

Первые оценки качества работы систем раннего предупреждения о метеорологических угрозах для Мурманской области

К. Г. Рубинштейн¹, доктор физико-математических наук, М. В. Ширяев²,

Г. В. Елисеев³, кандидат физико-математических наук,

Р. Ю. Игнатов⁴, кандидат физико-математических наук

ФГБУ Гидрометцентр России

Рассмотрены проблемы создания системы раннего предупреждения о метеорологических угрозах. Впервые получены и проанализированы показатели качества предупреждения о возможном появлении сильного ветра и снега, полученные при помощи двух различных технологий. Первая из них основана на интерпретации результатов региональной гидродинамической модели WRF-ARW, вторая – на MOS с коррекцией дежурных синоптиков Гидрометцентра России для Мурманской области. Показано, что предупреждения о степени опасности сильного ветра заметно лучшего качества получены при помощи системы, основанной на интерпретации результатов модели WRF-ARW, а предупреждения об опасности сильного снега обеими сравниваемыми технологиями нуждаются в совершенствовании.

Ключевые слова: предупреждение о вероятности метеорологических угроз, прогноз с помощью численной региональной гидродинамической модели WRF-ARW.

Введение

Прогноз опасных метеорологических явлений — важная задача всех метеорологических служб, но реализация достаточно надежных прогнозов опасных (редких), экстремальных метеорологических явлений с высокой степенью оправдываемости и надежности и с относительно небольшим количеством ложных тревог в настоящее время невозможна. Для этих целей пользуются, как правило, статистическими методами (например, [1; 4]), которые также не дают надежных результатов.

Ниже впервые представлены результаты решения близкой, но несколько иной задачи, а именно результаты испытания системы раннего предупреждения о степени опасности явлений, возникновения которых можно ожидать на некоторых (определенных в зависимости от задачи) территориях в определенном интервале времени (от 12 ч и более). Такая задача представляется значительно более реализуемой при

современном уровне численного прогнозирования явлений погоды и вполне актуальной как для населения, так и для административных органов управления и органов реагирования на чрезвычайные ситуации (типа региональных подразделений МЧС). Постановка такой задачи кратко излагалась в статье тех же авторов [7].

Как уже упоминалось, в настоящее время существуют в основном статистические подходы к прогнозу опасных метеорологических явлений. В частности, в Гидрометцентре России разработаны два независимых статистических метода прогнозирования шквалов и смерчей. В первом по методу А. А. Алексеевой [1] прогноз шквалов осуществляется с помощью дискриминантной функции по результатам прогнозов региональной прогностической модели Гидрометцентра России [3]. Для прогноза сильных и штормовых ветров по методу Э. В. Переходцевой [4] используется другая статистическая модель диагноза и прогноза этих явлений. В результатах этих статистических методов при удовлетворительных характеристиках предсказуемости отмечается избыточное количество ложных тревог.

Реальные рассылаемые потребителям гидрометеорологические предупреждения о возможных опасных явлениях составляются вручную синоптиками

¹ e-mail: k.g.rubin@gmail.com.

² e-mail: mr.felixoid@gmail.com

³ e-mail: eliseev@mecom.ru.

⁴ e-mail: prognostist@gmail.com.

в местных управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) с возможным учетом результатов работы гидродинамических и статистических моделей.

В Гидрометцентре России существуют две функционирующие системы раннего предупреждения о метеорологических угрозах (СРПОМУ). Одна из них, ручная с использованием статистической технологии MOS (Model Output Statistic — статистика результатов модели), функционирует с 2010 г. для Центрального и Северо-Западного федеральных округов, а с 2012 г. — и для Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Она основана на прогнозе с помощью MOS-технологии с ручной коррекцией дежурными синоптиками Гидрометцентра России («MOS+синоптик») [2]. Вторая была создана для Мурманской области в 2010 г. и Краснодарского края в 2011 г. Эта автоматическая система [6; 8] основана на интерпретации результатов одной из лучших в мире региональных гидродинамических моделей — WRF-ARW [9].

Задачами данной работы являются, во-первых, описание некоторых существующих СРПОМУ за рубежом, во-вторых, описание СРПОМУ на примере Мурманской области и, в-третьих, сравнение качества прогнозов, сделанных автоматическим методом с качеством прогнозов, выполненных на основе MOS-технологии с исправлением синоптиком. Анализ качества функционирования подобных систем проводится в России впервые, а публикации с оценками зарубежных систем нам неизвестны. Возможно, это связано с тем, что их оценка — весьма непростая задача.

