

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

Муравьев А.В. , Куликова И.А.

Гидрометеорологический центр России,
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 9-13
muravev@mecom.ru , kulikova@mecom.ru

ABSTRACT

In this paper we consider the long-range hydrodynamical-statistical weather forecast scheme, based on the general circulation model of T41 spectral resolution. As compared to prior attempts the scheme includes new blocks for pursuing the following objectives: the a priori forecast quality assessments; filtering daily data to reconstruct the decade and monthly meteorological fields; interpretation of the atmospheric circulation field for reconstruction and forecasting the surface air temperature and precipitation.

ВВЕДЕНИЕ

Долгосрочные метеорологические прогнозы, которые составляются в оперативном порядке, основываются, как правило, на статистической адаптации и фильтрация результатов среднесрочной модели общей циркуляции атмосферы. Появление в Гидрометцентре России мощных ПЭВМ, а также суперЭВМ CRAY Y-MP позволило спланировать и провести серии вычислительных экспериментов, направленных на создание схемы гидродинамико - статистического прогноза погоды на месяц с нулевой заблаговременностью.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Технологическая линия долгосрочного метеорологического прогноза связывает базы оперативных и архивных данных, вычислительное ядро на суперЭВМ КРЭЙ, а также блоки анализа и графического представления результатов моделирования и прогнозирования. Некоторые блоки (в основном, синоптического анализа и визуализации) реализованы на ПЭВМ. Основные этапы развития схемы представлены в [1].

Эксперименты проводятся на базе глобальной модели общей циркуляции атмосферы класса T41L15 [2]. В схему также включены блоки, предназначенные для решения следующих задач: априорное оценивание качества прогноза; фильтрация суточных данных для восстановления декадных и месячных полей; интерпретация полей циркуляции для восстановления и прогноза приземной температуры воздуха и осадков. Восстановление осредненных полей и элементов производится на основе ансамбля 20-суточных интегрирований модели T41L15 с максимальным учетом неадиабатических притоков и подсеточных процессов. Начальные данные берутся за 12.00 и 0.00 часов по Гринвичу от трех соседних суток. Важнейшим блоком схемы является блок априорного оценивания качества. На этом этапе оценивается интервал информативности гидродинамического прогноза (ИП), который используется в настройке схем регрессии модельных полей начального этапа на осредненные 20-ти дневные и месячные поля.

В данной работе используются результаты моделирования по начальным данным, взятым за период с 31 марта по 19 декабря 1999 г. Гидродинамические прогнозы составлялись на период до 30 суток через каждые 10 дней на протяжении всего выбранного промежутка времени.

УСТОЙЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

В соответствии с классической концепцией энергетического цикла, сформулированной Лоренцем [3], устойчивость атмосферных процессов определяется взаимными переходами потенциальной и кинетической энергии. В устойчиво стратифицированной, баротропной атмосфере доступная потенциальная энергия равна нулю (следовательно, полная потенциальная энергия минимальна); при неустойчивой атмосфере доступная потенциальная энергия положительна. До сих пор получение численных оценок энергетических переходов сопряжено с рядом трудностей, связанных, прежде всего, с неопределенностями в расчетах вертикальной скорости (или компонент негеострофического ветра). В связи с этим для оценки устойчивости атмосферных процессов воспользуемся косвенными показателями.

Одной из возможных характеристик является среднее квадратическое отличие (СКО) трех последовательных во времени полей 500 мб поверхности (H_{500}). Как показано в [4] параметром устойчивости, от которого во многом зависит качество прогнозов, может служить также величина амплитуды или аномалии полей $H_{500}(A_H)$. Важное значение для изучения интенсивности бароклинной неустойчивости представляет наклон изэнтроп (а следовательно, и изотерм) при пересечении ими поверхности. Тем самым, устойчивость атмосферных процессов определяется числом изобаро-изотермических соленоидов, которые образуются при пересечении изобарических и изотермических поверхностей. Для оценки степени бароклинной неустойчивости атмосферы произведем расчеты коэффициентов корреляции между полями температуры и геопотенциала на уровне 850 мб поверхности отдельно для трех широтных зон на северном полушарии (65° - 85° , 45° - 65° , 25° - 45°) - $(T, H)_i$ ($i = 1, 2, 3$ - номера зон) - индексы бароклинной неустойчивости.

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

В процессе многолетней синоптической практики установлена связь между устойчивостью атмосферных процессов и качеством прогнозов. Характеристики устойчивости можно, в свою очередь, рассматривать как временной ряд. Использование аналогичных характеристик для модельных полей позволяет прогнозировать устойчивость атмосферы и получать, таким образом, априорные оценки возможного качества гидродинамического прогноза. Такая методика связывает воедино как тенденцию в устойчивости реальных полей, так и расходимость модельных процессов.

На основе смешанной модели авторегрессии - скользящего среднего (ARMA) были составлены прогнозы расхождений модельных траекторий (СКО), а также индексов бароклинной неустойчивости $(T, H)_i$ на вторую пентаду, являющиеся одновременно и прогнозами качества гидродинамических прогнозов.

Временные ряды A_H формировались на основе расчетов трехдневных средних нормированных (на косинус соответствующей широты) значений $H-500 (E_H)$ за три предшествующих начальной дате прогноза месяца для всего северного полушария и трех различных регионов. Рассматривались три основные градации: 1) $A_H \geq E_H + S_H$, 2) $|A_H - E_H| < S_H$, 3) $A_H \leq E_H - S_H$, где S_H - среднее квадратическое отклонение. В качестве метода прогноза A_H использовались методы непараметрического и параметрического линейного дискриминантного анализа.

