

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СИБИРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «СибНИГМИ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУ «СибНИГМИ»
Климов О.В.
« 19/08 » 2023г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

К КРАТКОСРОЧНОМУ ПРОГНОЗУ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОРЫВОВ ВЕТРА ≥ 15 М/С НА БАЗЕ ПОСТПРОЦЕССИНГА МОДЕЛЬНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ ПОЛЕЙ МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ

Разработаны в рамках темы 1.2.1 «Развитие технологии детализированного численного краткосрочного прогноза явлений погоды, включая опасные, по территории Урало-Сибирского региона. Разработка физико-статистических методов и оперативной технологии прогноза максимальных порывов ветра в опасной категории (≥ 15 м/с) и туманов на 1-3 суток по территории Урало-Сибирского региона на базе постпроцессинга модельных гидродинамических расчетных полей метеоэлементов» плана НИТР Росгидромета на 2020-2024 гг.

Руководитель НИР
К.Т.Н.



А.Б. Колкер

Новосибирск 2023

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

К КРАТКОСРОЧНОМУ ПРОГНОЗУ МАКСИМАЛЬНЫХ ПОРЫВОВ ВЕТРА ≥ 15 М/С НА БАЗЕ ПОСТПРОЦЕССИНГА МОДЕЛЬНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ ПОЛЕЙ МЕТЕОЭЛЕМЕНТОВ

Метод и технология автоматизированного прогноза максимального ветра ≥ 15 м/с основаны на физико-статистической интерпретации продукции моделей атмосферы. Для разработки решений применён алгоритм распознавания образов путём построения бинарных логических деревьев, с использованием тестовой выборки для отбора оптимального решения из множества предварительных. По результатам тестирования на независимой выборке настроен алгоритм комплексации решений, в котором участвуют три модельных выпуска прогнозов максимальных порывов ветра (COSMO_Ru_Sib13, COSMO_Ru_Sib66, GFS) и два варианта физико-статистических решений (на базе COSMO_Ru_Sib13 и GFS). Оценки авторских испытаний на независимом материале показывают превышение качества прогнозов по разработанному методу по сравнению с прогнозами по гидродинамическим моделям.

Разработанная схема прогноза внедрена в технологическую линию краткосрочных прогнозов в Западно-Сибирском региональном вычислительном центре (ЗС РВЦ) ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» и ФГБУ «СибНИГМИ». Ежедневно два раза в сутки (от 00 и от 12 СГВ) в оперативном режиме выкладываются таблицы с результатами бинарного прогноза наличия/отсутствия максимальных порывов ветра ≥ 15 м/с по 685 метеостанциям Урало-Сибирского региона на каждые полусутки до +72 часов. Для удобства использования результатов в оперативной работе синоптических подразделений прогнозы формируются по выделенным областям ответственности Уральского, Обь-Иртышского, Западно-Сибирского, Среднесибирского, Иркутского, Забайкальского УГМС, УГМС Республики Саха.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Отв. исполнитель,
зав. отделом,
канд. геогр. наук



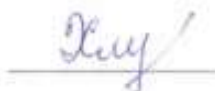
М.Я.Здерева

Старший научный
сотрудник



В.М.Токарев

Научный сотрудник



Н.А. Хлучина

Инженер-программист



Л.П.Воробьева

Инженер



Н.В.Аникина

Нормоконтролер



Т.П.Панькова

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 База данных наблюдения	7
2 Выборки выходных модельных параметров.....	11
3 Метод и технология альтернативного прогноза ветра >15 м/с	13
4 Результаты авторских испытаний метода	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	21

ВВЕДЕНИЕ

Разработанная технология является продолжением цикла работ ФГБУ «СибНИГМИ» по физико-статистической интерпретации гидродинамической продукции с целью получения прогностических методов, необходимых в оперативной работе синоптиков.

В настоящее время подходы к прогнозу сильного ветра можно разделить на две категории: статистический постпроцессинг и моделирование образования порывов. Методы динамического описания порывов в свою очередь можно разделить на две группы. В первой группе порывы связывают с турбулентной энергией через характеристики турбулентности [1], во второй считают их результатом вертикального переноса частиц воздуха с более высоких слоев в нижние.

Эмпирические вероятности порывов ветра были заменены на физически обоснованную параметризацию, после того, как произошло понимание, что вертикальный сдвиг ветра – это главный источник турбулентной кинетической энергии в планетарном пограничном слое (ППС. Brasseur [2] в своих работах показал, что отклонения воздушных частиц, инициирующих порывы ветра у поверхности, могут быть определены путем сравнения профиля кинетической энергии турбулентности с энергией, продуцируемой силами плавучести в ППС. Эта идея воплощается в тех или иных вариантах в пост-процессинге многих моделей (известна как параметризация по Brasseur) , в том числе и в модели COSMO.

Этот шаг привел к большому прогрессу в прогнозировании сильных порывов, однако результаты, основанные на физических формулах, не могут во всех условиях быть стабильно высокими, они статистически корректируются. В документации к модели COSMO [3] отмечено, что в силу недостатка доступных наблюдений, не подкорректированы результаты расчетов над озерами и морями, а также не получены надежные результаты для порывов свыше 25 м/с. В работе [4] на примере Канадской климатической модели анализируются результаты восстановления порывов ветра в разных орографических районах, с разным пространственным разрешением в модели. Статистические оценки показали, что в целом, модельная параметризация порывов достаточно реально восстанавливает наблюдаемые порывы, сравнение кинетической энергии турбулентности с энергией устойчивости внутри атмосферного слоя может служить мерой для моделирования порывов ветра. Вместе с тем показано, что влияние орографии преобладает. К тому же результат прогноза зависит не только от метода, но и от способности модели точно воспроизводить атмосферные процессы синоптического и

мезомасштабов, в частности процессов в приземном пограничном слое (ППС). На самом деле в большинстве моделей параметризация атмосферного пограничного слоя строится на теории подобия, что предполагает некоторые равновесные условия, а именно они и не работают во время экстремумов.

Таким образом, задачу прогнозов сильных порывов ветра на базе динамики нельзя считать до конца решенной. Вот почему с конца 20-го века в оперативной практике используются автоматизированные методы прогноза сильного ветра, основанные на пост-обработке прогностической модельной продукции. Так, до 2006 года успешно работал метод Переходцевой [5-7], разработанный на базе первой полусферной модели Гидрометцентра России (автор Л.В. Беркович), который в дальнейшем был адаптирован к выпускам региональной модели Гидрометцентра России [8] (автор В.М. Лосев). Важным результатом этих работ является исследование наиболее информативных признаков для прогноза сильных ветров по модельным выходным параметрам. В СибНИГМИ в первой половине 90-х годов был разработан и внедрен в оперативную практику автоматизированный метод прогнозов сильных ветров на 1-5 суток по территории Урало-Сибирского региона, построенный на выходных полях модели Европейского центра (тогда ЕЦСПП, Рединг). Однако базовый список выходных параметров в то время был ограничен тремя полями: приземное давление, геопотенциал на уровне АТ-500, температура воздуха на уровне АТ-850.

