

На правах рукописи

УДК [551.54+551.513]:551.509314(215-217)

Борисова Алла Семеновна

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ПОВЕРХНОСТИ 500 ГПА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата географических наук

Санкт-Петербург
2008

Диссертация выполнена на кафедре метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель доктор физико-математических наук

Репинская Раиса Петровна

Официальные оппоненты доктор географических наук
Хандожко Леонид Андреевич

кандидат физико-математических наук
Кузьмина Светлана Игоревна

Ведущая организация ВКА им. А.Ф. Можайского

Защита диссертации состоится «18» декабря 2008г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д212.197.01 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу:
195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. (812)444-41-63

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу:
195196 Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

Автореферат разослан «14» ноября 2008г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор

А.Д. Кузнецов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Изменение атмосферных процессов, и, следовательно, погоды и климата, определяют динамические и физические процессы, протекающие в атмосфере, а также взаимодействия с окружающей средой: поверхности суши, океана и льда.

С практической точки зрения особый интерес представляют волны синоптического масштаба и связанные с ними синоптические вихри, играющие важную роль в формировании погодных условий на больших территориях. В системе общей циркуляции атмосферы синоптические вихри выполняют функцию основного механизма межширотного обмена. Происходит меридиональный перенос тепла, водяного пара и импульса в планетарном масштабе, что приводит к сглаживанию температурных контрастов между высокими и низкими широтами и вызывает значительные изменения погодных условий. Анализ полей геопотенциальной высоты играет важную роль в исследовании циркуляционных процессов в Северном полушарии, а, следовательно, и в возможности долгосрочного прогноза погоды и климата. Для разработки как гидродинамических, так и физико – статистических моделей прогноза, а также для статистической параметризации физических процессов необходима детальная информация о макро – и мезоструктуре полей различных метеорологических величин. В значительной мере это “ белое пятно ” в исследовании циркуляционного режима атмосферы.

Цель и задачи диссертационной работы

Цель диссертационного исследования: провести всесторонний анализ поля геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- Описать пространственно – временную структуру полей геопотенциальной высоты при помощи метода эмпирических ортогональных составляющих (ЭОС) и выявить климатические особенности исследуемых полей при различных подходах представления исходных данных.
- Определить устойчивость разложения по ЭОС к различной длине временного ряда.
- Выявить характерные особенности различных типов циркуляции по Г.Я. Вангенгейму в ходе первого главного компонента разложения по ЭОС.
- Провести анализ полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа на различных широтах Северного полушария при помощи вейвлета.
- Исследовать статистическую предсказуемость коэффициентов разложения полей геопотенциальной высоты по ЭОС, описывающих эволюцию наиболее энергетически мощных главных компонентов (ГК).

Научная новизна работы

1. В целях выявления характерных географических черт атмосферной циркуляции применена типизация атмосферных процессов по Вангенгейму при анализе исходных полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа методом ЭОС;
2. Определена устойчивость разложения полей геопотенциальной высоты по естественным ортогональным составляющим;
3. Проведен сравнительный анализ результатов разложения исходных полей по ЭОС при различных подходах представления исходных данных;
4. Исследована изменчивость полей геопотенциальной высоты с помощью вейвлет-анализа;
5. Разработаны авторегрессионные модели различных порядков для разных широтных зон Северного полушария на основе нелинейного подхода по Боксу и Дженкинсу;
6. Исследована статистическая предсказуемость рядов главных компонент полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа.

Практическая значимость работы

Практическая значимость состоит в том, что

1. Представлена методика расчетов изменений циркуляционных режимов Северного полушария в различных климатических зонах.
2. Рассмотрена методика создания физико-статистических моделей для прогноза геопотенциальной высоты.
3. Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе при преподавании таких дисциплин, как долгосрочные методы прогноза погоды, методы статистической обработки метеорологической информации и принятия статистических решений и климатологии.

Апробация результатов

Наиболее значимые результаты докладывались на II-ой Всероссийской молодежной научной конференции “История науки и техники” (2002г.), межкафедральных научных семинарах (март 2006г., октябрь 2007г., июнь 2008г.).

По теме диссертации опубликованы 4 работы, одна принята к опубликованию.

Результаты и положения, выносимые на защиту

- Целесообразность использования недетерминированных базисных функций для аналитического представления совокупности ежедневных и среднемесячных полей геопотенциальной высоты;
- Результаты разложения полей геопотенциальной высоты и анализа их сходимости при различных представлениях исходных данных;

- Использование классификации атмосферных процессов Вангенгейма при разложении исследуемой временной последовательности методом ЭОС;
- Результаты применения вейвлет – анализа с целью исследования изменчивости исследуемых среднемесячных временных рядов;
- Результаты разработки авторегрессионных моделей наиболее энергетически мощных месячных ГК полей геопотенциальной высоты нелинейным методом Бокса и Дженкинса и оценка их прогноза.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 124 наименования. Объем диссертации составляет 124 страницы, содержит 3 таблицы и 18 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются особенности атмосферных процессов в различных широтных зонах Северного полушария и их взаимосвязь с процессами Южного полушария.

Во второй главе дано описание пространственно – временной структуры полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии при помощи метода эмпирических ортогональных составляющих (ЭОС) при различных подходах представления исходных данных и выявлены климатические особенности исследуемых полей при использовании типизации Г.Я. Вангенгейма.

В работе используются архивные данные Гидрометцентра РФ - ежедневные данные геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии. Данные размещены на регулярной географической широтно-долготной сетке 19×36 узлов с шагом по широте 5° и по долготе 10°. Нами были взяты данные за 23 года (с 1964 по 1986 гг.).

Поля геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа были аппроксимированы однократными рядами по ЭОС для исследования пространственной и временной структуры главных компонентов.

Представление временных метеорологических последовательностей по ЭОС приводит к получению более сглаженных и, следовательно, более предсказуемых характеристик временных рядов.

Одним из достоинств метода ЭОС является возможность разделить пространственные и временные составляющие изменчивости. Выделение отдельных составляющих изменчивости и оценка их весов базируется на учете статистической структуры самих исходных полей, то есть анализируются

взаимосвязи всех точек поля (разложение проводится по корреляционной или ковариационной матрице). Кроме того, метод ЭОС ставит общее условие минимума среднего квадрата ошибки аппроксимации ансамбля случайных полей, используемое при определении базисных функций. Разложения по классическим ортогональным многочленам не могут дать более точного описания случайных полей метеорологических величин таким же числом членов ряда, так как требуют минимума ошибки лишь при определении коэффициентов разложения.

