

ВОРОНЕЖСКОЕ ВЫСШЕЕ ВОЕННОЕ АВИАЦИОННОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ  
УЧИЛИЩЕ (ВОЕННЫЙ ИНСТИТУТ)



На правах рукописи

Акимов Леонид Мусамудинович

**ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА  
НАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЕЁ  
ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Специальность: 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
географических наук

ВОРОНЕЖ – 2006

Работа выполнена в Воронежском высшем военном авиационном инженерном училище (военном институте)

Научный руководитель: кандидат географических наук, доцент  
Задорожная Тамара Николаевна

Официальные оппоненты: доктор физико–математических наук,  
старший научный сотрудник,  
заслуженный деятель науки  
Садоков Виктор Петрович  
кандидат географических наук, доцент  
Расторгуев Игорь Поликарпович

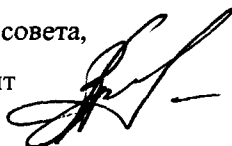
Ведущая организация: Главный гидрометеорологический центр  
Министерства обороны Российской Федерации

Защита состоится «28» февраля 2006 года в 15 часов на заседании диссертационного совета К 215.007.01 при Воронежском высшем военном авиационном инженерном училище (военном институте) по адресу: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «а», аудитория 621.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского высшего военного авиационного инженерного училища (военного института).

Автореферат разослан «25» января 2006 года

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук, доцент



ЗАКУСИЛОВ В.П.

2006 А  
2570

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние десятилетия все чаще появляются сообщения о глобальных и региональных колебаниях климата, приводящих к материальному ущербу и неблагоприятным социальным последствиям. Это способствовало возникновению повышенного интереса ученых к проблеме изменения климата и долговременному предсказанию погоды. Хотя по данной проблеме проведено много исследований, как в России, так и за рубежом, однако до сих пор нет единой точки зрения на тенденцию его изменений в различных регионах Северного полушария. Об этом же, свидетельствует и проходившая в 2003 году в Гааге, под эгидой ООН, Международная конференция по проблеме климата планеты. Поэтому на сегодняшний день, данная проблема остается актуальной.

Одним из показателей климата является температура воздуха, с которой связаны значительные изменения погоды. Многолетние колебания температуры, как правило, связаны с глобальными факторами, которые в настоящее время не полностью выявлены, а также не в полной мере изучены закономерности их изменчивости во времени. В связи с этим, встает вопрос о поиске новых предикторов, способных управлять процессами большого масштаба на длительных промежутках времени. Необходимо также глубокое исследование их пространственно-временной структуры с целью выявления региональных закономерностей и получения прогностических рекомендаций для заблаговременного предупреждения о возможном развитии аномальных процессов, как в далекой перспективе, так и на коротких периодах времени.

Данная работа является очередной попыткой оценить многолетнюю и коротко-периодную тенденции в изменении климатических показателей, используя обобщенные характеристики термического режима в ограниченном регионе Европейской территории и циркуляционные параметры Северного полушария. С целью совершенствования долгосрочных прогнозов большой заблаговременности в качестве предикторов исследовались параметры о степени интенсивности циркуляции Северного полушария на различных изобарических уровнях и широтных зонах.

**Объект исследования:** пространственно-временные закономерности термических, циркуляционных и геофизических факторов.

**Предмет исследования:** циркумполярный вихрь (ЦПВ), угловая скорость вращения Земли и их влияние на формирование термического режима над ограниченной Европейской территорией.

**Цель:** работы является выявление тенденции изменения полей среднемесячной аномалии температуры воздуха над территорией Европы и оценка возможности использования циркумполярного вихря и угловой скорости вращения Земли для ее прогноза.

Данная цель достигается решением следующих **задач:**

1. Исследованием климатических тенденций во временном ходе полей температуры на ограниченном участке Европы и сопутствующих им полей давления на Северном полушарии;



2. Установлением максимальной продолжительности в тенденции одного знака и величины аномальности полей температуры по различным градациям, установлением значимых циклов в исследуемых рядах;

3. Исследованием климатических особенностей распределения геопотенциала на различных широтах Северного полушария и оценка их взаимосвязей во времени, в горизонтальном и вертикальном направлениях;

4. Оценкой взаимно - корреляционных связей между полями температуры и интенсивностью циркумполярного вихря на различных высотах и широтных зонах, а также выбором оптимального варианта предикторов для построения диагностических моделей прогноза температуры над Европой;

5. Выявлением особенностей влияния угловой скорости вращения Земли на распределение геопотенциала на различных высотах и широтных зонах Северного полушария, с целью возможного их использования для построения диагностической модели прогноза циркумполярного вихря.

