

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ ВЫБОРОЧНЫХ КОМПОНЕНТ К ПРОГНОЗУ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА УСТАНОВЛЕННОЙ ГРАДАЦИИ

Л. М. Акимов, Т. Н. Задорожная

Воронежский государственный университет, Россия

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия

Поступила в редакцию 14 июня 2012 г.

Аннотация: Рассматривается приложение анализа главных компонент к выделению составляющих временного ряда месячного количества часов с инверсионной облачностью высотой 150-300 м, способствующей дополнительному загрязнению атмосферного воздуха. С учетом нескольких первых главных компонент разработан месячный прогноз со средней ошибкой 8 часов.

Ключевые слова: инверсионная облачность, главные компоненты, загрязнение, атмосферный воздух, прогноз, ошибки.

Abstract: The article covers the application of the analysis of key parts for separation of the parts of the monthly number of hours of inversion cloudiness in the height of 150-300 m contributing to additional pollution of atmospheric air. Considering some of the first principal components the month forecast is designed with an average error of 8 hours.

Key words: the inversion cloudiness, the main components, pollution, atmospheric air, forecast, errors.

Важным регулятором загрязнения воздушной среды является облачность, поэтому необходимо знать заранее, в течение, какого периода времени в данном месяце будет сохраняться определенный характер облачности. Эта задача может быть решена, если иметь надежную методику долгосрочного прогноза искомого вида облачности. Вместе с тем, долгосрочные прогнозы погоды вообще, а прогнозы облачности в особенности, являются сложной и спорной в научном смысле проблемой. Несмотря на современное развитие вычислительной техники, усложнение прогностических моделей и существенное увеличение используемой информации о состоянии атмосферы, улучшение оправдываемости долгосрочных прогнозов происходит крайне медленно.

В данном исследовании при решении поставленной задачи, учитывалось то, что атмосферные процессы обладают ритмическими свойствами. В том случае, если они содержат заметную ритмическую составляющую, то имеется возможность их экстраполяции во времени. В последние годы для выявления ритмичности в атмосферных процессах используется фундаментальный статисти-

ческий аппарат, в основу которого положен метод анализа выборочных главных компонент (ВГК) [1, 4].

Результатом применения такого метода является разделение временного ряда на компоненты, которые могут быть интерпретированы как медленно меняющиеся трендовые составляющие, высокочастотные циклические колебания и шумовой фон. Метод не предусматривает знания параметрической модели ряда и позволяет работать с зашумленными нестационарными временными рядами. Он, в частности, позволяет выделять амплитудно-модулированные гармонические составляющие, что выгодно отличает его от методов, построенных на разложении Фурье.

Суть метода [3] в том, что одномерный временной ряд преобразуется в матрицу развертки с помощью сдвиговой процедуры. В исследуемом ряде размером N в качестве первого шага выбирается отрезок L ($L = x_1, x_2, x_3, \dots, x_L$), названный «длиной окна». Он выбирается при условии, что $L < N/2$. На основе данного ряда строится выборочная траекторная матрица X , столбцами которой являются скользящие отрезки длины ряда N : с первой точки по L -ю, со второй по $L+1$ и т.д.:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1, x_2, \dots, x_L \\ x_2, x_3, \dots, x_{L+1} \\ x_3, x_4, \dots, x_{L+2} \\ \dots \\ x_k, x_{k+1}, \dots, x_N \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Полученные отрезки длиной L называют векторами L -вложения, которые полностью наследуют свойства ряда N . Количество строк в этой матрице равно $K = N - L + 1$. Матрица \mathbf{X} размерности $L \times K$ рассматривается как L -мерная выборка объема K , для которой проводится анализ главных компонент. Следующим шагом является сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц [1, 2]. Каждая из них задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов: собственного и факторного. Для этого вычисляется:

$$R = (\kappa - I)^{-1} X^T X. \quad (2)$$

В результате такой процедуры вычисляются собственные значения и собственные векторы, которые обозначаются, соответственно, как I_i и $p_i = (p_{i1} p_{i2} \dots p_{im})^T$. Номера собственных значений I_i и соответствующих им собственных векторов, выстраиваются в порядке убывания. Преимущество данного подхода в том, что он позволяет использовать небольшие ряды. Из получен-

