

ПРОГНОЗ КАТЕГОРИЙ ОПАСНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

М.В. Ширяев, К.Г. Рубинштейн

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
mr.felixoid@gmail.com*

Задача надежного прогноза опасного метеорологического явления (ОЯ), то есть прогноза редкого явления в определенной точке в конкретный момент времени, является сложнейшей задачей на современном этапе численного прогнозирования. В данной работе рассматривается несколько иная задача, а именно прогноз категорий степени опасности явлений, возникновение которых может ожидаться на некоторой территории в определенном интервале времени. Такая задача представляется более реализуемой и может быть верифицирована, например, по метеорологическим станциям.

В настоящее время существуют различные технологии прогноза опасных явлений. В Гидрометцентре России разработаны два независимых метода прогнозирования шквалов и смерчей. По методу А.А. Алексеевой [1] прогноз шквалов в градации ОЯ осуществляется с помощью дискриминантной функции. Гидрометеорологические предупреждения составляются вручную синоптиками Гидрометцентра России с учетом результатов работы прогностических моделей и синоптического опыта. Для прогноза сильных и штормовых ветров по методу Э.В. Переходцевой [3] используется статистическая модель диагноза и прогноза этих явлений. Также в Гидрометцентре России выпускаются предупреждения об ОЯ по типу «ALARM» для Центрального и Северо-Западного федеральных округов России, для Мурманской области и Краснодарского края.

Объединенное средство оповещения населения для европейских стран «ALARM» (<http://meteoalarm.eu>) работает по следующему принципу: все участники программы (32 метеоцентра стран Европы) рассчитывают по собственным алгоритмам вероятность возникновения различных метеорологических опасностей. В результате информация о возможности возникновения опасной ситуации отправляется на общий сайт, который и формирует карту предостережений для всей Европы. При выборе интересующей страны осуществляется переход на карту страны с подробным описанием типов ожидаемых явлений по областям. По информации некоторых национальных метеорологических центров, не существует единых алгоритмов расчетов вероятности возникновения опасности.

Особенности работы системы “ALARM” в различных странах Европы

Для различных стран (и даже регионов) характерно возникновение опасных метеорологических явлений различного рода и интенсивности. В табл. 1 представлена сводная информация о явлениях, категории опасности которых прогнозируются некоторыми метеослужбами Европы.

Таблица 1

Характер прогнозируемых различными метеослужбами опасных метеорологических явлений

Метеоцентры	Сильный ветер	Интенсивный снег / гололёд	Грозы	Туман	Экстремально высокая температура	Экстремально низкая температура	Прибрежные явления	Лесные пожары	Лавины	Ливни и интенсивные дожди
DWD, Германия	x	x	x		x	x				x
HNMS, Греция	x	x	x	x	x	x		x		x
Met.no, Норвегия	x		x	x	x	x	x	x	x	x
SMHI, Швеция	x	x	x				x	x		x
Гидрометцентр России	x	x	x	x	x	x		x		x

Прогноз категорий ОЯ в метеослужбе Германии (DWD)

Критерии категорий опасности для всей страны являются одинаковыми, лишь для горных районов приняты специальные критерии оценки категорий опасности снегопадов. Даются предупреждения: по 1) сильному ветру; 2) интенсивному снегопаду; 3) грозам; 4) экстремально высоким и 5) экстремально низким температурам; 6) сильным дождям; 7) туманам; 8) озёрным и прибрежным морским явлениям; 9) гололёду; 10) оттепели. В настоящее время предупреждения в основном даются «в ручном режиме», а также используется процедура наукастинга для поддержания или опровержения предупреждений. Разрабатывается полуавтоматическая процедура предупреждений. Критерии определения границ категорий опасности метеорологических явлений представлены в табл. 2.

Информация по категориям опасности метеорологических явлений любезно предоставлена д-ром Christa Stein, сотрудником метеослужбы Германии.

