

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.509.3

Совместный сверхкраткосрочный прогноз метеорологических полей с помощью динамико-стохастического алгоритма для случая связанных процессов

А.В. Лавриненко*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 12.11.2015 г.

Рассмотрены двумерная динамико-стохастическая модель на основе алгоритма фильтра Калмана и методика ее применения для сверхкраткосрочного, с заблаговременностью от 1 до 6 ч, прогноза метеорологических полей в случае связанных процессов. Обсуждаются результаты статистической оценки совместного прогнозирования полей температуры и давления по данным измерений метеорологических станций Новосибирск (индекс 29634) и Томск (индекс 29430) за 2014 г., выполняемых через каждые 0,5 и 3 ч соответственно. Проведено сравнение качества прогнозирования метеорологических полей для случая связанных процессов и случая прогнозирования каждого поля в отдельности.

Ключевые слова: двумерная динамико-стохастическая модель, алгоритм фильтра Калмана, связанные процессы, сверхкраткосрочный прогноз; two-dimensional dynamical-stochastic model, Kalman filter algorithm, related processes, short-term forecast.

В опубликованной ранее статье, посвященной сверхкраткосрочному прогнозу полей метеорологических величин с помощью двумерной динамико-стохастической модели и алгоритма фильтра Калмана, рассматривались поля температуры и ортогональных компонентов скорости ветра [1]. При этом оценка и прогноз полей метеорологических величин проводились для каждого поля в отдельности и независимо друг от друга. В основном это было связано с тем, что в качестве источников исходной информации использовались данные дистанционного радиометрического и акустического зондирования пограничного слоя атмосферы. При этом для полей температуры были взяты измерения радиометра МТП-5, а для ортогональных компонентов скорости ветра — измерения содара «Волна-1» [2]. Измерения, получаемые с метеорологических и аэрологических станций, характеризуются синхронизированными по времени, высоте и пространству наблюдениями за значениями полей нескольких метеорологических величин одновременно. Основным недостатком таких данных для получения приемлемого по качеству сверхкраткосрочного прогноза является редкое зондирование, обычно 2 раза в сутки (00:00 и 12:00 UTC).

В настоящей статье в качестве модели и методики сверхкраткосрочного прогнозирования использована двумерная динамико-стохастическая модель на основе алгоритма фильтра Калмана [1], зареко-

мендовавшая себя с положительной стороны при решении задач прогноза полей температуры и ветра. Важным отличием от предыдущих исследований является совместный прогноз температуры и давления в случае связанных процессов.

В системах четырехмерного усвоения метеорологических данных, применяемых в современных подходах к среднесрочному прогнозу погоды, происходит одновременное усвоение полей различных метеорологических величин на основе базовых уравнений гидротермодинамики. Кроме того, помимо гидродинамических моделей с успехом используются и статистические методы для случаев, например, совместной оптимальной интерполяции геопотенциала и ветра [3].

Совместное усвоение данных температуры и давления, представленное в рамках настоящей статьи, основывается на уравнении состояния, которое однозначно связывает эти две величины. Поэтому логично предположить, что такой подход позволит повысить точность прогнозирования с заблаговременностью от 1 до 6 ч.

Основываясь на методике, изложенной в [1], преобразуем малопараметрическую динамико-стохастическую модель к виду

$$\xi_{s,h,k} = \sum_{s=1}^n \sum_{m=h-i}^{h+i} \sum_{j=1}^K d_{s,m,j} \xi_{s,m,k-j} + \varepsilon_{s,h,k}, \quad (1)$$

где $\xi_{s,h,k}$ — измеренное значение метеорологического поля ξ под номером s на текущей высоте h и в текущий

* Андрей Викторович Лавриненко (gfm@iao.ru).

момент времени k ; $d_{s,m,j}$ – неизвестные параметры модели (m – номер высотного уровня в пределах слоя атмосферы, используемого в качестве предиктора, а j – инкрементный счетчик внутри временного интервала K , используемого в качестве предиктора); $\xi_{s,m,k-j}$ – измеренные значения поля s на высотах с $h-i$ до $h+i$; i определяет число высот, входящих в рассматриваемый слой; $\varepsilon_{s,h,k}$ – невязка модели за счет стохастичности атмосферных процессов.

В качестве исходных данных были использованы приземные наблюдения за температурой и давлением, приведенным к уровню моря, на двух метеорологических станциях: Томск (индекс 29430) и Новосибирск (индекс 29634) за 2014 г. (<http://www.ncdc.noaa.gov/>). На станции 29634 (Новосибирск) измерения выполнялись каждые 0,5 ч, а на станции 29430 (Томск) через каждые 3 ч.

Так как был всего один высотный уровень, то в выражении (1) значение параметра $i = 0$, а само выражение (1) можно переписать в виде

$$\xi_{s,0,k} = \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^K d_{s,0,j} \xi_{s,0,k-j} + \varepsilon_{s,0,k}. \quad (2)$$

Здесь индекс 0 обозначает, что рассматриваются только приземные измерения, принадлежащие единственному высотному уровню. В дальнейшем в выражениях индекс 0, обозначающий приземный высотный уровень, из рассмотрения будет опущен.