В процессе анализа результатов разложений полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии методом ЭОС рассматриваются два параметра: часть выборочной дисперсии $\alpha_j\%$, приходящуюся на каждый из главных компонентов (ГК) и кумулятивную дисперсию $b_j\%$.

$$\alpha_j = I_j \cdot 100\% / \sum_{j=1,S} I_i, \quad (1)$$

$$b_j = \sum_{i=1,j} I_i \cdot 100\% / \sum_{j=1,S} I_j; \quad (2)$$

В большинстве случаев, начиная со второго коэффициента разложения, наблюдается монотонная сходимость аппроксимирующих рядов, что говорит о наличии множества флуктуаций атмосферных мод более мелкого масштаба и затрудняет усечение спектра главных компонентов с целью фильтрации метеорологического шума.

Более мелкомасштабные ГК являются и более сложными. Они также характеризуют области влияния, но с точки зрения остаточной дисперсии, не уточненной первыми векторами, а поэтому и область влияния оказывается значительно меньшего радиуса. Таким образом, поля первых наиболее крупномасштабных ГК дают представление об основных областях в полях рассматриваемого метеорологического элемента, влияние которых наиболее существенно распространяется на окружающую территорию, а также выявляют последовательность таких областей по их значимости влияния на окружающие районы.

Для исследования происходящих процессов, их пространственно-временной динамики в работе используется классификация атмосферных процессов Г.Я. Вангенгейма.

В классификации Г.Я. Вангенгейма выделение типов атмосферной циркуляции основано на учете характера длинных термобарических волн в тропосфере и нижней стратосфере, распределения аномалий атмосферного давления, температуры воздуха и осадков, уровня и температуры воды в океанах и морях. Классификация Г.Я. Вангенгейма хорошо отражает особенности атмосферной циркуляции над атлантико-европейским сектором северного полушария, включая Балтийское море. Типизация макросиноптических процессов основана на понятии элементарного синоптического процесса (ЭСП), в течение которого в данном географическом районе сохраняются основные выносы тепла и холода и знак основных барических полей.

Исходя из преобладающих основных переносов в тропосфере и нижней стратосфере, возможные варианты атмосферной циркуляции по Вангенгейму могут быть сведены к трем основным типам: западной (W), восточной (E) и меридиональной (C). Тип циркуляции устанавливается по направлению основных переносов воздушных масс.

Западный тип циркуляции характеризуется усилением западного переноса, отмечается зональное смещение циклонов из Атлантического океана на восток. Градиенты давления и температуры направлены с юга на север и значительно превышают многолетние значения, что свидетельствует об ослаблении межширотного обмена воздушными массами.

Восточный тип циркуляции характеризуется либо нарушением западного переноса путем вторжения с востока или северо-востока антициклонов, развивающихся в континентальном полярном воздухе или континентальном арктическом воздухе, либо при развитии на континенте мощных стационарных антициклонов. И в том и в другом случаях часть Европы и Сибирь находятся в режиме континентальных масс воздуха.

Меридиональный тип циркуляции характерен нарушением западного переноса путем вторжения на север Скандинавии континентального арктического воздуха и образованием меридиональной полосы высокого давления через Скандинавию на центральную часть Европы. Низкое давление, таким образом, захватывает юго-восток Европы, западную Сибирь и Атлантику.

Из исходного временного ряда значений геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии были сформированы по типам циркуляции Вангенгейма W, E и C три выборки с числом дней 1797, 4708 и 1898 соответственно. Далее полученные поля были аппроксимированы однократными рядами по ЭОС. Для определения устойчивости исследуемых рядов изменялась длина каждой выборки: были взяты 1/2 и 2/3 длины каждой из них. Детально рассматривается форма первого главного компонента (ГК) при каждом типе циркуляции в различные сезоны.

1. Тип W (рисунок 1)

В зимний период в ходе первого главного компонента выделяются две обширные области разных знаков. При этом область минимальных значений охватывает северную часть материка Северная Америка и юго-западную часть Гренландии с центром над Канадским арктическим архипелагом. Эта область является зоной алеутской депрессии. Также на интенсивность процессов, описываемых первым главным компонентом, оказывает близость двух ПВФЗ – арктической, располагающейся в среднем за сезон на 68.3°с.ш., и северной умеренных широт – на 56.0°с.ш. Ослабление действия одной влечет за собой усиление другой.

Область положительных значений располагается над северной частью РФ с центром над п-овом Таймыр. В полярной зоне вблизи географического полюса практически в течение всего года формируется стационарный антициклон. Кроме того, важную роль играет сибирский антициклон – основное сезонное барическое образование, определяющее циркуляционные условия в

холодное полугодие не только над Сибирью, но и над дальневосточными районами.

Кроме этих двух областей, можно выделить область повышенного давления меньшей интенсивности, но обладающей хорошей устойчивостью, - над восточной частью Северной Америки и западной Атлантикой, которая попадает в зону азорского максимума.

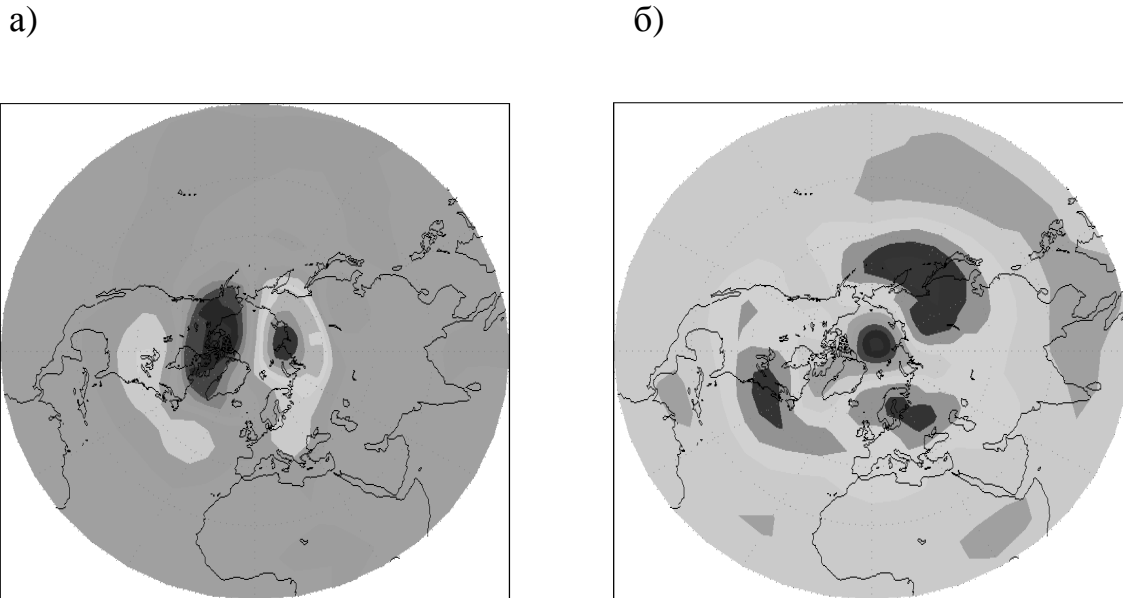


Рисунок 1. Ход первого ГК при типе циркуляции W а) в зимний период, б) в весенний период.

