

УДК 551.509.33+625.731.2

Артеменко В.А., Петрович В.В., канд. техн. наук

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЛІВ ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДАМИ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ

Анотація. Запропонований сучасний підхід до прогнозування полів природних процесів методами хаотичної динаміки.

У якості розрахункового апарату використаний ефективний метод локальної аппроксимації (LA-метод).

Об'єкт дослідження – поля природних гідрометеорологічних процесів.

Мета роботи – розробка та дослідження методу прогнозування полів природних процесів.

Для демонстрації високих можливостей запропонованого метода виконане довгострокове прогнозування середньомісячних полів приземного тиску.

Обговорюється вплив параметрів прогнозування на кінцевий результат прогнозу.

Ключові слова: поля природних процесів, метод локальної аппроксимації, прогнозування природних полів, якість прогнозування полів.

Аннотация. Предложен современный подход к прогнозированию полей природных процессов методами хаотической динамики.

В качестве расчетного аппарата использован эффективный метод локальной аппроксимации (LA-метод).

Объект исследования - поля природных гидрометеорологических процессов.

Цель работы - разработка и исследование метода прогнозирования полей природных процессов.

Для демонстрации высоких возможностей предложенного метода выполнено долгосрочное прогнозирование среднемесячных полей приземного давления.

Обсуждается влияние параметров прогнозирования на конечный результат прогноза.

Ключевые слова: поля природных процессов, метод локальной аппроксимации, прогнозирование природных полей, качество прогнозирования полей.

Annotation. Modern approach is offered to forecasting the natural processes fields by chaotic dynamic methods.

It was used Local Approximation (LA) method.

Object of the research are a fields of natural hydrometeorological processes.

Purpose of the investigations is design and study method of the forecasting natural processes fields.

Long-term forecasting mean – month fields of the atmospheric pressure was executed for demonstration of the high possibilities of the offered method.

Is discussed influence the parameters forecasting for result of the forecast.

Keywords: fields of the natural processes, Local Approximation (LA) method, natural processes fields forecasting, quality of the fields prediction.

Введение

В последнее время установлено, что в своём большинстве природные процессы порождают временные ряды особой природы. Такие ряды по своим свойствам в большей или меньшей степени похожи на детерминированно-хаотические ряды.

Как известно, ряд можно считать хаотическим, если главный показатель Ляпунова имеет положительное значение.

Определение нами показателя Ляпунова для различных природных рядов показало, что значение его для таких рядов существенно отлично от нуля и положительно.

С этих позиций уже можно говорить о хаотичности природных рядов.

Несмотря на то обстоятельство, что природные ряды не являются в полной мере рядами детерминированно-хаотическими, применение методов хаотической динамики для анализа и прогноза этих рядов в большинстве своём оправдано.

Часто даже оказывается, что прогнозирование некоторых природных временных рядов возможно только при использовании методов хаотической динамики.

Ранее в наших работах рассматривались особенности прогнозирования одномерных природных временных рядов (рядов температуры воздуха, расходов воды на конкретных участках, и др.) методами хаотической динамики.

Целью настоящего исследования является демонстрация возможностей прогнозирования полей природных процессов этими методами.

Как оказалось, используемый нами ранее метод локальной аппроксимации (**ЛА-метод**) нулевого порядка можно успешно применять и для прогнозирования самых различных природных полей.

При этом прогнозирование возможно для полей с различным временем усреднения, а время адекватного прогноза диктуется свойствами прогнозируемой системы.

Особенности прогнозирования полей природных процессов

ЛА-методом

Как известно, наиболее полно природные процессы описываются полями. Например, это могут быть поля температуры воздуха, осадков, приземного давления, гидрологические поля (скоростей течения, уровней поверхности реки, расходов воды), различные гидрохимические поля и пр.

При прогнозировании поведения таких полей возможны два основных подхода.

Первый подход – это поточечное прогнозирование поля.

В этом случае поля представляются дискретно, т.е. значениями в отдельных точках (например, в точках с определёнными значениями широты и долготы). Результаты прогнозирования в каждой точке поля являют собой одномерный временной ряд. В итоге получаем прогноз для всего поля.

Такой подход к прогнозированию полей имеет ряд достоинств:

- возможность использования неравномерной координатной сетки;
- возможность для каждой координатной точки поля устанавливать свои параметры прогнозирования, что позволяет в итоге легко выявлять аномальные зоны и получать адекватный прогноз в таких зонах (учитывая различия в оптимальных параметрах прогнозирования в разных точках поля);
- непосредственно применять процедуру прогнозирования одномерных временных рядов к прогнозированию всего поля (без каких-либо модификаций).

