

*Е.А. Адаренко¹, Г.А. Шепоренко²,
М.Я. Здерева³, В.М. Токарев³, Н.А. Хлучина³, Л.П. Воробьева³*

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ГРОЗ В УРАЛО-СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 60 ЧАСОВ

¹Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Омск;

²Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Екатеринбург;

³Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск

В рамках выполнения темы 1.1.1.2. плана НИР Росгидромета на 2014–2016 годы в ФГБУ «СибНИГМИ» разработан метод и автоматизированная технология прогноза гроз (авторы – М.Я. Здерева, В.М. Токарев). Метод основан на физико-статистической интерпретации модельной продукции мезомасштабной модели COSMO-Ru_Sib13 с шагом 13,2 км и глобальной модели GFS (NCEP) с шагом 0,5° сетки. Выходные параметры моделей, отвечающие за температурно-влажностную конвекцию и отражающие неустойчивость/устойчивость атмосферных слоев, служат признаками, на базе которых построены бинарные логические деревья распознавания гроз [1, 2]. Решения построены для каждой метеостанции Урало-Сибирского региона на каждый срок заблаговременности до трех суток с шагом по времени 6 и 12 часов. Для локальных явлений конвективного характера указать с приемлемой достоверностью точку возникновения с заблаговременностью больше, чем несколько часов, невозможно, так как они «проваливаются» даже в наблюдениях. Поэтому помимо «деревьев» распознавания по станциям (радиус наблюдения примерно 10 км), получено несколько вариантов по кластерам с радиусами 50, 100, 150 км.

В 2017 г. технология прошла оперативные испытания в ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Решением Технического совета, подтвержденным Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 01.12.2017 г., технология получила статус для использования в качестве основного расчетного метода на сроки до двух суток.

С дополнением обучающих выборок данными 2017–2018 гг. были обновлены бинарные «деревья» для прогноза гроз и переданы на оперативные испытания в ФГБУ «Уральское УГМС» и «Обь-Иртышское УГМС». Ежедневно в оперативном режиме расчеты производились в Западно-Сибирском региональном вычислительном центре по разработанной технологии. Результаты в виде таблиц выкладывались на сервере ftp://nsk.meteorf.ru/incoming/THUNDER/ и на сайте ФГБУ «СибНИГМИ» http://sibnigmi.ru/cgi-bin/inst/ в разделе «Продукция» (рис. 1).

В технологию встроены расчеты автоматизированной оценки прогнозов, для которой используются данные фактических наблюдений по грозам по станциям региона, поступающие по каналам связи в коде КН-01.

The screenshot shows the website of the Siberian Regional Scientific and Research Hydrometeorological Institute (Sibnigmi). The page displays a lightning forecast for the Ural region on August 10, 2021. The forecast is presented in a table format, showing the probability of lightning strikes at various stations within a 100 km radius. The table includes columns for station number, name, and time intervals (day and night). The forecast indicates a high probability of lightning strikes at several stations, including Taborsky, Turinsky, and Artyukovskiy.

СВЕРДЛОВСКАЯ обл	
Прогноз по станциям и в радиусе 100км на 10.08 - 12.08	
10.08 : 11.08 : 12.08 :	
00-12: 12-24 24-36 : 36-48 48-60 :	
№ индекс	день : ночь день : ночь день :
7 28158	ТАБОРСКИЙ..... +/- +/- -/- -/+ -/-
9 28255	ТУРИНСКИЙ..... -/+ -/- -/+ -/- -/-
10 28264	ТАБОРСКИЙ..... -/+ -/- -/+ -/- -/-
12 28346	АРТЕКУОВСКИЙ..... +/- +/- +/- +/- -/-
13 28359	ТУГУЛЬМЫН..... 0/+ -/- -/+ -/- -/-
16 28449	КАМЕНСК-УРАЛЬСКИЙ +/- -/- -/- -/- -/-

Примечание: прогноз на станции/в радиусе 100 км
 "+/-" - отсутствие гроз "+*" - наличие гроз "0" - нет расчета

Рис. 1. Пример таблицы прогнозов гроз на сайте ФГБУ «СибНИГМИ».