Причем при изменении длины исходной выборки тенденции сохраняются. То есть крупномасштабные черты циркуляции, что представляет наибольший интерес для анализа планетарных процессов, устойчиво проявляются при статистической обработке различного объема информации методом разложения на ЭОС. Основное колебание четко проявляется в зимний период. Такая устойчивость основных колебаний говорит об их большой значимости в крупномасштабных процессах, а, следовательно, об эффективности использования естественных составляющих при исследовании закономерностей планетарных процессов.

Весной происходит перестройка термобарического поля, связанная с переходом от холодного периода к теплему. Усиливаются гавайский и азорский максимумы и ослабевают алеутская и исландская депрессии, над океанами формируется интенсивный зональный перенос.

Прослеживаются три ярко выраженные области:

- над восточной частью Северной Америки, Северной Атлантикой и над Европой; - частично попадает в зону азорского максимума.
- над восточной частью Евразии и западной частью Северной Америки – наибольшей интенсивности;
- над Европой.

Те же процессы наблюдаются в летний и осенний периоды, однако обладают меньшей устойчивостью. Летом продолжается усиление максимумов и их миграция к северу. Среднее положение оси субтропических максимумов находится на 35-40°с.ш. На широте 60° над океанами наблюдается интенсивный западный перенос, связанный с северными перифериями антициклонов, а над материками – ввиду формирования там областей низкого давления, - восточный перенос.

В целом при рассмотрении типа циркуляции W можно отметить, что в зимний период по сравнению с остальными сезонами, наблюдаемые процессы имеют большую устойчивость и большую интенсивность. В летний и переходные периоды в умеренных широтах происходит разукрупнение барических систем, процессы менее устойчивы.

2. Тип E (рисунок 2)

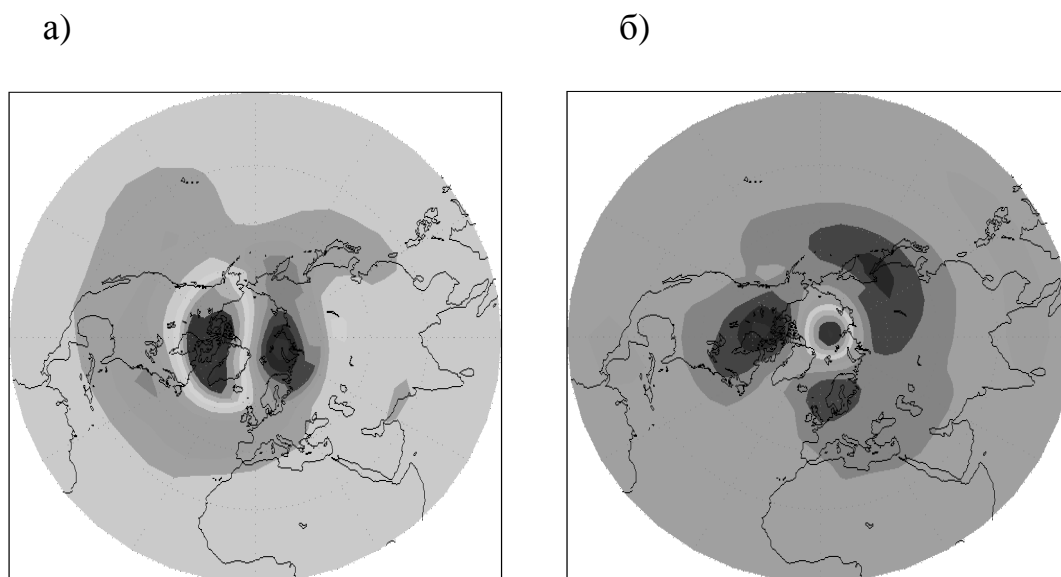


Рисунок 2. Ход первого ГК при типе циркуляции E а) в зимний период, б) в весенний период.

Для восточной (E) формы циркуляции характерно наличие в тропосфере ведущего потока восточного направления и развитие у поверхности земли антициклонов, смещающихся на европейскую территорию с северо-востока.

В зимний период можно выделить следующие области разного знака:

- область пониженного давления над южной периферией Северного Ледовитого океана и севером РФ. Доминирующее влияние оказывает ПВФЗ, связанная с полярным фронтом. Зональный перенос на высотах в полярных широтах обуславливается одним из наиболее крупномасштабных звеньев общей циркуляции – циркумполярным вихрем. Формирование циклонического циркумполярного вихря обусловлено локализацией в полярной области планетарного очага холода.

- область повышенного давления - над северо-востоком Северной Америки, Северной Атлантикой и южной частью Гренландии.

Весной наблюдаются три области пониженного давления:

- над Северной частью Северной Америки;
- в районе Норвежского моря, Скандинавского полуострова, Балтийского моря, Северной Европой и Северо-западом РФ;
- над центральной и восточной частями РФ, Севером Тихого океана и п-овом Аляска. Выделенные области находятся в зоне исландского и алеутского минимумов соответственно. Также существенную роль играет циркумполярный вихрь. Следует отметить, что, несмотря на переходный период, когда происходит перестройка термобарического поля, наблюдаемые процессы достаточно устойчивы, в отличие от случая рассмотрения типа циркуляции W.