Краткий обзор СРПОМУ за рубежом

В последние три-четыре года в метеослужбах многих стран возникли и активно развиваются СРПОМУ. В табл. 1 представлена некоторая формальная

Таблица 1. Сводная информация о системах раннего предупреждения о метеорологических угрозах

№ п/п	Страна (система)	Количество степеней угроз	Количество явлений	Срок прогноза, сут
1	Австрия	3	13	5
2	Бельгия	3	4	2
3	Великобритания	3	10	5
4	Венгрия	3	12	2
5	Германия	4	13	1
6	Греция	3	7	2
7	Европа	3	12	2
8	Испания	3	13	3
9	Италия	3	11	2
10	Латвия	3	13	2
11	Нидерланды	3	8	2
12	Норвегия	3	12	2
13	Польша	3	13	3
14	Португалия	3	8	2
15	Сербия	3	8	2
16	Россия (авто)	3	9	3
17	Россия (синоптик)	3	9	2
18	Румыния	3	7	2
19	Словакия	3	10	3
20	Словения	3	9	2
21	США	3	~ 40	1
22	Финляндия	3	13	1 и 5
23	Франция	3	10	1
24	Хорватия	3	6	2
25	Швеция	3	12	1
26	Эстония	3	8	2
27	Япония	2	16	Текущее состояние

информация о 27 таких системах. Можно видеть, что системы отличаются количеством степеней угроз — от двух («опасно», «очень опасно») в Японии до четырех в Германии, но большинство стран использует три степени — «потенциально опасно», «опасно» и «очень опасно». Установление градаций степени опасности для каждого опасного явления и для каждого региона представляет собой отдельную серьезную проблему, которая будет специально обсуждаться ниже. Количество прогнозируемых явлений отличается в разных системах от 4 в Бельгии до 23 в США, что связано как со спецификой расположения страны и отличиями в характерных метеорологических опасностях, так и с возможностями национальных метеослужб. Можно видеть также, что срок прогноза варьируется от предоставления только диагностической информации о текущем состоянии опасностей — в Японии, заблаговременности

1 сут — в Германии, Франции, Швеции — до 5 сут в Австрии, Великобритании, Финляндии. Срок заблаговременности прогноза связан скорее всего с технологией прогнозирования и его качеством. Можно отметить также, что в табл. 1 собрана не полная информация о всех существующих системах, а только о тех, которые были нам доступны из публикаций, личной переписки и т. д. Оценки качества функционирования систем не приводятся нигде.

Рассмотрим несколько подробнее некоторые из систем раннего оповещения о метеорологических угрозах. В общем случае результаты работы всех систем представляются в виде географических прогностических (или диагностических) карт, часть которых окрашена в цвет соответствующий категории опасности (например, у всех появление очень опасных явлений окрашивается в красный цвет). В некоторых системах, например, в Великобритании, приводят временные графики возможного возникновения опасностей для определенных пунктов или регионов. Регионы, для которых проводится прогноз или диагноз категории опасности, закрашиваются соответствующим цветом, который соответствует степени прогнозируемой опасности (как правило, зеленый — отсутствие опасности, желтый — потенциально опасно, оранжевый — опасно, красный — очень или экстремально опасно), с указанием, какого именно опасного явления можно ожидать. При этом лишь немногие системы указывают численные параметры степени опасности, хотя под границами одних и тех же категорий опасности могут подразумеваться разные величины.

Более трех лет функционирует система предупреждения о степени опасности метеорологических явлений для стран Европейского союза. Результаты работы системы помещаются на сайте <http://www.meteoalarm.eu>. Пользователи этой системы имеют возможность заблаговременно (на текущие или последующие сутки) узнать о возможном наступлении опасных метеорологических явлений в странах Западной Европы. Отметим, что согласно [9] имеется единый алгоритм расчета категории опасности явлений (ОЯ), но он далек от совершенства. Как показал анализ информации на сайтах различных европейских национальных метеорологических служб, не все страны руководствуются инструкциями, содержащими данный алгоритм (пример приведен ниже при рассмотрении вопроса об определении границ вероятности наступления опасных явлений).

Европейская система работает по следующему принципу: все участники программы (32 метеоцентра западноевропейских стран) рассчитывают по собственным алгоритмам три степени вероятности возникновения метеорологических опасностей. Информация о возможности возникновения опасной ситуации отправляется в единый центр и помещается на общем сайте, который и формирует карту предостережений для стран Западной Европы. При выборе на сайте интересующей страны

осуществляется переход на ее сайт с более подробным описанием типов ожидаемых явлений уже не в целом по стране, а по отдельным регионам. Эти регионы в части стран являются физико-географическими, а в большинстве — административными.