Критерии определения границ категорий опасности метеорологических явлений в Германии

Метеорологическое явление	Критерии границ категорий опасности
Порывы ветра на высоте 10 м	14-17 м/с 18-24 м/с 25-28 м/с
Гроза	молния, порывы ветра молния, шквалы или сильные шквалы
Сильный дождь	10-25 л/м ² в течение 1 часа 20-35 л/м ² в течение 6 часов
Непрерывный дождь	25-40 л/м ² в течение 12 часов 30-50 л/м ² в течение 24 часов 40-60 л/м ² в течение 48 часов
Небольшой снег	до 5 см в течение 6 часов до 10 см в течение 12 часов (на высотах более 800 м иные критерии)
Снегопад	5-10 см в течение 6 часов 10-15 см в течение 12 часов (на высотах более 800 м до 30 см в течение 12 часов)
Метель	снегопад или свежесвыпавший снег при скорости ветра 11-17 м/с (на высотах более 800 м иные критерии)
Обледенение	гололедица
	гололёд
Оттепель	таяние снега: 25-40 л/м ² за 12 часов 30-50 л/м ² за 24 часов 40-60 л/м ² за 46 часов
Туман	видимость менее 150 м
Заморозок	в период с 01.04 по 31.10 каждого года понижение температуры ниже 0 °С
Мороз	температура ниже –10 °С (на высотах более 800 м иные критерии)

Прогноз категорий ОЯ в метеослужбе Греции

По границам категорий опасности ОЯ страна поделена на различные регионы в зависимости от вида опасного метеорологического явления. Границы категорий опасности принимаются в зависимости от повторяемости явления.

Потенциально опасным считается явление, встречающееся более 30 раз в год, опасным – явление, встречающееся от 1 до 30 раз в год, очень опасным – менее одного раза в год.

Границы категорий опасности метеорологических явлений, принятые в метеослужбе

Греции, приведены в табл. 3.

Данные были любезно предоставлены сотрудником Греческой национальной метеорологической службы Panagiotis Skrimizeas.

Таблица 3

Границы категорий опасности метеорологических явлений в Греции

Явление	Категория опасности				
	Зелёная	Желтая	Оранжевая	Красная	
Ветер (км/ч)	< 60	60 ... 80	80 ... 100	≥ 100	
Порывы ветра (км/ч)	< 80	80 ... 110	110 ... 130	≥ 130	
Осадки (мм/24 ч)	1 группа регионов	< 20	20 ... 60	60 ... 100	≥ 100
	2 группа регионов	< 15	15 ... 40	40 ... 75	≥ 75
Осадки (мм/12 ч)	1 группа регионов	< 15	15 ... 50	50 ... 80	≥ 80
	2 группа регионов	< 10	10 ... 30	30 ... 60	≥ 60
Экстремальная жара (°С)	Сев. Греция - Эпир	< 35	35 ... 39	39 ... 42	≥ 42
	Цент. и Вост. Греция	< 37	37 ... 41	41 ... 44	≥ 44
	Островная территория	< 33	35 ... 37	37 ... 40	≥ 40
Экстремальные морозы (°С)	Сев. Греция - Эпир	> -5	-5 ... -8	-8 ... -15	≤ -15
	Цент. и Вост. Греция	> -1	-1 ... -4	-4 ... -8	≤ -8
	Островная территория	> 0	0 ... -2	-2 ... -5	≤ -5
Снег (высота, см)	Сельская местность	Нет	0 ... 5	5 ... 25	> 25
	Городская местность	Нет	0 ... 2	2 ... 10	> 10
Туман (видимость, м)	≥ 500	100 ... 500	50 ... 100	< 50	
Пожарная опасность	Параметр определен органом гражданской защиты				

Примечание: 1-я группа регионов – Восточная Греция, северо-восточные Эгейские острова, Додеканес; 2-я группа регионов – Северная Греция, восток Центральной Греции, Фессалия, Пелопоннес, Цикладские острова, Крит.

Прогноз категорий ОЯ в метеослужбе Норвегии

Метеослужба Норвегии особое внимание уделяет прибрежным явлениям – штормовым нагонам. Существует 18 различных границ категорий опасности этого явления в зависимости от региона («потенциально опасная» категория – от 145 до 395 см относительно нулевого уровня моря, «опасная» – от 170 до 430 см, «очень опасная» – от 190 до 450 см). Также

существует единый критерий опасности для всех регионов – подъем уровня воды вследствие шторма выше значений, представленных в нормативном документе «Приливные таблицы».

Зависят также от региона границы категорий опасности ОЯ: для ветра колеблются в диапазоне 20-28 м/с для «потенциально опасной» категории, 24–32 м/с – для «опасной» и свыше 28–32 м/с – для «экстремальной» категории; для обильных дождей, например, «очень опасная» категория имеет нижнюю границу от 45 до 140 мм/24 ч. Остальные категории опасности едины для всей территории страны.