3. Тип С (рисунок 3)

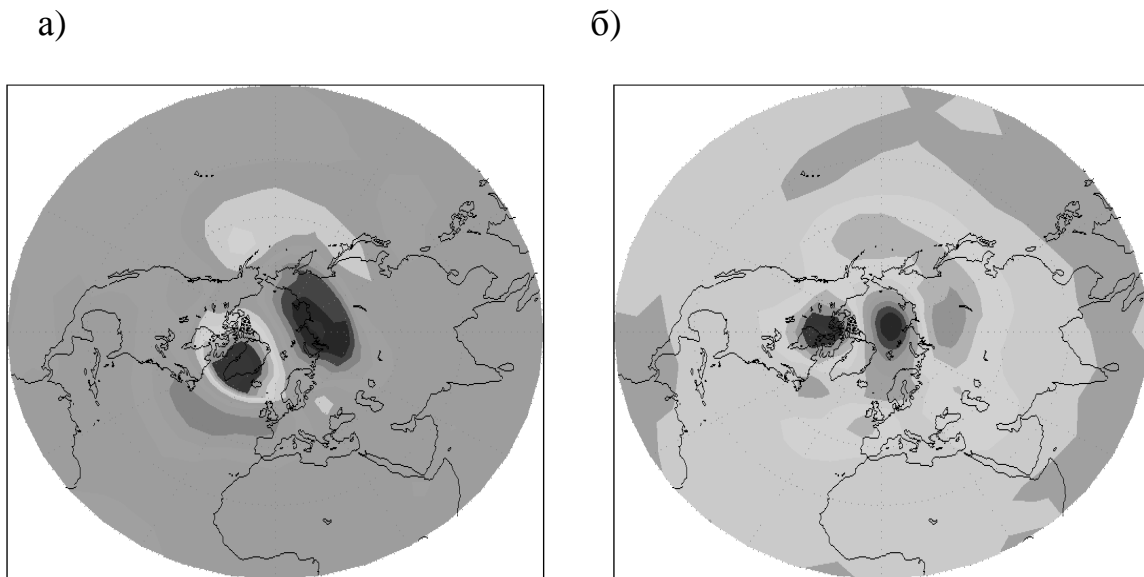


Рисунок 3. Ход первого ГК при типе циркуляции С: а) в зимний период, б) в весенний период.

При меридиональной (С) форме циркуляции над восточной частью Атлантики и Западной Европы формируется высокий теплый антициклон, по западной периферии которого происходит вынос теплого воздуха в северные широты. При С-форме циркуляции активизируется циклоническая деятельность. В этом случае циклоны, расположенные западнее гребней движутся с юго-запада на север-восток, а восточнее гребней – с северо-запада на юго-восток. Для формы С характерны значительные меридиональные переносы воздушных масс и барических образований.

В зимний период: наблюдается схожая ситуация с результатами разложения исходных полей, соответствующих типу циркуляции E, со смещением центров областей против часовой стрелки:

- над Гренландией и северной Атлантикой (Ц);
- над Северным Ледовитым океаном и севером восточной части РФ (АЦ).

Весной можно выделить следующие области повышенного давления:

- северная часть материка Северная Америка;
- северо-восток РФ, северная периферия Тихого океана (меньшей интенсивности).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- наблюдаемые процессы обладают достаточной устойчивостью (к изменению исходной информации);
- наиболее четкие общие закономерности атмосферной циркуляции в Северном полушарии проявляются в зимний период.

Следует отметить, что по размерности рассматриваемых выборок наиболее длинным является ряд, соответствующий E – типу циркуляции. По имеющимся данным [18] в период с 1966 по 1990 г. характер атмосферной циркуляции соответствует E–эпохе. В этом продолжительном периоде можно выделить две стадии: 1966-1981 гг. (E-эпоха в активной стадии) и 1982-1990 гг. Во второй стадии E-эпоха вступает в стадию явного усиления зональности атмосферных процессов, т.е. наблюдается тяготение к W- форме циркуляции (E-эпоха с зональным усилением). Таким образом, в рассматриваемый нами период 1964-1986 гг. наблюдаемые атмосферные процессы находятся под влиянием постепенно усиливающимся западно-восточным переносом и развитием интенсивной циклонической деятельности.

На следующем этапе был проведен анализ исходных полей с помощью метода ЭОС по отдельным широтным кругам Северного полушария. Рассматривался вопрос о возможности применения представленных по широтным кругам исходных данных для описания наблюдаемых глобальных атмосферных процессов в Северном полушарии.

Исследуемые поля геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа Северного полушария были представлены отдельными рядами по широтам с шагом 10° , таким образом, были исследованы 18 широтных кругов. Поля геопотенциальной высоты были аппроксимированы однократными рядами по ЭОС и был проведен анализ точности сходимости рядов разложений полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа последовательно в различных широтных зонах Северного полушария.

Также был проведен сравнительный анализ результатов разложения полей геопотенциальной высоты при различных подходах представления исходных данных с целью выявления закономерностей в ходе циркуляционных механизмов, схожих с результатами первого этапа исследования.

Так как используемая на первом этапе исследования типизация Вангенгейма лучше описывает средние и высокие широты, и наиболее информативными получились графики для зимних и весенних месяцев, были рассмотрены для выявления схожих закономерностей те же периоды и те же широты Северного полушария. Анализ форм первого главного компонента в умеренных и полярных широтах в зимний и весенний периоды показал, что выявленные особенности в ходе первого ГК в результате разложения исходного поля на ЭОС по широтным кругам Северного полушария на рассмотренных широтах в данные периоды года совпадают с результатами, полученными на первом этапе исследования при разложении непрерывного поля исходных данных. Таким образом, данная методика рассмотрения отдельных широтных кругов (в комплексе с другими подходами) может применяться при исследовании наблюдаемых глобальных атмосферных процессов.

В третьей главе приведены результаты исследования полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа в Северном полушарии с помощью вейвлет-анализа. Также рассмотрены аналогии и различия вейвлет – анализа и анализа Фурье, приведены различные типы, свойства и области применения вейвлет – анализа.

Применение вейвлет-анализа при исследовании осредненных за месяц полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа дает возможность выделить высокочастотные и низкочастотные колебания, последние наиболее интересны для долгосрочного прогнозирования.

Для проведения вейвлет – анализа были использованы пять первых коэффициентов разложения по ЭОС полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа за период с 1964 по 1986 годы на следующих широтах Северного полушария: 10°с.ш., 35°с.ш., 55°с.ш., 75°с.ш. Для анализа свойств рассматриваемого временного ряда был проведен ряд численных экспериментов по применению вейвлет-анализа, включающих в себя: анализ амплитуд и фаз в ходе коэффициентов разложения при использовании базисного вейвлета Morlet и изменение масштаба по времени с целью выделения интервала периодов сильных колебаний на различных широтах Северного полушария.

Максимально возможный масштаб по времени вычисляется по формуле

$$j_{tot} = 1 + (\log_2(n * dt / s_0)) / dj, \quad (6)$$

где n – объем выборки (в нашем случае $n=276$), dt – шаг по времени, s_0 – минимальный масштаб по времени. Для вейвлета Morlet $s_0 = dt$, dj – шаг по времени (обычно $dj = 0.25$, но для повышения точности можно выбрать $dj = 0.125$). В данной работе максимально возможный масштаб равен 66 месяцам. Рассматривались различные масштабы: $j_{tot} = 47$, $j_{tot} = 37$ и 57 для выявления высокочастотных и низкочастотных колебаний соответственно.