1. Результаты испытаний технологии по территории ответственности ФГБУ «Уральское УГМС»

В ФГБУ «Уральское УГМС» испытания проводились в отделе метеопрогнозов Гидрометцентра в период май – сентябрь 2019 г. в соответствии с утвержденной программой. Автоматизированные прогнозы составлялись по 33 пунктам территории Свердловской, Курганской, Челябинской областей и Пермского края.

Оценке подлежали расчеты по утреннему сроку 00 ч ВСВ. Согласно программе испытаний, оценка прогноза гроз по территории (областям, краю) проводилась в радиусе 100 км ($R=100$), а также по конкретному пункту ($R=0$) с заблаговременностью 12–60 часов.

Испытания проводились согласно Методическим указаниям [3] и Наставлению [4].

Автоматизированная оценка проведена для более 10 тысяч прогнозов по пункту и для такого же числа прогнозов в кластере 100 км. Количество случаев грозы в четырех областях Урала составило 192 ночью и 238 в дневное время.

На рис. 2 представлены основные оценки испытываемого прогностического метода по областям, которые рассчитываются по таблице сопряженности:

– предупрежденность явления: $P_y = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100\%$;

– оправдываемость явления: $O_y = \frac{k_{11}}{k_{10}} \cdot 100\%$;

– общая оправдываемость прогнозов: $O_p = \frac{k_{11} + k_{22}}{k_{00}} \cdot 100\%$;

– критерий Пирси-Обухова: $T_p = \frac{k_{11}}{k_{01}} - \frac{k_{12}}{k_{02}}$.

По таблице сопряженности рассчитываются оценки испытываемого прогностического метода, представленные ниже в табл. 1:

– оправдываемость случаев без явления: $O_n = \frac{k_{22}}{k_{20}} \cdot 100\%$;

– предупрежденность случаев без явления: $P_n = \frac{k_{22}}{k_{02}} \cdot 100\%$;

Отметим, что средняя оценка считается из суммарной матрицы сопряженности по всем станциям в области за весь период, то есть с учетом попадания прогноза на каждую точку. Оценка прогнозов по территории по Наставлению [4], акцентированная на наличие/отсутствие явления независимо от точки его обнаружения, не производилась.

Видно, что общая оправдываемость прогнозов по площади с радиусом 100 км примерно одинакова – в районе 80%, по пунктам она выше в среднем на 2–4% (в основном за счет меньшего числа «ложных тревог»), а предупрежденность и оправдываемость прогнозов наличия явления тем выше, чем больше радиус кластера. Неустойчивость в оценках для Курганской области объясняется малым числом метеостанций (всего 4) и, соответственно, малым числом отмеченных гроз на ее территории.

На остальной части территории виден суточный ход в оценках, с уменьшением качества прогнозов в дневное время. Оправдываемость прогноза отсутствия гроз высока, 91–99 %, тогда как оправдываемость прогноза наличия гроз значительно ниже (17–54 %), т. е. методические прогнозы склонны преувеличивать вероятность возникновения грозы, что характерно для расчетных методов. Критерии успешности прогнозов Пирси-Обухова в большинстве случаев удовлетворяют требованиям Методических указаний [3] и находятся в пределах 0,26–0,66.