Методологической основой для выполнения данных задач послужили научные разработки ведущих ученых по проблеме климатических изменений: Будыко М.И., Изразля Ю.А., Груза Г.В., Раньковой Э.Я., Кислова А.В., Бардина М.Ю., Винникова К.Я., Переведенцева Ю.П., Володина Е.М. Особенности циркумполярного вихря исследовались на основе теоретических и практических исследований Педя Д.А., Глыза Г.А., Борисенкова Е.П., Нестерова Г.А. При оценке угловой скорости вращения Земли, использованы теоретические положения Максимова И.В., Сидоренкова Н.С., Смирнова Р.В.

В качестве исходных данных использовались архивы ГМЦ об аномалиях среднемесячных температур воздуха на 31 метеорологической станции Европейской территории. Архив среднемесячных значений геопотенциала на территории Северного полушария на стандартных изобарических поверхностях: 1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100 гПа в узлах регулярной сетки 10x10 в широтной зоне 40-90°с.ш. по данным Национального центра атмосферных исследований/Национального центра предсказания погоды (реанализ NCAR/NCAP). Среднемесячные значения угловой скорости вращения Земли, рассчитанные Сидоренковым Н.С., на основании данных Международной службы вращения Земли. По всем исходным данным, длина выборки 40 лет.

Методы исследования: статистические (корреляционно - регрессионный, спектральный анализ).

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием большого объема объективных данных государственной и международной сети наблюдений, применением апробированных методов исследования, использованием стандартных критериев оценки полученных результатов и удовлетворительным согласованием расчетных и фактических данных, а также с данными ранее проведенных исследований.

**Научная новизна работы:**

1. Выявлена многолетняя изменчивость и короткопериодная устойчивость в рядах температурного режима над ограниченным районом Европы и сопутствующих им полях давления над Северным полушарием;
2. Установлены вертикальные, горизонтальные и временные особенности взаимно - корреляционных связей в полях давления над Северным полушарием, на различных широтных зонах;
3. Оценен вклад интенсивности циркумполярного вихря на различных изобарических поверхностях и широтных зонах в формирование полей температуры над Европой. Для каждого календарного месяца выявлены наиболее информативные уровни и широтные зоны, на основании которых рассчитаны уравнения для прогноза температуры;
4. Выявлены пространственно-временные особенности влияния угловой скорости вращения Земли на режим циркуляции Северного полушария в различных слоях и широтных зонах, с учетом которых предложены регрессионные модели для прогноза циркумполярного вихря.

**Теоретическая значимость.** В результате проведенных исследований получены новые теоретические сведения, расширяющие представление об изменчивости, устойчивости и волновых колебаниях в полях термического режима Европейской территории, пространственно-временной структуре температуры, геопотенциала и угловой скорости вращения Земли и их взаимосвязях на различных изобарических поверхностях и широтных зонах. Оценены прогностические возможности циркумполярного вихря и влияние угловой скорости вращения Земли на его изменчивость.

**Практическая ценность.** Полученные результаты позволяют усовершенствовать долгосрочные прогнозы погоды, в том числе, температуры воздуха. Приведенные статистические оценки исследуемых параметров дают возможность корректировать численные прогнозы погоды и необходимы при решении задач мониторинга и моделирования климата.

**На защиту выносятся:**

1. Выявленные особенности многолетней изменчивости и устойчивости в полях температуры воздуха над ограниченной территорией Европы;
2. Установленные пространственно-временные закономерности и характер взаимосвязей в полях геопотенциала над Северным полушарием;
3. Результаты расчетов корреляционных связей, между термическим режимом над Европой и циркумполярным вихрем на различных высотах и широтных зонах Северного полушария;
4. Диагностические регрессионные модели прогнозов месячной аномалии температуры с учетом интенсивности циркумполярного вихря.
5. Оценки влияния угловой скорости вращения Земли на изменение полей давления и циркумполярный вихрь Северного полушария.

**Апробация работы.** Основные положения и экспериментальные результаты обсуждались на конференциях: Всероссийской научной конференции «Современные

глобальные и региональные изменения геосистем» (Казань, 2004); Всероссийская конференция «Сергей Петрович Хромов и синоптическая метеорология» (Москва, 2004); Международном Форуме по проблеме науки, техники и образования (Москва, 2004); 7-ой Межвузовской научно-методической конференции «Совершенствование подготовки инженерно-технических кадров для авиации ВС РФ в современных условиях» (Ставрополь, 2005), Межвузовские конференции «Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации» (Воронеж, 2003, 2004, 2005).

**Публикации:** по материалам исследований опубликовано 23 научных статьи, из них 12 во внешней печати, три работы без соавторов, две статьи в монографиях. Материалы работы отражены в двух научно-исследовательских работах III категории Воронежского ВВАИУ (ВВАИИ).

