

УСТОЙЧИВОСТЬ ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТЕОПРОГНОЗОВ ПО ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Э. В. Переходцева

*Гидрометцентр России
Москва, Россия
e-mail: perekhod@mecom.ru*

Приводятся результаты разработки и проверки гидродинамико-статистических моделей прогноза сильных осадков и сильных летних ветров двух классов для территории Республики Беларусь. Отмечается устойчивость относительно используемых гидродинамических моделей результатов прогноза по разработанным автором статистическим моделям распознавания и прогноза сильных ветров двух классов и сильных осадков. Описывается технологическая линия оперативной передачи прогнозов заблаговременности до 48 ч из Гидрометцентра России в Гидрометцентр Республики Беларусь с помощью FTP-сервера. Приводятся примеры прогнозов сильных ветров и осадков по территории Беларуси.

Ключевые слова: статистическая модель, гидродинамический прогноз, технология автоматизированного прогноза, сильный ветер, шквал, ливень, территория Беларуси.

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование опасных летних осадков и ветра до настоящего времени является актуальной и трудной задачей синоптической практики. Штормовое предупреждение об этих явлениях дается за 3 ч, поэтому увеличение заблаговременности про-

гноза опасных явлений позволяет администрации региона и МЧС своевременно принять предохранительные меры и уменьшить экономические потери.

Прогнозы, используемые в синоптической практике, зависят от умения синоптика прогнозировать сложную метеорологическую ситуацию и потому в значительной мере субъективны. Гидродинамические модели разного масштаба пока еще не прогнозируют максимальные порывы ветра, шквалы и смерчи, а также сильные осадки. Поэтому пока наиболее объективные методы прогноза опасных конвективных явлений – методы, основанные на использовании статистических моделей прогноза.

ОПИСАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПРОГНОЗА СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ И СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ

При этом анализируются синоптические ситуации, способствующие возникновению определенных явлений (например, шквалов и ветра со скоростью $V > 20$ м/с) и их отсутствию, из большого количества параметров атмосферы статистическими методами отбираются наиболее информативные и слабо зависимые предикторы, и строится статистическое решающее правило разделения ситуаций наличия и отсутствия явлений [1, 2]. Первым объективным физико-статистическим методом прогноза шквалов, смерчей и сильного летнего ветра со скоростью $V > 20$ м/с был метод, основанный на статистической модели прогноза. В данной модели метеорологическая ситуация, способствующая возникновению указанных явлений, представляется как многомерный вектор $\mathbf{X}(A) = (x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$, где n – число параметров атмосферы (предикторов), потенциально влияющих на возникновение шквалов. Этот перечень потенциальных предикторов (количеством 26), отражающих особенности метеорологических ситуаций, способствующих возникновению шквалов и смерчей, представлен в работе [1]. Для разработки метода распознавания и прогноза таких метеорологических ситуаций была сформирована обучающая выборка фактических значений этих двадцати шести предикторов для наличия этого явления и для его отсутствия, т. е. наличия явления B – архив $\{\mathbf{X}(A)\}$ и архив $\{\mathbf{X}(B)\}$.

Решению задачи распознавания этих двух выборок предшествовала задача отбора наиболее информативного вектора-предсказателя из указанных физически обоснованных потенциальных предикторов. В качестве критериев информативности каждого i -го предиктора были использованы критерий минимальной энтропии $H_{\min}$ Вапника – Червоненкиса [3] и расстояние Махаланобиса Δ^2_i [1, 2].

ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ, ВЕТРОВ И СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ

В связи с развитием оперативных гидродинамических моделей и уменьшением ошибок гидродинамического прогноза появилась возможность создания автоматизированного прогноза сильных осадков и ветра, включая шквалы и смерчи, с использованием выходных прогностических полей первой полусферной модели Гидрометцентра России. Для уменьшения размерности пространства анализируемых потенциальных предикторов ($n = 38$) был проведен отбор наиболее информативного вектора-предсказателя меньшей размерности без значительной потери информации с помощью того же эмпирико-статистического метода отбора [2]. В результате был выбран наиболее информативный вектор-предсказатель размерности $k = 8$, включающий значения полей геопотенциала на уровне 1000 гПа, приземной температуры и влаж-

ности, скорости ветра и сдвига ветра в средней тропосфере, гидродинамической неустойчивости, модуля горизонтального градиента температуры у земли и температуры на уровне 300 гПа.

Для гидродинамико-статистического прогноза осадков был использован тот же байесовский подход [1]. Были получены соответствующие дискриминантные функции для выбранного вектора-предсказателя ($k = 7$) прогноза сильных и опасных полусуточных осадков с заблаговременностью 12 и 24 ч для европейской территории России [3, 4] и адаптированы к территории Республики Беларусь в 2004–2005 гг. Прогнозы и сильного ветра, и сильных осадков для территории Республики Беларусь оказались успешными.

ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СИЛЬНОГО ВЕТРА И СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ ДВУХ КЛАССОВ, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ НОВОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

В течение последних лет разрабатывались и совершенствовались алгоритмы и программы автоматизированных гидродинамико-статистических методов прогноза и предупреждения сильного ветра (включая шквалы и смерчи) двух классов и сильных осадков по территории Республики Беларусь с заблаговременностью 12–48 ч на основе выходных полей региональной гидродинамической модели прогноза с горизонтальным разрешением 75х75 км (автор – В. М. Лосев).

Для прогноза сильного ветра двух классов были рассчитаны дискриминантные функции $F_1(X)$ и $F_2(X)$, зависящие от прогностических модельных значений выбранных ранее информативных предикторов. По значениям дискриминантных функций, полученным в узлах сетки 75х75 км, покрывающей территорию Республики Беларусь, вычислялись вероятности прогноза $P_1(X)$ и $P_2(X)$:

$$P_1(X) = 1/(1 + EXP(-F_1(X))); \quad P_2(X) = 1/(1 + EXP(-F_2(X))).$$

Для перехода от вероятностного прогноза к альтернативному прогнозу были эмпирически найдены пороговые вероятности прогноза для каждого явления $P_{\text{пор}}$. Изолиниями соответствующей пороговой вероятности на карте Республики Беларусь выделяются области прогнозируемых ветров как первого, так и второго класса, а также сильных осадков. Для прогноза осадков и выделения областей осадков количеством $Q > 14$ мм/12 ч была рассчитана функция $F_3(X)$, зависящая от семи параметров атмосферы: геопотенциала на уровне 1000 гПа, приземной температуры и влажности, индекса термодинамической неустойчивости Вайтинга, дефицита точки росы на уровне 500 гПа, горизонтального градиента температуры у земли и лапласиана давления у земли. Для прогноза очень сильных осадков – функция $F_4(X)$, зависящая от тех же параметров, но с другими коэффициентами. Ранее эти прогнозы успешно прошли оперативные испытания в регионах ЕТР [4, 5]. В 2009 г. программа расчета сильных осадков была усовершенствована и адаптирована к территории Республики Беларусь и включена в оперативную систему Гидрометцентра России. Прогнозы передавались в Белгидромет по электронной почте. С 2010 г. прогнозы выкладываются на сервер FTP и также могут быть востребованы специалистами Белгидромета.

Прогнозы осадков с заблаговременностью 12–24–36–48 ч даже в условиях аномально жаркого лета оказались достаточно успешными. В условиях блокирующего антициклона давалось отсутствие осадков. Поэтому очень важно было спрогнозировать первые появившиеся осадки.

ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА И ПЕРЕДАЧИ ОПЕРАТИВНЫХ ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ В ГИДРОМЕТЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В течение 2009–2010 гг. была разработана оперативная технология передачи в Гидрометцентр Беларуси гидродинамико-статистического прогноза этих явлений два раза в сутки с заблаговременностью до 48 ч в оперативной системе АСООИ Гидрометцентра России. Была проведена авторская проверка прогноза сильного ветра со скоростью $V > 24$ м/с и скоростью $V > 19$ м/с. При этом были предупреждены все опасные явления, но в прогнозируемых областях иногда были отмечены ветры со скоростью $16 \text{ м/с} < V < 20 \text{ м/с}$. В Гидрометцентр Республики Беларусь прогнозы сначала передавались по электронной почте. В 2010 г. гидродинамико-статистические прогнозы сильного ветра двух классов, рассчитываемые в Гидрометцентре России с заблаговременностью 12–48 ч ежедневно два раза в сутки выкладывались на *FTP*-сервер в более удобном для синоптиков виде. Прогнозы сильных осадков также выкладываются на сервер *FTP* и могут быть востребованы специалистами Белорусского Гидрометцентра.

В 2010 г. практически два летних месяца наблюдалась очень высокая температура в блокирующем антициклоне, распространявшемся на среднюю полосу России и Беларуси. При таких условиях в антициклоне и при давлении у Земли, превышающем 1010 гПа, в прогнозе сразу дается отсутствие сильного и опасного ветра при устойчивой стратификации.

Вместе с тем области с рассчитанными высокими вероятностями, получаемые при неустойчиво стратифицированной атмосфере, однозначно указывают на возможное возникновение там сильных шквалистых усилений ветра и, возможно, смерчей (рис. 1, 2). При этом следует отметить, что области опасного ветра ($V > 24$ м/с), рассчитанные с заблаговременностью 36–48 ч, а затем – 12–18 ч, достаточно близкие.