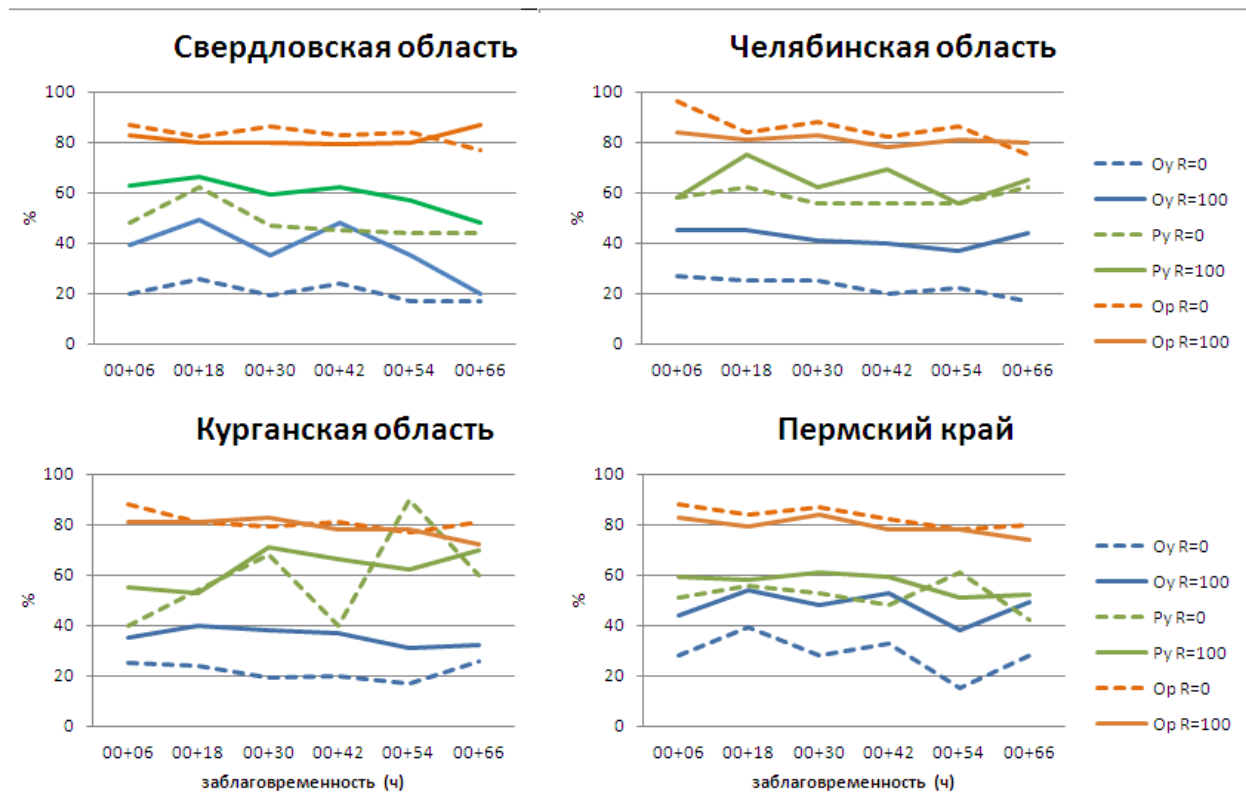


Рис. 2. Оценки прогнозов гроз по областям Уральского региона за период май–сентябрь 2019 г. для пункта ($R=0$) и в радиусе 100 км ($R=100$).

По пунктам ($R=0$) число отмеченных гроз было незначительным: на период ближайшая ночь – завтрашний день больше всего случаев было в Перми (ночь–день, 14–16 случаев соответственно), в Кургане 9–14, в Екатеринбурге, Челябинске по 8–9 случаев. Недостаточность случаев грозы опять же отражалась на неустойчивости в оценках. Так, прогноз по Кургану ($R=0$) показал предупреденность гроз на период +42 ч – 8 %, тогда как смежные заблаговременности прогноза оправдались лучше: +30ч – 81 %, +54ч – 67 %. В целом предупреденность возникновения гроз составила 47–71 % при высокой оправдываемости прогнозов их отсутствия – 88–100 %.

Для сравнения проведена оценка синоптических прогнозов на период 24–36 часов по пунктам (столицам областей) при $R=0$ (рис. 3). Методический прогноз в испытываемом периоде имел преимущество главным образом по предупредительности гроз (от 4 до 40 %), что сказалось и на более высоких оценках критерия Пирси-Обухова. Исключение составили прогнозы на день для Екатеринбурга, где метод предсказал лишь две грозы, а синоптики – пять из девяти наблюдаемых. Общая оправдываемость синоптических и методических прогнозов близка: 87–91 % на ночь, 79–85 % на день.