В этом случае, согласно методике, изложенной в [1], вектор наблюдений $\mathbf{H}_{s,k}$ будет одновременно включать измерения как поля температуры, так и давления, и иметь вид

$$\mathbf{H}_{s,k} = |\xi_{0,k-1}, \xi_{0,k-2}, \dots, \xi_{0,k-K}, \xi_{1,k-1}, \dots, \xi_{1,k-K}|, \quad (3)$$

где $\xi_{0,k-1}$ – измерения поля температуры, а $\xi_{1,k-1}$ – измерения поля приземного давления.

Перейдем к результатам экспериментов. Для совместного сверхкраткосрочного прогноза полей температуры и давления была взята одноканальная схема, использующая непосредственно сами измерения в модели (1). Заблаговременность прогноза составляла от 1 до 6 ч. Для заблаговременности 1 ч прогноз выполнялся только по данным наблюдений станции Новосибирск. А для заблаговременности прогноза 3 и 6 ч использовались синхронизированные данные обеих станций. Эксперименты были проведены для двух сезонов года: зимнего и летнего. Начало отсчета для зимы бралось 01.01.2014 г., а для лета – 01.07.2014 г. Длительность каждой выборки в экспериментах составляла 600 непрерывных отсчетов.

На рис. 1 приведены зависимости средней абсолютной ошибки (MAE) прогноза температуры воздуха для приземного высотного уровня от заблаговременности τ для зимнего и летнего периодов в зависимости от вида прогноза. Цифрой 1 отмечен вид прогноза, который проводился отдельно по одному полю температуры, аналогично работе [1], а циф-

рой 2 – совместный прогноз полей температуры и давления. Размер предиктора для всех экспериментов составлял $K = 5$ временных отсчетов. Из анализа рис. 1 видно, что совместный прогноз полей температуры и ветра дает значительный выигрыш по качеству прогноза для всех значений заблаговременности в диапазоне от 1 до 6 ч. Он варьируется от 1,1 зимой до 2,0 °C летом, и больше для больших значений заблаговременности. Это связано с тем, что дисперсия поля температуры для рассматриваемых выборок мало отличалась для станций Томск и Новосибирск и составляла для зимы 8,5–9,5 °C, а для лета 5,7–7,1 °C. Таким образом, относительная ошибка прогноза для малых значений заблаговременности ($\tau = 1$ ч) составляла от 10 зимой до 21% летом, что было обусловлено в большей мере систематическими ошибками.

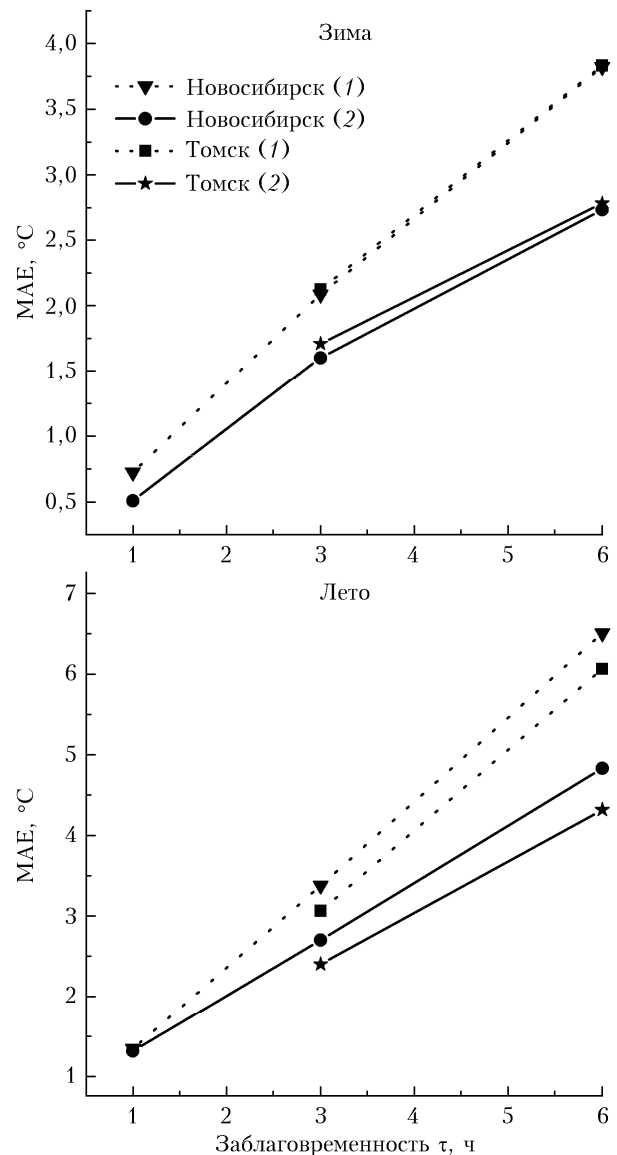


Рис. 1. Зависимость ошибки прогноза поля температуры от заблаговременности τ для станций Томск и Новосибирск