ного набора выбираются главные компоненты, по которым можно восстановить исходный ряд. В данной работе описанная процедура была использована для анализа временного ряда N , компонентами которого являлись суммарные за январь количества часов с облачностью высотой 150-300 м в пункте Воронеж. Реализация данного подхода осуществлялась в несколько этапов. На первом этапе проводится визуальный анализ главных компонент. Согласно установленному понятию, трендом является медленно меняющаяся компонента ряда, не содержащая колебательных компонент. Если ряд имеет тренд, то первые вектора будут медленно меняться в одном направлении. Исходя из такого определения, на одномерных диаграммах собственных векторов для выявления тренда необходимо найти медленно меняющиеся собственные векторы. Визуальный их анализ показал, что поставленному условию соответствует первый собственный вектор, представленный на рис. 1.

Представленная первая главная компонента, описывает 86,5% дисперсии. Визуальный анализ свидетельствует о том, что ряд имеет тренд сложной формы. Знак его положительный, то есть, от года к году происходит монотонное увеличение месячного количества часов с облачностью установленной градации. Наличие в исходных рядах трендовой составляющей позволяет разрабатывать инерционные прогнозы.

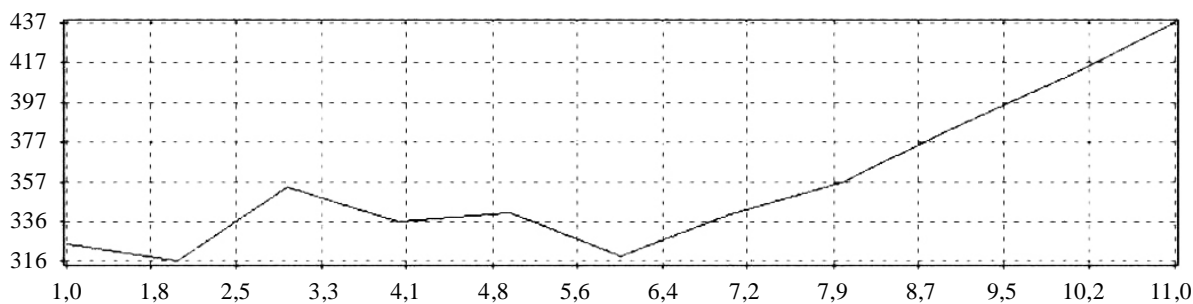


Рис. 1. Одномерная диаграмма собственных векторов временного хода

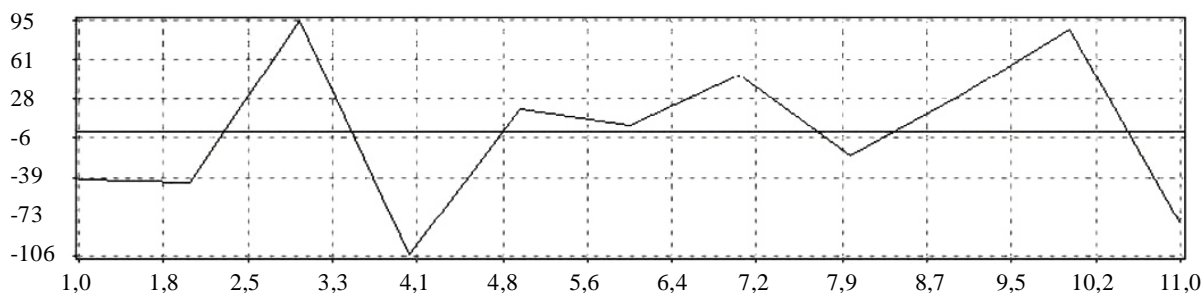


Рис. 2. Одномерная диаграмма 2-го собственного вектора временного хода

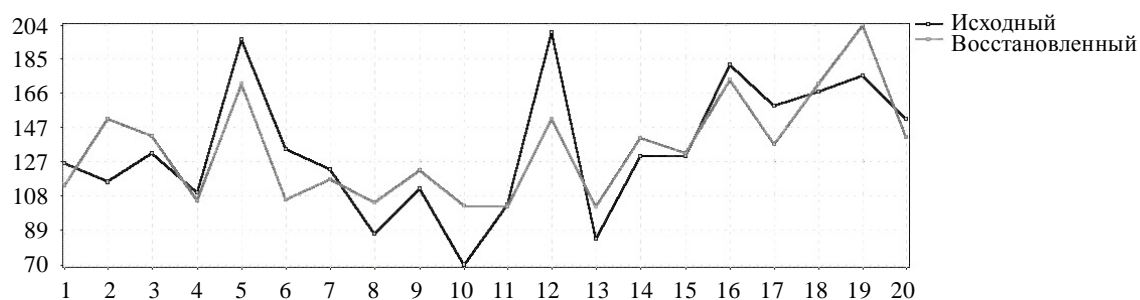


Рис. 3. Исходный и восстановленный ряды суммарного за месяц количества часов с облачностью 150-300 м

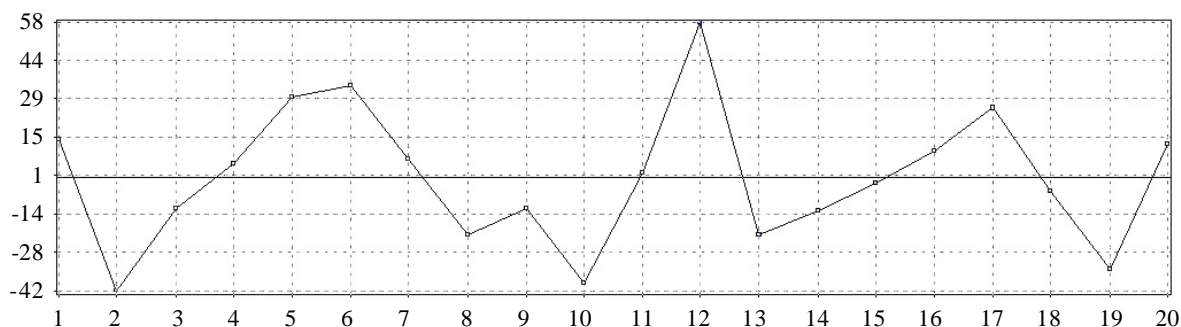


Рис. 4. Ошибки восстановления исходного ряда

