

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»)



Методические рекомендации
по использованию метода и технологии краткосрочного
прогнозирования гололеда на территории Урало-Сибирского региона
по теме:

РАЗВИТЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛИЗИРОВАННОГО ЧИСЛЕННОГО
КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ,
ЭЛЕМЕНТОВ И ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, ВКЛЮЧАЯ ОПАСНЫЕ,
ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

Тема 1.1.9.1 п.1

Ответственный исполнитель:

в.н.с. ФГБУ «СибНИГМИ»

К.г.н. М.Я. Здерева

Новосибирск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ПОДГОТОВКА БАЗОВЫХ ДАННЫХ.....	4
1.1 Предикторы.....	4
1.2 Выборка предиктанта	6
2 МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА ГОЛОЛЕДА.....	10
2.1 Методический подход.....	10
2.2 Авторская оценка прогнозов на независимом материале	11
2.3 Технологические блоки прогнозов.....	14
3 ПРОВЕДЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ	14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1-Перечень центральных пунктов в секторе радиусом 200 км.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Метод и технология прогноза гололедных явлений являются одним из результатов работ по теме НИР «Развить технологии детализированного численного краткосрочного прогноза метеорологических параметров, элементов и явлений погоды, включая опасные, по территории Сибири» (2017-19гг.).

Гололед - очень опасное метеорологическое явление, поскольку покрывает все поверхности на определенной территории, и защититься от этого невозможно, только частично снизить ущерб при быстром реагировании. Для Урало-Сибирского региона это весьма редкое явление (за исключением районов с наветренной стороны Уральских гор), требующее тонкого сочетания термодинамических условий в нижних слоях атмосферы.

Исследования метеорологических условий образования гололеда на Урале и юго-востоке Западной Сибири проводились в 60-70-х годах двадцатого столетия. Были описаны необходимые условия для образования гололеда:

- переохлажденный дождь, морось, туман или низкая слоистая облачность;
- слои инверсии в пограничном слое атмосферы;
- сочетание температуры воздуха у земли (от 0,5 до -3°C) и на уровне АТ-850 (от -5 до $+5^{\circ}\text{C}$);
- температура воздуха на нижней границе первого слоя инверсии от $-0,5$ до -8°C ;
- суммарный дефицит точки росы в слое Земля - 850 гПа $\leq 3-5^{\circ}\text{C}$;
- очаг теплого воздуха на АТ-850гПа

Анализ такого сочетания условий при отсутствии надежных прогностических атмосферных полей в 60-х годах был весьма затруднителен. Тем не менее, разработанные в то время графические монограммы для прогноза гололеда и его интенсивности Р.А. Ягудиным [1] по сочетанию ожидаемой температуры воздуха у земли и высоты изотермы -10°C по фактической аэрологической диаграмме являются до сих пор руководством для оперативных подразделений гидрометслужбы. Такие условия могут создаваться в зоне теплого фронта, над вершиной теплого сектора активного циклона и даже в теплом секторе с моросью, поэтому различают фронтальный и внутримассовый гололед. Более подробный обзор современного состояния знаний о механизмах и условиях образования и выпадения переохлажденных капель, способов прогнозирования соответствующих типов осадков приведен в работе [2]. В предлагаемой разработке представлен первый опыт автоматизированной методики альтернативного прогноза гололеда для Урало-Сибирского региона.

1 ПОДГОТОВКА БАЗОВЫХ ДАННЫХ

1.1 Предикторы

Для построения решений данные выбраны за холодные периоды (с октября по апрель включительно) Рабочие матрицы для каждой станции имеют две выборки 2014-2017годы и 2018-2019. Первая используется для получения набора оптимальных решений по разработанному алгоритмическому механизму изменения глубины деревьев и начального списка предикторов, вторая – для выбора единственного лучшего решения по независимым данным [3].

В нашем случае в качестве признаков выступают выходные параметры гидродинамических моделей COSMO и GFS с целью получения адаптивных решений для каждой заблаговременности прогнозов. В разработанной технологии используются расчеты COSMO в 3С РВЦ с разрешением 13.2 км. Выходные поля глобальной модели GFS(NCEP) с разрешением 0.5*0.5 градусов скачиваются по ftp. Архивные выборки строятся для каждой метеостанции на каждый срок заблаговременности. Значения параметров выбираются в ближайшем к искомой метеостанции узле сетки. Набор признаков определяется физической или потенциально возможной связью с заданным предиктантом (явлением погоды). Всего вместе с расчетными и непосредственно модельными отобрано 39 потенциальных предикторов (таблица 1).