В настоящее время для создания архивных выборок доступны выходные поля по нескольким атмосферным моделям. Развитие и обновление моделей идет как в направлении уменьшения шага расчетной сетки, так и в расширении списка выходных метеорологических характеристик и сложных расчетных комплексов. В 2019 году начаты расчеты по модели COSMO-RU_Sib6.6, а в 2020 идут эксперименты расчетов по модели с ещё более высоким пространственным разрешением COSMO-RU_Sib2.2. В ближайшие годы планируется переход на модель ICON (ICON-LAM), являющейся дальнейшим развитием COSMO. К ним подключается модель GFS (NCEP), имеющая свободный доступ по ftp-серверу.

В предлагаемой технологии используются статистические решения для бинарного прогноза порывов ветра свыше 14 м/с, построенные на базе COSMO-RU_Sib13.2 с шагом 13,2 км; и на базе GFS (NCEP) с шагом 0,5 ° широтно-долготной сетки с последующей комплексацией результатов.

1 База данных наблюдения

Согласно «Наставлению по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» [9] выделены следующие градации по скорости ветра:

- сильный ветер: $15 \text{ м/с} \leq V < 25 \text{ м/с}$ - относится к неблагоприятным метеорологическим явлениям (НЯ);
- очень сильный ветер или шквал: $25 \text{ м/с} \leq V < 33 \text{ м/с}$ (для побережий морей и горных районов с 35 м/с) – относится к опасным (ОЯ);
- ураганный ветер: $V \geq 33 \text{ м/с}$ – ОЯ.

Кроме того, сильный ветер, скорость которого не менее 80 % от установленного критерия ОЯ (с 20 м/с или с 26 м/с для побережий) входит в комплекс метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует опасные явления.

Для фактической погоды использованы данные метеорологических наблюдений в кодах КН-01 и частично WAREP по 685 метеостанциям Урало-Сибирского региона. Выборка начинается с 2015 года и продолжает пополняться в оперативном режиме. Из ежедневных восьми-срочных наблюдений, включающих и отметки о максимальных порывах ветра, сформированы полусуточные данные о максимальном ветре по каждой метеостанции. Согласно поставленной задаче, данные по максимальной скорости ветра разбиты на градации (таблица 1).

Таблица 1 - Коды градаций максимальных порывов ветра

Присвоенный код	Значения максимальных порывов за полусутки (м/с)
0	< 13
1	[13,15)
2	[15,20)
3	[20,22)
4	[22,25)
5	≥ 25
9	нет данных (наблюдения не производились)

В данной технологии разработаны решения для разделения ветра по двум классам: класс 1-наличие явления (ветер ≥ 15 -код 2), класс 2 – отсутствие явления (менее 15 -коды 0-1). Значения ветра ≥ 13 м/с используются при оценках оправдываемости методов.

Повторяемость значений ветра ≥ 15 м/с по сезонам и по полусуткам в сумме по всем станциям (рисунок 1) в архивной выборке показывает скачок в числе дневных усиления ветра в весеннем периоде, когда почва ещё охлаждена после таяния снега, а воздух начинает интенсивнее прогреваться из-за увеличения продолжительности дня [10]. В остальное время года она примерно одинакова и составляет около 4,5-5 %. В ночное время ожидается частота случаев с сильным ветром снижается, минимальна в летнем периоде.

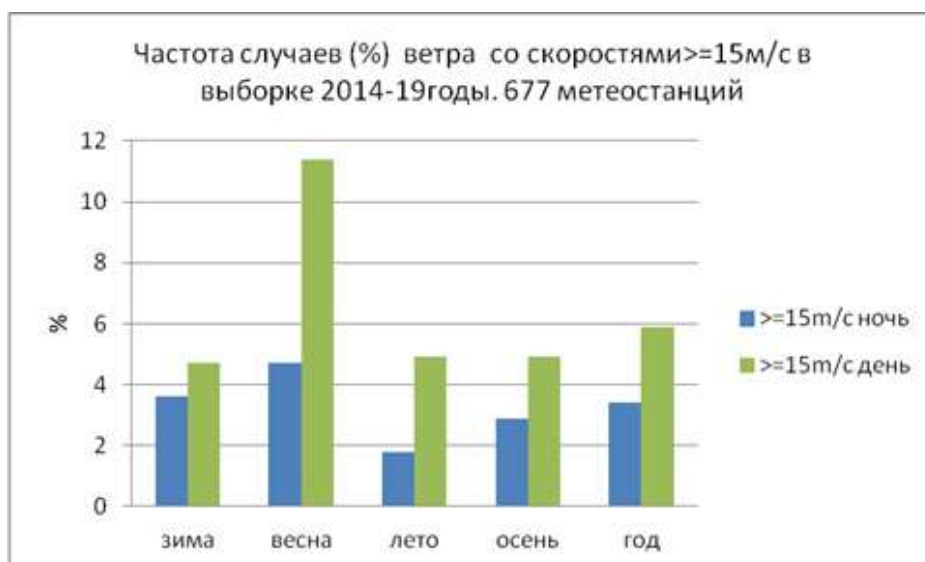


Рисунок 1– Относительная частота ветра со скоростью ≥ 15 м/с в сумме по всем станциям.

Распределение повторяемости ветра ≥ 15 м/с по территории представлено на рисунках 2-3. Ожидаемо число случаев с явлением меньше в лесной зоне, увеличивается к югу Западной Сибири и к северу в прибрежной арктической зоне.

Ветер со скоростями более 20 м/с (коды 3-5) ещё более редкое явление на территории Урало-Сибирского региона. Для преобладающего числа метеостанций число случаев не позволяет строить статистические решения, поэтому методы для прогноза ветра $\geq 20-25$ м/с будут исследоваться по мере накопления архивов с наличием явления.

