

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НАД ЗАДАННЫМ ГЕОГРАФИЧЕСКИМ РАЙОНОМ

В.П. Закусилов, П.В. Закусилов

Военный авиационный инженерный университет, Россия

Поступила в редакцию 17 января 2009 г.

Аннотация: В статье рассмотрена возможность использования компонентного анализа при выборе предикторов характеризующих особенности атмосферной циркуляции над заданным географическим районом за определенный период времени для использования их при решении определенных метеорологических задач.

Ключевые слова: компонентный анализ, главные компоненты, нагрузки главных компонентов, атмосферная циркуляция, поле геопотенциала, средний уровень тропосферы.

Abstract: The article discusses the use of component analysis in selecting the predictors representing the features of the atmospheric circulation over a given geographical area within a certain period of time. It can be used for solving certain meteorological problems.

Key words: component analysis, main components, main components pressure, the atmospheric circulation, the geopotential field, the average level of the troposphere.

Неоднородность физических свойств подстилающей земной поверхности является причиной нарушения зонального поступления солнечной радиации в границы географической оболочки, что сопровождается быстро меняющимися формами межширотного обмена воздухом. Распределение полей метеорологических величин, определяющих погодные условия отдельных географических территорий, тесно связано с макросиноптическими процессами, развивающимися в атмосфере. Следовательно, в прогностических целях необходимо учитывать характер общей циркуляции атмосферы, при этом целесообразен более детальный учет характера атмосферной циркуляции непосредственно над территорией, по которой разрабатывается прогноз.

В общем смысле под понятием атмосферная циркуляция в метеорологии понимается совокупность всех воздушных течений, возникающих в ней. По масштабу их можно подразделить на три группы: 1) локальные, возникающие в ограниченном районе в основном за счет неоднородности подстилающей поверхности и проявляющиеся в виде разномасштабных турбулентных движений; 2) синоптические, определяемые движением воздушных масс циклонического и антициклонического

характера барического поля; 3) макромасштабные, отличающиеся наиболее устойчивыми течениями в тропосфере и стратосфере и обусловленные факторами планетарного масштаба.

В настоящей работе акцент сделан на возможность представления макромасштабных особенностей атмосферной циркуляции, которые могут быть использованы в качестве предикторов при прогнозе метеорологических условий над территорией восточной Европы.

Интенсивность и направленность ведущего потока характеризуется полем абсолютного геопотенциала среднего уровня тропосферы. Обычно принимается уровень 500 гПа (АТ-500). Однако, прежде чем исследовать его влияние на характер метеорологических условий, следует определиться с конкретными его параметрами, используемые в качестве предикторов. Достаточно полно такое поле могут характеризовать его значения в узлах регулярной сетки точек. Количество точек будет зависеть от шага сетки и размеров исследуемого района. При анализе статистических связей, часто возникает конфликт между желанием иметь более подробную характеристику исследуемых полей (использованием большего числа точек) и длиной имеющейся архивной выборки. Большая детализация параметров поля для получения статистически значимых результатов влечет за собой

необходимость многократного увеличения длины выборки, что в реальных условиях часто не выполнимо. Кроме того, значения параметров поля, особенно в соседних узлах, часто достаточно коррелируемы между собой, что также нежелательно при выборе предикторов.

Следовательно, при использовании характеристик поля в качестве предиктора при решении определенных метеорологических задач есть необходимость в представлении его набором определенных параметров, которые бы характеризовали его в целом [2].

В данной работе мы провели исследование возможности использования компонентного анализа при характеристике особенностей атмосферной циркуляции, обусловленных полями абсолютного геопотенциала АТ-500.