Таблица 1 - Параметры – предикторы для построения DW решений

№	Параметр	Описание параметра
1	Tsm850	температура смоченного термометра на уровне АТ-850 (в срок)
2	2Tsm850	температура смоченн. термометра на уровне АТ-850 (в срок+6ч)
3	T9-T0	вертикальный градиент температуры, АТ-925-2м (в срок)
4	2T9-T0	вертикальный градиент температуры, АТ-925-2м (в срок+6)
5	T8-T0	вертикальный градиент температуры, АТ-850-2м (в срок)
6	2T8-T0	вертикальный градиент температуры, АТ-850-2м (в срок+6)
7	RH0	относительная влажность на высоте 2м (в срок)
8	2RH0	относительная влажность на высоте 2м (в срок+6ч)
9	RH9	относительная влажность на уровне АТ-925 (в срок)
10	2RH9	относительная влажность на уровне АТ-925 (в срок+6ч)
11	UV0	скаляр вектора скорости на высоте 10м (в срок)
12	2UV0	скаляр вектора скорости на высоте 10м (в срок+6ч)
13	Tsm0	температура смоченного термометра на высоте 2м (в срок)
14	2Tsm0	температура смоченного термометра на высоте 2м (в срок+6ч)

Продолжение таблицы 1		
№	Параметр	Описание параметра
15	dTd0	дефицит точки росы на высоте 2м (в срок)
16	2dTd0	дефицит точки росы на высоте 2м (в срок+6ч)
17	dTd8	дефицит точки росы на уровне АТ-850 (в срок)
18	2dTd8	дефицит точки росы на уровне АТ-850 (в срок+6ч)
19	T(0)-T(-6)	тенденция температуры на высоте 2м (срок - (срок-6ч))
20	T(+6)-T(0)	тенденция температуры на высоте 2м ((срок+6ч) - срок)
21	T(+6)-T(-6)	тенденция температуры на высоте 2м ((срок+6ч) - (срок-6ч))
22	P(0)-P(-6)	тенденция давления, средний уровень моря (срок - (срок-6ч))
23	P(+6)-P(0)	тенденция давления, средний уровень моря ((срок+6ч) – срок)
24	H500-H925	вертикальный градиент геопотенциала, АТ500-АТ925 (в срок)
25	2H500-H925	вертикальный градиент геопотенциала, АТ500-АТ925 (в срок+6ч)
26	dH59(+6)-dH59(0)	тенденция вертикального градиента геопотенциала, АТ500-АТ925 ((срок+6ч) - (срок-6ч))
27	AP0n	осадки (в срок-6ч)
28	AP00	осадки (в срок)
29	AP+6	осадки (в срок+6ч)
30	AP0+00+6	сумма осадков за 12ч (в срок + (срок+6ч))
31	T2m	минимальная температура на высоте 2м (ночь)
32	T925	температура на уровне АТ-925 (в срок)
33	T850	температура на уровне АТ-850 (в срок)
34	Ts	температура поверхности почвы (в срок)
35	Ts(+6)-Ts(0)	тенденция температуры поверхности почвы ((срок+6ч) - срок)
36	min(T0+5)*10	смещенная минимальная температура на 2м (ночь)
37	min(T8-5)*10	смещенная минимальная температура на АТ-850 (ночь)
38	abs(T0+5)*10	модуль смещенной минимальной температуры на 2м (ночь)
39	abs(T8-5)*10	модуль смещенной минимальной температуры на АТ-850 (ночь)
Примечание – Параметры:Т – температура; Td – температура точки росы; Tsm - температура смоченного термометра; Ts - температура поверхности почвы; P – давление, AP – осадки, dTd - дефицит точки росы. Уровни: 0м, 2м, 950 гПа, 925 гПа, 850 гПа, 500 гПа		

1.2 Выборка предиктанта

Для формирования матрицы гололедных явлений выбраны данные за тот же архивный период 2014-2019 годов для каждой метеостанции (430) Урало-Сибирского региона. Для определения гололеда выбирались значения толщины гололедного отложения (группа 934RR) и явления из 7 группы, образующие гололед (Таблица 2).

Таблица 2 - Коды явлений погоды группа 7wwW1W2, код КН-01.

Кодовая цифра	Явления	Период наблюдений
24	морось, дождь замерзающие, образующие гололед	в последний час, но не в срок наблюдения
56	слабая морось, морось с дождем, образующая гололед	в срок наблюдения
57	умеренная или сильная морось, морось с дождем, образующая гололед	в срок наблюдения
66	слабый дождь, дождь со снегом, образующий гололед	в срок наблюдения
67	умеренный или сильный дождь, дождь со снегом, образующий гололед	в срок наблюдения

В процессе работы по теме при подготовке и первичном анализе имеющихся данных наблюдений (в коде КН-01) стало ясно, что с точки зрения потребителя фиксации только процесса образования гололеда на очень неравномерной сети станций недостаточно, а наблюдений на станциях за весьма актуальным для городов явлением гололедицы вообще нет по известным объективным причинам. В ходе исследования была разработана дополнительная типизация гололеда и гололедицы, в основе которой априорные потенциальные условия и динамика погоды, влияющие на образование, сохранение и ослабление указанных явлений. В таблице 3 представлена рабочая кодировка с расшифровкой и соответствующая отобранная за 2014-2017гг элементарная статистика по станциям Урала, Сибири и Якутии.