Метеослужбой Норвегии выпускаются прогнозы категорий дорожных опасностей: «потенциально опасная» — если был выпущен прогноз с «опасной» категорией опасности любого явления для данного региона; «опасная» — либо при одновременном прогнозе сильного ветра в «потенциально опасной» градации и обильных осадков в опасной градации, либо при прогнозе ледяного дождя или измороси свыше 1 мм; «очень опасная» — при одновременном прогнозе сильного ветра в опасной градации и обильных осадков в «опасной» либо «очень опасной» категории.

Метеослужба Норвегии также выпускает прогнозы пожароопасности, схода лавин, гроз, туманов, экстремально высоких и низких температур.

Таблицу границ категорий опасностей метеорологических явлений любезно предоставил сотрудник Норвежской метеослужбы Dag Roger Kristoffersen.

Прогноз категорий ОЯ в метеослужбе Швеции

По информации сотрудника Шведского института метеорологии и гидрологии Weine Josefsson при определении категории опасности различных явлений используются различные модели, поэтому отсутствуют статические методы определения опасностей.

В метеослужбе Швеции границы категорий опасности метеорологических явлений определены по их повторяемости [6]. Для обозначения категории опасности приняты классы от 1 до 3, соответствующие категориям от «потенциально опасно» до «экстремально опасно». Для 1-го класса опасности приняты границы, соответствующие повторяемости ОЯ в среднем раз в 2 года, для 2-го класса – раз в 10 лет, для 3-го – раз в 50 лет. Вследствие этого все границы категорий опасности, по сравнению с большинством других метеоцентров, имеют гораздо более высокие критерии. Например, на равнинной местности опасности 1-го класса соответствует средний ветер со скоростью 21 м/с и более. Для всей страны характерно разделение на три различных типа местности: морская, равнинная и горная. Даются предупреждения по следующим явлениям:

– морские и прибрежные территории: сильный ветер, большой прилив, большой отлив,

обледенение судов;

– равнинные территории: порывы ветра, снегопад, обледенение, обильные дожди, сильные грозы, затопление, высокий уровень воды в озерах, полевые и лесные пожары;

– горные территории: сильный ветер при низкой температуре, сильный ветер при метели и осадках, очень сильный ветер.

Прогноз категорий ОЯ в метеослужбе России

В настоящее время в ФГБУ «Гидрометцентр России» существует несколько независимых технологий (методов) прогноза категорий опасности метеорологических явлений. Одна из них, разработанная отделом краткосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России, используется для двух регионов: Северо-Западного и Центрального федеральных округов (СЗФО и ЦФО). Принцип работы данной системы описан в [2].

Система отображения категорий опасности метеорологических явлений показывает информацию по следующим явлениям: ветер, снег, гроза, туман, экстремально низкие и высокие температуры, дождь, пожары, заморозки. Критерии определения категорий опасности для ЦФО приведены в табл. 4. «Спокойная» категория опасности соответствует зелёной, «потенциально опасная» – желтой, «опасная» – оранжевой и «очень опасная» – красной категории опасности метеорологического явления

Таблица 4

Критерии определения категорий опасности метеорологических явлений для Центрального федерального округа [2]

Метеорологическое явление	Категория опасности			
	зеленая	желтая	оранжевая	красная
Ветер, м/с	< 12	12..14	15...24	>25
Дождь/мокрый снег, мм/12 ч	< 7	7...9	10...49	> 50
Снег, мм/12 ч	< 3	3...4	5 ...19	>20
Заморозки (минимальная суточная температура воздуха в летнее время), °С	> 3	2...3	1...2	< 1
Температура, °С	> -20 < 25	-25..-20 25...30	-30...-25 30...35	< -30 > 35
Туман (видимость, м)	> 600	300...600	50...300	< 50

Для различных областей ЦФО месяцы, когда падение температуры ниже значений, указанных в табл. 4, считается заморозками, изменяется в зависимости от географического расположения: с марта по сентябрь – для южных регионов и с апреля по сентябрь – для средних и северных.

Другая технология (метод) прогноза категорий опасных метеорологических явлений [5] разработана лабораторией моделирования общей циркуляции атмосферы и климата отдела долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России. Этот метод основан на полярной версии гидродинамической модели WRF-ARW, по выходным метеорологическим полям которой определяются категории опасности прогнозируемых явлений. Критерии категорий опасности метеорологических явлений для Мурманской области представлены в табл. 5.