Задача компонентного анализа состоит в преобразовании пространства исходных признаков (используемых в качестве предикторов) в пространство некоррелированных главных компонент, дисперсия которых равна дисперсии исходной совокупности, но перераспределена так, что большая ее часть приходится на первые компоненты. При этом, главные компоненты являются линейными комбинациями исходных переменных. Их получают в результате ортогонального преобразования матрицы исходных данных. В таком случае появляется возможность уменьшения числа переменных за счет отбрасывания части компонент, которым соответствуют малые дисперсии.

Модель компонентного анализа основывается на предположении, что любой исходный признак может быть представлен в виде линейной комбинации главных компонент.

Согласно этой методике значения параметров исследуемых полей геопотенциала АТ-500 в узлах регулярной сетки можно представить в виде функции от времени (t) и пространственных координат (узлов сетки) (i)

$$H_{it} = \sum F_{h(t)} X_{h(i)}, \quad (1)$$

где h – порядковый номер главной компоненты с соответствующей нагрузкой; $X_{h(i)}$ – главные компоненты поля (собственные функции); $F_{h(t)}$ – нагрузки главных компонент (коэффициенты), описывающие амплитуду естественных колебаний во времени, которые рассчитываются по формуле

$$F_{h(t)} = \sum_i H_{it} X_{h(i)} / \sum_h (X_{h(i)})^2, \quad (2)$$

где i – номер узла сетки.

Главные компоненты исследуемого поля полностью несут в себе информацию о нем. Однако вклад каждого из них в общую дисперсию поля неодинаков. С увеличением порядкового номера он уменьшается. Доля вклада в суммарную дисперсию поля определяется из соотношения:

$$\lambda_h / \sum_{h=1}^k \lambda_h, \quad (3)$$

где k – общее число главных компонент; λ_h – часть дисперсии поля, определяемая каждым из них в отдельности.

Нагрузки главных компонент, полученные в результате линейного ортогонального преобразования, являются количественной характеристикой индивидуальных полей выборки. Величина и знак полей выборки определяют вклад соответствующих им компонент в сумму, которой аналитически представляется каждое индивидуальное поле из имеющейся их совокупности. Поэтому знак и величина могут выступать в качестве характеристики соответствующего поля.

Для адекватного описания совокупности исходных признаков достаточным считается такое количество главных компонент, общий вклад которых в суммарную дисперсию превышает 80% [3].

Оптимальная совокупность составляющих разложения определяется с использованием выражения

$$R^2 = \sum_{h=1}^{k^*} \lambda_h / \sum_{h=1}^k \lambda_h, \quad (4)$$

где знаменатель характеризует суммарную дисперсию поля, числитель – часть этой дисперсии, определяемой первыми k^* главными компонентами.

Для реализации рассмотренного подхода в работе использовались поля (карты) ежедневных значений геопотенциала на уровне 500 гПа за пять лет в месяцах холодного периода (ноябрь, декабрь, январь). При этом значения геопотенциала снимались в 20 узлах регулярной сетки с шагом 5° по широте и 10° по долготе в районе, ограниченном 20° - 60° в.д. и 60° - 40° с.ш.

Анализируя результаты использования метода главных компонент, следует отметить, что полная дисперсия полей описывается 20 главными компонентами. Однако вклад их не равнозначен. В таблице приведены индивидуальные и накопленные значения такого вклада, первых десяти главных компонент полей абсолютного геопотенциала (АТ-500) выраженные в процентах.

Вклад первых десяти главных компонент в дисперсию полей АТ-500 (%)

Характер вклада	Составляющие разложения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Индивидуальный	41,7	25,9	13,1	6,0	4,5	2,0	1,6	1,3	1,1	0,5
Накопленный	41,7	67,6	80,8	86,7	91,3	93,2	94,8	96,1	97,2	97,7

Оценивая «вес» главных компонент с различным порядковым номером, необходимо отметить, что наибольший вклад в суммарную дисперсию поля АТ-500 вносит первый из них, описывающий крупномасштабные процессы (около 42%). Сравнительно высокий «вес» имеет также вторая (26%), несколько меньший вклад третья (13%) и четвертая (6%) компоненты. Компоненты с порядковыми номерами 5, 6, 7, 8 вносят в суммарную дисперсию соответственно 4,5%, 2%, 1,6% и 1,3%. Вклад последующих компонент незначителен.