Прогнозы осадков с заблаговременностью 12–24–36–48 ч даже в условиях аномально жаркого лета оказались достаточно успешными. В условиях блокирующего антициклона давалось отсутствие осадков. Поэтому очень важно было спрогнозировать первые появившиеся осадки.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОГНОЗОВ СИЛЬНОГО ВЕТРА И СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ ПО ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА

По данным, полученным в Гидрометцентре России и Беларуси, в 2010 г. в Беларуси были отмечены несколько случаев шквалистых усилений очень сильного ветра со скоростями 26–29 м/с. Они возникали на холодных фронтах. По гидродинамико-статистической модели прогноза при этом давались очень высокие вероятности прогноза и на текущий день, и с заблаговременностью прогноза 36 ч. Все эти случаи были предупреждены за 36 ч.

На рисунке 1 представлена карта прогноза опасного ветра на текущий день 08.08.10. В этот день к вечеру холодный фронт с волнами протянулся над Брестской и Гродненской областями с контрастами температуры 5–6 градусов на 500 км. Именно такая область выделена в прогнозе высокими значениями вероятности. По всей юго-западной части республики наблюдались грозы с усилениями ветра до 20 м/с, на МС Щучин вечером был отмечен ветер со скоростью 27 м/с, а днем порывы

вы ветра достигали 21–24 м/с. Далее ночью 09.08.10 была спрогнозирована область прогноза, сместившаяся далее на Украину и Румынию. Ночью в Белоруссии были отмечены ветры скоростью до 23 м/с, а на Западе Украины – шквалы со скоростью 27 м/с.

Область прогноза опасного ветра на 14.07.10 в соответствии с высокими вероятностями прогноза, близкими к $P = 65 \%$, приходилась на Гродненскую область, и только в Гродненской области на станции Любань было отмечено усиление ветра до 26 м/с. В прогнозе опасного ветра на 27.07.10 на территории практически всей республики были рассчитаны очень высокие вероятности прогноза ($P = 72 - 84 \%$) и поэтому следовало ожидать возникновения шквалов и очень сильных порывов ветра. В пункте Барановичи – порывы достигали 28 м/с, а в Гродненской и Гомельской областях, юго-западе Минской области порывы ветра достигали 20 м/с. Здесь не имеется возможности представить прогнозы ветра скоростью $V > 19$ м/с, но синоптики Беларуси получали их ежедневно.

Анализ прогнозов сильного ветра показал достаточную успешность этих прогнозов. Предупрежденность прогнозов опасного ветра скоростью $V > 24$ м/с составила для заблаговременности 12 ч $\Pi = 100 \%$ и для заблаговременности 36 ч $\Pi = 86 \%$ (1 случай из 7 не был предупрежден) в остальной области всегда наблюдались усиления ветра $V \geq 20$ м/с.

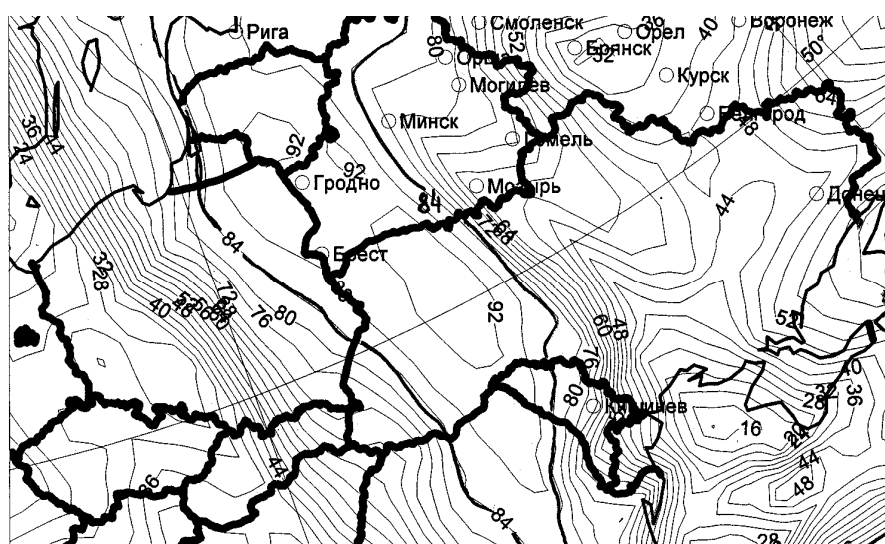


Рис. 1. Прогноз опасного ветра на текущий день 08.08.10 по сроку 00 ч ВСВ

Область прогноза ветра ($V > 24$ м/с) ограничена изолинией $P = 65 \%$, а штормового – $P = 84 \%$ осадков с заблаговременностью 12–48 ч даже в условиях аномально жаркого лета 2010 г. оказались достаточно успешными. В условиях блокирующего антициклона давалось отсутствие осадков. Поэтому очень важно было спрогнозировать первые появившиеся осадки.