Таблица 5.

**Критерии определения категорий опасности метеорологических явлений
для Мурманской области [5]**

Метеорологическое явление	Категория опасности			
	спокойная	потенциально-опасная	опасная	очень опасная
Ветер, м/с	< 8	8 ... 14	14 ... 25	≥ 25
Дождь, мм/12 ч	< 7	7 ... 15	15 ... 50	≥ 50
Снег, мм/12 ч	< 3	3 ... 6	6 ... 20	≥ 20
Мороз, °С	> -35	-40 ... -35	-45 ... -40	≤ -45
Жара, °С	< 20	20 ... 25	25 ... 30	≥ 30

Сравнение качества прогнозов категорий ОЯ двумя методами для Мурманской области и ЦФО

Для получения оценок качества авторами используется следующий алгоритм: данные прогнозов (явление и категория его опасности, прогнозируемое по областям для временного интервала) сравниваются с соответствующими данными станционных метеорологических наблюдений. Оценки качества прогнозов определяются отдельно для каждого района, каждой заблаговременности и каждой категории в соответствии с [4].

Для расчета показателей успешности прогнозов категорий ОЯ заполняется таблица сопряженности (табл. 6).

Таблица сопряженности

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с ОЯ	без ОЯ	
С ОЯ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
Без ОЯ	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Сумма	n_{01}	n_{02}	n_{00}

где n_{11} – число оправдавшихся прогнозов явления; n_{12} – число не оправдавшихся прогнозов явления; $n_{10} = n_{11} + n_{12}$ – число прогнозов явления; n_{21} – число не оправдавшихся прогнозов отсутствия явления; n_{22} – число оправдавшихся прогнозов отсутствия явления; $n_{20} = n_{21} + n_{22}$ – число прогнозов отсутствия явления; $n_{01} = n_{11} + n_{21}$ – число фактов наличия явления; $n_{02} = n_{12} + n_{22}$ – число фактов отсутствия явления; $n_{00} = n_{10} + n_{20} = n_{01} + n_{02}$ – общее количество прогнозов/фактов явления.

По элементам табл. 6 для анализа успешности прогнозов рассчитываются следующие характеристики:

$$U_{\text{я}} = \frac{n_{11}}{n_{10}} \cdot 100 - \text{оправдываемость прогноза наличия явления, \%};$$

$$T_1 = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} - \text{критерий Пирси-Обухова (вариант 1)};$$

$$T_2 = \frac{n_{22}}{n_{02}} - \frac{n_{21}}{n_{01}} - \text{критерий Пирси-Обухова (вариант 2)}.$$

Табл. 6 заполняется отдельно для каждой категории опасности (см. табл. 5) в отдельности по алгоритму, представленному на рис. 1, где f — категория опасности по данным прогноза, s — категория опасности по стационарным данным (максимальное зарегистрированное значение метеорологического элемента), d — категория опасности, для которой составляется таблица сопряженности. Если по каким-то причинам отсутствуют данные прогноза либо наблюдений на метеорологических станциях для рассматриваемого района, то данный срок не учитывается при получении статистики за длительный период.

Посчитанные разными вариантами критерии Пирса-Обухова тождественно равны при условии, что таблица сопряженности не имеет нулевых значений. Если же матрица не заполнена полностью, то T_1 характеризует качество прогнозов наличия явлений, а T_2 — качество прогноза отсутствия.

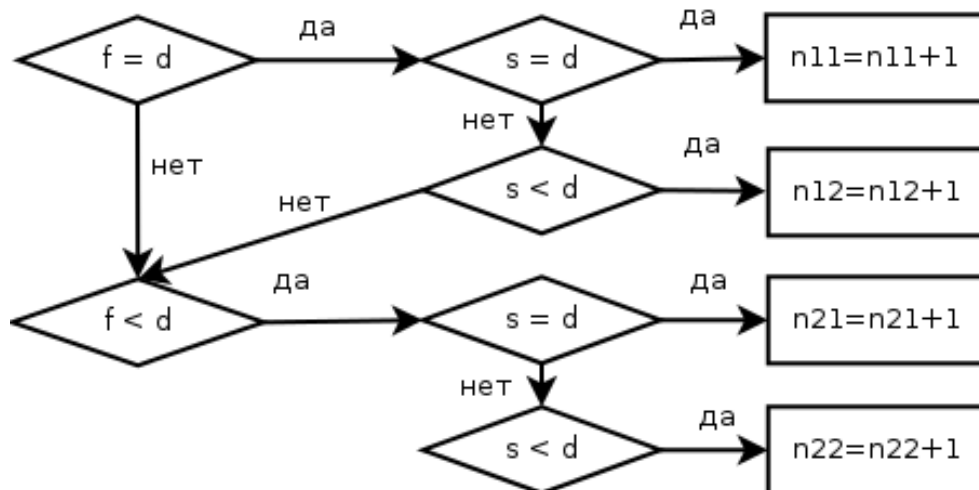


Рис 1. Определение элементов таблицы сопряженности.