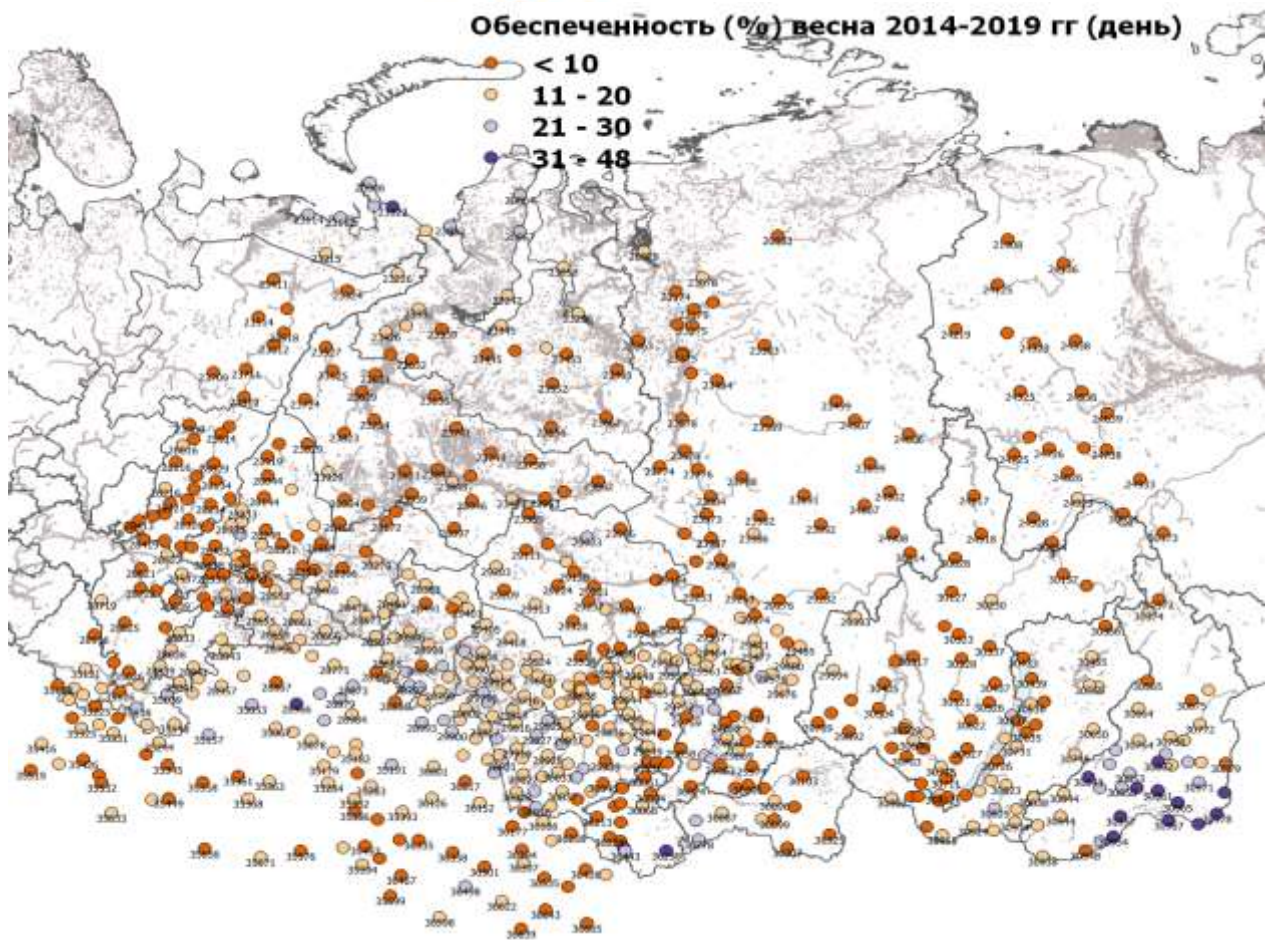
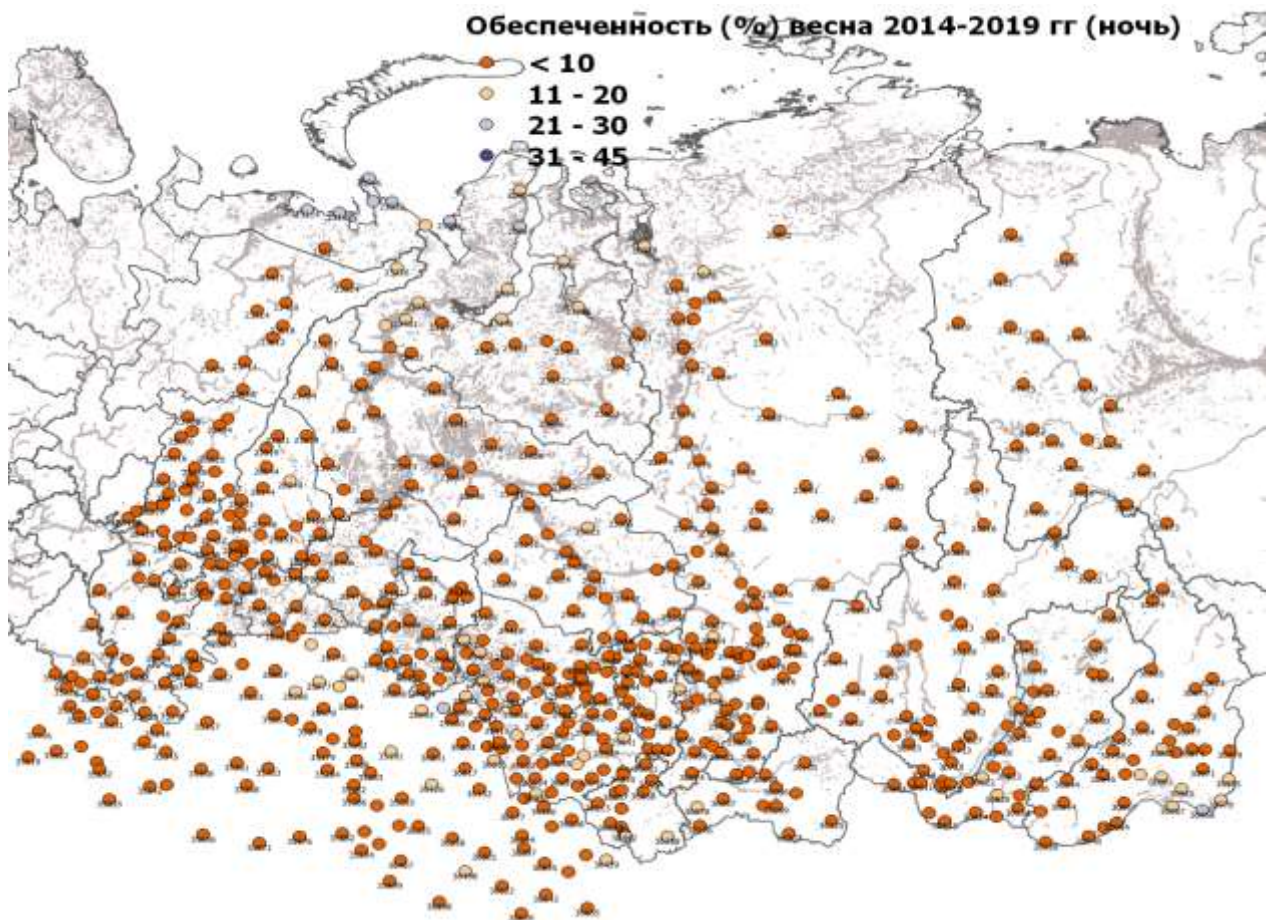


Рисунок 2 – Повторяемость ветра ≥ 15 м/с (%) по полусуткам. Весна, 2014-2019 годы