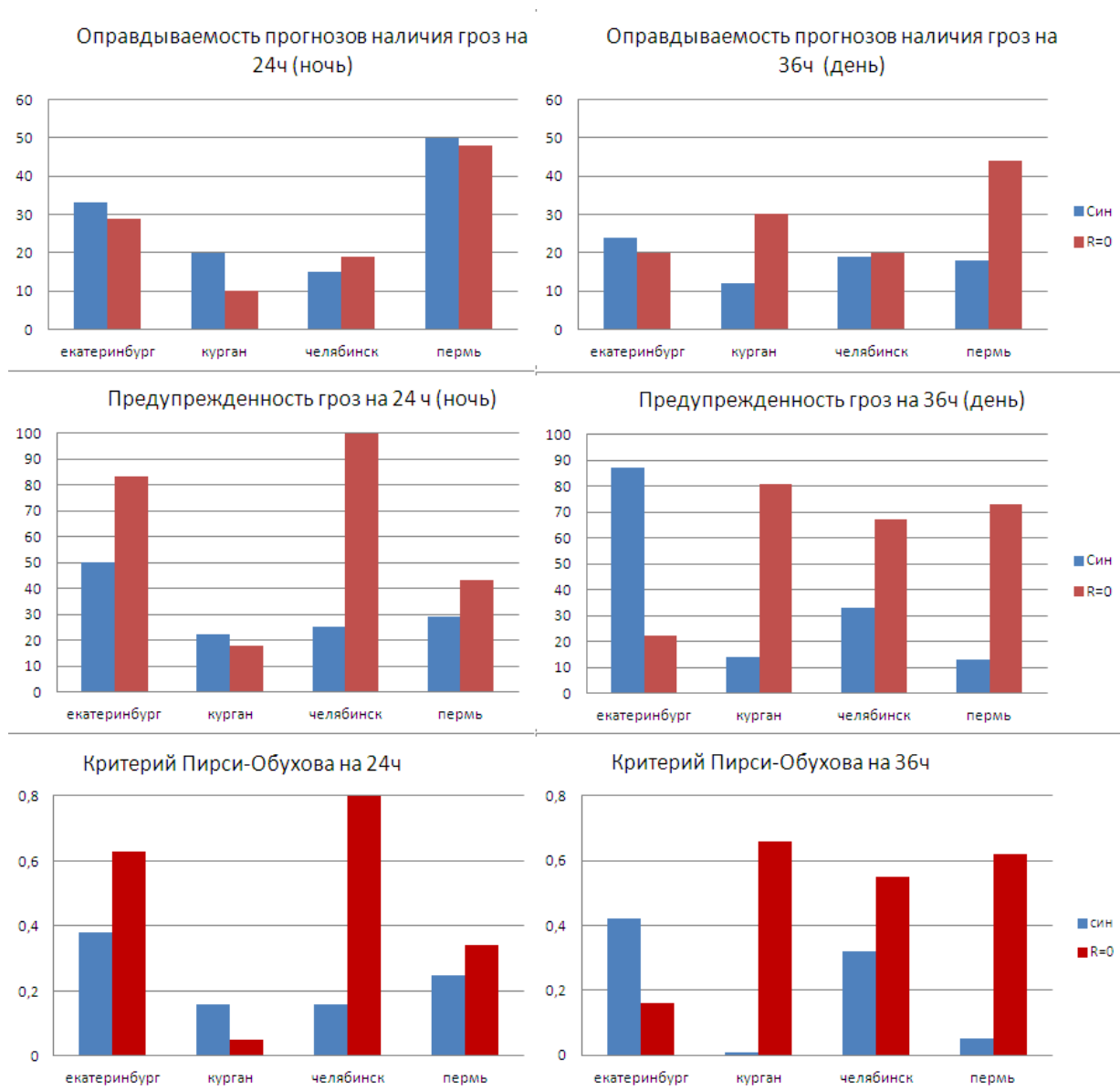


Рис. 3. Сравнение оценок оперативных (Син - синоптик) и автоматизированных методических прогнозов гроз по пунктам ($R=0$) ФГБУ «Уральское УГМС», май–сентябрь 2019 г.