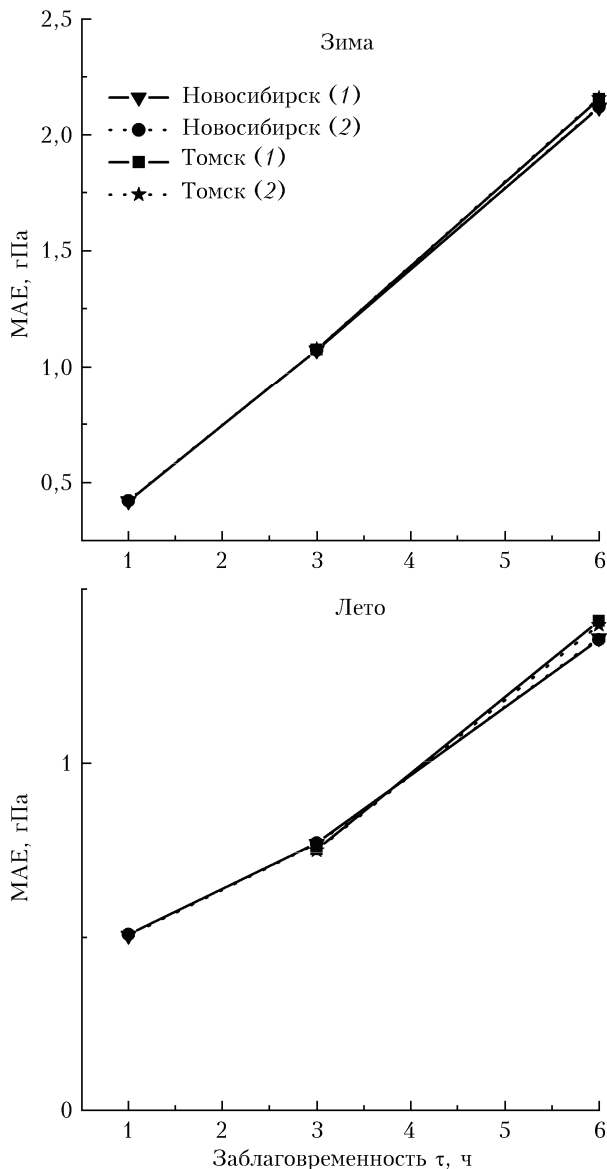


Рис. 2. Зависимость ошибки прогноза поля давления от заблаговременности τ для станций Томск и Новосибирск

На рис. 2 приведена зависимость ошибки прогноза поля давления от заблаговременности τ для станций Томск и Новосибирск, где цифра 1 обозначает прогноз только по полю давления, а 2 – совместный прогноз. Видно, что выигрыш в ошибке прогнозирования малозаметен для значений заблаговременности прогноза $\tau = 1$ и 2 ч и визуально различим только для заблаговременности $\tau = 6$ ч. Это связано в первую очередь с очень маленьким значением относительной ошибки прогнозирования поля давления, составляющей от 9 до 12% для зимы и для лета соответственно для заблаговременности $\tau = 1$ ч. При этом дисперсия самого процесса для обеих станций варьируется от 11,2 гПа для зимы до 6,8 гПа для лета.

Таким образом, совместный сверхкраткосрочный прогноз полей температуры и давления позволяет значительно улучшить среднюю абсолютную ошибку прогноза полей температуры независимо от сезона и заблаговременности прогноза. Вместе с тем какого-либо улучшения в прогнозировании поля давления получить не удалось. Во многом это связано с малой относительной изменчивостью поля давления для исследуемых станций, когда для среднего значения 1017 гПа дисперсия не превышает 11,7 гПа.

Полученные результаты показывают, что алгоритм сверхкраткосрочного совместного прогноза связанных полей температуры и давления может быть с успехом использован на практике.

1. Лавриненко А.В. Исследование динамико-стохастического алгоритма сверхкраткосрочного прогноза метеорологических полей // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 10. С. 919–921.
2. Комаров В.С., Ильин С.Н., Креминский А.В., Кадыров Е.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я., Одинцов С.Л., Попов Ю.Б., Попова А.И., Федоров В.А. Об опыте применения динамико-стохастического метода прогноза в задаче предсказания параметров состояния пограничного слоя атмосферы по данным радиометрических и содарных измерений // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 482–484.
3. Гордин В.А. Математические задачи гидродинамического прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 264 с.

A.V. Lavrinenko. Joint supershort-term forecast of meteorological fields using dynamic-stochastic algorithm for the case of related processes.

The two-dimensional dynamic-stochastic model based on the Kalman filter algorithm and method of its application for supershort-term, with a lead of 1 to 6 hours, forecast of meteorological fields in the case of related processes is considered. The results of the statistical evaluation of joint forecasting of fields of temperature and pressure measurements at meteorological stations Novosibirsk (code 29634) and Tomsk (code 29430) for 2014, carried out every 0.5 and 3 hours, respectively, are discussed. The comparison of the quality of the prediction of meteorological fields for the case-related processes and in the case of prediction of each field individually are carried out.