

УДК 502.58;504.056;502.58.001.18

ВЕРОЯТНОСТНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

¹Попова Е.С., ²Андреев С.С.

¹ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: espmeteo@yandex.ru;

²Филиал ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Ростов-на-Дону, e-mail: rggmurd@yandex.ru

Предложена схема метода вероятностно-географического прогноза опасных явлений погоды. Обсуждаются два основных этапа реализации предложенного метода. Подчеркивается, что разработанный метод отвечает актуальным вопросам современного прогнозирования погоды и отдельных ее явлений: предсказание осуществляется для конкретной точки в пространстве и в определенный момент времени. Базовым условием построения научной схемы метода является доказательное утверждение о квазистационарности частот хронологических рядов опасных явлений погоды и возможности использования свойств марковской цепи для осуществления прогнозирования их вероятностей на основе нейромоделирования. Физическая суть идеи представлена в последовательном отражении влияния на формирование опасных явлений погоды размасштабных синоптических и геофизических процессов, которые переведены в предикторную роль. Прогностическая модель на основе анализа длительных хронологических рядов опасных явлений погоды и нейромоделирования выстроена с учетом нерегулярности сети метеорологических станций, что важно в современной оперативной синоптической практике. Собственно прогноз вероятностей опасных явлений погоды осуществляется с помощью нейросетевого моделирования при обязательном учете таких предикторов, как индексы переноса, метеорологические параметры, лапласиан давления, коэффициент активности магнитного поля Земли.

Ключевые слова: синоптические процессы, повторяемость, предикторы, нейромоделирование, марковость цепи.

PROBABILISTIC-GEOGRAPHICAL PREDICTION OF DANGEROUS WEATHER PHENOMENA

¹Popova E.S., ²Andreev S.S.

¹Russian State Hydrometeorological University, Sanct-Peterburg, e-mail: espmeteo@yandex.ru;

²Russian State Hydrometeorological University, Rostov-on-Don, e-mail: rggmurd@yandex.ru

The scheme of the method of probabilistic-geographical prediction of dangerous weather phenomena. Discusses two basic stages of realization of the proposed method. It is emphasized that the method responds to topical issues of modern weather forecasting and its separate phenomena: the prediction is for a specific point in space and at a certain point in time. The basic condition for building scientific diagram method is evidence a statement of quasistationary frequency chronological series of severe weather events and the possibility of using the properties of the Markov chain for the implementation of forecast probabilities on the basis of neuromodulatory. Physical essence of the ideas presented in successive reflection of the influence on the formation of dangerous weather phenomena-scale synoptic and geophysical processes that have been predictor role. A predictive model based on the analysis of long chronological series of severe weather events and neuromodulatory made with due account of regularity of the network of meteorological stations, which is important in modern operational synoptic practice. Actually forecast probability of dangerous weather phenomena is carried out with the help of neural network modeling with the obligatory account of such predictors: indexes transfer, meteorological parameters, the Laplacian pressure, the activity rate of the magnetic field of the Earth.

Keywords: synoptic processes, repeatability, predictors, neuromodelling, Markoves chain.

Увеличение сумм ущербов и жертв от опасных явлений погоды в настоящее время, отмечаемое Всемирной Метеорологической организацией, Федеральной службой по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации, приобретает характер мировой проблемы, которая требует решения на основании использования современных научных принципов. Однако в последнее время по всей территории России значительно сокращена сеть станций гидрометеорологического мониторинга. Кроме того, в настоящее время появляются отдельные виды принципиально новых методов прогноза опасных явлений погоды, ориентирован-

ных на вероятностную форму выражения результата L. Bertotti, Jr. Bidlot, R. Buizza, L. Cavaleri, M. Janousek [1 – 3]. В частности, существующие известные способы предполагают прогноз отдельных опасных явлений (например, метод прогноза сильных ветров А.И. Снитковского или прогноз сильных дождей и гроз Н.В. Лебедевой), который выражен обычно в качественной форме («явление ожидается»). В этой связи разработка новых научных подходов регионального прогнозирования опасных явлений погоды, выраженная в вероятностной форме, более приемлемой для принятия погодно – хозяйственных решений, приобретает особый смысл.

Необходимо заметить, что к концу XX столетия и в начале XXI века достигнут значительный прогресс в численном моделировании крупномасштабных (макро- и мезомасштабных) погодных систем. Однако микромасштабные метеорологические образования протяженностью несколько десятков и сотен километров, с которыми связаны опасные явления погоды, непосредственно не прогнозируются. В частности, прогнозируют условия или метеорологический фон, на котором могут возникать опасные явления погоды, используя интерпретацию продукции численных моделей, дополнительную синоптическую и иную информацию (данные радиолокационных наблюдений, спутниковых измерений и другие). Поэтому, несмотря на развитие используемых макро-, мезомасштабных численных моделей и автоматизированных средств наблюдений, прогнозы локальной погоды микромасштабов сохраняют некоторую неопределенность. Опасные явления, в свою очередь, отличаются локальностью проявления, существуя непродолжительное время, что затрудняет их прогнозирование. По указанным причинам принципиально новые методы прогноза опасных явлений погоды должны быть локальными или точечными в пространственном отношении, а также приуроченными к конкретному моменту времени.