Были рассмотрены барические поля АТ-500, давления на уровне моря и ОТ500–1000, а также в некоторых случаях термическое поле на АТ-850 гПа в периоды

развития грозовой деятельности. Анализ синоптических процессов в дни с грозами и результатов расчетов гроз показывает, что испытываемый метод достоверно отражает процессы в атмосфере, ведущие к развитию грозовой деятельности.

2 Результаты испытаний технологии по территории ответственности ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС»

Автоматизированные прогнозы гроз оценивались ежедневно в оперативном режиме, результаты представлены по каждой станции Омской области (20 станций), югу Тюменской области (12 станций), Ханты-Мансийскому АО (27 станций).

На рис. 4 приведены основные показатели успешности прогнозов по территории Омской области, югу Тюменской области и Ханты-Мансийскому АО. При этом так же, как по территории Урала, в расчетах средних оценок по территории учитывается факт попадания/не попадания на каждую метеостанцию в рассматриваемой области, то есть это более строгие оценки, чем принятые в оперативной практике.

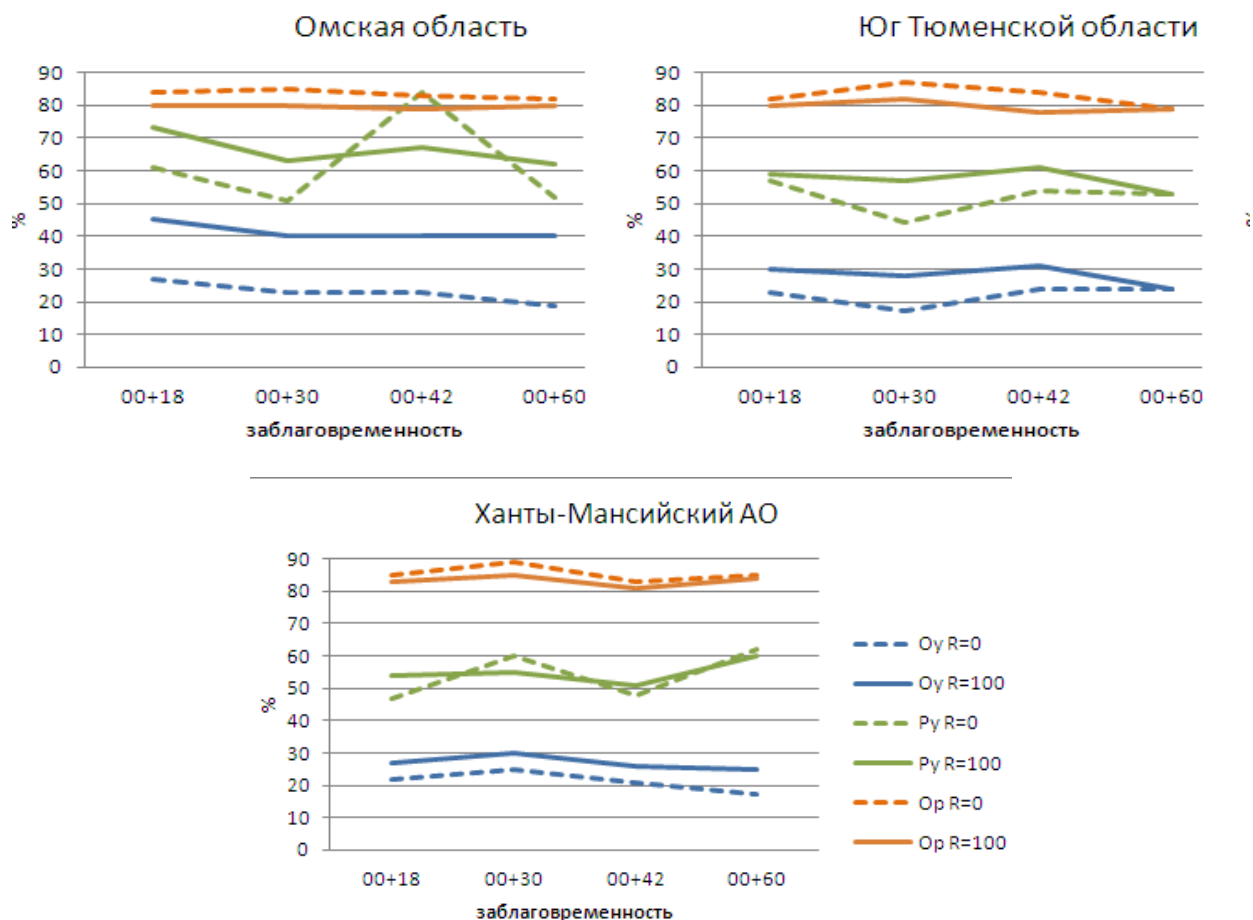


Рис. 4. Оценки прогнозов гроз по областям ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС», май – сентябрь 2019 г.

Средняя общая оправдываемость по всей территории была получена в районе 80-90%, оправдываемость отсутствия явления – 92–98 %. В целом оценки по югу Тюменской области и по территории Ханты-Мансийского округа близки, а по Омской области оправдываемость явления выше на 8–12 %, предупрежденность – на 8–20 %.

Автоматизированная оценка качества методических прогнозов гроз на 1–2 суток для административных центров (Омск, Тюмень, Ханты-Мансийск) для кластеров 100 км (R=100) за период май – сентябрь 2019 г. приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Средние показатели методического прогноза гроз по центральным городам
ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС». Вариант R=100 км, май–сентябрь 2019 г.**