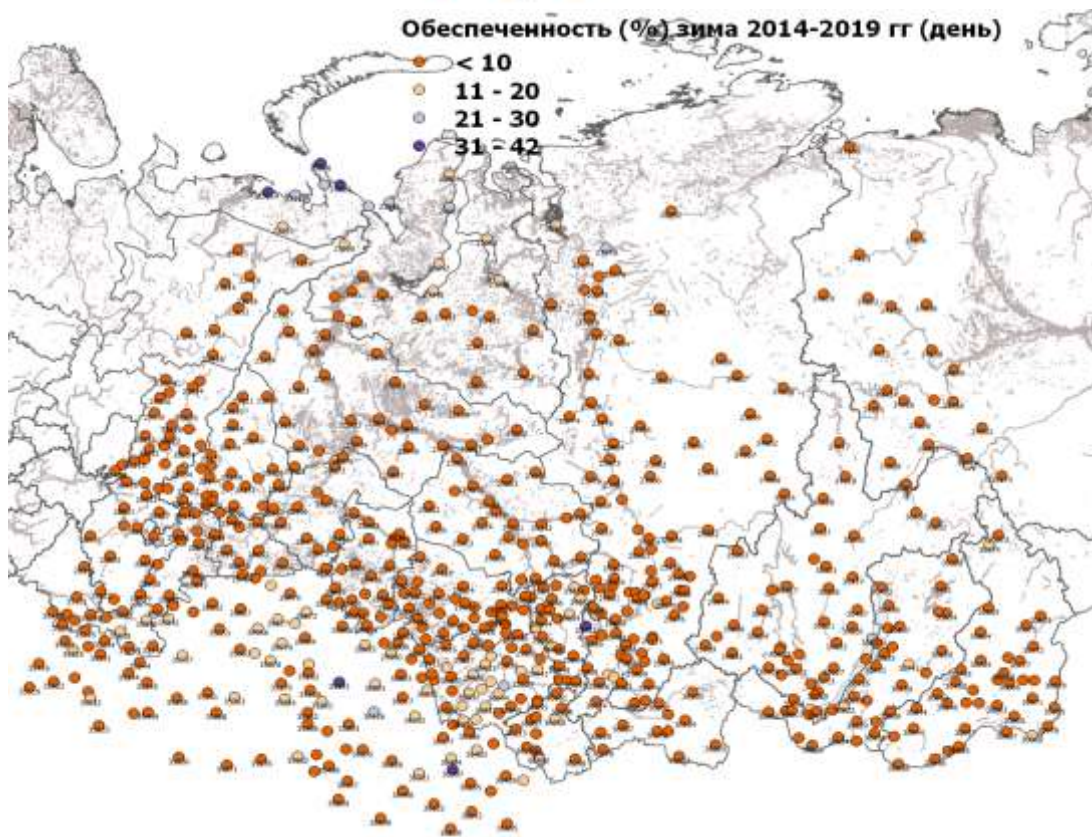
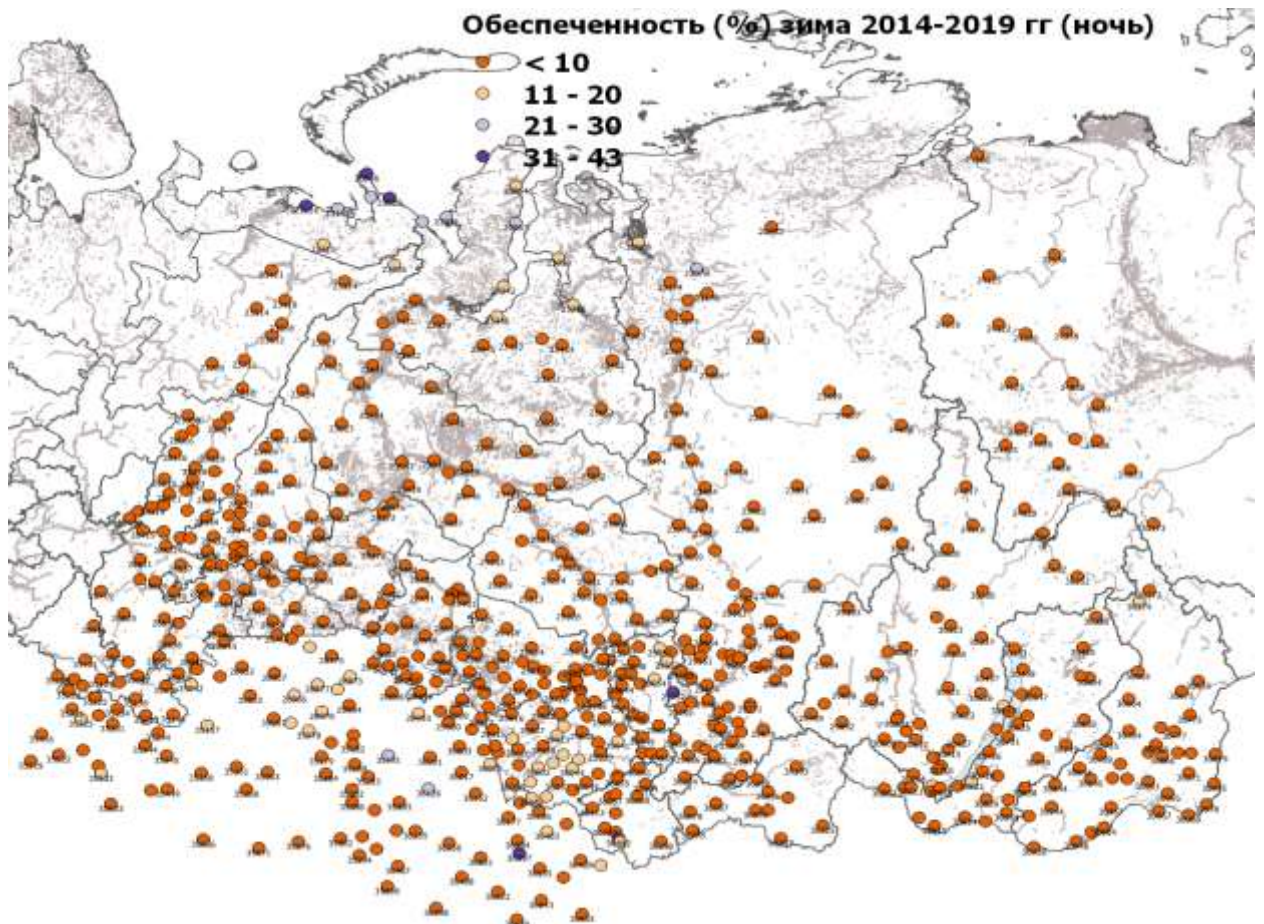


Рисунок 3 – Повторяемость ветра ≥ 15 м/с (%) по полусуткам. Зима 2014-2019 годы

2 Выборки выходных модельных параметров

Параллельно с выборкой наблюдаемых значений скорости ветра с 2015 года формируется выборка базовых модельных параметров GFS(NCEP) и COSMO_RuSib13. С мая 2019 года начато накопление выпусков COSMO_RuSib6.6. Список потенциальных признаков включает выходные модельные параметры и расчетные на их основе с учетом отражения физических условий для возникновения сильного ветра в разных периодах года (таблица 2) [11]. Так, для теплого периода добавлены индексы, отражающие конвективную устойчивость/неустойчивость атмосферы (28-33 параметры). Поскольку предполагается использовать подход с адаптацией решений по модельным полям с синхронной заблаговременностью, то данные моделей соответственно представлены до +78 часов включительно с шагом 3 часа.