Схема априорного оценивания связывает между собой два разнородных масштаба: результаты моделирования мгновенных состояний атмосферы и некоторые осредненные характеристики этих состояний. И если первое относится к проблематике среднесрочного прогноза, то второе - к теме долгосрочного прогноза. С точки зрения теоретической физики, в первом случае решаются нелинейные уравнения термогидродинамики с заданными краевыми условиями от определенного начального состояния (задача Коши), во втором, в общем, приходится решать задачу для эволюции плотности распределения в пространстве начальных состояний (уравнение Лиувилля).

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Дадим более подробное описание методов интерпретации для решения задачи долгосрочного прогноза приземной температуры воздуха и сумм осадков. Схема реализована в рамках единой технологической линии гидродинамико-статистического долгосрочного прогноза на супер-ЭВМ Крэй. В основу метода положена концепция "идеального прогноза" (идеология PerfectProg), использующая синхронные и асинхронные связи между предикторами и предиктантами. При этом предиктантами служат средние за 10, 20 и 30 дней значения приземной температуры воздуха и сумм осадков на станциях, расположенных на территории СНГ, предикторами - 5-ти или (в зависимости от априорной оценки качества) 10-ти дневные средние значения H_{500} и T_{850} . В качестве зависимой выборки используются временные ряды указанных параметров за период с 1963 по 1993 гг.

Для построения статистической модели привлекается метод множественной линейной регрессии. В прогностических алгоритмах не используются процедуры пошагового ранжирования и отбора предикторов, т.к. линейные комбинации различных связанных между собой параметров не прибавляют полезной информации в уравнения регрессии. Кроме того, результаты просеивания сильно меняются при переходе от одной выборки к другой. Как показывает опыт, наилучшие корреляционные связи имеют предикторы и предиктанта при сопоставлении их с достаточно тесной локализацией по пространству - "точка в точку". В связи с этим, информация, поставляемая гидродинамическими моделями в узлах регулярной сетки с шагом 2.5×2.5 градуса, подвергается процедуре переинтерполяции в станционные данные. Адаптивность предложенной схемы заключается в возможностях изменения, во-первых, исходной зависимой выборки, во-вторых, периода осреднения прогноза (прогноз может быть составлен на 10, 11, 12,...,30 дней, а практически до любого разумного предела), в третьих, региона по которому прогноз составляется и наконец, начальной даты прогноза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показывает, что параметры СКО и A_H содержат весьма значительную долю полезной информации о качестве гидродинамических прогнозов на интервале до 10 суток. Связи оценок качества прогнозов с индексами бароклиной неустойчивости - более слабые, и в 1 и 2 широтной зоне - отрицательные, т.е. , как и следовало ожидать, с увеличением степени бароклинности атмосферы в пределах $45 - 85^\circ$ с. ш. качество гидродинамических прогнозов ухудшается. Зона 3 является исключением, что, возможно, связано с перераспределением доступной потенциальной энергии между различными широтными поясами. При увеличении степени бароклинности атмосферы в высоких широтах (севернее 45° с. ш.) степень ее бароклинности в более низких широтах (к ю. от 45° с. ш.) падает и, наоборот.

Среди индексов бароклиной неустойчивости наиболее информативным является параметр $(T,H)_3$, характеризующий степень бароклинности атмосферы в широтном поясе

25 - 45° с. ш. Для сравнения отметим, что в географическом распределении временной изменчивости высоты поверхности 500 мб в зимний период, максимумы для колебаний с периодами от 2 до 6 дней располагаются над океанами вдоль 45° с.ш. [5]. Считается, что эти максимумы связаны с “траекториями циклонов”, т. е. районами, где наиболее интенсивно проявляется активность бароклинных волн. Кроме того, как отмечается в [5] распределении неадиабатических притоков тепла на уровне 850 мб поверхности над океаном на широте 45° отмечается очень сильное нагревание, превышающее 5 К/сут, обусловленное высвобождением скрытого тепла. Максимум притока скрытого тепла также приблизительно соответствует двум главным районам траекторий циклонов над океанами.

Прогноз характеристик устойчивости с помощью регрессионного и дискриминантного анализа позволяет определить соответствующую базу регрессии (5 или 10 суток), предназначенную для прогнозов 20-ти и 30-ти дневных средних значений полей H-500. Проведенная экспертиза устойчивости позволяет улучшить качество долгосрочных метеорологических прогнозов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант N 99-05-64362).

ЛИТЕРАТУРА

1. Muravev A., Kruglova E., Kulikova I. and Kaznacheeva Hydrodynamical modelling of long-range anomalies of the atmospheric circulation using multi-model approach. WMO/TD – 1998, No. 881, p. 34 –39.
2. Курбаткин Г.П., Дегтярев А.И., Фролов А.В. Спектральная модель атмосферы, инициализация база данных для численного прогноза погоды. Гидрометеиздат - СПб., 1994. 184 с.
3. Лоренц Э. Некоторые аспекты предсказуемости поведения атмосферы. /В кн. Долгосрочное и среднесрочное прогнозирование погоды. - М., Мир, 1987, с. 10 - 32.
4. Kalnay E. and Dalcher A. Forecasting forecast skill. Mon. Wea. Rev., 1987, vol. 115, p.349 - 356.
5. Уоллес Д., Блэкмон М. Наблюдаемая низкочастотная изменчивость атмосферы. /В кн. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере. - М., Мир, 1988, с.66 - 109.