В результате проведенного анализа были получены амплитуды и фазы атмосферных процессов, наблюдаемых в Северном полушарии в течение 24 лет с 1964 по 1986гг. Анализ проведен для первых пяти коэффициентов разложения среднемесячных полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа на 10°, 35°, 55° и 75° с.ш., однако наибольший интерес представляют результаты вейвлет-преобразования первого коэффициента разложения. Первый коэффициент разложения описывает эволюцию (размах) циркуляций синоптического масштаба при переходе от месяца к месяцу, второй коэффициент и последующие несут информацию о мезомасштабных и мелкомасштабных циркуляциях. Приведены графики амплитуд и фаз вейвлет-преобразования первого коэффициента разложения на 10°с.ш. при различных временных масштабах а) $j_{tot} = 57$; б) $j_{tot} = 47$; в) $j_{tot} = 37$, где светлые области соответствуют минимальным значениям амплитуд и фаз колебаний, темные – максимальным значениям (рисунки 4, 5).

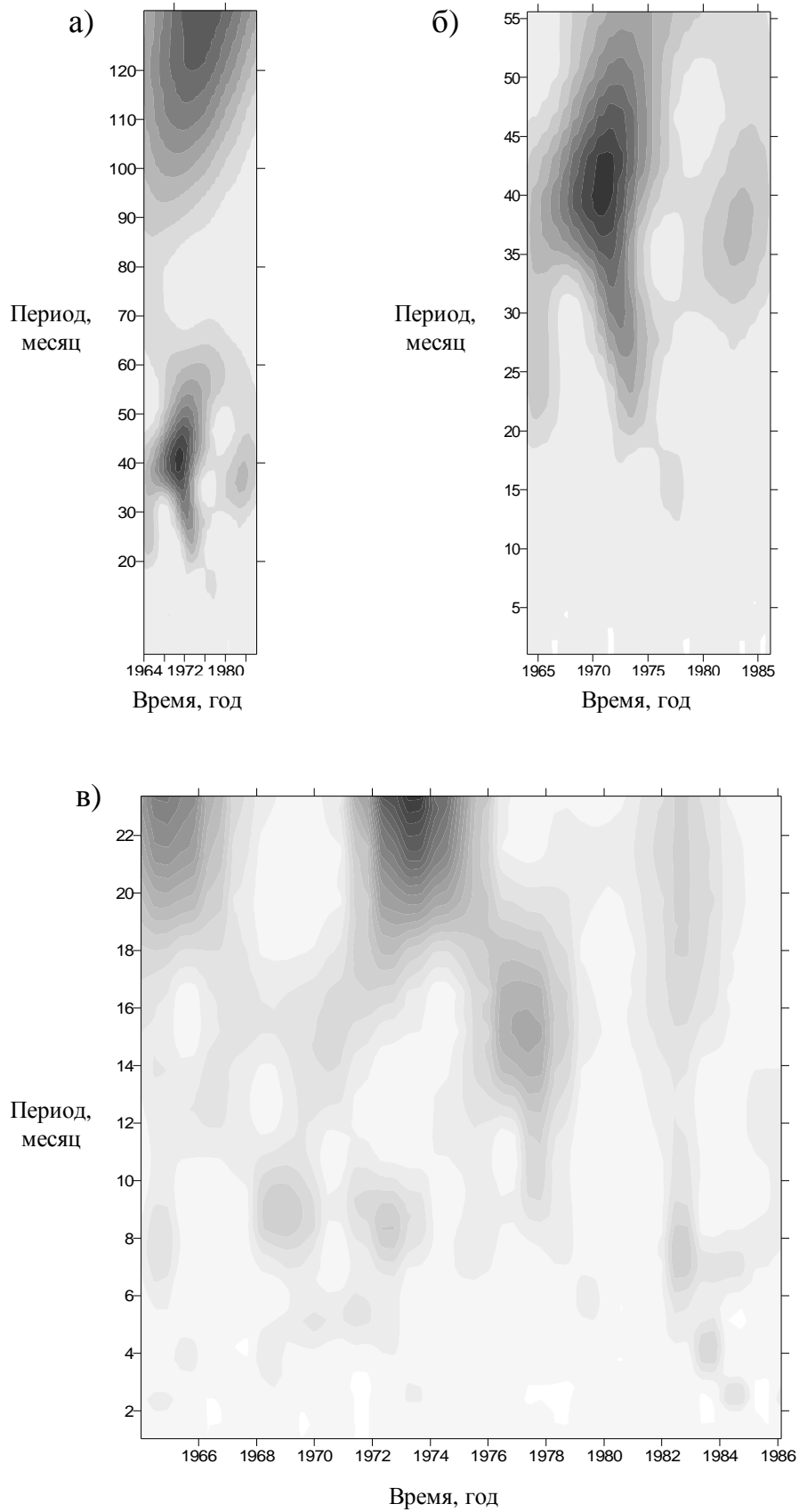


Рисунок 4 - Амплитуды вейвлет-преобразования первого коэффициента разложения на 10° с.ш. при различных временных масштабах а) $jtot = 57$; б) $jtot = 47$; в) $jtot = 37$.