Таблица 2 – Список потенциальных признаков для распознавания сильных порывов ветра

№	Параметр	Ед.	Описание параметра
1	GMAX12h	m/s	максимальный порыв на 10м (за 12 часов)
2	G_max50	m/s	максимальный порыв на 10м в радиусе 50км
3	G_max100	m/s	максимальный порыв в радиусе 100км
4	Gm_srd50	m/s	средний порыв в радиусе 50км
5	FF0	m/s	скорость среднего ветра на 10м
6	FF850	m/s	скорость ветра на уровне АТ-850
7	FF700	m/s	скорость ветра на уровне АТ-700
8	FF500	m/s	скорость ветра на уровне АТ-500
9	FF300	m/s	скорость ветра на уровне АТ-300
10	dir700	gr/10	направление ветра на уровне АТ-700
11	dir500	gr/10	направление ветра на уровне АТ-500
12	T9-T0	К*10	вертикальный градиент температуры T925- T2м
13	T8-T0	К*10	вертикальный градиент температуры T850- T2м
14	T(+6)-T	К*10	прогноз изменения температуры (+06ч)
15	gradT100	К*10	горизонтальный градиент T2м /100км
16	gradP200	Pa	горизонтальный градиент P(ур.моря) /200км
17	P(+6)-P	Pa	прогноз изменения давления +06ч
18	H500-H950	gPa	вертикальный градиент геопотенциала
19	gradH850	gPa	горизонтальный градиент H850 /200км
20	gradH700	gPa	горизонтальный градиент H700 /200км
21	gradH500	gPa	горизонтальный градиент H500 /200км
22	VVEL950	m/s	вертикальная скорость на 950 (между уровнями)
23	VVEL850	m/s	вертикальная скорость на 950 (между уровнями)
24	VVEL700	m/s	вертикальная скорость на 950 (между уровнями)
25	GMAX06h	m/s	максимальный порыв на 10м за 6 часов (-3ч - +3ч)
26	LAPP300	pa	лапласиан давления в радиусе 300км
27	abs(T(+6)-T)	К*10	абсолютная величина изменения температуры +06ч
28	TT	К*10	$T850 + Td850 - 2 * T500$
29	SWEAT		$12Td850 + 20(TT - 49) + 4F850 + 2F500 + 125(\sin(D500 - D850) + 0.2)$
30	Jeff	К	Индекс Джефферсона $1.6Tp850 - T500 - 0.5dTd7$
31	LF	К	Индекс термической стратификации
32	CAPE 0-180	J/kg	Потенциальная энергия конвективной неустойчивости в слое 180-0 гПа
33	Htop	m	Высота верхней границы конвективной облачности (КО)
34	Htop-Hbot2	m	Максимальная вертикальная протяженность КО в радиусе 200км

3 Метод и технология альтернативного прогноза ветра >15 м/с

Для получения прогностических решений применён алгоритм машинного обучения распознавания образов, основанный на построении логических бинарных деревьев [12,13] с использованием тестовой выборки.

Разделение начальной выборки с наборами признаков для двух образов на ветки производится путем определения максимального расхождения условных вероятностей при рекурсивном переборе всех значений предикторов. При этом в алгоритме учтены следующие ключевые моменты для повышения устойчивости решений:

- получение набора бинарных решений сокращением числа признаков входной выборки по минимальным частотам попадания в деревья среди всех метеостанций и принудительным сокращением ветвей бинарного дерева решений (глубины ветвления);

- выбор 7-10 лучших решений для последующей селекции;

- нахождение наиболее устойчивого варианта сравнением результатов восстановления решений на тестовой (независимой) выборке.

Для учета суточного и годового хода явления формирование выборок и получение решений произведено по полусуткам и по четырём сезонам года: зима - ноябрь, декабрь, январь-март; весна - апрель-май; лето – июнь-август; осень – сентябрь-октябрь.

Таким образом, физико-статистические решения для альтернативных прогнозов сильного ветра ≥ 15 м/с подготовлены до +72ч с шагом 12ч отдельно по сезонам года и отдельно по двум моделям: GFS(NCEP) и COSMO_RuSib13. Решения получены для каждой метеостанции Урало-Сибирского региона, где архивное число случаев с наличием явления было выше семи.

Сравнение модельных и статистических результатов на независимом материале показало разницу в распределении качества прогнозирования явления по территории региона. На следующем этапе была произведена комплексация решений, в которой участвовали три модельных выпуска прогнозов максимальных порывов ветра (COSMO_Ru_Sib13, COSMO_Ru_Sib60, GFS) и два варианта физико-статистических решений (на базе COSMO_Ru_Sib13 и GFS).

Разработанная схема прогноза внедрена в технологическую линию краткосрочных прогнозов ЗС РВЦ (ФГБУ «ЗС УГМС») и ФГБУ «СибНИГМИ» (рисунок 4) [14].