В некоторых странах, например, в Германии и Великобритании, в системах раннего предупреждения для таких явлений, как волны жары и волны холода (что особенно важно для мегаполисов), используют биометеорологические индексы. В России эти индексы пока не нашли широкого применения. На сайте Московского метеобюро помещается информация об эффективной температуре, но неясно, находит ли она широкое применение.

В Японии при помощи аналогичной системы приводятся весьма детальные предупреждения о наблюдаемых метеорологических опасностях в различных регионах страны.

Интересной с точки зрения представления результата является система [10], функционирующая в США. В этой системе деление страны на районы выполнено с очень высокой дискретностью. На единой карте представляются метеорологические и неметеорологические опасности (такие, например, как химические выбросы). Всего в системе имеются предупреждения о 123 явлениях различной природы.

За последние три года возникают системы раннего предупреждения о метеорологических опасностях и в России. Так, возникла система, основанная на статистическом расчете метеорологических параметров с помощью MOS-технологии с последующей ручной правкой дежурными синоптиками.

Кроме того, в Гидрометцентре России с 2010 г. испытывается система раннего предупреждения, основанная на интерпретации результатов гидродинамической модели WRF-ARW. Некоторые результаты сравнения двух систем впервые приводятся ниже.

Общей для всех систем раннего предупреждения о метеорологических угрозах является проблема определения границ категорий опасности. В системе западной Европы имеются предупреждения о 10 опасных метеорологических явлениях: сильный ветер, сильный снегопад, интенсивный или продолжительный дождь, грозы, туманы, экстремально низкая температура, экстремально высокая температура, прибрежные явления, пожары, сход лавин. Для каждого явления предполагается давать предупреждения о потенциальной опасности. Считается, что такая опасность возникает в случаях, когда ожидается явление, которое возникает в 30-летнем ряду наблюдений от 30 до 40 раз в год. Опасной категорией является явление, которое встречается от 1 до 30 раз в году, и очень опасной — явление с повторяемостью реже раза в год. Эти периоды повторяемости были изначально предложены одинаковыми для всех стран. При этом они должны были нормироваться по «площади страны» в 300 000 км². Основанием для именно такого весового размера периода повторяемости является то, что интуитивно можно ожидать

Таблица 2. Критерии определения категорий опасности метеорологических явлений

Явление	Категория опасности							
	Спокойная		Потенциально опасная		Опасная		Очень опасная	
	WRF	MOS	WRF	MOS	WRF	MOS	WRF	MOS
Ветер, м/с	$W < 8$	$W < 12$	$8 \leq W < 14$	$12 \leq W < 14$	$14 \leq W < 25$	$15 \leq W < 24$	$W \geq 25$	$W > 25$
Дождь, мм/12 ч	$R < 7$		$7 \leq R < 15$	$7 \leq R < 9$	$15 \leq R < 50$	$10 \leq R < 49$	$R \geq 50$	$R > 50$
Снег, мм/12 ч	$S < 3$		$3 \leq S < 6$	$3 \leq S < 4$	$6 \leq S < 20$	$5 \leq S < 19$	$S \geq 20$	$S > 20$
Мороз, °C	$F > -35$	$F > -20$	$-40 < F \leq -35$	$-25 < F \leq -20$	$-45 < F \leq -40$	$-30 < F \leq -25$	$F \leq -45$	$F < -30$
Жара, °C	$H < 20$	$H < 25$	$20 \leq H < 25$	$25 \leq H < 30$	$25 \leq H < 30$	$30 \leq H < 35$	$H \geq 35$	$H > 35$

в больших странах более частых опасных явлений, чем в малых, и, следовательно, большего урона в экономике от опасных явлений. Однако подобная нормировка приводит к нереальным значениям для малых стран (например, на Мальте для категории «очень опасно» по этому методу повторяемость явления должна быть раз в 950 лет), и хотя рассуждения кажутся интуитивно понятными, но могут приводить к ошибочным результатам [9].

Иной метод определения границ категорий предлагается в [9], он основан на индивидуальном рассмотрении каждой из стран по синоптическим регионам и расчете повторяемости каждого явления в доступных рядах наблюдений. Например, в качестве границ категории «потенциально опасно» предлагается использовать значения, которые достигаются в среднем раз в два года, для категории «очень опасно» — менее раза в пять лет. Среднюю категорию, «опасно», предлагается соответствующим региональным специалистам определять самостоятельно.

Кроме того, нужно заметить, что общепринятых объективных методик определения границ степени опасности не существует, и все методики являются в конце концов волевыми решениями, но в общем виде всегда основываются либо на повторяемости явлений, либо на оценках причиняемого ущерба.