Из сокращенной интерпретации видно, что дополнительная типизация настроена на временную динамику погодных условий, определяющих ответную динамику "жизненного цикла" гололеда и гололедицы. Однако полученные архивы продемонстрировали очень сильный разброс обеспеченности по территории, поэтому

работу по типам гололеда и гололедицы необходимо продолжить с добавлением данных. А на оперативные испытания передается метод и технология прогноза непосредственно измеренного гололеда и наличия охлажденных осадков (код 1).

Таблица 3 - Частота кодов авторской типизации гололеда и гололедицы по погодным условиям по территории Урало-Сибирского региона и Якутии. Частоты по полусуткам за 4 года.

Код	Максимальное число случаев (индекс станции)	Среднее число случаев	Минимальное число случаев	Явление
1	175 (23912)	6	1	гололед (КН-01)
2	629 (30961)	66	2	гололедица сильная: жидкие/смешанные осадки + резкий переход через 0 ($t \leq -10/12\text{ч}$)
3	94 (23912)	3	3	гололед сохраняется: после кода 1, пока сроки снег $\leq 1\text{см}$, $t_n \leq -1\text{н}$, $t_d \leq -5$, (до +2-х суток)
4	699 (30961)	115	4	гололедица умеренная: жидкие/смешанные осадки + постепенный переход через 0 ($t < -7/24\text{ч}$)
5	57 (23912)	1	5	гололед скрытый: после кодов 1,3 лег снег $\leq 5\text{см}$ (до +1-х суток)
6	199 (23527)	47	6	гололедица местами: устойчивый снежный покров + оттепель + резкий переход через 0 ($t \leq -5/12\text{ч}$)
7	58 (28144)	13	7	гололедица местами: устойчивый снежный покров + солнце + $t_d \geq -5$ + $t_n < -5$
8	26 (23912)	1	8	гололед слабеет: после кодов 1,3,5 лег_снег $\geq 5\text{см}$ (до +2-х суток)
9	29 (23912)	1	9	гололед тает: после кодов 1,2,3 $t_n > 0$, $t_d > -5$, (до +1-х суток)
0	Ни одно условие не выполняется			

На рисунке 1 представлено распределение числа случаев гололеда по станциям территории за период 2014-17 гг. Видно, что на восточной и северо-восточной части данные по основному коду гололеда в основном отсутствуют. Данных о наличии явления нет на 225 метеостанциях, это больше половины территории. Вопрос о причинах этого остается открытым: не бывает гололеда или нет станков, если есть добросовестно ли передаются данные. Климатическая вероятность гололеда максимальна в Пермском крае, который расположен с наветренной стороны Уральских гор и подвержен замерзанию

охлажденных осадков. По суточному ходу: в дневное время явление чаще, но на небольшой процент.

Таким образом, для фиксации и прогнозирования гололеда как редкого явления существуют методические проблемы. Особые формы рельефа - перевалы, водоразделы на дорогах и наветренные склоны, которые усиливают и сохраняют условия для гололеда более длительное время, чем на равнинах. Наряду с пространственной изменчивостью существенный вклад в качество статистического распознавания гололеда вносит и временная изменчивость за счет скорости смещения синоптических объектов. Все это привело к усложнению алгоритма распознавания образов.