На следующем этапе с целью выявления периодических колебаний, проводилась идентификация остальных гармоник. О наличии колебаний на фоне слабой общей тенденции может свидетельствовать вторая составляющая, представленная на рис. 2.

Из анализа рисунка следует, что в ходе кривой второго собственного вектора имеет место регулярное периодическое поведение. Данные, представленные на графике, обнаруживают в исследуемом временном ряде проявление климатических колебаний порядка 7 лет.

Подтверждением эффективности разложения временного ряда на главные компоненты: выделение тренда, сигнала и шума, является оценка точности восстановления его с помощью нескольких первых составляющих. На рис. 3 представлен ряд облачности, восстановленный по первым 10 выборочным главным компонентам скользящего отрезка. Для сравнения на этом же рисунке приведен и ряд исходных данных.

Обе кривые имеют вид близкий к синусоидальному, что более отчетливо видно в сглаженной кривой восстановленных значений, где нестабильная часть колебаний исключена.

Таким образом, с помощью выбранных составляющих выявлены отдельные особенности исследуемого ряда, а именно: наличие тренда и гармонических колебаний. Оценки точности восстановления исследуемого ряда представлены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что ошибки восстановления исходного ряда в единицах месячного количества часов с облачностью 150-300 м на протяжении всего периода наблюдений не одинаковы. Наиболее высокие положительные отклонения приходятся на экстремумы в ходе кривой и составляют максимум 50 часов. Вместе с тем, средняя за весь период абсолютная ошибка составляет 19,3 часа, средняя относительная ошибка равна 10 часам. Эти цифры могут свидетельствовать о достаточно успешном проведении процедуры восстановления.

На следующем этапе с учетом четырех первых главных компонент разработан прогноз месячного количества часов с облачностью 150-300 м, представленный на рис. 5.