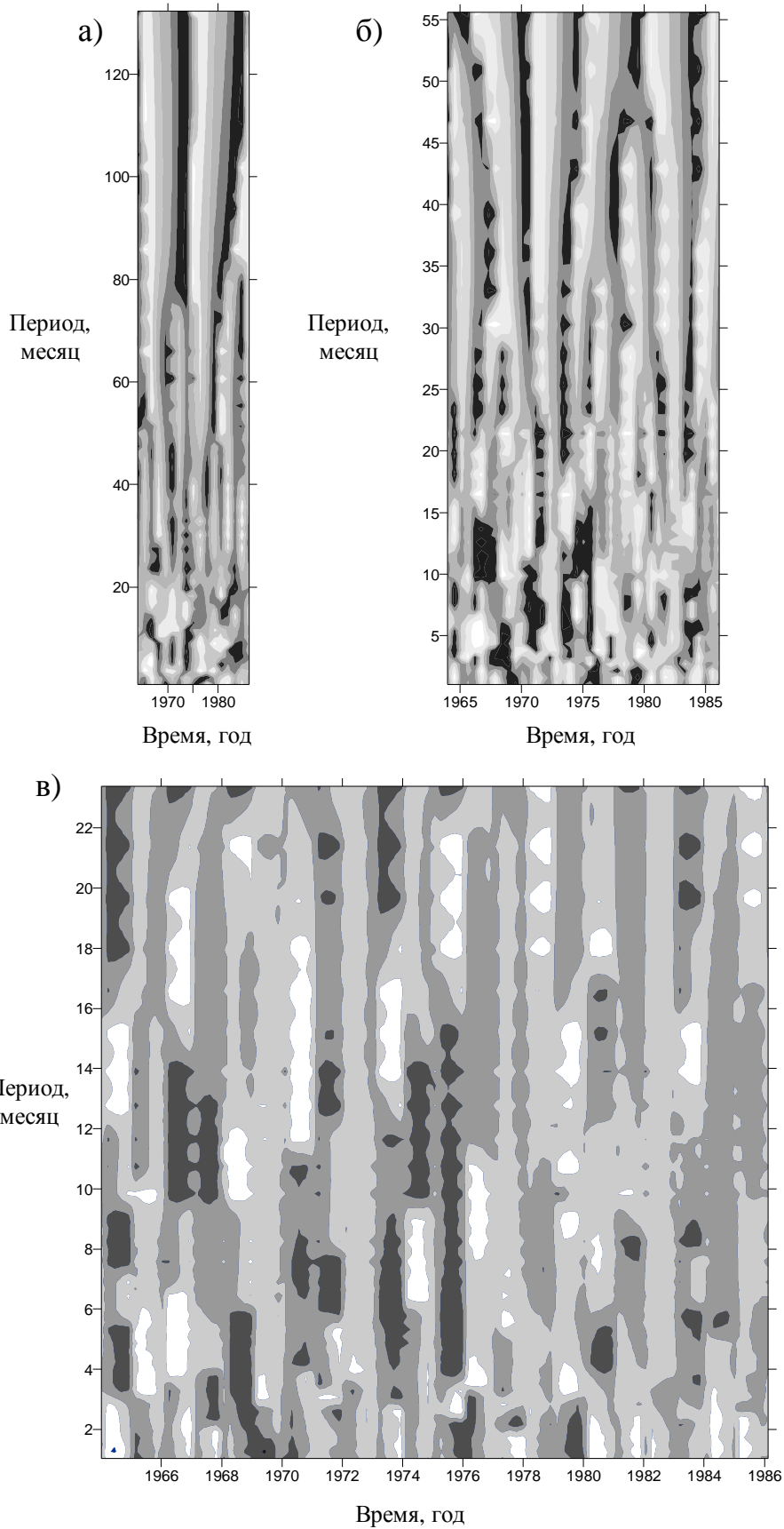


Рисунок 5 - Фазы вейвлет-преобразования первого коэффициента разложения на 10° с.ш. при различных временных масштабах а) $j_{tot} = 57$; б) $j_{tot} = 47$; в) $j_{tot} = 37$.

В тропиках отмечаются сильные колебания с периодом от 25 до 50 месяцев с 1966 по 1973 годы. По – видимому, эти колебания связаны с мощным проявлением Эль – Ниньо в 1965 – 1966, 1972 –1973 гг. Также возможно, что колебания с периодом около 25 месяцев связаны с квазидвухлетней циклическостью, которая, как известно, особенно ярко проявляется в атмосфере тропических широт. В конце 1970гг. отмечаются сильные колебания с периодом до 130 месяцев, связанные с 11-летним циклом солнечной активности.

При анализе фаз колебаний в целом на всем временном промежутке в тропических широтах наблюдается интенсивная циклоническая деятельность. Можно выделить достаточно устойчивое циклоническое образование периодом от 30 до 55 месяцев в начале 1970х.гг. Наиболее мощные, но более короткие волны обладают периодом до 15 месяцев.

На широте 35° можно выделить колебания с периодом до 8 месяцев в течение всего интервала лет, особенно ярко выражено колебание с периодом 6 месяцев в 1978 - 79 гг. В 1964-1966, 1972, 1977-1979 гг. отмечаются колебания с периодом около 15 месяцев. Возможно, эти колебания связаны с тропическими циркуляциями синоптического масштаба (ВЗК, муссоны). В 1964 – 65гг. наблюдается сильное колебание с периодом от 10 до 40 месяцев, в 1983 – колебание с периодом от 15 до 35 месяцев, что может быть обусловлено проявлением Эль – Ниньо в 1965, 1966, 1982-1983 гг.

В течение всего времени наблюдаемые колебания в основном отрицательного знака. Среди антициклонических образований можно отметить колебание с периодом около 15 месяцев в 1977-79 гг. В конце 60х и 70х гг. наблюдается интенсивное колебание отрицательного знака с периодом от 60 до 120 месяцев.

В умеренных и полярных широтах Северного полушария в течение всего интервала наблюдаются колебания с периодом до одного года. Кроме того, в умеренных широтах в 1972-1975 гг. отмечаются колебания с периодом около 15 месяцев. В полярных широтах до 1975 года наблюдается колебание с периодом от 30 до 60 месяцев.

При анализе фаз колебаний видно, что в умеренных широтах среди выявленных колебаний периодом до 15 месяцев отрицательные области, наблюдаемые в более низких широтах, замещаются областями положительного знака. Ещё выше – в полярных широтах, - в этом диапазоне отмечаются антициклонические образования наибольшей интенсивности за период наблюдений.

В целом в умеренных широтах северного полушария среди колебаний периодом до 1 года преобладают циклонические образования, в тропиках и полярных широтах основную роль в атмосферной циркуляции играют антициклоны.

Многие исследователи связывают зависимость явлений, наблюдаемых на Земле, от количества пятен на Солнце, т.е. от его активности: в частности, делаются выводы о существовании колебаний климата, периоды которых являются числами, кратными 11-летнему циклу солнечной активности.

При минимуме солнечной деятельности абсолютно преобладает западно-восточный перенос. Зоны умеренных широт занимают максимальную пло-

щадь, а все другие зоны предельно сокращены. Это эпоха максимальной разобщенности зон и предельной континентальности климата. Местные особенности формирования климата в таких условиях проявляются в полной мере. Пустыни достигают наибольшего развития. При переходе от максимума активности к минимуму и, следовательно, от одного преобладающего механизма циркуляции к другому происходят изменения климата и климатической зональности.