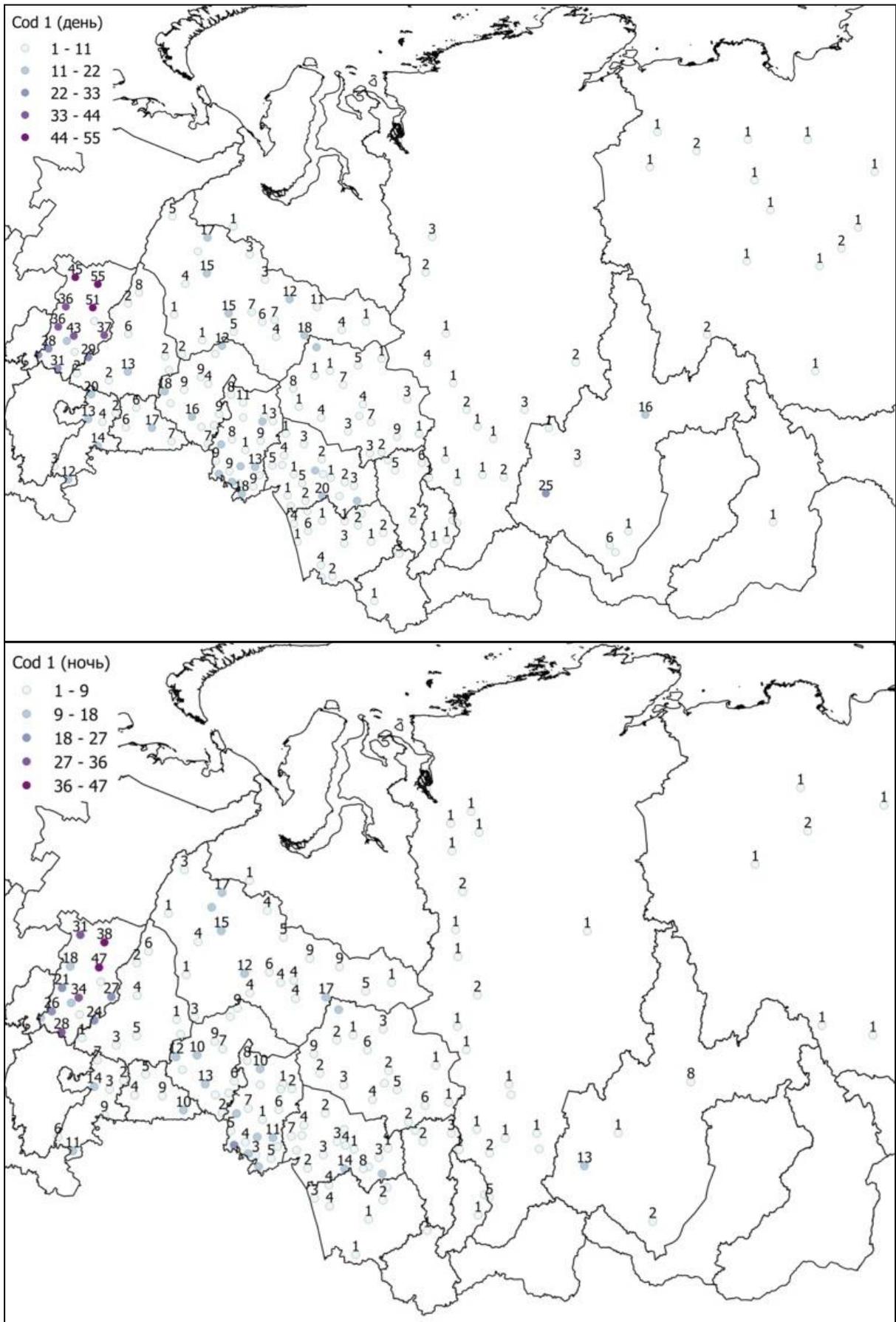


Рисунок 12-Распределение числа случаев с кодом=1 по территории региона.
Холодный период 2014-2017 гг.

2 МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА ГОЛОЛЕДА

2.1 Методический подход

В качестве базового алгоритма использована процедура распознавания образов путем построения логических бинарных деревьев, так называемый алгоритм DW [4-5], опыт работы с которым имеется в нескольких разработках СибНИГМИ [6]. Алгоритм построен на поиске признаков и их пороговых значений для оптимального разделения исходной выборки, содержащей архивные данные предикторов для двух классов (образов) - с наличием явления (1-й образ) и с отсутствием (2-й образ). В ходе исследования произведена дальнейшая модификация данного алгоритма с целью повышения устойчивости для решений с редкими явлениями [3]

Получены не одно, а ряд решений (до 45) для каждой метеостанции, с разной глубиной деревьев (с разным ограничением числа веток) и с разным списком предикторов, уменьшаемым с каждой итерацией относительно начального. Для относительной оценки качества полученных решений использованы критерии PRV и MPR – критерии баланса оправдываемости и предупрежденности явления (1,2)

$$PRV=0,5(pr1+vr1)-0,4(vr1-pr1), \text{ если } pr1 < vr1 - \text{ критерий баланса} \quad (1)$$

$$MPR= \min(pr1,pr2) - \text{ критерий минимальной предупрежденности наличия и отсутствия явления} \quad (2)$$

Произведено два шага отбора лучших решений: на первом по оценкам на зависимом материале отбираются 9 лучших; на втором – уже по оценкам на независимой выборке отбирается одно лучшее.

Описанная иерархическая структура алгоритма направлена на повышение устойчивости решений за счет исключения случайных или редких связей факторов с предиктантом и механизма сбалансированного критериального упрощения решений.

В ходе испытаний метода предполагается адаптировать решения к добавленным фактическим данным явления за 2020-2021 годы.

Кроме алгоритмических механизмов на различных этапах исследований и вычислительных экспериментов менялись подходы к формированию исходных выборок предикторов и предиктанта. Это определялось как частотными различиями (климат) предиктантов (гололед оказался самым редким из исследуемых явлений), так и надежностью получаемых связей. Поэтому деревья решений строились и по отдельным станциям, и по кластерам с радиусом 200км, и по территории региона в целом.

