

Э. В. Переходцева (Москва, Государственный технологический университет (МИРЭА), Гидрометцентр России). **Развитие стохастических моделей распознавания и прогноза сильных и опасных летних осадков по территории России.**

Возникновение летних сильных ливневых осадков количеством $Q \geq 15/12$ ч связано с развитием над определенными территориями Европейской части России конвекции, вызванной прохождением циклонов и фронтов разного типа. При этом выпадение этих сильных ливней носит локальный характер. Поэтому прогнозирование осадков количеством $Q \geq 15/12$ ч и более на определенной станции является чрезвычайно трудной и актуальной задачей синоптической практики, несмотря на развитие в последние десятилетия гидродинамических моделей их прогноза (ГДМА), использующих численные решения системы уравнений краткосрочного прогноза погоды, включающей уравнения движения атмосферы, уравнение притока тепла, уравнение неразрывности и состояния. Возникновение сильных и тем более опасных (количеством $Q \geq 45/12$ ч) осадков связано с определенными аэросиноптическими и термодинамическими условиями, характеризующимися значениями целого ряда параметров (предикторов).

В 90-х годах была разработана первая стохастическая модель распознавания метеорологических ситуаций, способствующих возникновению летних осадков с выделением областей сильных осадков. Эта модель была разработана автором на основе байесовского подхода. В данной модели метеорологическая ситуация, способствующая возникновению указанных явлений, представлялась как многомерный вектор $\mathbf{X}(A) = (x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$, где n — число потенциальных, физически обоснованных параметров атмосферы (предикторов) ($n = 38$). Ставилась задача — разделить с минимальными ошибками выборку векторов наличия явлений A — архив $\{\mathbf{X}(A)\}$ и их отсутствия — архив $\{\mathbf{X}(B)\}$. С целью уменьшения размерности n пространства признаков была проведена диагонализация средней матрицы корреляции $\mathbf{R}_{\text{ср.}}$, с помощью эмпирико-статистического алгоритма, разработанного автором с помощью метода графов. Далее был проведен отбор наиболее информативных предикторов — представителей диагональных блоков. В результате из 38 признаков был выбран вектор-предсказатель из семи наиболее информативных слабо зависимых предикторов. В него вошли температура и влажность у Земли, горизонтальный градиент приземной температуры, влажность в средней тропосфере, лапласиан давления у земли, геопотенциал на уровне 1000 гПа. Диагноз летних осадков в пункте осуществлялся по значениям линейной дискриминантной функции $U(X)$, зависящей от семи отобранных предикторов:

$$U(\mathbf{X}) = [\mathbf{X} - (\mathbf{M}(A) + \mathbf{M}(B))/2]'V^{-1}[\mathbf{M}(A) - \mathbf{M}(B)] + \ln [P(A)C(B/A)/P(B)C(A/B)],$$

т. е. $U(\mathbf{X})$ представлялась как линейная сумма фактических значений выбранных семи параметров в заданном пункте с рассчитанными весовыми коэффициентами и свободным членом. При этом минимизировались ошибки первого рода a и b , чтобы критерий успешности Пирси–Обухова $T = 1 - a - b$ был максимальным. Диагноз явлений A (осадков) давался при $U(\mathbf{X}) > 0$, прогноз — при том же условии, но в $U(\mathbf{X})$ использовались при тех же коэффициентах прогностические значения выбранных семи параметров атмосферы.

С целью полной автоматизации прогноза осадков в дискриминантной функции рассчитывались прогностические значения семи параметров из первой оперативной модели краткосрочного прогноза погоды (автор — Л. В. Беркович). Модель имела горизонтальное разрешение 150×150 км. Именно в узлах ее сетки, покрывающей территорию ЕТР, и рассчитывались значения прогностической дискриминантной функции и вероятности прогноза в процентах по формуле $P(\mathbf{X}) = 100 / (1 + \exp \{-U(\mathbf{X})\})$.

На карте ЕТР по вероятностям в узлах сетки $P(\mathbf{X}) \geq 98\%$ выделялись области, где давался категорический прогноз сильных ливневых полусуточных дневных и ночных осадков. Метод успешно прошел испытания в пяти Управлениях по гидрометеорологии (УГМС), был принят в качестве вспомогательного для синоптической практики [1, 4]. По предупредительности ливней и критерию $T = 0,47 \div 0,6$ он давал наибольшую успешность. В последующие годы в течение 15 лет прогнозы сильных летних осадков на текущий и следующий день передавались оперативно в эти пять Управлений два раза в сутки.