С февраля 2012 года началось накопление базы данных прогнозов категорий ОЯ для ЦФО и СЗФО по методу [2] для сравнительной оценки качества прогнозов различными методами. Была получена статистика качества прогнозов категорий опасности метеорологических явлений ЦФО для периода с 10.02.2012 по 25.03.2012 г. следующих опасных явлений: сильный ветер, обильные снегопады и дожди, экстремально низкая температура. Для аналогичного периода была составлена статистика оценок для прогнозов по Мурманской области [5].

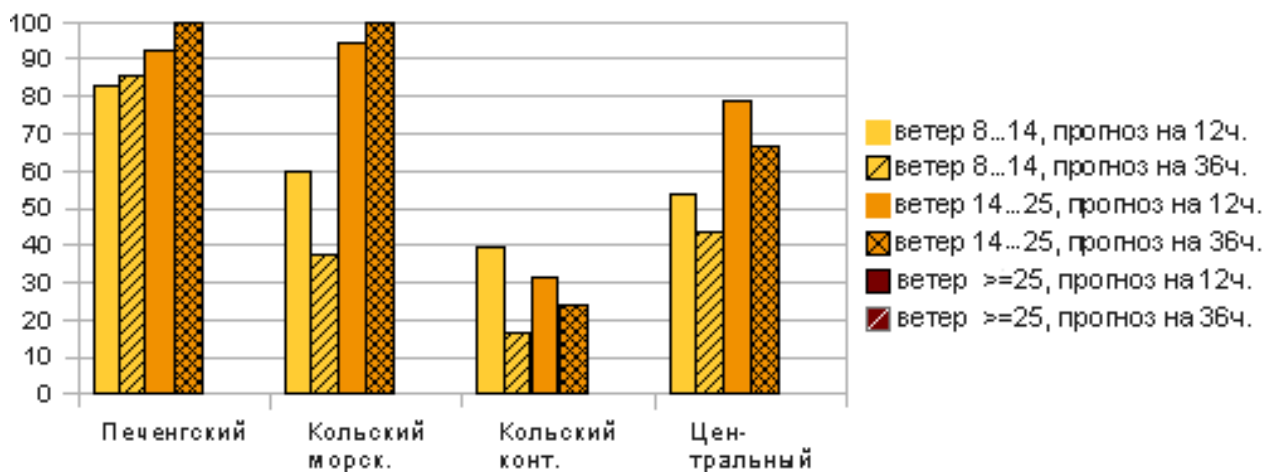
Очевидно, что сравнение статистики прогнозов по различным регионам не является представительным, так как районы, для которых определяются категории опасности, имеют различную площадь; за рассматриваемый период в различных регионах категории опасности имеют различную повторяемость; критерии определения опасности не идентичны. Анализ статистики качества прогнозов выполняется с единственной целью – определить, насколько качественными являются прогнозы категорий опасности метеорологических явлений по технологии [5], по сравнению с другими методами.

Для сравнения показателей качества прогнозов категорий опасности были выбраны наиболее освещенные метеорологическими станциями районы. Это условные Печенгский, Кольский морской, Кольский континентальный и Центральный районы для Мурманской области; Воронежская, Курская, Московская, Тамбовская и Тверская области для ЦФО.