Расчеты показали, что при использовании первых трех главных компонент, описывается примерно 81% дисперсии поля АТ-500, четырех – 87%, шести – 93%, восьми членом более 96%, десяти членом около 98%.

Таким образом, применение метода главных компонент, приводящее к перераспределению дисперсии исходных полей АТ-500 позволяет сосредоточить 93% общей дисперсии соответствующих полей при использовании только шести первых главных компонент. Это соотношение числа компонент и количества описываемой ими общей дисперсии полей АТ-500 в данном случае, на наш взгляд, является оптимальным, с точки зрения использования их в качестве предикторов для характеристики циркуляционных особенностей среднего уровня тропосферы.

Представляет интерес графическое представление полей главных компонент. Из анализа пространственного распределения шести первых главных компонент поля абсолютного геопотенциала АТ-500 следует, что поле первой главной компоненты представлено на всей территории крупномасштабным очагом одного знака, поля второй и третьей компонент представлены полями с двумя очагами противоположного знака, причем расположенными в первом случае на западе и востоке, обуславливая тем самым меридиональную направленность изолиний, во втором случае очаги находятся на севере и юге, обуславливая зональную направленность изолиний. С увеличением порядкового номера компонент в полях появляются очаги все более мелкого масштаба. В поле четвертой

компоненты отмечается три очага. Центр территории занимает очаг с отрицательным значением, вытянутый с севера на юг, запад и восток – области с положительными значениями. Для поля пятой компоненты характерно наличие четырех очагов, расположенных в шахматном порядке. Области отрицательных значений тяготеют к северо-западу и юго-востоку, а положительных значений к юго-западу и северо-востоку рассматриваемой территории. По интенсивности очаги примерно равны. В поле шестой главной компоненты, как и четвертой отмечается три очага. Центр территории занимает область с отрицательным значением, но интенсивность его меньше и вытянут он с запада на восток. Области с положительными значениями располагаются на севере и юге рассматриваемой территории.

Согласно [1, 4], очаги полей главных компонент некоторых метеорологических величин допустимо интерпретировать как барические образования, тип которых определяется только знаком (областям отрицательного знака соответствуют циклоны или барические ложбины, областям противоположного знака – антициклоны или барические гребни).

Применительно к нашему исследованию можно отметить, что особенности изменения структуры полей главных компонент определенным образом отражают те или иные закономерности крупномасштабной циркуляции, то есть описывают циркуляционные процессы различного пространственного масштаба в средней тропосфере.

Анализ полей, составляющих разложения более высоких порядков показывает, что увеличение числа локальных очагов существенным образом усложняет структуру полей и соответственно физически обоснованную интерпретацию их с точки зрения описания крупномасштабных процессов. Вероятнее всего они характеризуют процессы более мелкого масштаба.

Рассмотренные главные компоненты поля АТ-500 зависят от координат и не меняются во времени. Долю вклада каждого из них в различные моменты времени характеризуют нагрузки глав-