2.2 Авторская оценка прогнозов на независимом материале

Как показано выше, фактическая вероятность гололеда на большей части территории региона низкая, за исключением Пермского края. Поэтому в ходе исследования были проведены различные эксперименты по формированию предиктанта с целью повышения устойчивости решений. Для каждого варианта по методологии, описанной во втором разделе настоящего отчета, построены бинарные логические деревья решений. По построенным деревьям получены результаты восстановления гололеда по выборке холодного периода 2018 года и рассчитаны оценки согласно матрице сопряженности (Таблица 4)

Таблица 4 – Таблица сопряженности прогноз-факт

Прогноз	Факт		
	Да	Нет	
Да	k11	k12	k10
Нет	k21	k22	k20
	k01	k02	k00

Оценки успешности для альтернативных прогнозов согласно таблице 1:

$$pr1=k11/k01 - \text{предупрежденность наличия явления} \quad (2.1)$$

$$pr2=k22/k02 - \text{предупрежденность отсутствия явления} \quad (2.2)$$

$$vr1=k11/k10 - \text{оправдываемость прогнозов наличия явления} \quad (2.3)$$

$$vr2=k11/k10 - \text{оправдываемость прогнозов отсутствия явления} \quad (2.4)$$

$$vr=(k11+ k22)/k00 - \text{общая оправдываемость прогнозов} \quad (2.5)$$

$$LT=k12/k10 - \text{доля ложных предупреждений (тревог)} \quad (2.6)$$

$$TSS=k11/k01-k12/k02 - \text{критерий Пирси-Обухова} \quad (2.7)$$

$$PRV=0,5(pr1+vr1)-0,2(pr1-vr1), \text{ если } pr1 \geq vr1$$

$$PRV=0,5(pr1+vr1)-0,4(vr1-pr1), \text{ если } pr1 < vr1 - \text{критерий баланса} \quad (2.8)$$

$$MPR= \min(pr1,pr2) - \text{критерий минимальной предупрежденности} \quad (2.9)$$

Как следует из таблицы 5, прогнозы гололеда, рассчитанные по каждой (из 298) станции, показывают низкую успешность. При осреднении оценок по территории предупрежденность явления не превышает 55% при чрезвычайно большом количестве «ложных тревог», так что средняя оправдываемость явления не выше 3%. В связи с этим, был проверен следующий вариант: выборки по классам явление/без явления формируются

по всей территории с соответствующим каждому случаю набором предикторов. Видно (таблица 5), что этот вариант существенно повысил предупреденность (до 80%), но оправдываемость явления сохранилась низкой. Наилучшим оказался следующий вариант, в котором данные предиктанта сформированы по кластерам радиусом 200км. Число ложных тревог уменьшилось в 10 раз при сохранении предупреденности на уровне 78-80% в среднем по территории.

Последний вариант принят за окончательный. В таблице 6 приведены оценки для этого варианта, но для деревьев на базе разных моделей. Видно, что в среднем результаты сопоставимы, оценки примерно одного уровня. Если же проанализировать результаты по станциям, то преимущество по качеству прогнозов на разных базовых моделях варьирует, поэтому в окончательном варианте выбор базовой модели определен для каждой станции.

Таблица 5 - Сравнение оценок прогноза гололеда по разным вариантам решений. Модель GFS. Холодный период 2018 год.

DW –решения для каждой станции												
срок	K11	K12	K21	K22	K00	Vr1	Vr2	vr	Pr1	Pr2	MPR	TSS
00+06	132	4346	107	28955	33540	2,9	99,6	86,7	55,2	86,9	55,2	0,422
00+30	128	4774	113	28525	33540	2,6	99,6	85,4	53,1	85,7	53,1	0,388
00+54	133	4415	110	28624	33282	2,9	99,6	86,4	54,7	86,6	54,7	0,414
Одно DW -решение по 298 станциям												
00+06	201	5607	52	28200	34060	3,5	99,8	83,4	79,4	83,4	79,4	0,629
00+30	207	6045	48	27760	34060	3,3	99,8	82,1	81,2	82,1	81,2	0,633
00+54	210	5586	47	27951	33794	3,6	99,8	83,3	81,7	83,3	81,7	0,651
DW –решения по кластерам радиусом 200км												
00+06	758	1416	190	41301	43665	34,9	99,5	96,3	80,0	96,7	80,0	0,766
00+30	742	1196	222	41474	43634	38,3	99,5	96,8	77,0	97,2	77,0	0,742
00+54	820	1996	213	40472	43501	29,1	99,5	94,9	79,4	95,3	79,4	0,747