В России также нет установившейся методики для определения границ категорий ОЯ. Ярким примером служат градации, приведенные в табл. 2. Видно, что в одном и том же институте — Гидрометцентре России — для одинаковых категорий опасности приняты различающиеся градации для всех категорий, кроме «очень опасно». В качестве нижней границы категории «очень опасно», как правило, используются значения, предусмотренные наставлением [5], и они совпадают в обеих системах. При этом не совсем ясна современная статистическая обоснованность документа [5], и очевидно, что приведенные в нем границы нельзя использовать для всех возможных условий, например, для регионов мегаполисов. В нашем понимании созданию подобной системы раннего

предупреждения должна предшествовать работа по тщательному статистическому изучению рядов наблюдений в данном регионе. Но, кроме того, в связи с изменяющимся климатом градации категорий опасности должны регулярно пересматриваться не реже одного раза в 5—10 лет.

Алгоритм работы системы раннего предупреждения об опасных явлениях для Мурманской области, основанной на интерпретации результатов гидродинамической модели

В Мурманской области располагается значительное количество техногенно опасных объектов. В связи с этим в 2010 г. была создана система раннего предупреждения, основанная на одной из наиболее совершенных гидродинамических моделей в мире — WRF-ARW (США), с использованием дополнительного усвоения данных в мелкую сетку прогнозов с помощью системы WRFDA-3DVAR. Ниже приведено краткое описание основных блоков этой системы и анализируются некоторые результаты ее испытания.

Для прогнозов по Мурманской области реализована полярная версия модели WRF-ARW [9] с пространственным разрешением 5 км (300×302 точки по широте и долготе). В качестве начальных и краевых условий при работе с моделью имеется возможность использовать различные типы данных, в частности, данные анализа и прогноза США (GFS с разрешением приблизительно 50 км). Результаты, приведенные в настоящей статье, получены при использовании именно этих данных в качестве начальных и граничных условий.

В прогнозах по Мурманской области по вертикали используется 41 «сигма» поверхность, временной шаг — 30 с. Перечень параметризаций, использованных в данной работе, приведен в [7].

Совместно с Мурманским УГМС были определены пять наиболее характерных для Мурманской области метеорологических опасностей — сильный

Таблица 3. Количество наблюдавшихся и прогнозирувавшихся опасных явлений

Явление	Категория опасности	Заблаговременность							
		12 ч				36 ч			
		Прогноз		Факт		Прогноз		Факт	
		WRF	MOS	WRF	MOS	WRF	MOS	WRF	MOS
Ветер	Потенциально опасно	59	15	57	24	48	15	46	23
	Опасно	49	29	36	73	62	27	35	78
	Очень опасно	0	0	3	3	1	0	3	3
Снег	Потенциально опасно	10	19	2	10	18	16	1	11
	Опасно	12	9	6	15	23	10	6	25
	Очень опасно	0	0	0	0	1	0	0	0
Дождь	Потенциально опасно	13	12	12	8	33	15	11	9
	Опасно	7	3	2	12	11	4	2	15
	Очень опасно	0	0	0	0	0	0	0	0
Мороз	Потенциально опасно		10		10		5		15
	Опасно		0		6		0		10
	Очень опасно		0		0		0		0

ветер, интенсивный дождь, сильный снегопад, сильный мороз, жара. В данной работе специально был выбран временной интервал, в течение которого наблюдались только два опасных явления — сильный ветер и сильный снегопад, и в основном в наиболее распространенных категориях «опасно» и «потенциально опасно». Анализ качества воспроизведения остальных явлений и категорий будет дан в следующих работах.

Были определены и согласованы с УГМС регионы, для которых должны проводиться предупреждения. Районы в основном соответствуют административному делению области кроме большого Приморского района, который был разбит на два — Приморский морской и Приморский континентальный в соответствии с происходящими там различными физическими процессами. На основе такого деления были созданы электронные маски каждого района, позволяющие обрабатывать результаты модельных прогнозов с анализом в них экстремумов по каждой области и за каждый временной интервал.

Кроме того, были определены временные интервалы системы предупреждения. Их определение связано, во-первых, с анализом качества прогнозов, во-вторых — с потребностью потенциальных потребителей. Таким образом, были определены интервалы предупреждений: 0—12, 12—36, 36—60 ч. В данной работе приводится анализ только первых двух интервалов, так как система «MOS+синоптик» не обеспечивает предупреждений для интервала 36—60 ч.

Затем совместно с Мурманским управлением по гидрометеорологии были проанализированы временные ряды наблюдений всех пяти явлений и по частоте повторения определены границы опасности каждого явления, приведенные в табл. 2 в столбцах «WRF».