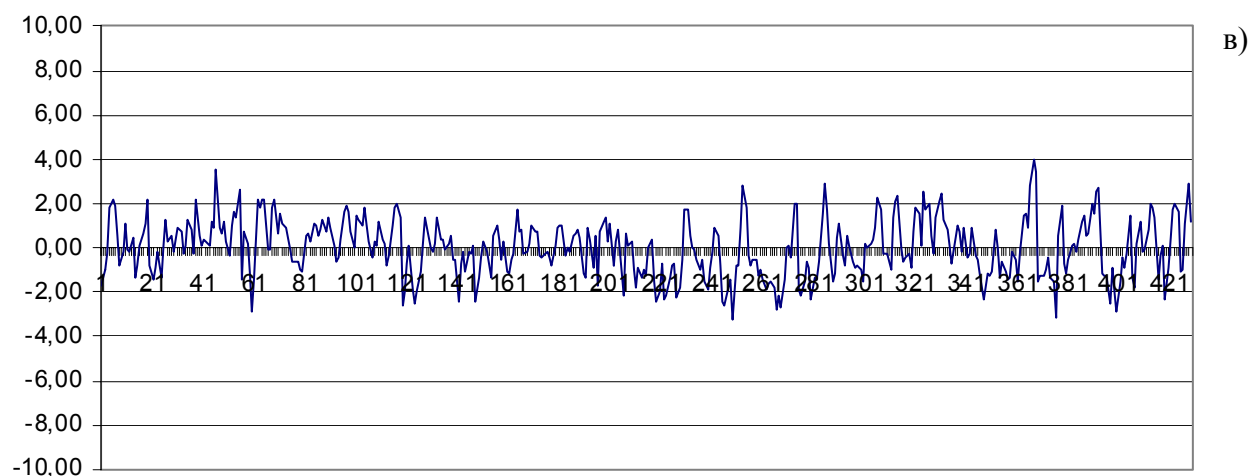
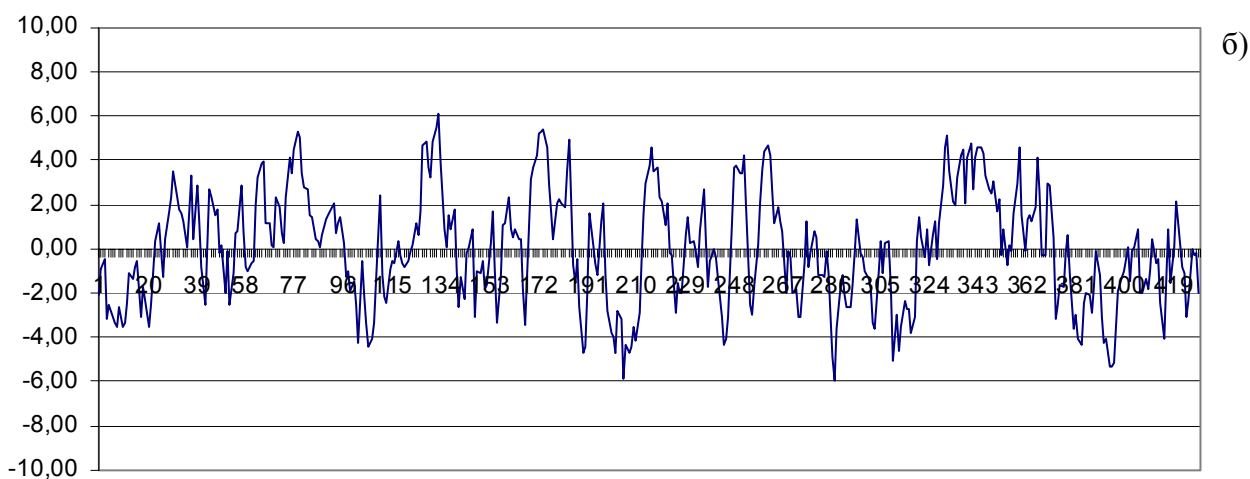
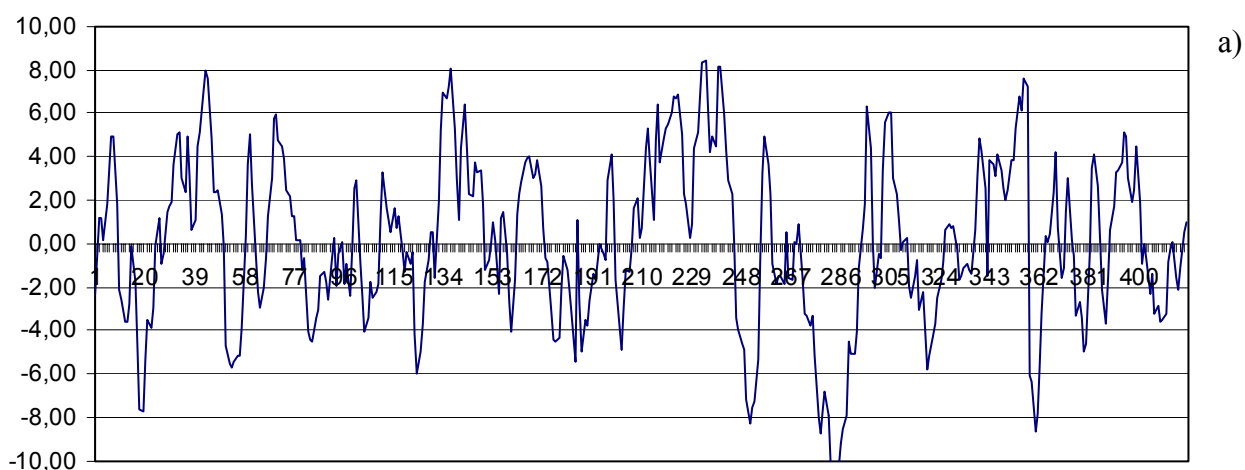