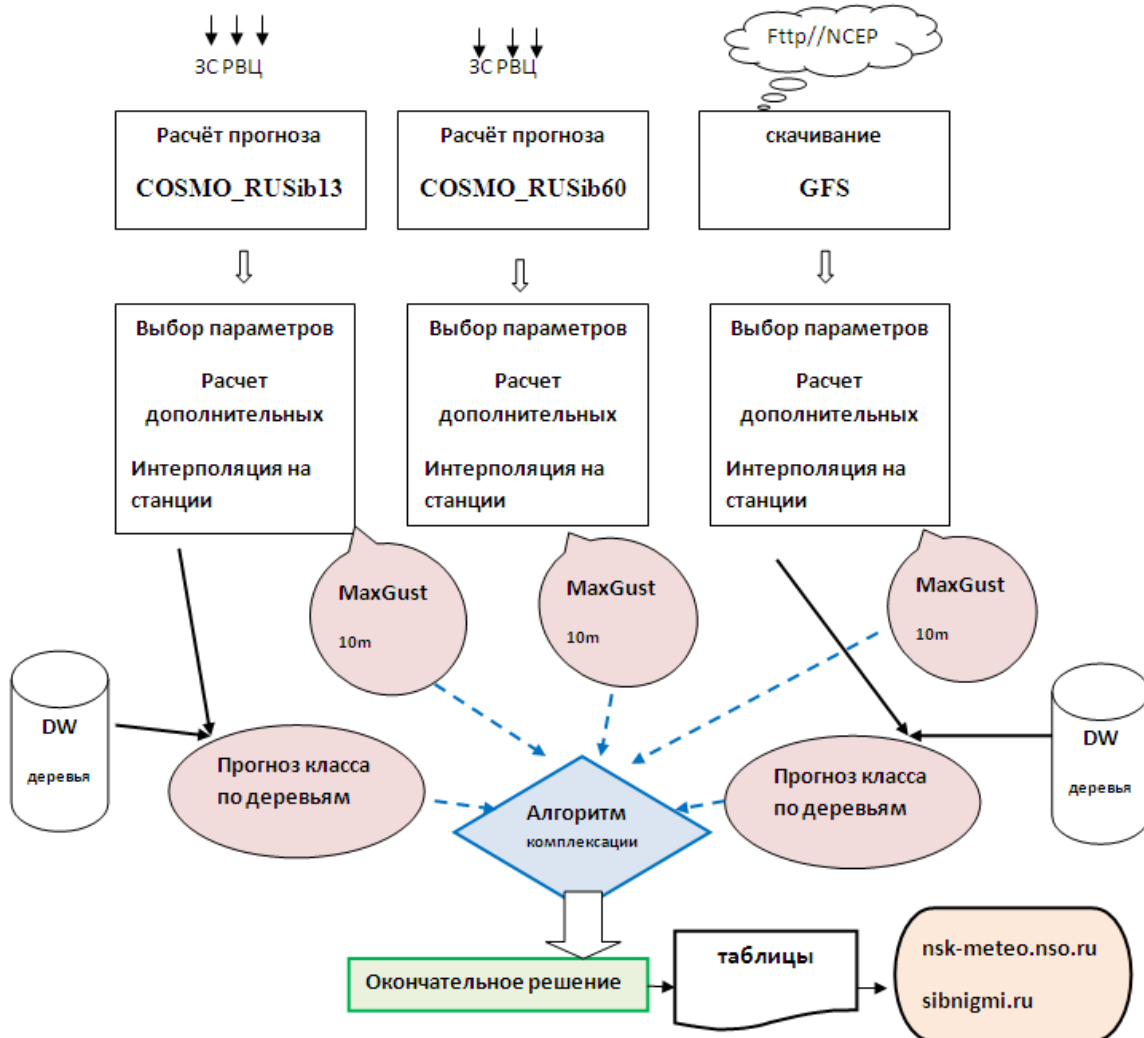


Рисунок 4 - Блоки технологической линии прогноза максимальных порывов ветра

4 Результаты авторских испытаний метода

Тестирование прогностического метода и технологии проведено на данных 2021-2022 года [14]. Расчёты производились в квазиоперативном режиме. Оценки рассчитаны по каждой метеостанции. Итоговые оценки прогнозов сгруппированы по четырём сезонам года и по отдельным частям территорий ответственности в каждом из пяти управлений Гидрометслужбы. Результаты сравнены с прогнозами максимальных порывов ветра непосредственно по моделям COSMO_Ru_Sib13, COSMO_Ru_Sib66, GFS.

По методическим рекомендациям к оценкам автоматизированных прогнозов [15] согласно матрице сопряженности (таблица 2) рассчитаны:

$Oy = k11 / k10$ – оправдываемость прогнозов наличия явления (%);

$On = k22 / k20$ – оправдываемость прогнозов отсутствия явления (%);

$Pу = k11 / k01$ – предупредённость наличия явления (%);

$Pn = k22 / k02$ – предупредённость отсутствия явления (%);

$mpr = \min(Oy, On) + \min(Py, Pn)$ (%);

$T = k11/k01 - k12/ k02$ - критерий Пирси-Обухова.

При этом процент «ложных тревог» = $100 - Oy$.

Таблица 2 - Матрица сопряженности прогноз-факт

Прогноз	Факт		
	Да	Нет	
Да	k11	k12	k10
Нет	k21	k22	k20
	k01	k02	NO

Примеры сравнительных оценок по разным периодам года для разных территорий приведены в таблицах 3-6.

Наиболее высокие показатели прогнозов по новому методу в осеннем (таблица 3) и в зимнем (таблица 4) сезонах. Наиболее сложные прогнозы в тёплом периоде, тем не менее, их уровень по критерию Пирси превышает 50% (таблицы 4-5). В подавляющем большинстве ситуаций подход комплексации решений показывает уменьшение процента «ложных тревог» (Oy выше) с повышением предупредённости явления. Однако преимущество того или иного подхода варьирует по сезонам, времени суток и по территории. Так, например, в северо-западной части Сибири на территории Ямало-Ненецкого округа оправдываемость наличия явления на дневные часы в зимнем периоде

практически одного уровня по всем методам (таблица 4), при этом разработанный подход “complex” имеет преимущество в предупрежденности на 11-40%.

Таблица 3 – Сравнительные оценки альтернативных прогнозов ветра ≥ 15 м/с. Сентябрь-октябрь 2021-2022 гг. Омская область (21 метеостанция)

Срок	Модель	Оценки										
		k11	k12	k21	k22	NO	Oy	On	Py	Pn	mpr	T
00+06	COSMO-13	90	147	17	2287	2541	38	99	84	94	122	0.78
	GFS	57	112	50	2322	2541	34	98	53	95	87	0.49
	COSMO-60	85	165	22	2269	2541	34	99	79	93	113	0.73
	complex	95	136	12	2298	2541	41	99	89	94	130	0.83
00+18	COSMO-13	18	123	16	2384	2541	13	99	53	95	66	0.48
	GFS	19	231	15	2276	2541	8	99	56	91	64	0.47
	COSMO-60	19	109	15	2398	2541	15	99	56	96	71	0.52
	complex	22	65	12	2434	2533	25	100	65	97	90	0.62
00+30	COSMO-13	79	167	27	2249	2522	32	99	75	93	107	0.68
	GFS	29	108	77	2308	2522	21	97	27	96	48	0.23
	COSMO-60	70	140	36	2276	2522	33	98	66	94	99	0.60
	complex	91	176	15	2240	2522	34	99	86	93	120	0.79
00+42	COSMO-13	15	112	19	2374	2520	12	99	44	95	56	0.40
	GFS	16	207	18	2279	2520	7	99	47	92	54	0.39
	COSMO-60	11	95	23	2391	2520	10	99	32	96	42	0.29
	complex	25	95	9	2382	2511	21	100	74	96	95	0.70
00+54	COSMO-13	82	174	24	2221	2501	32	99	77	93	109	0.70
	GFS	44	108	62	2287	2501	29	97	42	95	71	0.37
	COSMO-60	74	148	32	2247	2501	33	99	70	94	103	0.64
	complex	87	151	19	2244	2501	37	99	82	4	119	0.76
00+66	COSMO-13	11	146	23	2256	2436	7	99	32	94	39	0.26
	GFS	16	190	18	2212	2436	8	99	47	92	55	0.39
	COSMO-60	9	123	25	2279	2436	7	99	26	95	33	0.21
	complex	21	102	13	2295	2431	17	99	62	96	79	0.58