Как уже упоминалось, границы категорий опасности различаются во всех градациях кроме градации «очень опасно», так как при разработке обеих систем использовано наставление по прогнозам [5], что приводит к заметным различиям в количестве случаев предупреждения как в прогнозах, так и в наблюдениях, приведенных в табл. 3. По ней видно, что и для заблаговременностей 12 ч и 36 ч в категории «очень опасный ветер» были зафиксированы три случая, только один был предсказан моделью и ни один не был предсказан статистическими методами. В категории «опасно» с заблаговременностью 12 ч критерии двух методов разошлись. По модели 36 явлений наблюдалось, а прогнозировалось 49. Таким образом, было 13 ложных тревог, в то же время по критериям MOS наблюдалось 73 явления, из которых было предсказано только 29, а 44 не предсказано. С заблаговременностью 36 ч результаты близки. Статистические характеристики для всех явлений представлены ниже. Из табл. 3 можно видеть, что больше всего наблюдалось и прогнозировалось явление «опасно сильный ветер». Так, в категории «потенциально опасно» порядка 60 случаев, в категории «опасно» — порядка 40, в категории «очень опасно» — единичные случаи. Для потенциально

опасного снега характерное количество случаев было порядка 10—20.

Результаты прогнозов для каждого района (по маске) копились за каждый интервал предупреждения (для прогноза по Мурманской области это интервалы 0—12, 12—36 и 36—60 ч). Из накопленных данных прогнозов по всем точкам каждого района и всем шагам модели выбирались экстремумы температуры, жидких и твердых осадков и ветра. Затем эти экстремумы сравнивались с градациями, и если хотя бы в одной точке региона в какой-либо момент из определенного интервала прогнозировалась экстремальная величина, относящаяся к одной из степеней опасности, всему району предписывался данный вид опасности.

Стоит отметить, что некоторые явления в категории «потенциально опасно» имеют узкие численные границы по сравнению со всеми остальными. Например, сильный снег — от 3 до 6 мм/12 ч. Очевидно, что из-за этого прогнозы данной категории опасности могут заметно затрудниться и в дальнейшем ее границы целесообразно заметно изменить.

Сравнение оценок качества прогнозов категорий опасных явлений, полученных двумя методами для Мурманской области

Оценка качества работы системы раннего предупреждения является, как уже указывалось, весьма непростой задачей. К сожалению, на территории России данных наземных измерений совершенно недостаточно для адекватных оценок редких и опасных явлений. Расположение метеорологических станций в Мурманской области изображено на рис. 1. Всего в области 30 синоптических станций. Как видно, станции расположены в основном на побережье, а в континентальной части их практически нет. Число узлов расчетной сетки для всей области прогноза при разрешении 5 км

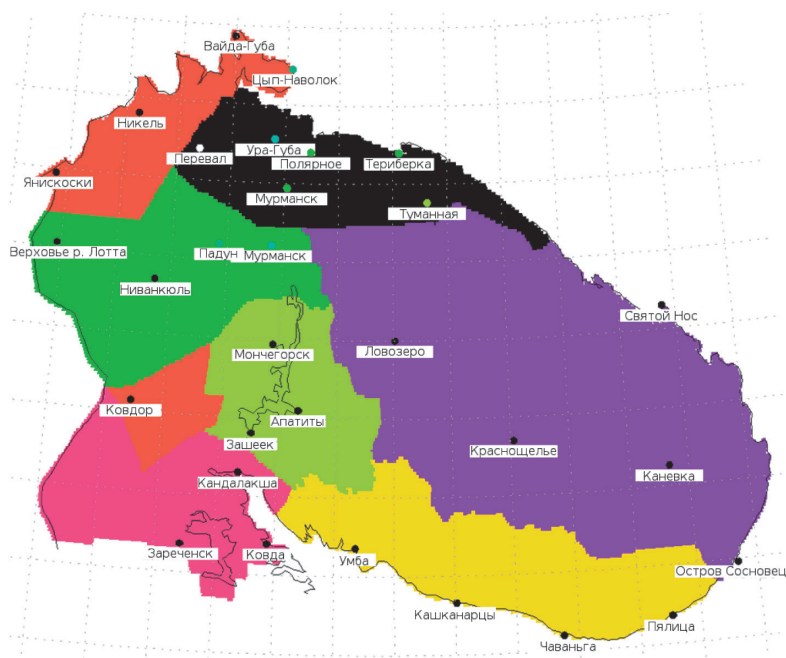


Рис. 1. Деление Мурманской области на районы и расположение метеорологических станций

составляет приблизительно 40 000. Оценки качества предупреждения получаются за счет сравнения экстремумов данных 30 наземных станций за тот же интервал времени с прогностическими экстремумами. Расчет предупреждения считался успешным, если в анализируемом районе в наблюдениях и в модельных узлах значения попадали в одинаковый диапазон степени опасности. Несмотря на то что в данной статье оценки приводятся для области в среднем, так как прогноз методом MOS с коррекцией синоптика проводился только для области целиком, нами были получены и оценки качества прогноза для каждого района области.