Рассмотренные выше составляющие актуальности данного исследования и являются его обоснованием.

Идея исследования

Основная идея, в свою очередь, заключается в разработке схемы метода вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды для конкретной географической точки и момента времени [4]. Базовым условием построения научной схемы метода является доказательное утверждение о квазиустойчивости частот хронологических рядов опасных явлений погоды и возможности использования свойств марковской цепи для осуществления прогнозирования их вероятностей на основе нейромоделирования. Такое представление следует рассматривать как алгоритмическую конструкцию идеи, предполагающей перевод теории в область практики.

Физическая суть идеи представлена в последовательном отражении влияния на формирование опасных явлений погоды разномасштабных синоптических и геофизических процессов, которые переведены в предикторную роль.

Прогностическая модель на основе анализа длительных хронологических рядов

опасных явлений погоды и нейромоделирования выстроена с учетом вышеупомянутой нерегулярности сети метеорологических станций, что важно в современной оперативной синоптической практике.

Обсуждение предлагаемого метода прогнозирования

Научная реализация схемы метода вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды включает два возможных этапа [4]:

1 этап. Выявление синоптических процессов разного масштаба, оказывающих влияние на возникновение опасных явлений погоды, включая исследования особенностей региональной подстилающей поверхности (физико-географические условия).

2 этап. Детальный анализ хронологических рядов опасных явлений погоды и осуществление прогноза их вероятностей за выбранный промежуток времени (с определенным периодом заблаговременности) на основе нейромоделирования.

Перейдем к характеристике первого этапа описанной выше схемы метода. Для исследования влияния подстилающей поверхности на особенности региональных климатических условий, способствующих возникновению конкретных опасных явлений погоды, рекомендуется проведение климатического районирования или использование имеющихся его вариантов. Это позволит не только выявить региональные климатические особенности территории и использовать их в дальнейшем в качестве предикторов для прогноза опасных явлений погоды, но и проследить взаимосвязь между континентальностью климата и повторяемостью данных явлений.

Установление вклада макросиноптических процессов в формирование опасных явлений погоды можно осуществить, используя классификацию элементарных синоптических типов форм циркуляции Г.Я. Вангенгейма-А.А. Гирса, согласно которой могут быть выявлены такие ее формы, которые преобладают в среднемноголетнем отношении на определенной территории и характерны для развития отдельных случаев опасных явлений погоды.

Дифференцированный учет особенностей макрометеорологических процессов удобно произвести на основе индексов А.Л. Каца ($\text{гПа}/100 \text{ км}^2$) как количественных показателей степени интенсивности циркуляции. Важно также то, что рассчитанные значения индексов переноса для случаев опасных явлений можно использовать в качестве предикторов для метода их прогноза.

Исследование роли мезосиноптических условий для возникновения опасных явлений погоды с помощью многолетних данных атмосферного давления можно произвести с помощью расчетов таких параметров, как повторяемость (%) и интенсивность (гПа/100 км²) циклонов и антициклонов (по значениям лапласиана приземного давления) [5], которые также имеют предикторное значение для обсуждаемого метода.

Выявление особенностей микросиноптических условий формирования опасных явлений погоды рекомендуется производить на основе обзоров наиболее выдающихся их случаев, наблюдавшихся в пределах изучаемой территории за конкретный промежуток времени.

Наконец для более глубокого понимания закономерностей возмущения атмосферной циркуляции с возникающими на этом фоне опасными явлениями погоды и, следовательно, для их успешного прогнозирования необходим учет солнечной активности как одного из основных факторов описанного выше процесса. Однако следует заметить, что упомянутый фактор не является единственным, его значение может существенно изменяться во времени. По этой причине в качестве одного из предикторов для прогноза опасных явлений погоды следует использовать индексы магнитной активности (баллы) как косвенного показателя солнечной активности, также учитывающего и так называемые теллурические факторы.

На втором этапе осуществления схемы производятся исследования хронологических рядов опасных явлений погоды и статистические расчеты основных характеристик с последующим применением нейромоделирования для прогноза их вероятностей.

Хронологические ряды опасных явлений погоды могут представлять собой среднегодовые или среднемесячные их повторяемости за определенный промежуток времени (генеральная совокупность) по отдельности и в общем (осредненная частота) на основе материалов журналов ТМ – 1, метеорологических ежемесячников и ежегодников, выпускаемых ВНИИ ГМИ МЦД г. Обнинск. С помощью методов математической статистики, применяемых в гидрометеорологии, могут быть выявлены характерные тенденции хронологических рядов опасных явлений погоды и установлены географические закономерности распределения их повторяемостей.

В качестве дополнительной характеристики рекомендуется провести районирование по среднегодовым или сезонным повторяемостям опасных явлений погоды изучаемого региона.