С 2007 года проходила адаптация полученных решающих правил прогноза к выходным полям новой региональной гидродинамической модели (автор — В. М. Лосев) с горизонтальным разрешением 75×75 км. На данном симпозиуме ранее был сделан доклад о прогнозе сильных осадков на Северном Кавказе по этой новой модели. На эту тему была также представлена статья в сборнике Трудов Гидрометцентра России [2]. Центральная методическая комиссия после независимых испытаний прогноза полусуточных осадков по станциям ЕТР с заблаговременностью 12–36 ч рекомендовала новый метод прогноза для использования в оперативной практике [3]. В настоящее время на сайт выкладываются карты прогноза сильных и опасных ливневых осадков с заблаговременностью 12–24–36–48 ч (рис.).

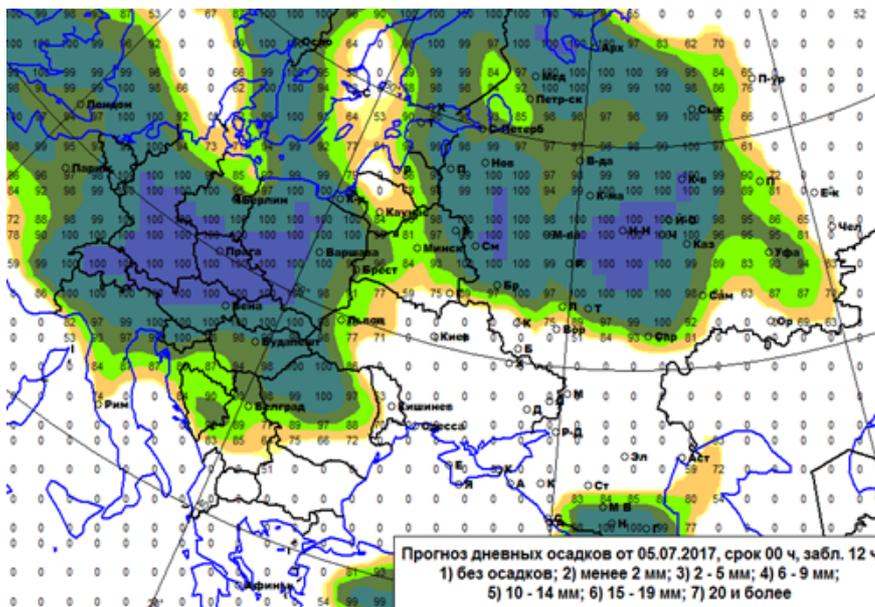


Рис. Область прогноза на текущий день 5.07.2017 г. сильных полусуточных осадков $Q \geq 12-15$ мм/12 ч окрашена темно-зеленым и синим цветом. В этот день по Московской, Владимирской, Калужской, Костромской и др. областях прошли очень сильные осадки количеством 15–30 мм/12 ч

В докладе приводятся и другие примеры прогноза сильных и опасных летних полусуточных осадков и оценки данного автоматизированного гидродинамико-

статистического прогноза полусуточных летних осадков количеством $Q \geq 15$ мм/12 ч заблаговременностью 12–48 ч по станциям ЕТР и Сибири в сравнении с оценками по другим моделям. По критерию Пирси-Обухова этот метод прогноза, использующий разработанные стохастические модели прогноза, является наиболее успешным. Предупрежденность дневных и ночных сильных ливней по станциям на 12 ч и на 24 ч составила 71–60%, в то время, как по зарубежным и отечественным моделям она не превышает 30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселова Г. К., Переходцева Э. В.* Результаты испытания автоматизированного метода прогноза летних осадков с выделением областей с количеством осадков 15 мм и более на текущий день по европейской части России. — Информационный сборник, 1994, № 22, с. 31–36.
2. *Переходцева Э. В.* О гидродинамико-статистическом прогнозе до двух суток явлений сильного ветра и сильных осадков для территории Северного Кавказа. — Труды Гидрометеорологического центра Российской Федерации, 2012, в. 347, с. 113–126.
3. *Переходцева Э. В.* Гидродинамико-статистический метод прогноза сильных летних осадков по ЕТР на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России. — Информационный сборник, 2014, в. 41, с. 74–88.
4. *Perekhodtseva E. V.* Hydrodynamic-statistical model of forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena—squalls, tornadoes and rainfalls. — Research activities in atmospheric and oceanic modeling, 2002, Rep. 32, part 2, p. 221–223.