К недостаткам такого подхода к прогнозированию полей следует прежде всего отнести необходимость в больших вычислительных ресурсах (большому времени вычислений).

При втором подходе прогнозирование выполняется не отдельно в каждой точке поля, а как нечто целое (ансамбля точек), что представляется более естественным.

Заметим, что если первый подход к прогнозированию полей оказывается неэффективным с точки зрения времени вычислений, то второй подход менее эффективен с точки зрения использования оперативной памяти (что может оказаться существенным при прогнозировании достаточно больших полей).

Далее кратко рассмотрим практическую реализацию второго подхода к прогнозированию природных полей – прогнозирование с помощью одного из методов хаотической динамики – метода локальной аппроксимации (метода **ЛА**) нулевого рядка [1].

Поскольку основной задачей данного исследования является демонстрация возможностей прогнозирования полей природных процессов **ЛА**-методом, было выбрано поле, интерпретация которого во времени очевидна (результаты прогноза легко анализируются даже без специального вычисления меры качества прогноза).

Как демонстрационный пример рассмотрим прогнозирование среднемесячных полей приземного давления на январь - июнь 2012 г.

Исходные данные – поля среднемесячных давлений с января 1987г. по декабрь 2011г. включительно с разрешением 5° по широте и 5° по долготе.

Согласно [1], при прогнозировании одномерного временного ряда методом **LA** такой ряд вначале превращают в траекторную матрицу.

Однако этом при прогнозировании поля как цельного объекта нет необходимости специальным образом формировать новую траекторную матрицу.

В данном случае одна строка траекторной матрицы будет представлять собой поле (точек) для одного месяца, т.е. среднемесячное поле приземного давления, «вытянутого в строку». При размере поля, например, 10×20 единиц и числе точек, равном 200, все строки траекторной матрицы также будут длиной 200 (точек).

В такой траекторной матрице будет, соответственно, 200 столбцов.

При этом разворот "в строку" выполняется по правилам, принятым в **MATLAB** (но можно выполнять также по правилам, принятым в языке программирования **СИ** или **PASCAL**).

Таким образом, структура траекторной матрицы в данном случае будет иметь вид

$$M = \begin{bmatrix} \text{Поле для января 1987г., вытянутое в строку} \\ \text{Поле для февраля 1987г., вытянутое в строку} \\ \text{Поле для марта 1987г., вытянутое в строку} \\ \dots \\ \dots \\ \text{Поле для октября 2011г., вытянутое в строку} \\ \text{Поле для ноября 2011г., вытянутое в строку} \\ \text{Поле для декабря 2011г., вытянутое в строку} \end{bmatrix}.$$

Временная задержка, необходимая при формировании траекторной матрицы, была принята равной единице.

При таком подходе к прогнозированию не обязательно иметь данные по замкнутой области. В нашем случае рассматривается поле на небольшом промежутке пространства.

Отметим, что метод **ЛА** позволяет выполнять прогноз сразу на **N** временных интервалов, без обязательного нахождения полей для всех промежуточных моментов времени. Для такой прямой (не итеративной) процедуры накопления ошибок на каждом шаге прогнозирования в принципе не свойственно [1].

Объем обрабатываемых данных позволяет выполнять прогнозы полей даже на обычных ПЭВМ практически мгновенно.

Пример прогнозирования поля и обсуждение результатов

На вход процедуры прогнозирования поступали среднемесячные фактические поля давлений с января 1987 г по декабрь 2011 г.

Поля предварительно подвергались достаточно сильной фильтрации. Если исходные поля не фильтровать, качество прогноза значительно ухудшается.

Прогнозирование выполнялось на один, два, ... шесть месяцев, начиная с января 2012 г.

Сравнивая прогнозные поля давлений с полями фактическими, делали соответствующие выводы о качестве прогноза.

На рис.1 представлено фактическое поле давления на январь 2012 г, на рис.2 – прогнозное поле для этого месяца.

Число аналогов, находимых для текущего вектора состояния, принималось равным $NNV=1$. При этом следует отметить весьма высокое качество прогноза. Естественно, что полного совпадения полей не достигается.

На рис. 3 представлено фактическое поле давления на февраль месяц 2012 г, на рис. 4 – прогнозное поле ($NNV=1$).