Выявление неслучайности колебаний в рядах опасных явлений погоды является одним из самых важных моментов реализации второго этапа и метода вообще. Известно, что неслучайность может быть установлена с помощью использования определенных способов: расчета критериев Аббе, построения графиков автокорреляционных функций, проверки гипотезы марковости цепи в рядах опасных явлений погоды. Реализация вышеупомянутых способов позволяет констатировать наличие квазициклическости рядов опасных явлений погоды, что открывает возможности их прогнозирования на определенный период.

Для уточнения выбора предикторов, влияющих на генезис исследуемых явлений, рекомендуется применять подход Т. Байеса с последующей оценкой его результатов при помощи следствия метода минимакса. Выбор упомянутого подхода обуславливается тем, что его применение позволяет проследить прошлое состояние, исследуя уже произошедшие случаи опасных явлений погоды, и учесть синоптические, метеорологические, геофизические параметры, которые наблюдались в пределах определенного промежутка времени на территории рассматриваемого региона.

Заключение

Собственно прогноз вероятностей опасных явлений погоды рекомендуется осуществлять с помощью нейросетевого моделирования при обязательном учете описанных выше предикторов, в частности: индексов переноса, метеорологических параметров, лапласиана давления, коэффициента активности магнитного поля Земли. Выбор вида нейросетей Т. Кохонена для осуществления прогноза опасных явлений погоды обусловлен их морфологическими особенностями: многомерные решетки представляют собой так называемую топографическую карту Т. Кохонена, что хорошо согласуется с географическими методами исследований. Отличительными особенностями указанных сетей является отсутствие статических формул эмпирически установленных зависимостей, их способность к самообучению, интуитивный анализ информации, возможность модификации и подбора входящих численных параметров, что весьма снижает возможные погрешности описываемой нейромодели.

Для оценки экономического эффекта разработанного метода прогноза опасных явлений погоды рекомендуется использовать современный базовый метод Л.А. Хандожко. Однако даже при осуществлении адекватного прогноза с достаточной забла-

говременностью могут возникать непредвиденные потери, вызванные множеством неучитываемых в данном случае факторов. Среди которых могут быть, например, техническая неисправность объектов инфраструктуры, отсутствие сведений о прогнозируемых опасных явлениях погоды у населения и прочие.

Таким образом, для осуществления задачи эффективного управления рисками потерь от опасных явлений погоды необходимо применять современные методы их прогнозирования, в числе которых описанный выше алгоритм вероятностно-географического прогноза.

Список литературы

1. Андреева Е.С. Опасные явления погоды юга России. – Санкт-Петербург.: Изд-во ВВМ, 2006. – 216 с.
2. Андреева Е.С. География и генезис опасных явлений погоды южных районов России (на примере сильных ветров) / Е.С. Андреева // Известия Русского географического общества. – 2009. – Том 141. – № 3. – С. 51–56.
3. Bertotti L., Bidlot Jr., Buizza R., Cavaleri L., Janousek M. Deterministic and ensemble-based prediction of Adriatic Sea sirocco storms leading to 'acqua alta' in Venice / L. Bertotti, Jr. Bidlot, R. Buizza, L. Cavaleri, M. Janousek // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2011. – Volume 137. – Issue 659. – Part B. – P. 1446–1466.
4. Carrassi A., Vannitsem S. State and parameter estimation with the extended Kalman filter: an alternative formulation of the model error dynamics / A. Carrassi, S. Vannitsem // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2011. – Volume 137. – Issue 655. – Part B. – P. 435–451.
5. Prates F., Buizza R. PRET, the Probability of RETurn: a new probabilistic product based on generalized extreme-value theory / F. Prates, R. Buizza // Quarterly Journal of the Royal

Meteorological Society. – 2011. – Volume 137. – Issue 655. – Part B. – P. 521–537.

References

1. Andreeva Elena S. Dangerous weather of the South of Russia. – Sanct – Peterburg.: Publishing house WWM, 2006.–216 p.
2. Andreeva Elena S. Geography and genesis of dangerous weather phenomena in Southern regions of Russia (by the example of strong winds)/ E.S. Andreeva // News of Russian geographical society. 2009. Volume 141. №3. P. 51–56.
3. Bertotti L., Bidlot Jr., Buizza R., Cavaleri L., Janousek M. Deterministic and ensemble-based prediction of Adriatic Sea sirocco storms leading to 'acqua alta' in Venice. / L. Bertotti, Jr. Bidlot, R. Buizza, L. Cavaleri, M. Janousek // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Volume 137, Issue 659, Part B. – P. 1446–1466.
4. Carrassi A., Vannitsem S. State and parameter estimation with the extended Kalman filter: an alternative formulation of the model error dynamics / A. Carrassi, S. Vannitsem // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Volume 137, Issue 655, Part B. – P. 435–451.
5. Prates F., Buizza R. PRET, the Probability of RETurn: a new probabilistic product based on generalized extreme-value theory / F. Prates, R. Buizza // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Volume 137, Issue 655. Part B. – P. 521–537.

Рецензенты:

Шелутко В.А., д.г.н., профессор, заведующий кафедрой Прикладной экологии ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург;

Мазуров Г.И., д.г.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 29.07.2014.