Для получения оценок качества работы обеих систем авторы используют следующий алгоритм: данные прогнозов (явления и категорий его опасности, прогнозируемое по всей Мурманской области для временных интервалов 0—12, 12—36 ч конкретного дня) записываются в базу данных прогнозов. В аналогичную базу данных записываются показания метеорологических станций (экстремумы температуры, максимальные скорости порывов ветра и осадки за 12 ч) для аналогичных интервалов по всем имеющимся станциям. Для анализа рассчитываются элементы таблицы сопряженности для каждой категории в случае, если величины прогнозируемой и наблюдаемой в районе категорий опасности меньше или равны рассматриваемой в настоящий момент (т. е., например, категории «опасно» не рассматриваются при анализе прогноза категорий «потенциально опасно»). Если по каким-либо причинам отсутствуют данные прогноза либо наблюдений для рассматриваемого района, данный срок не учитывается при получении статистики за анализируемый интервал. Аналогичным образом заполняется таблица сопряженности для прогноза методом «MOS+синоптик» по границам категорий ОЯ, указанных в табл. 2, для всей Мурманской области.

В данной работе качество работы систем прогноза определяется за период с 1 октября по 31 декабря 2012 г. Это холодный период года, в течение которого наблюдалось в основном два опасных явления — сильный ветер и сильный снегопад. При этом в категории «очень сильный ветер» и «очень сильный снегопад» явлений почти не было.