Заблаговременность, ч	Таблица сопряженности					Оценки прогнозов гроз					
	k_{11}	k_{12}	k_{21}	k_{22}	k_{00}	Oy	On	Py	Pn	Op	Tr
Омск											
12–24	24	21	8	93	146	53	92	75	82	80	0,57
24–36	17	16	8	101	142	52	93	68	86	83	0,54
36–48	21	17	11	93	142	55	89	66	85	80	0,5
48–60	14	23	10	89	136	38	90	58	79	76	0,38
Тюмень											
12–24	14	24	7	93	138	37	93	67	79	78	0,67
24–36	10	22	7	101	140	31	94	59	82	79	0,59
36–48	12	29	8	81	130	29	91	60	74	72	0,6
48–60	12	23	4	96	135	34	96	75	81	80	0,75
Ханты-Мансийск											
12–24	6	13	4	111	134	32	97	60	90	87	0,5
24–36	5	15	4	110	134	25	96	56	88	86	0,43
36–48	6	15	4	96	121	29	96	60	86	84	0,46
48–60	6	38	3	82	129	14	96	67	68	68	0,35

Общая оправдываемость прогнозов гроз по полусуткам по всем центрам изменяется в пределах 68–87 %, наиболее низкая по Тюмени –72–80 %. Оправдываемость прогнозов с наличием явления наиболее высокая для Омска – 52–55 % на первые сутки и 38 % на второй день; по Тюмени она уже в районе 30 % на все сроки, самая низкая по Ханты-Мансийску на дневные сроки – 14–25 %. Оправдываемость отсутствия явления – 89–96 %. Предупрежденность явления изменяется от 56 до 75 %, случаев без явлений – от 76 до 85 %.

Проведен сравнительный анализ методических прогнозов гроз с оперативными прогнозами, составленными синоптиками по трем административным центрам (Омск,

Тюмень, Ханты-Мансийск) в радиусе 0 км (гроза на станции). Автоматизированная оценка качества методических прогнозов для пунктов (в радиусе 0 км) была выполнена для 1654 случаев. Суммарное число случаев с грозой составило 114, из них в ночные часы – 71, в дневные часы – 43. По станциям: Омск – ночью 26, днем 20; Тюмень – ночью 29, днем 13; Ханты-Мансийск – ночью 16, днем 10 случаев.

За период испытания гроза прогнозировалась и наблюдалась по Омску в 21 случае, Тюмени – в 22, Ханты-Мансийску – в 14 случаев, что по Омску и Тюмени на 11 случаев меньше, чем у синоптиков ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС», по Ханты-Мансийску – на 4 случая меньше.