С этой целью исходная выборка была разделена на две части: первая половина периода является известной, а вторая прогнозировалась с помощью первых 4-х наиболее информативных главных компонент. Как следует из рис. 5, с помощью данного подхода удалось предусмотреть как основные колебания, так и структуру ряда в целом. Максимальная ошибка прогноза составила 25 часов, уровень остальных ошибок был значительно меньше, что обеспечило среднюю арифметическую ошибку месячного количества часов около 8 часов. Учитывая, что норма месячного количества часов с облачностью 150-300 м равна 126,6 часов, а средняя изменчивость S в данном месяце со-

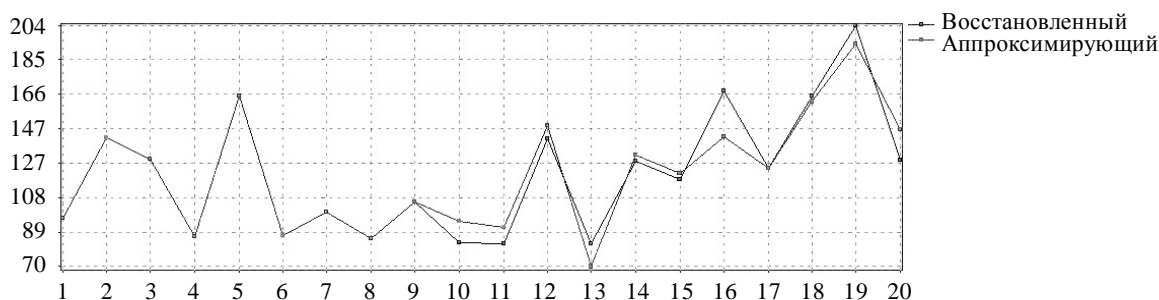


Рис. 5. Прогноз месячного количества часов с облачностью 150-300 м

ставляет 45,5 часа, следует признать, что ошибка, полученная по данному методу, намного меньше, естественной климатической изменчивости. Поэтому успешность используемого метода прогноза является выше климатического, что позволяет использовать данную методику для прогноза месячного количества часов с облачностью установленной градации.

Достоинством метода является тот факт, что выборочные главные компоненты, в силу своих экстремальных свойств, при фиксированном числе составляющих, обеспечивают минимальную погрешность восстановления.

Второе преимущество метода состоит в том, что он не предполагает стационарности ряда, как это делается в аналогичных методах анализа временных рядов. Это обстоятельство имеет важное значение для исследования рядов метеорологических величин, где при исключенном тренде, в среднем годовом ходе, может иметь место внутригодовая нестационарность, обусловленная модуляцией годового хода [5].

Акимов Леонид Мусамудинович
кандидат географических наук, доцент Воронежского государственного университета, г. Воронеж,
т. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail:
root@geogr.vsu.ru, akl63@bk.ru

Задорожная Тамара Николаевна
кандидат географических наук, доцент, «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации – ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, т. (473) 222-99-07

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз внутримесячного хода аномалии температуры для европейской территории России и Западной Сибири / О. В. Батырева [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 12. – С. 20-31.
2. Бриллинджер Д. Временные ряды: Обработка данных и теория / Д. Бриллинджер. – М.: Мир, 1980. – 536 с.
3. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница» – SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб.: ВВМ, 2004. – 76 с.
4. Решетов В. Д. Прогнозирование колебаний температуры и давления воздуха в предстоящем месяце методом статистического учета истории колебаний // Применение статистических методов в метеорологии: тр. 11 Всесоюз. симп. по применению статистических методов в метеорологии / В. Д. Решетов, Н. Д. Тихомиров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – С. 84-90.
5. Vautard R. Singular-spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series / R. Vautard, M. Ghil // Physica D. – 1989. – Vol. 35. – P. 395-424.

Akimov Leonid Musamudinovitch
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-951-850-49-82, (473) 266-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru, akl63@bk.ru

Zadorozhnaya Tamara Nikolayevna
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force, «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovskiy and Y. A. Gagarin» (Voronezh) of the Ministry of Defense of the Russian Federation – MERC AF «AFA», Voronezh, tel. (4732) 22-99-07