Таблица 6 - Таблица сопряженности и оценки прогнозов гололеда (код01) на независимом материале по DW-решениям на базе моделей COSMO и GFS. Холодный период 2018-2019

	k11	k12	k21	k22	k0	vr1+	vr2-	vr	pr1	pr2	MPR	TSS
COSMO												
00+06	1902	6836	1032	93419	103189	21,8	98,9	92,4	64,8	93,2	64,8	0,580
00+18	1645	7186	861	110065	119757	18,6	99,2	93,3	65,6	93,9	65,6	0,595
00+30	1859	7693	1123	93627	104302	19,5	98,8	91,5	62,3	92,4	62,3	0,547
00+42	1603	9646	925	108377	120551	14,3	99,2	91,2	63,4	91,8	63,4	0,552
00+54	1885	9398	1066	92795	105144	16,7	98,9	90,0	63,9	90,8	63,9	0,547
00+66	1662	11509	852	106760	120783	12,6	99,2	89,8	66,1	90,3	66,1	0,564
GFS												
00+06	1813	7228	1040	90552	100633	20,1	98,9	91,8	63,5	92,6	63,5	0,562
00+18	1582	6865	762	111457	120666	18,7	99,3	93,7	67,5	94,2	67,5	0,617
00+30	1854	8037	1027	89849	100767	18,7	98,9	91,0	64,4	91,8	64,4	0,561
00+42	1578	8155	834	110113	120680	16,2	99,2	92,6	65,4	93,1	65,4	0,585
00+54	1865	7969	1054	89084	99972	19,0	98,8	91,0	63,9	91,8	63,9	0,557
00+66	1644	7438	847	110261	120190	18,1	99,2	93,1	66,0	93,7	66,0	0,597

Анализ полученных прогностических деревьев показал, что повторяемость выбранных алгоритмом параметров:

- в целом отражает известную физику формирования условий в нижней атмосфере и у поверхности для образования гололеда;

- частотные списки лучших параметров для моделей COSMO и GFS, в основном, пересекаются для ночного срока 00+18ч (см. таблицу 2, номера параметров):

9-RH9, 36-min(T0+5), 38-abs(T0+5), 28-AP00, 15-dTd0, 3-T9-T0;

- для дневного срока 00+30ч списки существенно различаются:

15-dTd0, 28-AP00, 7-Td0 - у COSMO вместо 36-min(T0+5), 24-H500-H92 у GFS,

при частично совпадающих 38-abs(T0+5), 9-RH9, 3-T9-T0.

Для кодов расширенной типизации гололеда и гололедицы также были построены деревья решений, но прямая их проверка, к сожалению, невозможна, поскольку фактически прогнозируются условия погоды, для которых сформулированы ожидаемые, но не фиксируемые явления, в прогнозе которых заинтересованы потребители метеоинформации.

2.3 Технологические блоки прогнозов

Полученные DW-решения для всех явлений и программы восстановления по ним встроены в оперативную технологию производства краткосрочных прогнозов в ФГБУ «ЗС РВЦ» и в ФГБУ «СибНИГМИ».

Технология включает следующие блоки:

1. Производство расчетов по COSMO_RU_Sib13. Форматирование выходных данных, выбор базовых параметров в ближайших узлах по списку станций региона, расчет дополнительных параметров.
2. Скачивание выходной продукции модели GFS(NCEP). Форматирование выходных данных, выбор базовых параметров в ближайших узлах по списку станций региона, расчет дополнительных параметров.
3. Прогноз явлений по станциям и кластерам на 1-3 суток.
4. Формирование результатов в таблицы и передача их пользователям через интернет-ресурсы.
5. Архивирование фактических метеорологических параметров из SQL-базы КН-01.
6. Архивирование результатов расчетов прогнозов явлений.
7. Автоматизированный расчет оценок прогнозов по разработанному методу.

Для каждого блока подготовлено программное обеспечение с целью работы в оперативном режиме.

3 ПРОВЕДЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Как уже было отмечено выше, на оперативные испытания передается вариант расчетов для кластеров радиусом 200км. Для каждого управления гидрометслужбы региона определены реперные станции, для которых архивные выборки позволили получить решения для прогнозов гололеда. Список станций в Приложении 1.

Прогнозы рассчитываются в период октябрь-апрель по модельным данным от 00 и от 12 ВСВ на 12-72 часа вперед, то есть последний срок на третью ночь (от 00). Ежедневно в 04:10-04:30 и в 16:10-16:30 результаты в виде таблиц выкладываются на рабочий сервер <ftp://nsk.meteorf.ru/incoming/ICE/> в соответствующую папку: 00 или 12. Расчеты архивируются в папке OLD. В таблицах для станций, на которых по автоматизированному прогнозу ожидается гололедное явление, стоит символ «+» в соответствующем сроке

заблаговременности. Если по всей территории области/края на все сроки заблаговременности гололед не ожидается, то формируется сообщение

«В период 3.02 - 6.02 гололед не ожидается», что следует расценивать, как прогноз отсутствия явления. Если ожидаемая температура воздуха на уровне 2м превышает +5⁰С, то результат кодируется как «0» -нет условий для прогноза гололеда. В случае отсутствия базовых модельных данных код будет= «9». Если прогностическая температура воздуха на 2м выше +5⁰С на всех станциях и на все сроки заблаговременности формируется надпись: **«В период с..по.. прогноз не рассчитывается по метеоусловиям»**. В этом случае прогноз не входит в оценку.