Таблица 4 – Сравнительные оценки альтернативных прогнозов ветра ≥ 15 м/с. Ноябрь-декабрь 2020-2021, январь-март 2021-2022 гг. Ямало-Ненецкий округ (17 метеостанций)

Срок	Модель	Оценки										
		k11	k12	k21	k22	NO	Oy	On	Py	Pn	mpr	T
00+06	COSMO-13	147	235	86	4353	4821	38	98	63	95	101	0.58
	GFS	177	597	56	3991	4821	23	99	76	87	99	0.63
	COSMO-60	141	223	91	4349	4804	39	98	61	95	100	0.56
	complex	193	320	40	4262	4815	38	99	83	93	121	0.76
00+18	COSMO-13	103	166	102	3662	4033	38	97	50	96	88	0.46
	GFS	143	458	62	3370	4033	24	98	70	88	94	0.58
	COSMO-60	95	146	110	3668	4019	39	97	46	96	85	0.43
	complex	163	320	42	3504	4029	34	99	80	92	114	0.71
00+30	COSMO-13	126	216	114	4351	4807	37	97	52	95	89	0.48
	GFS	168	583	72	3984	4807	22	98	70	87	92	0.57
	COSMO-60	121	188	119	4362	4790	39	97	50	96	89	0.46
	complex	201	427	39	4135	4802	32	99	84	91	116	0.74
00+42	COSMO-13	115	217	93	3609	4034	35	97	55	94	90	0.50
	GFS	141	464	67	3362	4034	23	98	68	88	91	0.56
	COSMO-60	102	173	106	3639	4020	37	97	49	95	86	0.45
	complex	168	341	40	3483	4032	33	99	81	91	114	0.72
00+54	COSMO-13	127	264	100	4318	4809	32	98	56	94	88	0.50
	GFS	141	573	86	4009	4809	20	98	62	87	82	0.50
	COSMO-60	120	202	107	4363	4792	37	98	53	96	90	0.48
	complex	178	381	49	4192	4800	32	99	78	92	110	0.70
00+66	COSMO-13	99	204	89	3502	3894	33	98	53	94	86	0.47
	GFS	112	471	76	3235	3894	19	98	60	87	79	0.47
	COSMO-60	3	172	105	3520	3880	33	97	44	95	77	0.39
	complex	142	386	45	3308	3881	27	99	76	90	103	0.65

Таблица 5 – Сравнительные оценки альтернативных прогнозов ветра ≥ 15 м/с. Июнь-август 2021-2022 гг. Новосибирская область (36 метеостанций)

Срок	Модель	Оценки										
		k11	k12	k21	k22	NO	Oy	On	Py	Pn	mpr	T
00+06	COSMO-13	111	588	79	5662	6440	16	99	58	91	74	0.49
	GFS	55	92	135	6158	6440	37	98	29	99	66	0.27
	COSMO-60	112	745	78	5505	6440	13	99	59	88	72	0.47
	complex	133	590	53	5483	6259	18	99	72	90	90	0.62
00+18	COSMO-13	39	239	74	5894	6246	14	99	35	96	49	0.31
	GFS	38	194	75	5939	6246	16	99	34	97	50	0.30
	COSMO-60	33	231	80	5902	6246	13	99	29	96	42	0.25
	complex	69	251	42	5731	6093	22	99	62	96	84	0.58
00+30	COSMO-13	102	764	77	5497	6440	12	99	57	88	69	0.45
	GFS	15	102	164	6159	6440	13	97	8	98	21	0.07
	COSMO-60	86	799	93	5462	6440	10	98	48	87	58	0.35
	complex	129	735	50	5521	6435	15	99	72	88	87	0.60
00+42	COSMO-13	45	280	63	5858	6246	14	99	42	95	56	0.37
	GFS	38	172	70	5966	6246	18	99	35	97	53	0.32
	COSMO-60	32	232	76	5906	6246	12	99	30	96	42	0.26
	complex	71	307	37	5821	6236	19	99	66	95	85	0.61
00+54	COSMO-13	106	789	75	5435	6405	12	99	59	87	71	0.46
	GFS	19	100	162	6124	6405	16	97	10	98	26	0.09
	COSMO-60	86	749	95	5475	6405	10	98	48	88	58	0.35
	complex	124	757	54	5422	6357	14	99	70	88	84	0.57
00+66	COSMO-13	26	234	81	5633	5974	10	99	24	96	34	0.20
	GFS	21	163	86	5704	5974	11	99	20	97	31	0.17
	COSMO-60	26	205	81	5662	5974	11	99	24	97	35	0.21
	complex	52	265	55	5602	5974	16	99	49	95	65	0.44

Таблица 6 – Сравнительные оценки альтернативных прогнозов ветра ≥ 15 м/с. Апрель-май 2021-2022 гг. Свердловская область (28 метеостанций)

Срок	Модель	Оценки										
		k11	k12	k21	k22	NO	Oy	On	Py	Pn	mpr	T
00+06	COSMO-13	231	263	121	2679	3294	47	96	66	91	113	0.57
	GFS	108	142	244	2800	3294	43	92	31	95	74	0.26
	COSMO-60	249	327	103	2588	3267	43	96	71	89	114	0.60
	complex	272	288	79	2627	3266	49	97	77	90	126	0.68
00+18	COSMO-13	34	232	44	2862	3172	13	98	44	93	57	0.36
	GFS	35	209	43	2885	3172	14	99	45	93	59	0.38
	COSMO-60	37	272	41	2796	3146	12	99	47	91	59	0.39
	complex	52	236	26	2857	3171	18	99	67	92	85	0.59
00+30	COSMO-13	193	283	147	2793	3416	41	95	57	91	98	0.48
	GFS	79	124	261	2952	3416	39	92	23	96	62	0.19
	COSMO-60	221	348	119	2700	3388	39	96	65	89	104	0.54
	complex	263	376	77	2695	3411	41	97	77	88	118	0.65
00+42	COSMO-13	21	213	46	3014	3294	9	98	31	93	40	0.25
	GFS	13	205	54	3022	3294	6	98	19	94	25	0.13
	COSMO-60	18	228	48	2973	3267	7	98	27	93	34	0.20
	complex	48	272	19	2947	3286	15	99	72	92	87	0.63
00+54	COSMO-13	174	301	164	2749	3388	37	94	51	90	88	0.42
	GFS	73	112	265	2938	3388	39	92	22	96	61	0.18
	COSMO-60	192	386	146	2636	3360	33	95	57	87	90	0.44
	complex	248	421	89	2614	3372	37	97	74	86	111	0.60
00+66	COSMO-13	23	169	42	2925	3159	12	99	35	95	47	0.30
	GFS	17	185	48	2909	3159	8	98	26	94	34	0.20
	COSMO-60	23	210	42	2857	3132	10	99	35	93	45	0.29
	complex	42	216	22	2864	3144	16	99	66	93	82	0.59