В соответствии со степенью интенсивности различных форм циркуляции можно отметить, что в рассматриваемый нами период с 1964 по 1986 гг. относится к Е-эпохе. Первые два года выборки относятся к меридиональной (С) - форме атмосферной циркуляции, при которой наблюдается возмущение западно-восточного переноса в умеренных и полярных широтах. Меридиональные составляющие циркуляции играют основную роль в междуширотном воздухообмене и формировании аномалий погоды. Начиная с 1966 года соответствие Е-форме циркуляции очень высокое, с 1981 года резко уменьшившийся количественный показатель разности повторяемостей Е и W – форм циркуляции свидетельствует о вступлении Е-эпохи в стадию явного усиления зональности атмосферных процессов в Северном полушарии, т.е. тяготении к W-форме циркуляции. При W - форме циркуляции усиливается западно-восточный перенос, наблюдается более активная циклоническая деятельность.

В четвертой главе описано построение авторегрессионной модели рядов коэффициентов разложений полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа на различных широтах Северного полушария, дана оценка параметров модели, проведена оценка статистической предсказуемости. Более предпочтительным для климатических временных рядов является использование моделей авторегрессии, параметры которых оцениваются методом Берга-Левинсона, а оптимальный порядок модели выбирается по критерию Парзена. Этот метод идентификации и оценивания реализован для вычисления параметров моделей коэффициентов разложения зональных полей геопотенциала поверхности 500 гПа в Северном полушарии (широтных кругов 10^0 , 35^0 , 55^0 , 75^0) за период 1964-1986 гг. Фрагмент результатов идентификации представлен в таблице 2.

φ	K1	K2	K3	K4	K5
10^0	49	27	25	9	34
35^0	37	11	16	7	4
55^0	7	2	2	5	5
75^0	3	3	5	2	5

Таблица 1 - Порядки AP – моделей временных рядов коэффициентов разложения по ЭОС (K1 – K5) для различных широт Северного полушария

При анализе таблицы видно, что все исследуемые волновые моды описаны моделями второго и более высоких порядков. При использовании таких моделей оценки ненадежны, процессы сильно зашумлены.

Результаты оценки статистической предсказуемости первых пяти естественных колебаний, представляющих собой наиболее крупномасштабные моды геопотенциала, приведены в таблице 4.2 со следующими обозначениями:

E_2 – нормированная дисперсия ошибки прогноза,

E – нормированный стандарт ошибки прогноза,

$L_{0,95}, L_{0,90}, L_{0,85}$ – предел предсказуемости исследуемой последовательности при ошибке прогноза $E=0.95, 0.90, 0.85$.

φ	№к.р.	E_2	E	L	$L_{0,95}$	$L_{0,90}$	$L_{0,85}$
10	1	0.59	0.77	14.51	2.59	1.85	1.43
	2	0.87	0.93	2.39	1.15	0.82	0.63
	3	0.85	0.92	3.82	1.21	0.87	0.67
	4	0.92	0.96	2.82	0.94	0.67	0.52
	5	0.93	0.96	4.95	0.89	0.63	0.49
35	1	0.39	0.62	6.81	4.76	3.39	2.62
	2	0.36	0.6	4.94	5.19	3.7	2.86
	3	0.4	0.63	4.01	4.56	3.25	2.51
	4	0.41	0.64	3.37	4.35	3.11	2.4
	5	0.46	0.68	3.05	3.78	2.7	2.08
55	1	0.24	0.49	6.31	8.49	6.05	4.67
	2	0.25	0.5	5.38	7.95	5.67	4.38
	3	0.28	0.53	5.06	6.99	4.99	3.85
	4	0.29	0.54	4.37	6.9	4.92	3.8
	5	0.32	0.56	3.82	6.14	4.38	3.38
75	1	0.25	0.49	6.35	8.14	5.81	4.48
	2	0.25	0.5	5.44	8.1	5.75	4.44
	3	0.31	0.56	4.17	6.22	4.44	4.42
	4	0.33	0.57	3.98	5.84	4.16	3.21
	5	0.4	0.63	3.08	4.56	3.26	2.51

Таблица 4.2 - Результаты оценки статистической предсказуемости

Анализ таблицы показывает, что предсказуемость в различных широтных зонах не превышает 6 – 8 суток. На основе модели «сигнал плюс шум» самая слабая предсказуемость сигнала (3 суток при $E=0.95$, при уменьшении ошибки - 2 и 1.5 суток) наблюдается в экваториальных широтах.

В умеренных и полярных широтах предсказуемость может достигать 8 суток при $E=0.95$, (6 суток при $E=0.90$ и 4.5 суток при $E=0.85$) и является максимальной предсказуемостью естественных колебаний из всех рассматриваемых, что лучше климатического прогноза L , который в этих широтах составляет 6 суток, что хорошо видно на рисунке 4.2.

Такой же вывод можно сделать при анализе значений ошибки прогноза на один шаг вперед рядов коэффициентов по АР – модели. Лучшее качество прогнозов достигается на 55° и 75° с.ш., где $E = 0.49$. Предел предсказуемости сигнала при $E = 0.85$ в этих широтах оказывается максимальным и превышает 4 суток.

Далее был проведен анализ прогноза коэффициентов разложения полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа по разработанным авторегрессионным моделям (рисунок б).