!!! Результаты с кодом «0» и «9» - не подлежат оценке !!!, чтобы фиктивно не увеличивать выборку с отсутствием явления

По окончании календарного месяца будет производиться автоматизированный расчет матрицы сопряженности (Таблица 4) и базовых оценок (2.1-2.9) согласно Методическим указаниям [7] по каждой области/краю/округу. Дополнительно будет рассчитываться оправдываемость прогнозов опасных явлений по «Наставлению»[8], считая прогноз по каждому кластеру как «прогноз по территории местами».

Таблица 7 -Алгоритм оценки оправдываемости прогнозов гололеда по «Наставлению»[

прогноз	факт	оправдываемость
«местами» (+)	нет	75%
Нет (-)	Есть на отдельных станциях	$100-1/4*(n/N)*100\%$, где n- число станций с явлением в кластере N – число станций в кластере
Нет (-)	нет	100%
«местами»(+)	Есть хотя бы на одной	100%

При этом за факт наличия явления будут приниматься отмеченные явления в срок и между сроками в кодах КН-01 из Таблицы 2 и значения диаметра отложений >0 в группе **934RR**.

Для сравнения результатов методических и оперативных синоптических прогнозов необходимо привлекать идентичные данные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного исследования получены следующие результаты:

1. В основе прогностических методов лежит уже используемый в предыдущих разработках DW алгоритм построения логических бинарных деревьев разделения образов. Продолжена работа над оптимизацией данного алгоритма, направленная на повышение устойчивости решений за счет исключения случайных или редких связей факторов с предиктантом. Апробированы новые варианты сбалансированного критериального упрощения решений.
2. Разработана типизация гололедных явлений по приземным метеорологическим условиям их образования и продолжительности, всего 9 типов. Для каждого типа рассмотрена обеспеченность на архивной выборке 2014-17 годов и распределение по территории.
3. Для выборки предиктантов использованы данные КН-01 по 430 метеостанциям Урало-Сибирского региона за период 2014-2019 годы. За синхронный период создан архив признаков (предикторов), включающий 39 параметров, выбранных и рассчитанных по выходным полям гидродинамических моделей атмосферы. В качестве базовых моделей использованы COSMO (модификация Ru_Sib13) с разрешением 13.2км и GFS(NCEP) с разрешением $0,5^0*0,5^0$. Результаты первой рассчитываются в ЗапСибРВЦ в оперативном режиме, второй – скачиваются с сервера NCEP по ftp-протоколу.
4. Оценки прогнозов гололеда на выборке 2018-2019гг., не участвующей в обучении, но являющейся решающей при отборе лучших решений показали сопоставимость результатов по обеим базовым моделям. В среднем по территории предупрежденность явления находится на уровне 63-66% на все сроки прогноза. Вероятность явления по модели COSMO снижается к третьей ночи на 9 % от первых +6 часов, достигая 12,5%. По модели GFS на все сроки вероятность на уровне 18-20%. Средняя оправдываемость прогнозов около 90-93%, и критерий Пирси-Обухова 0,55-0,60 независимо от базовой продукции.

Работа выполнена на современном уровне с использованием выходной продукции актуальных оперативных моделей. К плюсам можно отнести и использование двух моделей различных научных школ для сравнения и оценки их применимости к условиям

самого резко-континентального климата на планете, для которого они вряд ли специально адаптировались.

Значительную часть работы содержит специальная подготовка и обработка входных данных для целевых задач. Авторы почти не использовали готовых стандартных алгоритмов и программ, поскольку предиктанты слишком неоднородны и даже трудноформализуемы для машинной обработки. К тому же в процессе разработки методики и алгоритмов зачастую рождается понимание границ возможного после экспериментирования с самими входными данными, а не только с алгоритмами построения решений.

Выполненная работа включает как законченные разделы, доведенные до готовых к передаче на оперативные испытания программ усвоения оперативных данных и полностью автоматизированных расчетов прогнозов, так и открывает новое направление исследований (гололедица), для внедрения результатов которого нормативные документы пока не готовы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ягудин Р.А. Рекомендации к прогнозу гололеда на юго-востоке Западной Сибири// Труды «ЗСРНИГМИ». - М.:Гидрометеиздат.-1977.-Вып.30.-С.68-69.
2. . Шакина Н.П, Хоменко И.А, Иванова А.Р, Скриптунова Е.Н. Образование и прогнозирование замерзающих осадков: обзор литературы и некоторые новые результаты// Труды Гидрометцентра России, выпуск 348 "Гидрометеорологические прогнозы", 2012 г..-С.1-27
3. Развить технологии детализированного численного краткосрочного прогноза метеорологических параметров, элементов и явлений погоды, включая опасные, по территории Сибири //Отчет НИР (заключительный) СибНИГМИ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; руководитель Здерева М.Я. – тема 1.1.9.1 п.1; №ГР АААА-А17-117022250099-8; ИКРБС АААА-Б19-219121790066-0; Новосибирск, 2019.-56с. НИОКТР
4. 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.
5. Манохин А.Н. Алгоритм DW для распознавания образов: Пакет прикладных программ ОТЭКС.-Новосибирск: изд-во Новосибирского государственного университета, 1981.-С.3-30.
6. Здерева М.Я., Токарев В.М. Хлучина Н.А. Воробьева Л.П., Бабошина Н.А. Оперативная технология прогноза гроз в Сибири и результаты её испытаний // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, №2(368) М.-2018.С. 27-43.
7. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов: РД 52.27.284 -91:Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 149с.
8. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения: РД 52.27.724: М: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019.-66с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 -Перечень центральных пунктов в секторе радиусом 200 км