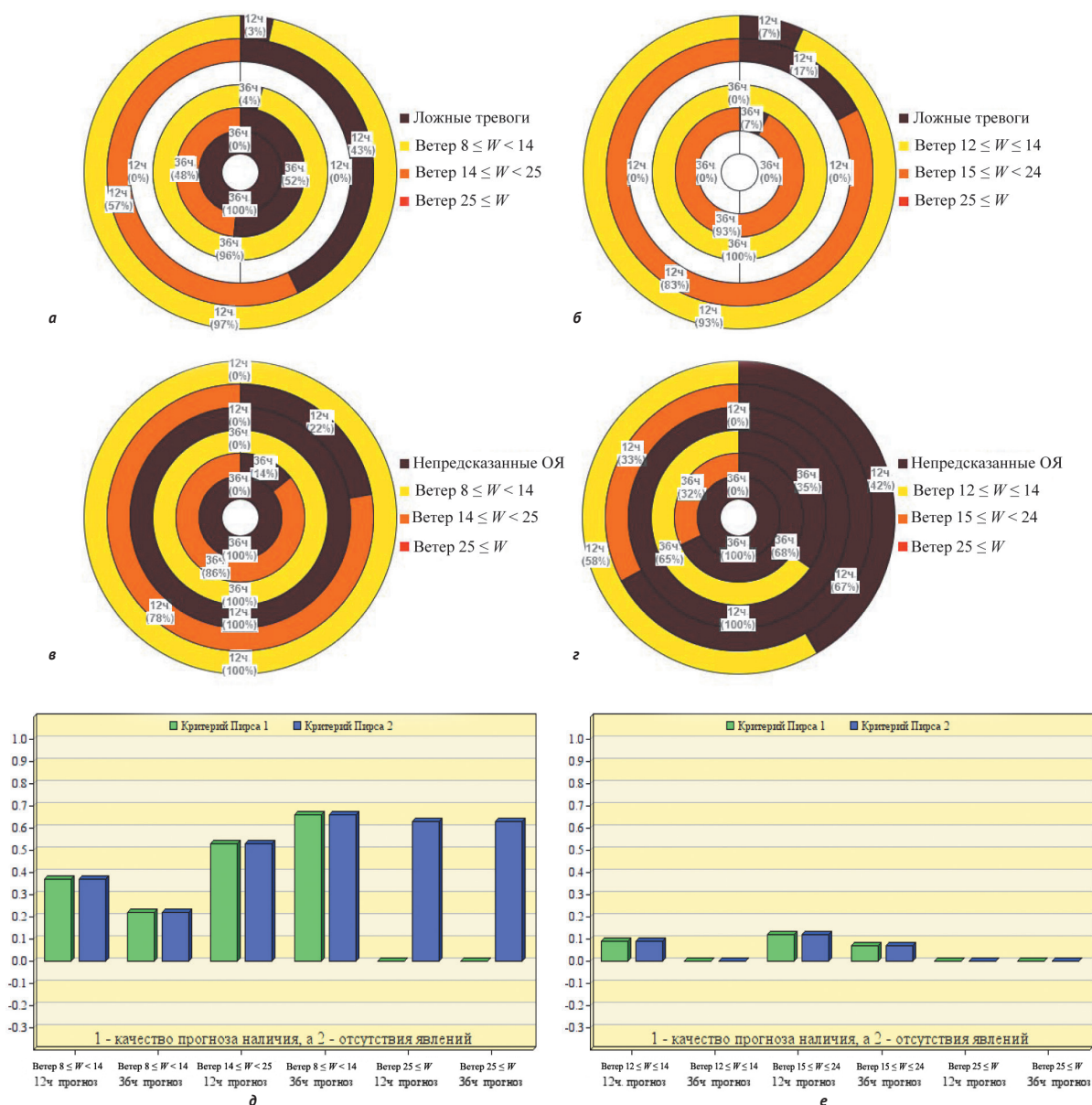


Рис. 2. Сравнение оправдываемости прогноза (а, б), предупрежденности явлений (в, з) и критериев Пирса — Обухова (д, е) для прогноза сильного ветра автоматической системой (а, в, д) и системой «MOS+синоптик» (б, з, е)

Для получения оценок успешности прогнозов рассчитываются следующие характеристики по [4]:

$$U_{\text{я}} = \frac{n_{11}}{n_{10}} 100 \text{ — оправдываемость наличия явлений, \%}$$

$$LT_{\text{я}} = \frac{n_{12}}{n_{10}} 100 \text{ — ложная информация о наличии явлений, \%}$$

$$Pr_{\text{я}} = \frac{n_{11}}{n_{01}} 100 \text{ — предупрежденность наличия явлений, \%}$$

$$PC_{\text{я}} = \frac{n_{21}}{n_{01}} 100 \text{ — не предупрежденные явления («пропуск цели»), \%}$$

$$T_1 = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} \text{ — критерий Пирса — Обухова.}$$

В качестве суммарного показателя качества прогноза был рассчитан критерий Пирса — Обухова. Он характеризует качество прогноза наличия явления.

Сравнение качества двух систем прогноза было выполнено прежде всего с целью понять, насколько и для каких явлений можно доверять автоматизированной системе, какие характеристики в системах нуждаются в дальнейшем развитии, а также для определения возможности использования результатов гидродинамической прогностической модели для



Рис. 3. Сравнение оправдываемости прогноза (а, б), предупрежденности явлений (в, з) и критериев Пирса — Обухова (д, е) для прогноза сильного снега автоматической системой (а, в, д) и системой «MOS+синоптик» (б, з, е)

задачи прогноза категорий опасности пяти метеорологических явлений в климатически сложной и относительно небольшой, но важной области России [6]. Протяженная морская граница области, причем на севере с относительно теплым незамерзающим морем, и пересеченный рельеф сильно усложняют прогноз погоды в Мурманской области.

На рис. 2 представлены диаграммы с результатами оценок качества прогнозов ветра для трех категорий опасности («потенциально опасная» — желтый цвет, «опасная» — оранжевый, «очень опасная» — красный) и двух интервалов прогноза (0—12 — внешние кольца, 12—36 — внутренние кольца). Доли колец, закрашенных темно-коричневым цветом, обратно пропорциональны степени качества прогноза. Белым цветом обозначается отсутствие прогнозов либо явлений. Как показывает практика, хорошим

признается прогноз с критерием Пирса — Обухова более 0,3. Чем ближе к единице, тем качественнее прогноз.

Диаграммы на рис. 2а и 2б характеризуют отношение правильных прогнозов / ложных прогнозов ветра в соответствующих категориях. Видно, что автоматический метод для заблаговременности 12 ч приблизительно одну треть прогнозов дает ложно, а метод «MOS+синоптик» — одну пятую. Методом «MOS+синоптик» не было дано ни одного правильного прогноза категории «потенциально опасно» на срок 12—36 ч. На обеих диаграммах отсутствуют сегменты, соответствующие категории «очень опасно». Это означает, что ни единого прогноза в этой категории не было дано ни одной из систем. На диаграммах, характеризующих отношение предупрежденности явлений к не предсказанным явлениям (рис. 2в и 2г),

видно, что количество не предсказанных ОЯ намного больше для системы «MOS+синоптик»: в среднем 60%-ная предупрежденность у автоматической системы против в среднем 10%-ной у системы «MOS+синоптик». В целом из сравнения диаграмм для ветра можно сделать вывод, что, несмотря на треть ложных прогнозов, автоматический метод хорошо предсказывает вероятность возникновения ветра в категориях «потенциально опасно» и «опасно», в то время как метод «MOS+синоптик» редко дает оправдываемые прогнозы, большинство из них являются верными, но большое количество явлений не предсказывается. На гистограммах, представленных на рис. 2д и 2е, видно, что в целом более качественные прогнозы опасного ветра даются системой, основанной на гидродинамической модели.