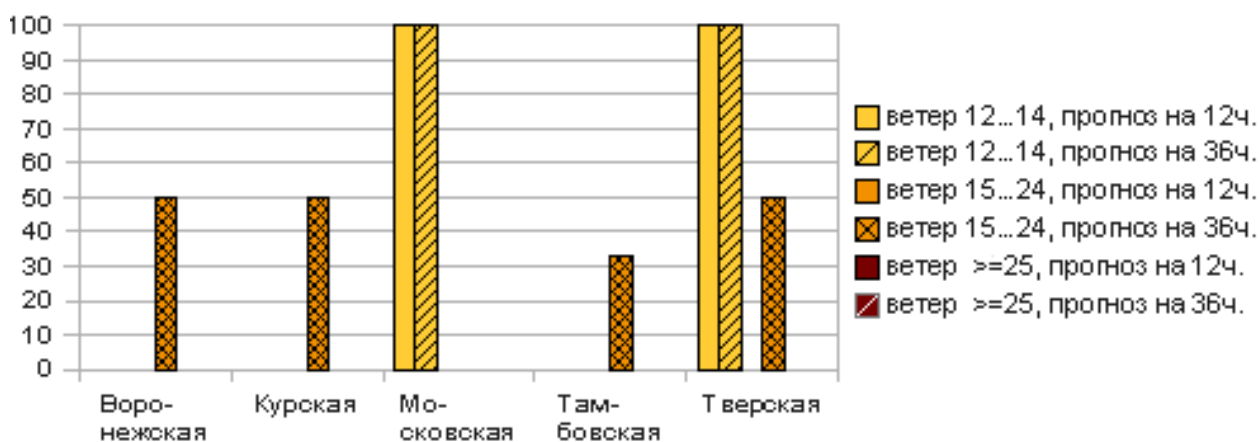
На рис. 2 приведено сравнение оправдываемости, на рис. 3 – критерия Пирси-Обухова (рассчитанного по двум вариантам) прогнозов категорий сильных ветров для двух методов. Видно, что для метода [5] эти характеристики выше, чем для метода [2]. Для Мурманской области критерии Пирси-Обухова (рис. 3а и 3в) похожи, для ЦФО (рис. 3б и 3г) они заметно отличаются. Это свидетельствует о том, что таблица сопряженности (табл. 6) для данного

региона имеет неполное несимметричное заполнение в основном в строке «прогноз без ОЯ».

На рис. 4 и 5 изображены те же характеристики качества для прогнозов категорий сильных морозов на территории ЦФО. На территории Мурманской области за рассматриваемый период сильные морозы не наблюдались и не прогнозировались. Оправдываемость и критерии Пирси-Обухова для данного периода показывают достаточно неплохое качество прогнозов категорий опасности по методу [2].



а)



б)

Рис. 2. Оправдываемость (%) прогнозов ветра в районах Мурманской области [5] (а) и областях ЦФО [2] (б).