Субъект, индекс станции	Центр кластера	Число станций
СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ		
23921	ИВДЕЛЬ	5
28049	ГАРИ	9
28240	НИЖНИЙ ТАГИЛ	20
28264	ТАВДА	6
28434	КРАСНОУФИМСК	19
28449	КАМЕНСК-УРАЛЬСКИЙ	24
КУРГАНСКАЯ ОБЛАСТЬ		
28552	ШАДРИНСК	18
28655	ШУМИХА	13
28666	МАКУШИНО	6
ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ		
28639	КАТАВ-ИВАНОВСК	9
28645	ЧЕЛЯБИНСК	18
28647	МИАСС	16
28549	БРОДОКАЛМАК	19
28748	ТРОИЦК	14
28838	МАГНИТОГОРСК	8
ПЕРМСКИЙ КРАЙ		
23914	ЧЕРДЫНЬ	9
28138	БИСЕР	16
28216	ВЕРЕЩАГИНО	13
28319	НОЖОВКА	10
28326	КУНГУР	20
28428	ЧЕРНУШКА	13
ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ		
23966	ВАНЖИЛЬ-КЫНАК	3
29111	СРЕДНИЙ ВАСЮГАН	8
29128	ПАРАБЕЛЬ	11
29154	УСТЬ-ОЗЕРНОЕ	10
29231	КОЛПАШЕВО	9
29328	БАКЧАР	9
29430	ТОМСК	14
НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ		
29405	КЫШТОВКА	13

29508	ВЕНГЕРОВО	12
29613	УБИНСКОЕ	14
29636	ТОГУЧИН	21
29637	УЧЕБНАЯ ГМС	16
29702	ЧИСТООЗЕРНОЕ	14
29726	ОРДЫНСКОЕ	22
29736	МАСЛЯНИНО	23
КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ		
29551	МАРИИНСК	12
29645	КЕМЕРОВО	16
29649	КРАПИВИНО	14
29846	НОВОКУЗНЕЦК_АМСГ	12
29954	ТАШТАГОЛ	12
РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ		
36055	КЫЗЫЛ-ОЗЕК	12
36064	ЯЙЛЮ	9
36231	ОНГУДАЙ	8
АЛТАЙСКИЙ КРАЙ		
29827	БАЕВО	14
29836	ЗАРИНСК	14
29916	БЛАГОВЕЩЕНКА	12
28838	БАРНАУЛ	19
29923	РЕБРИХА	14
29939	БИЙСК_ЗОНАЛЬНАЯ	13
36022	ВОЛЧИХА	12
36034	РУБЦОВСК	8
36038	ЗМЕИНОГОРСК	9
36046	БЕЛОКУРИХА	12
ХМАО и ЯНАО		
23330	САЛЕХАРД	3
23527	САРАН-ПАУЛЬ	4
23629	ИГРИМ	5
23635	ЮИЛЬСК	2
23724	НЯКСИМВОЛЬ	2
23748	КОГАЛЫМ	7
23823	ВОНЬЕГАН	5
23849	СУРГУТ	5
23867	ЛАРЬЯК	4
23929	ШАИМ	4
23933	ХАНТЫ-МАНСИЙСК	6
ОМСКАЯ ОБЛАСТЬ		
28383	ТЕВРИЗ	8
29401	СЕДЕЛЬНИКОВО	10
28593	БОЛЬШЕРЕЧЬЕ	13
28688	ИСИЛЬКУЛЬ	13

29701	ЛЮБИМОВКА	18
28698	ОМСК	13
28798	ПАВЛОГРАДКА	10
ТЮМЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ		
28573	ИШИМ	8
28275	ТОБОЛЬСК	11
28172	УВАТ	7
28367	ТЮМЕНЬ	9
КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ		
23987	ЯРЦЕВО	7
29253	ЛОСИНОБОРСКОЕ	8
29374	КАЗАЧИНСКОЕ	7
29481	ДЗЕРЖИНСКОЕ	18
29580	СОЛЯНКА	15
29662	БАЛАХТА	28
29766	ИДРИНСКОЕ.	25
36091	НИЖНЕУСИНСКОЕ	14
29756	ШИРА	21
29862	АБАКАН	12
29956	ТАШТЫП	20
36074	БОЛЬШОЙ ОН	16