Сравнивая фактическое и прогнозное (на два месяца вперед) поля давлений, делаем вывод о достаточно высоком качестве прогноза (несколько хуже, чем на месяц вперед).

На рис. 5 представлено фактическое среднемесячное поле давления на март 2012г,

На рис. 6 – прогнозное поле для этого месяца ($NNV=1$).

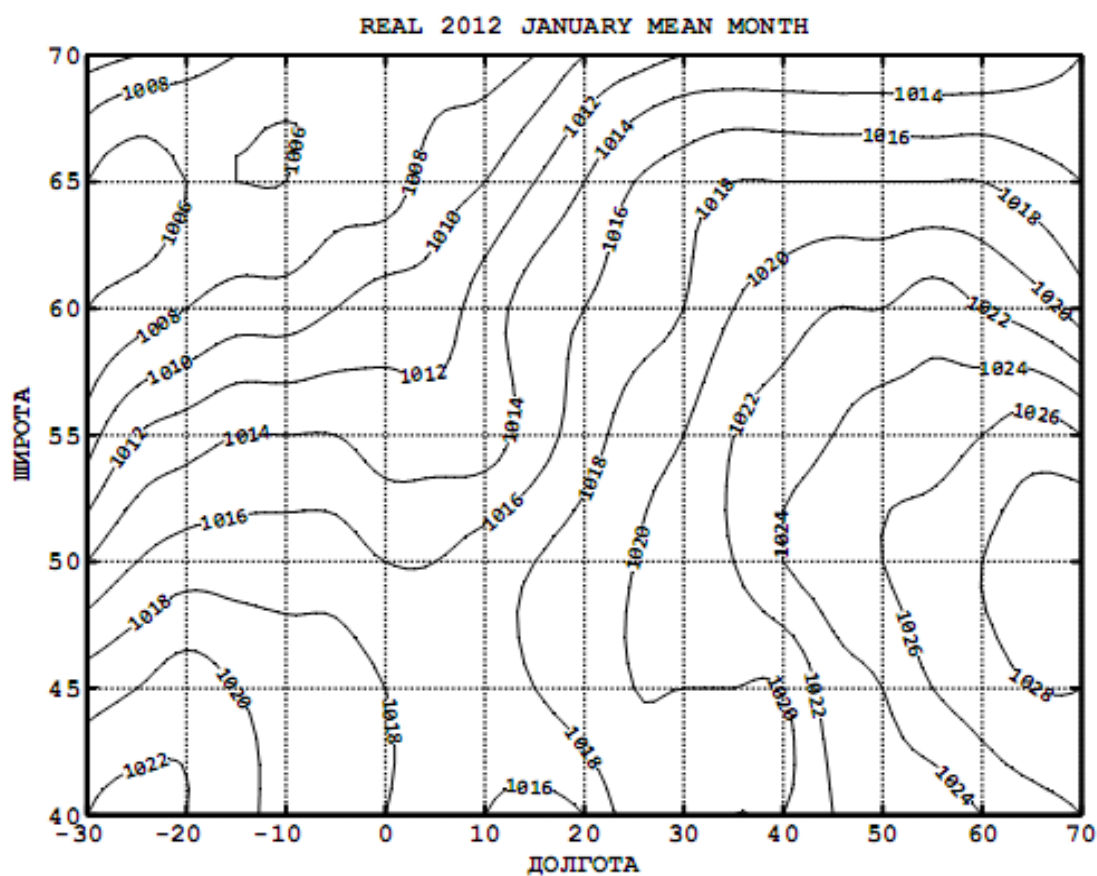


Рисунок 1

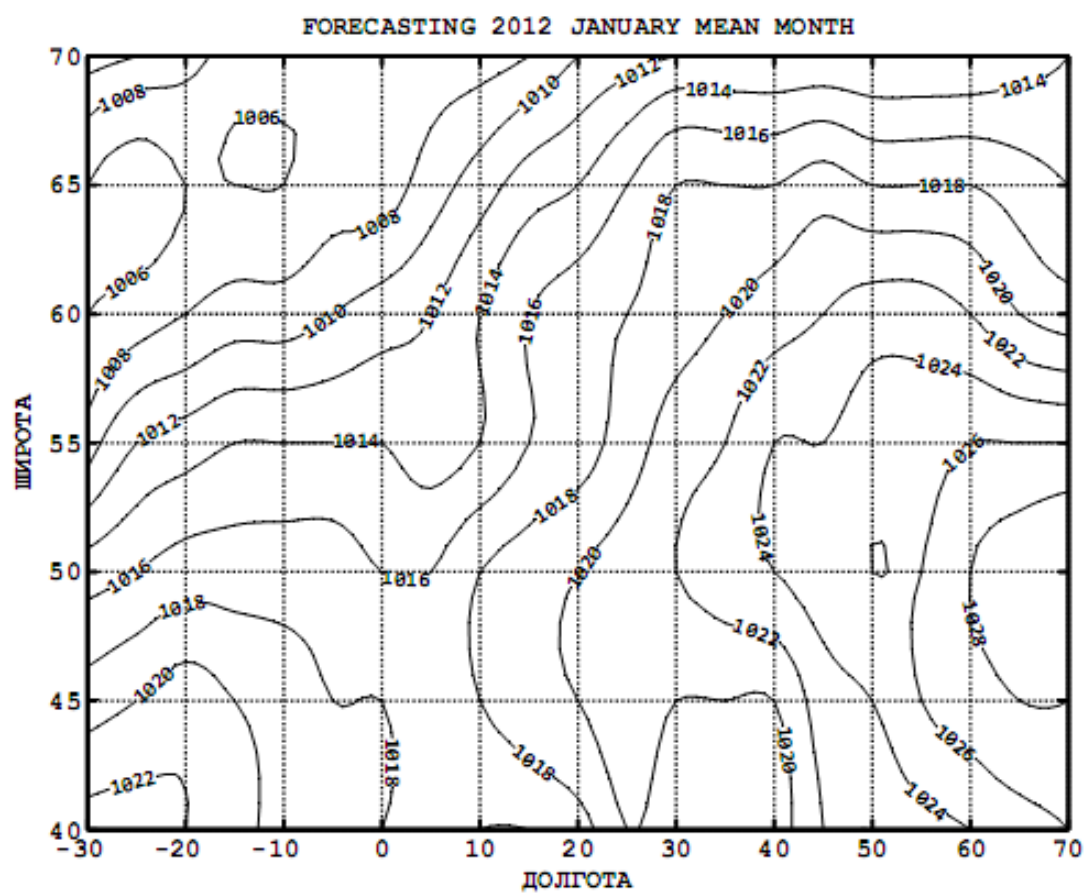


Рисунок 2

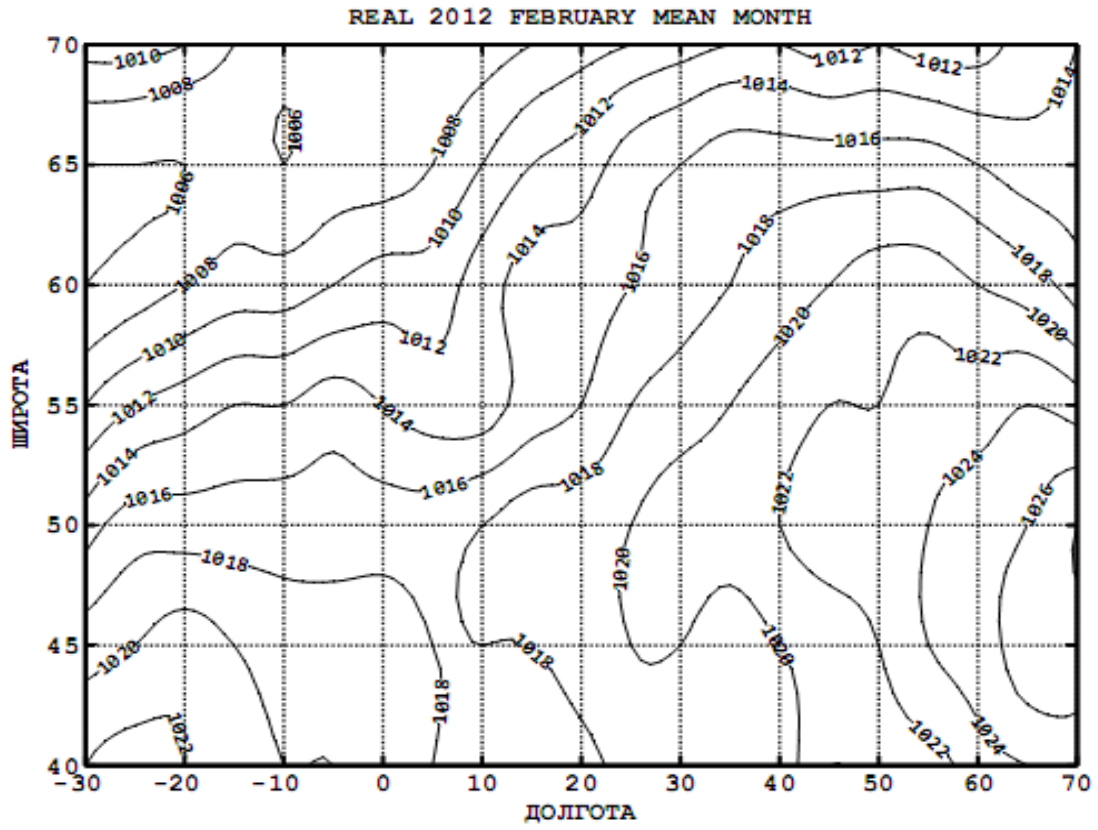


Рисунок 3

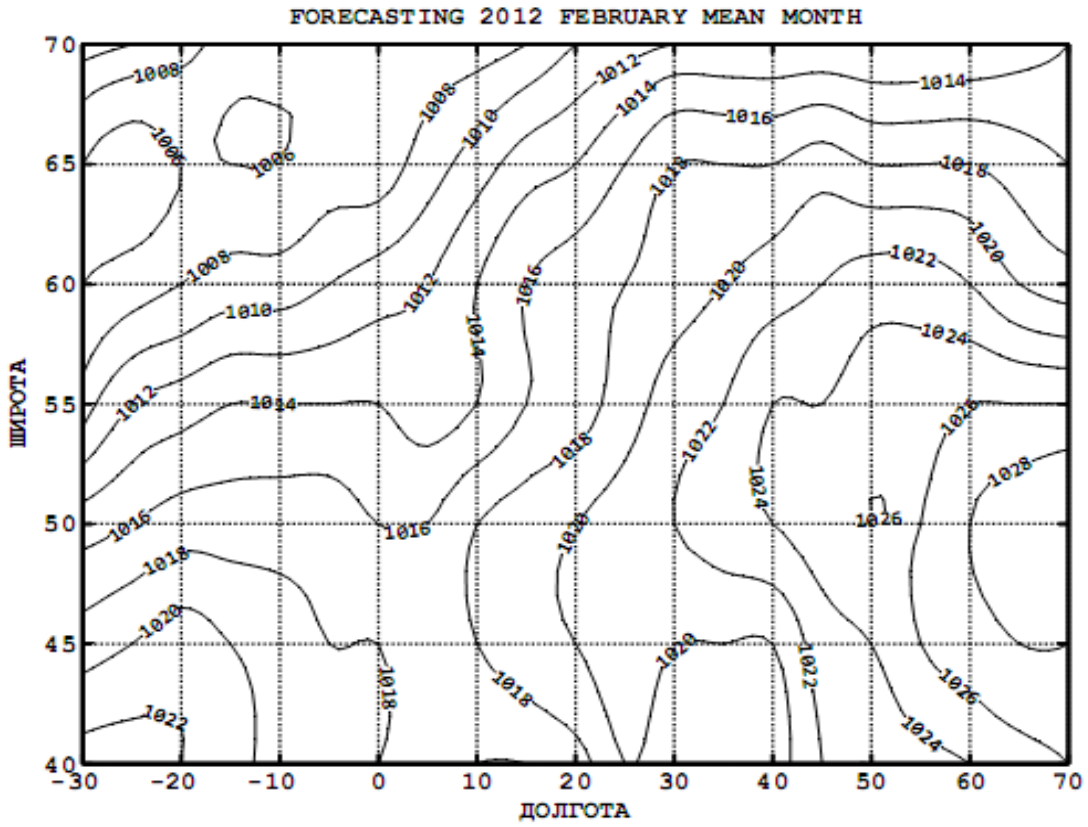


Рисунок 4

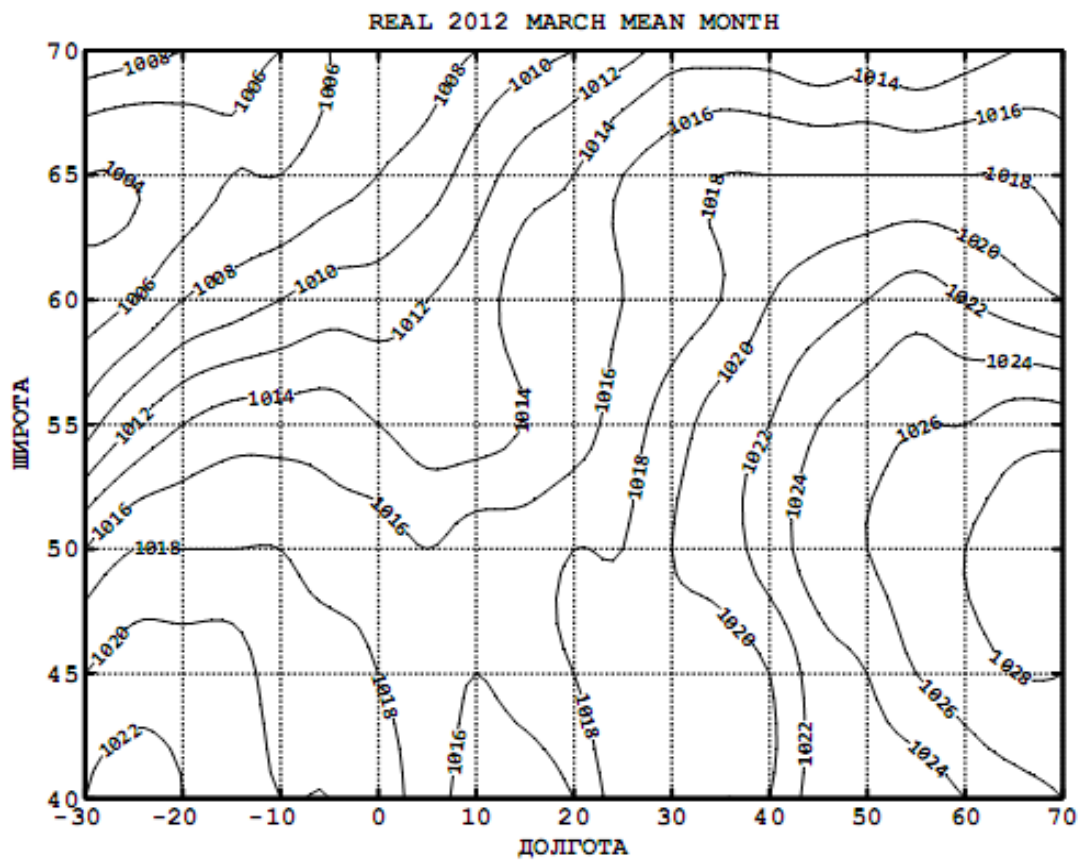


Рисунок 5

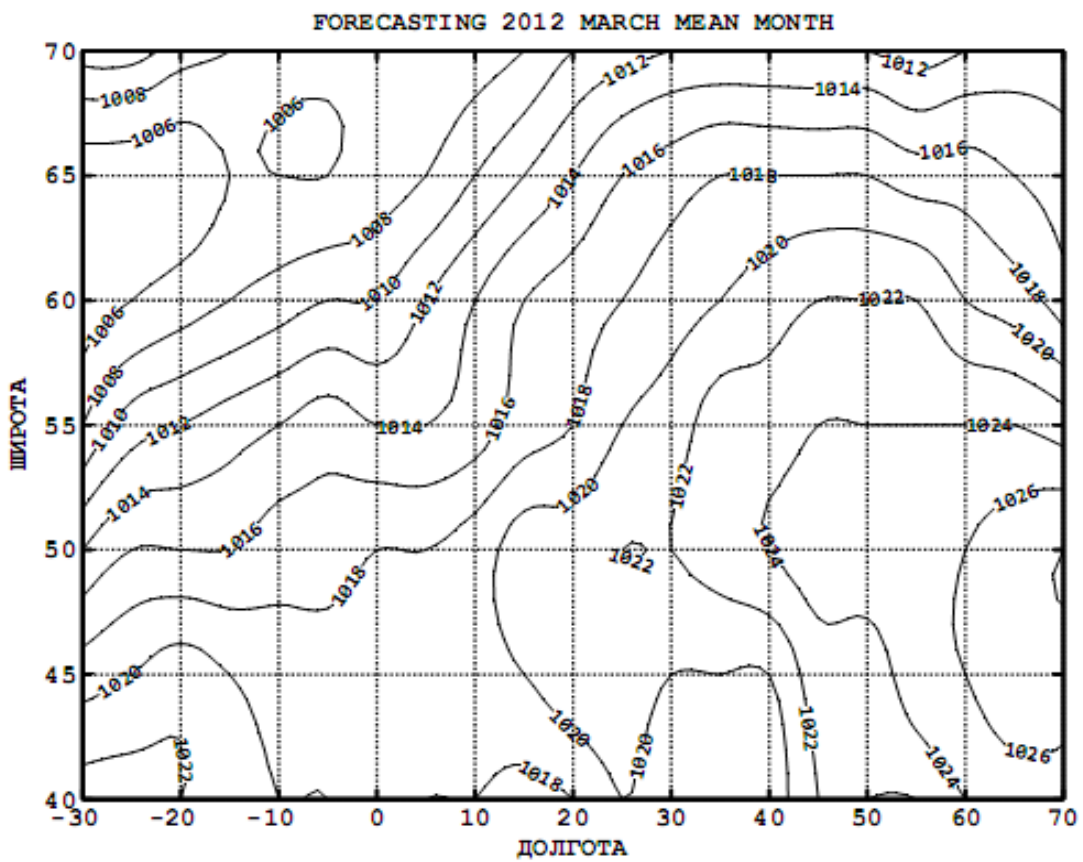


Рисунок 6

В данном случае также можно говорить о хорошем качестве прогноза, поскольку сигнатура поля, т.е. центры высокого и низкого давления, а также их месторасположение, прогнозируются правильно.