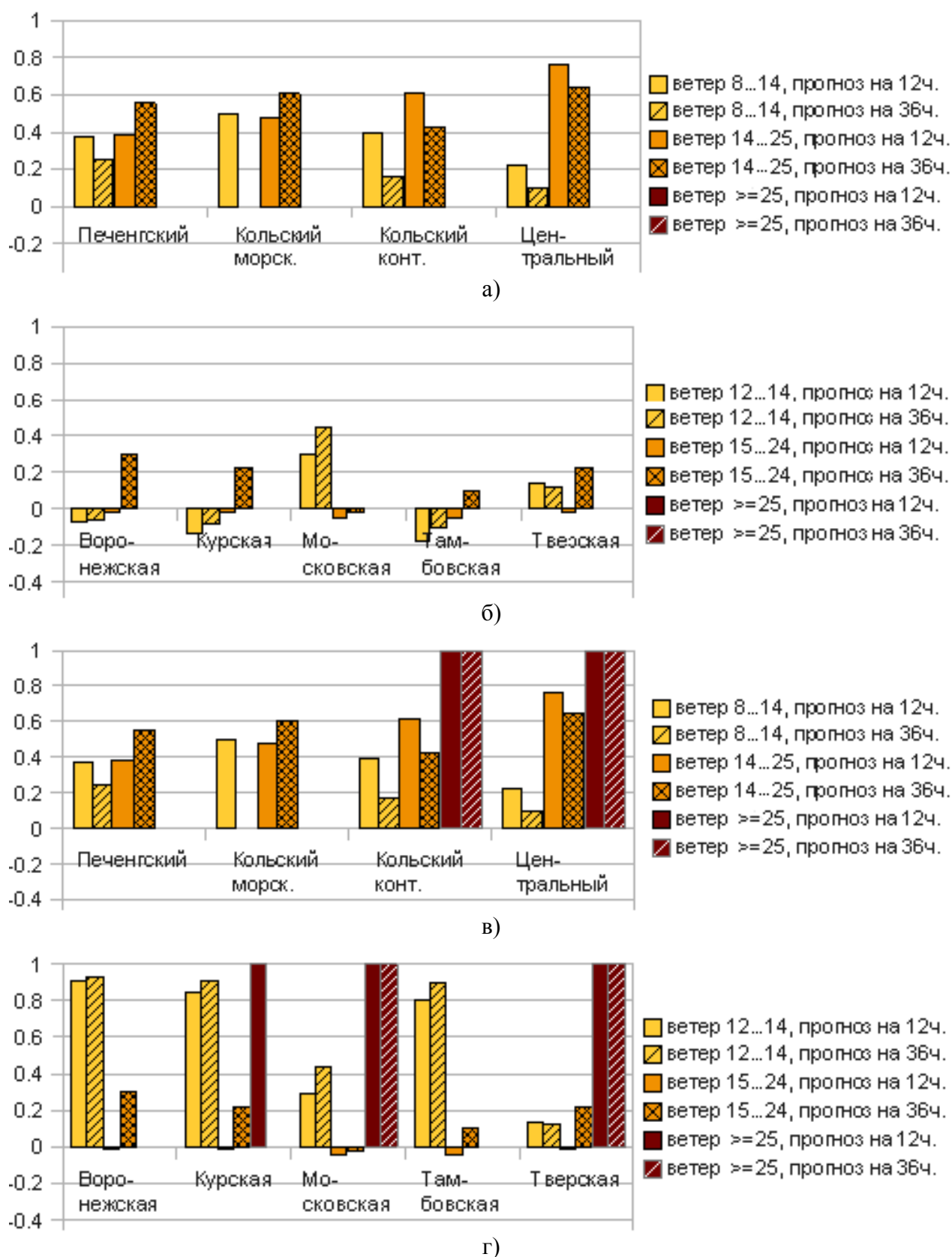


Рис. 3. Критерий Пирса-Обухова, посчитанный по первому (а, б) и второму варианту (в, г), прогнозов ветра в районах Мурманской области [5] (а, в) и областях ЦФО [2] (б, г).

