременностей изменяется от 240 до 420 полей при размахе максимального количества точек примерно от 7 до 30 тысяч. Напомним, для каждой заблаговременности полные выборки наукастов и мезопрогнозов имеют несопоставимые объемы порядка 20600 и 1150 полей соответственно. В дополнение к этому возникающие контрасты пространственных распределений порывов в парах синхронизованных полей могут приводить к вырождению рассчитываемых показателей FSS.

Для сглаживания столь сильного пространственно-временного разнообразия поля и стационарные наборы обобщались по часовому интервалу: при этом единичное значение присваивается точке по дизъюнкции – если в течение пяти 10-минутных интервалов времени **после** срока наукастинга хотя бы в одном случае порыв данной категории наблюдался.

Результаты испытаний. В ходе испытаний проведены визуальные сопоставления полей прогнозов с данными ЧПП и АМС, проанализированы случаи сильных порывов, зафиксированных во всех трех типах информации. Для финальных выводов отобраны примеры наукастинга порывов не менее 20 м/с, в качестве контроля использованы поля наукастинга на 10 мин ("поля первого приближения"). Результаты представлены в таблице.

Таблица. Количество пар с оценкой FSS >0.5 в окнах со сторонами 0–40 км

Усл. заблаговременность	Кол-во пар	Окна со стороной (в км)				
		0	10	20	30	40
10	453	245	277	289	293	297
20	419	182	209	221	233	242
30	398	135	171	183	194	201
40	372	101	126	134	154	164
50	357	91	106	118	127	135
60	335	59	86	94	109	114
70	307	43	55	68	76	84
80	290	32	42	49	64	69
90	270	23	31	39	45	53

Отметим, что снижение количества пар сравниваемых полей с ростом заблаговременности характеризует "неустойчивость" разработанной прогностической системы в интервале полутора часов. При этом доля "качественных" прогнозов в окнах до 40×40 км уменьшается от 66 (297/453) до 20 %.

Таким образом, качество прогностической системы (по значению $FSS > 0.5$) в пространственном масштабе до 40×40 км и в часовом обобщении превышает 50 % лишь в интервале прогноза до получаса ($201/398 > 0.505$). Вывод основан на предположении, что прогнозы системы наукастинга на 10 минут более-менее точно отражают реальность и могут использоваться в верификации в качестве "первого приближения".

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета решением от 20 декабря 2024 г. **рекомендовала:**

– использовать в ФГБУ «Гидрометцентр России» технологию наукастинга скорости порывов ветра в качестве вспомогательного прогностического метода в теплый период года (май–сентябрь) для территории Центрального региона России;

– авторам продолжить развитие технологии наукастинга.

Список литературы

1. Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Бундель А.Ю. Методические рекомендации по верификации метеорологических прогнозов. М.: АМА ПРЕСС, 2021. 94 с.

2. Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В. Наукастинг параметров и явлений погоды: инструменты, возможности и ограничения // Метеорология и гидрология. 2024. № 7. С. 81-92.

3. Муравьев А.В., Киктев Д.Б. Качество, предсказуемость и полезность в задачах радиолокационного наукастинга осадков // Метеорология и гидрология. 2024. № 7. С. 93-107.

4. РД 52.27.724-2019 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М.: Гидрометцентр России», 2019. 66 с.

5. Pulkkinen S., Nerini D., Hortal A.P., Velasco-Forero C., Seed A., Germann U., Foresti L. Pysteps: an open-source Python library for probabilistic precipitation nowcasting (v1.0) // Geosci. Model Dev. 2019. Vol. 12. P. 4185-4219.

6. Roberts N., Lean H. Scale-selective verification of rainfall accumulations from high resolution forecasts of convective events // Mon. Wea. Rev. 2008. Vol. 136. P. 78-97.