Число «ложных тревог» по методическому автоматизированному методу превышает на 15–16 % их количество в оперативных прогнозах. Следует отметить, что «пропуск цели» по Омску примерно одинаковый, а по остальным пунктам предупреденность явления у автоматизированного метода выше: так, по Ханты-Мансийску выше на 48 %.

Общая оправдываемость прогнозов грозы для полусуток по испытываемому методу составила 79–86 %, что на 4–8 % ниже уровня оправдываемости оперативных прогнозов (83–91 %) (рис. 5).

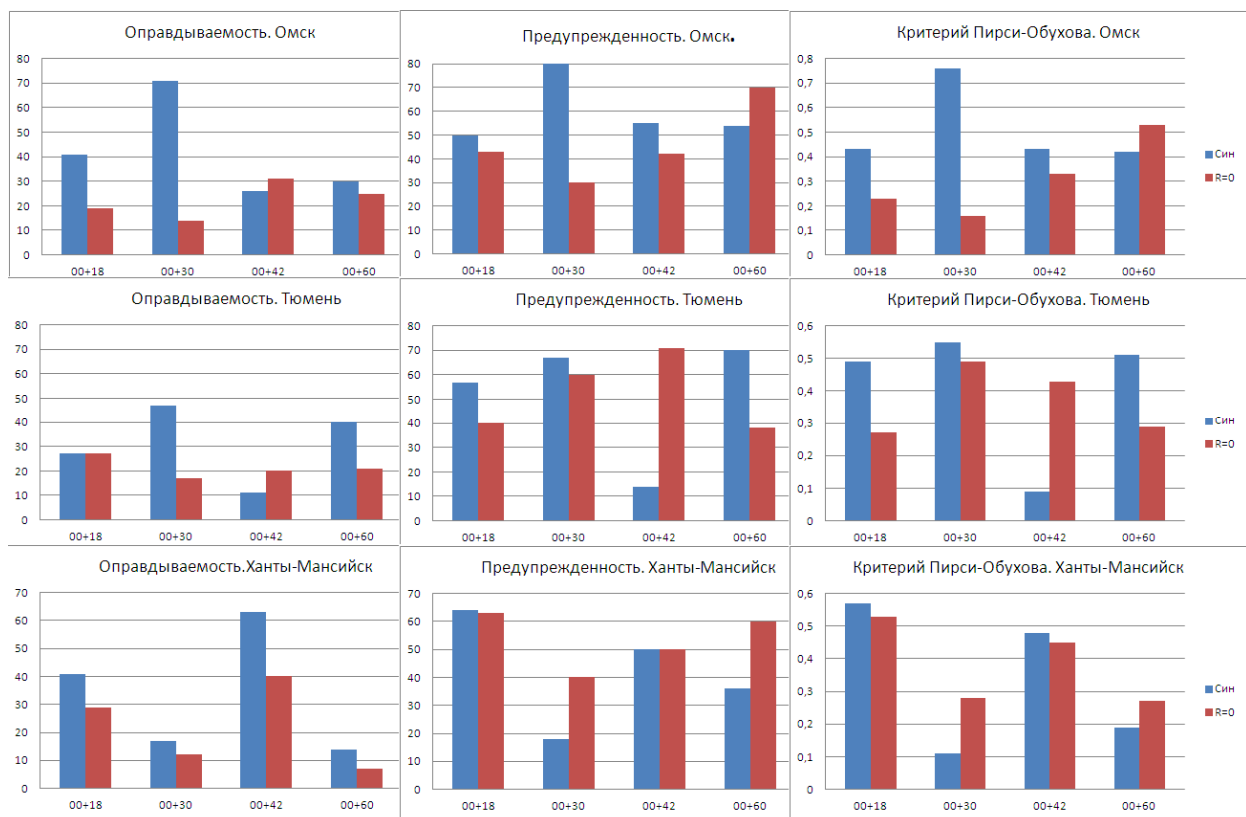


Рис. 5. Сравнение оценок оперативных (Син) и методических автоматизированных прогнозов гроз по пунктам (R=0) ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС», май–сентябрь 2019 г.