С достаточно высокой степенью точности прогнозируются и величины давления (с соответствующей привязке к координатной сетке).

Удовлетворительные для практики результаты получены при прогнозировании на апрель-июнь месяцы 2012г.

Следует отметить, что при таком подходе к прогнозированию теряется управление над параметром прогнозирования **DIM** (размерностью реконструированного фазового пространства, равной числу столбцов траекторной матрицы).

В данном случае параметр прогнозирования **DIM** будет всегда равен размеру поля для одного месяца, представленного количеством соответствующих точек.

Однако управление таким параметром как число находимых (выбираемых) аналогов **NNV** тем не менее позволяет достигать наилучших результатов при прогнозировании.

С целью оценки влияния количества аналогов **NNV** на качество прогноза был выполнен прогноз поля приземного давления на январь месяц 2012г. при числе аналогов, равном соответственно 2...10, 15, 20, 25 и 50.

Анализируя прогнозные поля давлений по мере увеличения количества находимых аналогов, можно утверждать, что качество прогноза при этом снижается.

При числе находимых аналогов $NNV > 10$ отмечается дальнейшее (более существенное) ухудшение качества прогноза.

Поскольку в данном примере длина (количество строк) формируемой траекторной матрицы составляет около 300, нахождение нескольких реальных аналогов вряд ли возможно. Увеличение числа находимых аналогов приводит только к ухудшению качества прогноза.

В данном случае реализуется сценарий, характерный при прогнозировании модельных одномерных хаотических рядов, когда высокое качество прогноза достигается только при использовании малого числа находимых аналогов ($NNV = 1 \dots 3$).