Аналогичные диаграммы для двух заблаговременностей прогноза трех категорий опасности сильного снега представлены на рис. 3.

К сожалению, как видно из диаграмм на рис. 3, большая часть диаграммы *a* для снегопадов, предсказанных автоматическим методом, закрашена коричневым цветом. Это означает, что качественно предсказать сильные снегопады автоматическим методом пока не удалось. Однако следует напомнить, что снегопады наблюдались не по всей Мурманской области, а лишь в некоторых ее регионах. Оценивались снегопады в точках, которые могли не совпадать с прогностическими. Вполне возможно, что прогностические сильные снегопады часто имели ошибки по фазе (т. е. имели территориальный сдвиг). Также, судя по табл. 2, системы, основанные на разных методах, имеют различные границы категорий опасности для снегопада, ввиду чего на различных диаграммах наблюдается отсутствие явлений (автоматическая система) и прогнозов («MOS+синоптик»).

Кроме того, повторяемость сильных ветров на территории Мурманской области по сравнению со снегопадами гораздо выше. Скорее всего статистика сильных снегопадов за исследуемый период недостаточно представительна.

Выводы и перспективы

В работе изложен краткий обзор существующих за рубежом и в России систем раннего предупреждения о метеорологических опасностях.

Описаны основные положения разрабатываемой системы прогноза категорий опасных явлений, основанной на интерпретации результатов численной модели WRF-ARW для Мурманской области.

Приводится статистика сравнения прогнозов категорий «потенциально опасно» и «опасно» за интервал с 10 февраля по 25 марта 2012 г. по системам раннего предупреждения, основанным на методе «MOS+синоптик» и на интерпретации прогнозов гидродинамической модели WRF-ARW для сильного ветра и сильного снегопада.

Показано, что для сильного ветра система, основанная на гидродинамической модели, превосходит

метод «MOS+синоптик», а для снега обе системы не дали удовлетворительного результата.

Представленные результаты свидетельствуют о необходимости проведении серии численных экспериментов по совершенствованию описания сильных снегопадов.

Литература

1. Алексеева А. А. Методы прогноза максимального количества осадков в зонах активной конвекции и альтернативного прогноза сильных ливней и шквалов // Результаты испытаний новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов: Информационный сборник № 34. — [Б. м.], 2007. — С. 49—69.
2. Вильфанд Р. М., Васильев П. П., Лукьянов В. И., Голубев А. Д. Методические указания по прогнозу опасного природного явления — аномально холодной (аномально жаркой) погоды на территории России. — М., 2010. — 13 с.
3. Лосев В. М. Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. — М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. — С. 36—58.
4. Переходцева Э. В. Модель гидродинамико-статистического прогноза с заблаговременностью 12—14 ч сильных шквалов и смерчей по территории Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — Т. 8, № 1. — С. 263—270.
5. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
6. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009.
7. Рубинштейн К. Г., Игнатов Р. Ю., Бычкова В. И. и др. Система прогноза опасных метеорологических явлений для Мурманской области на базе региональной гидродинамической модели // Погода и климат: новые методы и технологии исследований (к 50-летию государственной кафедры метеорологии и охраны атмосферы в Пермском государственном университете). — Пермь, 2010. — С. 30—34.
8. Ткачук С. В., Рубинштейн К. Г. Оценка качества численных прогнозов температуры и давления для курортной зоны городов Кавказских Минеральных Вод // Погода и климат: новые методы и технологии исследований (к 50-летию государственной кафедры метеорологии и охраны атмосферы в Пермском государственном университете). — Пермь, 2010. — С. 34—38.
9. Ширяев М. В., Рубинштейн К. Г. Прогноз категорий опасности метеорологических явлений // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации: Вып. 347. — М., 2012. — С. 144—158.
10. Stepek A., Wijnant I., van der Schrier G. Analysis of daily precipitation thresholds in Meteoalarm // <http://eca.knmi.nl/documents/NeerslagMeteoalarmv3.pdf>.
11. http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/get_source2.html.
12. <http://www.nws.noaa.gov/largemap.php>.