Оправдываемость прогнозов наличия грозы по методу в целом уступала оперативным прогнозам на 3–31 %, причем наиболее значительный разрыв отмечен при прогнозе на день первых суток (00+30) по Омску – на 57 %. Предупрежденность грозы по испытываемому методу на первые сутки составила 43–49 %, что на 8–12 % ниже уровня предупрежденности синоптических прогнозов, на вторые сутки составила 54–56 %, что на 3–14 % выше уровня синоптических прогнозов. Следует отметить, что наилучшая предупрежденность грозы испытываемого метода по Омску – 70 % на день вторых суток, по Тюмени – 71 % на ночь вторых суток и по Ханты-Мансийску 40–60 % на день первых и вторых суток.

Выводы

Испытываемая автоматизированная технология прогноза гроз по пунктам и кластерам, созданная на основе физико-статистической интерпретации современных гидродинамических моделей COSMO и GFS (NCEP), предоставляет синоптикам Урало-Сибирского региона объективную основу прогнозирования неблагоприятного конвективного явления погоды с возможностью пространственно-временной детализации с некоторой вероятностью до двух суток.

Большинство показателей успешности метода удовлетворительные, а в части прогноза отсутствия явления – хорошие. По территории Урала сравнительные оценки показывают, что качество автоматизированного метода в основном не уступает оперативным прогнозам, а в отдельных областях превосходит их. Для Тюмени оценки сравнимы, для Ханты-Мансийска предупрежденность гроз по испытываемой технологии выше на ночные сроки, для Омска лучше прогнозы синоптиков, но на день вторых суток предупрежденность у автоматизированного метода была выше.

По решению Технического совета ФГБУ «Уральское УГМС» от 28.11.2019 г. разработанный автоматизированный метод прогноза гроз рекомендовано внедрить в оперативную практику ФГБУ «Уральское УГМС» в качестве основного расчетного.

По решению Технического совета ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» от 26.11.2019 г. разработанный автоматизированный метод прогноза гроз рекомендовано внедрить в оперативную практику ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в качестве вспомогательного метода.

ЦМКП Росгидромета рекомендовала:

– внедрить метод и технологию прогноза гроз на 1–2 суток в ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» по территории Омской области, юга Тюменской области и Ханты-Мансийскому АО в качестве вспомогательного начиная с теплого периода 2021 г.;

– внедрить метод и технологию прогноза гроз на 1–2 суток в ФГБУ «Уральское УГМС» по территории Свердловской, Челябинской, Курганской областей, Пермского края в качестве основного расчетного начиная с теплого периода 2021 г.;

– продолжить совершенствование метода краткосрочного прогноза гроз с использованием современных технологий дистанционного зондирования (ДМРЛ, грозопеленгация, спутниковая информация) как для внедрения новых информативных предикторов в прогностических схемах, так и для уточнения пространственной и временной диагностики грозовой деятельности и наземной верификации результатов прогнозов.

Технологии дистанционного зондирования, безусловно, необходимы в прогностической системе наукастинга. В представленном на испытание подходе диагностику явления по данным ДМРЛ, грозопеленгаторов или спутникового зондирования можно использовать как дополнительную возможность для определения факта наличия/отсутствия явления при разработке или верификации прогностического метода. Однако привлекать данные ДМРЛ за Уралом невозможно в силу отсутствия таковых (их всего два, работают нестабильно). Распознавание гроз по спутниковому зондированию имеет определенную вероятность. Данные грозопеленгаторов в оперативные службы Сибири не поступают. Новые технологии, безусловно, надо использовать при их наличии.

Список литературы

1. *Здерева М.Я., Токарев В.М., Хлучина Н.А., Воробьева Л.П., Бабошина Н.А.* Оперативная технология прогноза гроз в Сибири и результаты ее испытаний // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2018. – №2 (368). – С. 27-43.
2. *Лбов Г.С., Манохин А.Н.* Распознавание образов при разнотипных признаках в условиях малой выборки // Статистические проблемы управления. – 1976. – Вып. 14. – С. 57-63.
3. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – 149 с.
4. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – 50 с.