Рис. Амплитуда временной изменчивости нагрузок главных компонент поля АТ-500 для:
а – первой, б – третьей, в – пятой

ных компонент или коэффициенты, описывающие амплитуду естественных колебаний во времени. Другими словами они являются количественной характеристикой индивидуальных полей выборки. Именно нагрузки главных компонент и будут характеризовать изменчивость соответствующего поля (в данном случае поля АТ-500) во времени.

Следует отметить, что с увеличением порядкового номера главной компоненты амплитуда колебания значений соответствующей нагрузки уменьшается. Это свидетельствует о снижении информативности нагрузок при увеличении порядкового номера соответствующей главной компоненты.

На рис. для сравнения показаны амплитуды временной изменчивости нагрузок для первой, третьей и шестой главных компонент полей АТ-500. Анализ рисунка показывает, что представленные на нем нагрузки главных компонент испытывают существенные временные изменения, что позволяет выявить особенности соответствующих полей внутри временного ряда.

Проведенный анализ подтверждает вывод о возможности использования компонентного ана-

лиза при характеристике особенностей атмосферной циркуляции в определенном географическом районе. Значения нагрузок первых шести главных компонент поля АТ-500 вполне могут быть использованы в исследовательских целях как предикторы, характеризующие особенности атмосферной циркуляции в определенный момент времени над заданным географическим районом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих / Н.А. Багров // Тр. ЦИП. – 1959. – Вып. 74. – С. 3-24.

2. Естественные составляющие метеорологических полей / А.В. Мещерская [и др.]. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 199 с.

3. Николаев Ю.В. Преобразование информации в приложении к задачам гидрометеорологии / Ю.В. Николаев. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 64 с.

4. Никольская Н.А. Применение метода естественных составляющих при анализе синоптических процессов и явлений погоды / Н.А. Никольская, Н.Н. Безух // Тр. ГМЦ. – 1978. – Вып. 195. – С. 84-95.

Закусилов Вадим Павлович
кандидат географических наук, доцент кафедры гидрометеорологического обеспечения Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж,
т. (4732) 24-61-42

Закусилов Павел Вадимович
соискатель Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж, т. 8-908-149-09-00

Zakusilov Vadim Pavlovitch
Candidate of Geography, associate professor of the department of hydrometeorological service of the Military Aviation Engineering University, Voronezh,
tel. (4732) 24-61-42

Zakusilov Pavel Vadimovitch
Scientific Degree Applicant of the Military Aviation Engineering University, Voronezh, tel. 8-908-149-09-00