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод и технология автоматизированного прогноза максимального ветра ≥ 15 м/с для территории Урало-Сибирского региона на базе физико-статистической интерпретации продукции моделей атмосферы. В ходе исследования определены потенциальные предикторы и сформированы рабочие выборки признаков для распознавания ситуаций с усилением ветра до опасного уровня на базе выходных параметров моделей COSMO-RuSib13, GFS(NCEP) за 2015-2022 годы. Применён алгоритм распознавания образов путём построения бинарных логических деревьев, с использованием тестовой выборки для отбора оптимального решения из множества предварительных. Отдельно по каждой базовой модели с учётом суточного и годового хода формирования порывов ветра получены прогностические решения для каждой из 685 метеостанций региона, имеющей репрезентативное число случаев с наличием явления.

По результатам тестирования на независимой выборке настроен алгоритм комплексации решений, в котором участвуют три модельных выпуска прогнозов максимальных порывов ветра (COSMO_Ru_Sib13, COSMO_Ru_Sib66, GFS) и два варианта физико-статистических решений (на базе COSMO_Ru_Sib13 и GFS).

На материале 2021-2022 годов получены оценки авторских испытаний разработанного метода. Ожидаемо качество прогнозов выше в осеннем и в зимнем сезонах, когда усиления ветра связаны преимущественно с процессами синоптического масштаба. Наиболее сложные прогнозы в тёплом периоде, тем не менее, их уровень по критерию Пирси превышает 50%. В целом по всем областям подход комплексации решений показывает уменьшение процента «ложных тревог» с повышением предупрежденности явления. Тем не менее, для отдельных станций с орографическими особенностями хоть и удалось повысить предупрежденность явления, проблема определения всех ситуаций с сильным ветром сохраняется.

Разработанная схема прогноза внедрена в технологическую линию краткосрочных прогнозов в Западно-Сибирском региональном вычислительном центре (ЗС РВЦ) ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» и ФГБУ «СибНИГМИ» и готова к проведению оперативных испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hart R.E., Forbes G.S. The use of model-generated hourly soundings to forecast mesoscale phenomena: Part II. Initial assessment in forecasting nonconvective strong wind gusts // *Weather Forecasting*. – 1999. - Vol.14. - P.461-469.
2. Brasseur O. Development and Application of a Physical Approach to Estimating Wind Gusts // *Mon Weather Rev.* – 2001. - Vol.129, No.1. - P. 5–25.
3. Documentation of the Changes in the COSMO-Model. Version 5.06 27.02.2019. URL: http://www.cosmo-model.org/content/model/releases/histories/cosmo_5.06.htm
4. Goyette S., Brasseur O., Beniston M. Application of a new wind gust parameterization: Multiscale case studies performed with the Canadian regional climate model. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002JD002646>
5. Переходцева Э.В. Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основе диагностических и прогностических синхронных связей // *Труды Гидрометцентра СССР*. - 1985. - Вып.271. - С. 37-60.
6. Переходцева Э.В. Прогноз сильных шквалов и смерчей в летний период 2009 года на основе статистических моделей // *Труды Гидрометцентра России*. - 2010. - Вып.344. - С. 265-279.
7. Переходцева Э.В. О гидродинамико-статистическом прогнозе до двух суток явлений сильного ветра и сильных осадков для территории Северного Кавказа, шквалов и смерчей в летний период 2009 года на основе статистических моделей // *Труды Гидрометцентра России*. - 2012. - Вып.347. - С. 113-125.
8. Kurbatova M., Rubinstein K., Gubenko I., Kurbatov G. Comparison of seven wind gust parameterizations over the European part of Russia. URL: <https://asr.copernicus.org/articles/15/251/2018/asr-15-251-2018.pdf>. Publ.: 19 November 2018.
9. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.27.724-2019. М: ФГБУ «Гидрометцентр России».- 2019.- 65с.
10. Развитие технологии детализированного численного краткосрочного прогноза явлений погоды, включая опасные, по территории Урало-Сибирского региона. Разработка физико-статистических методов и оперативной технологии прогноза максимальных порывов ветра в опасной категории (≥ 15 м/с) и туманов на 1-3 суток по территории Урало-Сибирского региона на базе постпроцессинга модельных гидродинамических расчетных полей метеоэлементов: Отчет о НИР (промежут.)/ФГБУ «СибНИГМИ»; шифр темы 1.2.1; рук. Здерева М.Я. - Новосибирск, 2020. - 29 с. - Рег. № НИОКТР АААА-А20-120031090026-0. - Рег. № ИКРБС АААА-Б20-220121690087-2.

11. Развитие технологии детализированного численного краткосрочного прогноза явлений погоды, включая опасные, по территории Урало-Сибирского региона. Разработка физико-статистических методов и оперативной технологии прогноза максимальных порывов ветра в опасной категории ($\geq 15\text{ м/с}$) и туманов на 1-3 суток по территории Урало-Сибирского региона на базе постпроцессинга модельных гидродинамических расчетных полей метеоэлементов: Отчет о НИР (промежут.)/ФГБУ «СибНИГМИ»; шифр темы 1.2.1; рук. Здерева М.Я. - Новосибирск, 2021. - 25 с. - Рег. № НИОКТР АААА-А20-120031090026-0. - Рег. № ИКРБС 221113000114-0.

12. Лбов Г.С., Манохин А.Н. Распознавание образов при разнотипных признаках в условиях малой выборки // Статистические проблемы управления. - Вильнюс, 1976. - Вып.14. - С.57-63.

13. Манохин А.Н. Алгоритм DW для распознавания образов: Пакет прикладных программ ОТЭКС. - Новосибирск: изд-во Новосибирского государственного университета, 1981.- С.3-30.

14. Развитие технологии детализированного численного краткосрочного прогноза явлений погоды, включая опасные, по территории Урало-Сибирского региона. Разработка физико-статистических методов и оперативной технологии прогноза максимальных порывов ветра в опасной категории ($\geq 15\text{ м/с}$) и туманов на 1-3 суток по территории Урало-Сибирского региона на базе постпроцессинга модельных гидродинамических расчетных полей метеоэлементов: Отчет о НИР (промежут.)/ФГБУ «СибНИГМИ»; шифр темы 1.2.1; рук. Здерева М.Я. - Новосибирск, 2022. - 87 с. - Рег. № НИОКТР АААА-А20-120031090026-0. - Рег. № ИКРБС 222120500017-6.

15. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов: РД 52.27.284 -91:Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 149с.