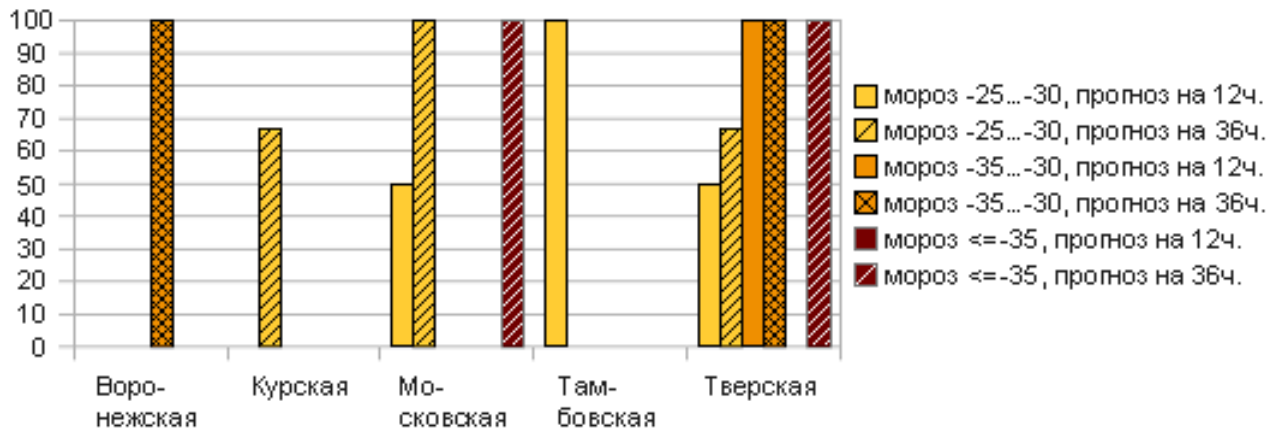
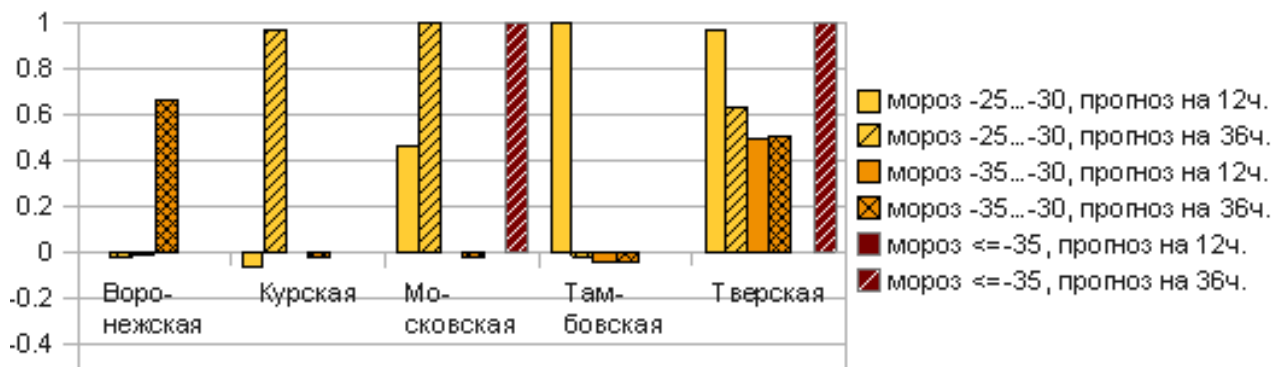
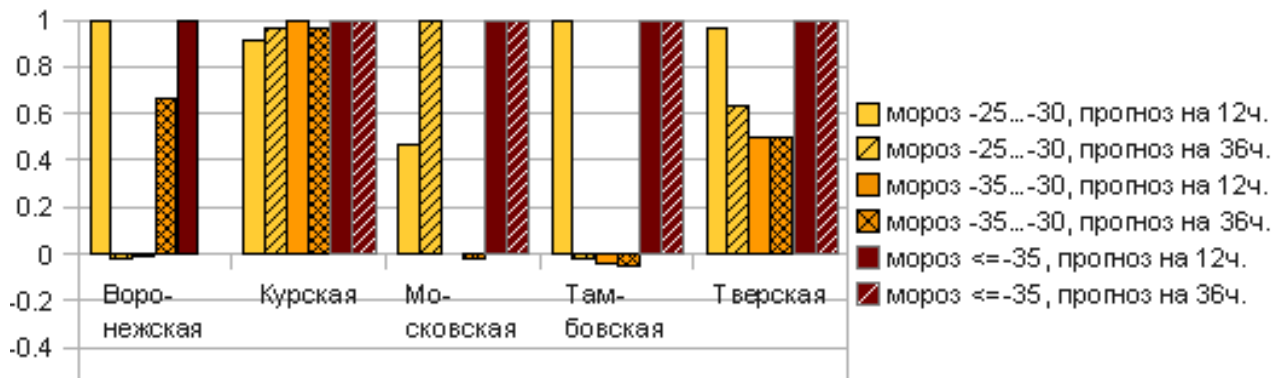


Рис. 4. Оправдываемость (%) прогнозов категорий сильных морозов в областях ЦФО [2].



а)



б)

Рис. 5. Критерий Пирса-Обухова, посчитанный по первому (а) и второму варианту (б), прогнозов сильных морозов в областях ЦФО [2].

Выводы

В процессе данной работы была собрана, проанализирована и представлена информация по существующим системам прогноза категорий опасных метеорологических явлений. В работе приводятся результаты сравнения статистического анализа качества прогнозов категорий опасности метеорологических явлений методами [2] и [5]. Показано, что

качество прогноза категорий опасности сильного ветра для метода [5] выше. Данное сравнение следует рассматривать как качественное, так как оно проводится для различных регионов.

В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию метода [5], а именно: изменение критериев категорий опасности в соответствии с климатическими условиями регионов, для которых он используется; изменение алгоритма с целью улучшения качества прогнозов. Также продолжается сбор информации о существующих технологиях прогнозов категорий опасности метеорологических явлений.

Работа выполнена с частичной поддержкой гранта РФФИ 10-08-00493-а и FP7-IRSES-"Climseas".

Список использованных источников

1. *Алексеева А.А.* Методы прогноза максимального количества осадков в зонах активной конвекции и альтернативного прогноза сильных ливней и шквалов // Информационный сборник № 34. – 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. *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.

4. Р.Д 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1991.

5. *Рубинштейн К.Г., Игнатов Р.Ю., Бычкова В.И., Ширяев М.В., Чекулаева Т.С.* 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.

6. http://www.smhi.se/vadret/vadret-i-sverige/Varningar/varning_definition.html. – категории опасности метеорологических явлений, принятые НМС Швеции.