На рисунке 2 приведен пример расчета области осадков количеством $Q > 14$ мм/12 ч на 17 августа 2010 г. с заблаговременностью 36 ч, когда на западе Беларуси были отмечены значительные осадки. В Республике Беларусь по пороговой вероятности $P = 95 \%$ можно выделить область сильных осадков, которые действительно наблюдались в этот день и захватили *ЕТР*. Дискриминантная функция $F_4(X)$

для прогноза опасных осадков, рассчитанная по региональной модели, достаточно успешно прогнозировала осадки количеством $Q > 35$ мм/12 ч на 28.08.2010. Область прогнозируемых очень сильных осадков, связанных с циклоном, переместилась на Беларусь с территории Европы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологическая линия Гидрометцентра России нового гидродинамико-статистического прогноза сильных осадков и ветров по территории Беларуси оперативно передает прогнозы этих явлений в Гидрометцентр Белоруссии (тема международного сотрудничества Гидрометцентра России и Гидрометцентра Республики Беларусь). Полученные высокие оценки успешности по новой модели свидетельствуют об устойчивости разработанных автором статистических моделей сильных летних осадков и сильных шквалов и ветров. В дальнейшем предполагается использование полулагранжевой модели с целью увеличения заблаговременности прогноза до 3-х суток.

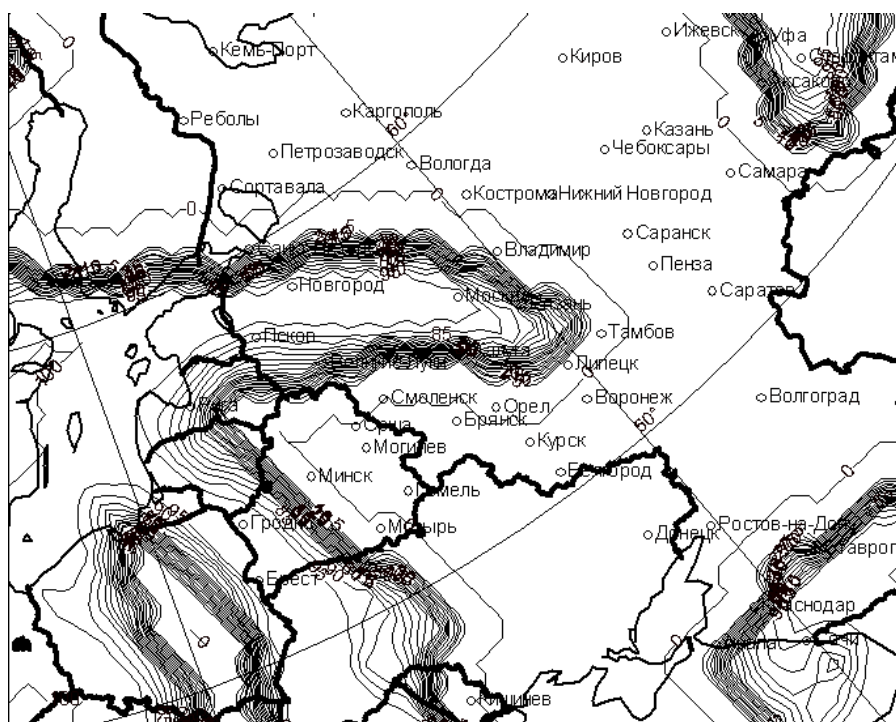


Рис. 2. Область прогноза осадков $Q > 14$ мм/12 ч ограничена изолинией $P = 95\%$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андерсон, Т.* Введение в многомерный статистический анализ / Т. Андерсон. М.: Физматгиз, 1963. 500 с.
2. *Переходцева, Э. В.* Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей // Тр. Гидрометцентра СССР, 1985. Вып. 271. С. 37–60.
3. *Вапник, В. Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В. Н. Вапник. М.: Наука, 1979. 447 с.

4. *Perekhodtseva, E. V.* Hydrodynamic-statistical model of forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena –squalls, tornadoes and rainfall / E. V. Perekhodtseva // Research activities in atmospheric and oceanic modeling. 2002. Rep. 32, part 2. P. 21–23.

5. *Переходцева, Э. В.* Анализ устойчивости гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России / Э. В. Переходцева// Сб. ст. «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса». 2009. Т. I. Вып. 6. С. 155–162.