В заключение отметим, что по сравнению с применяемыми в настоящее время методами прогнозирования природных полей качество прогноза данным методом может рассматриваться как высокое и пока недостижимое для других методов.

Так, время опережения прогноза при его высоком качестве достигало в данном случае как минимум 2-3 месяца, а полученное прогнозное поле практически совпадало с полем реальным.

Анализ результатов прогноза свидетельствует о существенно детерминированном характере прогнозируемых природных полей, и в этой связи вероятностные методы прогноза не могут давать априори адекватных результатов.

Выводы

1. При прогнозировании поведения полей природных процессов возможны два основных подхода.

Первый подход - поточечное прогнозирование поля, когда результаты прогнозирования в каждой его точке представляют собой одномерный временной ряд.

Второй подход – прогнозирование выполняется для всего ансамбля точек, что представляется более естественным.

2. Применение методов хаотической динамики при прогнозировании полей природных процессов в большинстве своём даёт положительные результаты.

Качество прогноза данным методом может рассматриваться как достаточно высокое.

3. Анализ полученных результатов свидетельствует о существенно детерминированном характере прогнозируемых природных полей.

В этой связи применение вероятностных методов прогноза не может давать априори адекватных результатов.

Литература

1. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 86. -К.: Вид-во НТУ. - 2012. - С. 176-195.