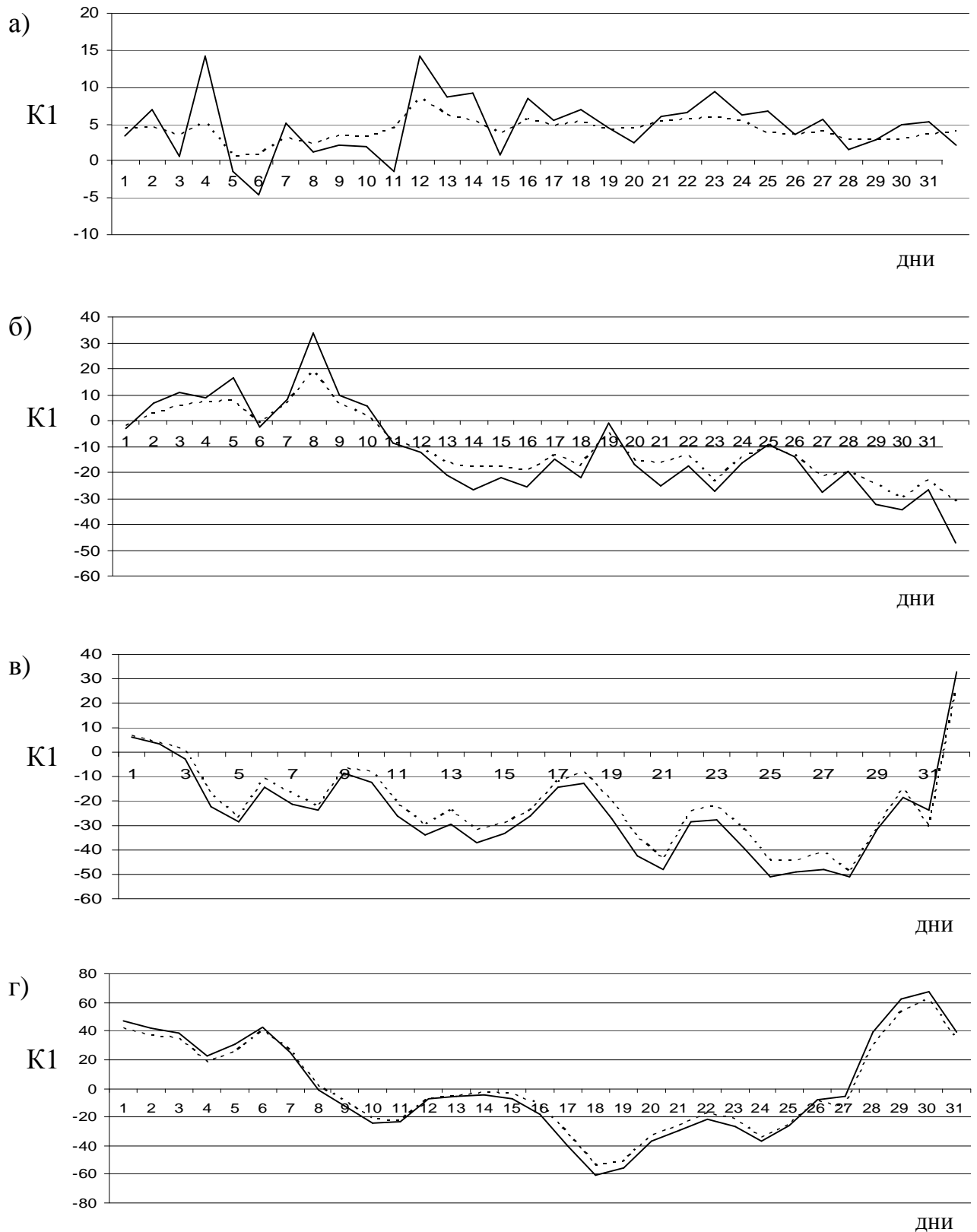


Рисунок 4.2 Вычисленные по моделям (---) и фактические значения (—) в январе 1986 г. первого коэффициента разложения K_1 полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа на а) 10°с.ш.; б) 35°с.ш.; в) 55°с.ш.; г) 75°с.ш.

Анализ прогноза коэффициентов разложения полей геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа Северного полушария по разработанным авторегрессионным моделям показал, что на всех рассмотренных широтах наблюдается недостаточное соответствие фактических и вычисленных по моделям значений коэффициентов разложений исследуемых полей. В тропических широтах ход вычисленных по моделям значений сильно сглажен, и, следовательно, использование такого прогноза не целесообразно. Для исследуемых временных рядов прогнозирование допускается в средних и высоких широтах, но при этом наблюдается сильная зашумленность процессов.

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

- Для аппроксимации полей геопотенциальной высоты в различные месяцы года целесообразно применять метод ЭОС, позволяющих избавиться от шума;
- Первый коэффициент разложения исходных данных по ЭОС является основным для описания циркуляционных механизмов в Северном полушарии; дисперсия первого к.р. вносит основной вклад в общую дисперсию; практически на всех широтах, начиная с третьего коэффициента разложения, наблюдается монотонная сходимость рядов;
- наблюдаемые процессы, описываемые первым коэффициентом разложения, обладают достаточной устойчивостью;
- наиболее четкие общие закономерности атмосферной циркуляции в Северном полушарии проявляются в зимний период;
- полученные формы первого ЕК в результате разложения исходного поля на ЭОС по широтным кругам Северного полушария на рассмотренных широтах в данные периоды года совпадают с результатами, полученными на первом этапе исследования при разложении непрерывного поля исходных данных. Таким образом, данная методика рассмотрения отдельных широтных кругов (в комплексе с другими подходами) может применяться при исследовании глобальных атмосферных процессов, наблюдаемых в Северном полушарии.
- Анализ портретов ВП временных рядов коэффициентов разложения полей геопотенциальной высоты на различных широтах Северного полушария показал, что основные волновые моды, описывающие наибольшую дисперсию испытывают колебания: в тропиках - с периодом от 25 до 50 месяцев, обусловленные явлением Эль – Ниньо и квазидвухлетней цикличностью. На широте 35° можно выделить колебания с периодом до 8 месяцев в течение всего интервала лет. В средних и полярных широтах Северного полушария в течение всего интервала наблюдаются колебания с периодом до одного года; причем с повышением высоты среди колебаний данного периода проявляются антициклонические образования большой интенсивности;
- Для первых пяти естественных колебаний исходных полей геопотенциальной высоты на различных широтах Северного полушария были синтезированы авторегрессионные модели различных порядков. В тропических широтах порядок построенной модели выше, чем в средних и высоких широтах, что говорит о ненадежности оценок, сильной зашумленности процессов в этом широтном поясе и затрудненности прогнозирования временных рядов в этих

широтах. Прогнозирование допускается для исследуемых временных рядов в средних и высоких широтах.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Третьякова А.С., Кузнецова Е.С. Использование вейвлет – анализа для использования временных метеорологических рядов // Сборник трудов II – ой Всероссийской молодежной научной конференции “История науки и техники” 4-5 декабря 2002 г. – СПб.: изд. СПбГУ – 2003. – 225 с.

2. Репинская Р.П., Третьякова А.С. Вейвлет - анализ естественных колебаний среднемесячной температуры воздуха на различных параллелях Северного полушария // Материалы итоговой сессии Ученого совета 27 – 28 января 2003 г. Информационные материалы. Часть I. Секции метеорологии и гидрологии. – СПб.: изд. РГГМУ, 2003. – С.58 – 59.

3. Борисова А.С. Некоторые методы построения и идентификации математических моделей временных климатических рядов// Научно-технические ведомости СПбГПУ.- СПб.: изд. СПбГПУ.-Т2. – 4.2007.- С.

4. Борисова А.С. Методы анализа и прогноза климатических временных рядов// Известия вузов. Северо-Кавказский регион. - №1(143) 2008. – С. 122-124.

5. Repinskaya R.P., Tretyakova A.S. Spectrum analysis of natural fluctuations of the monthly-mean air temperature over the northern hemisphere //J.: Dijon.: Université de Bourgogne (принята к публикации).

АВТОРЕФЕРАТ

А.С. Борисова