**Личный вклад автора.** Заключается в сборе, статистической обработке исходных данных, анализе результатов и формировании выводов.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и семи приложений. Общий объем диссертации составляет 217 страниц, включая 147 рисунков и 61 таблицу. Список литературных источников включает 213 наименований, из них 60 зарубежных.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы, формулируется цель и задачи исследования, определяются объект и предмет исследований, раскрывается теоретическая и практическая значимость полученных результатов исследования, показана их научная новизна.

В **первой главе** «Особенности многолетней изменчивости в полях температуры воздуха над Европейской территорией» приводится: анализ исследований, посвященных диагнозу и прогнозу среднемесячной температуры воздуха; результаты по выявлению устойчивых тенденций во временном ходе комплексных показателей полей температуры; циклические колебания во временном ходе полей температуры.

В последние годы возрос интерес к проблеме колебаний климата и направленности его изменений. Одним из показателей климата, является температура воздуха, с которой связаны глобальные изменения погоды.

Для выявления тенденций в изменении климата, как правило, используют данные на больших территориях. Однако, как показали исследования Бардина М.Ю., Груза Г.В., Раньковой Э.Я., Винникова К.Я., климатическая изменчивость районов, расположенных даже на близком расстоянии, различна. В связи с этим, для выявления тенденции необходимо детальное исследование многолетнего режима того района, для которого разрабатывается прогноз. В данной работе, исследования проводились для

территории Европы, ограниченной широтами 45-70°с.ш. и долготами 20°в.д.–60° в.д. Данные каждого календарного месяца представлялись в виде матрицы:

$$\Delta T'_{i,j} \approx \begin{Bmatrix} \Delta T'_{11}, \Delta T'_{12}, & \Delta T'_y & \Delta T'_{1N} \\ \Delta T'_{21}, \Delta T'_{22}, & \Delta T'_y & \Delta T'_{2N} \\ & \Delta T'_y & \\ \Delta T'_{311}, \Delta T'_{312} & \Delta T'_y & \Delta T'_{31N} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер пункта наблюдения ( $i = 1, 2, \dots, 31$ );  $j$  – порядковый номер года в выборке ( $j = 1, 2, \dots, 40$ );  $t$  – порядковый номер календарного месяца ( $t = 1, 2, \dots, 12$ ),  $N$  – длина выборки.

С целью выявления тенденции температурного режима исследуемой территории, проведен анализ временных рядов с помощью комплексных показателей, описывающих особенности каждого индивидуального поля: интегральный показатель поля температуры  $\Delta \bar{T}_m = \sum_{i=1}^n \Delta T_i$ , параметры аномальности А.Н. Багрова:  $K_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta T_i}{G_i} \right)^2$  – характеризующий возмущенность поля и  $A_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta T_i}{G_i} \right)$  – учитывающий знак, где  $m$  – порядковый номер элемента в выборке ( $m = 1, 2, \dots, 480$ ).

На рисунке 1 – представлены временные ряды:  $\Delta \bar{T}_m$ ; вероятности появления полей с территорией на 2/3, занятой  $P(\sum \Delta \bar{T}_m \geq 0)$  (%).

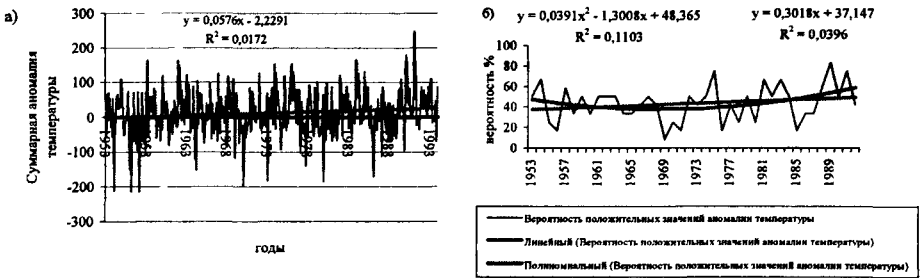


Рис. 1 – Временной ход: а)  $\Delta \bar{T}_m$ ; б)  $P(\sum \Delta \bar{T}_m \geq 0)$  (%).

Из рисунков следует, что в каждом из них имеют место значительные колебания. В результате расчета уравнений трендов, обнаружен слабовыраженный рост, составляющий 0,02°/год и 0,3%/10 лет по площади. В тоже время, анализ полиномиального тренда показывает, что до 1970 г. в многолетнем ходе наблюдалось монотонное уменьшение площади, занятой на 2/3 значениями  $\Delta \bar{T}_m \geq 0$  (рис.16), а с 1974 года - рост. Их вклад в суммарную дисперсию поля, составляет 1% исходного поля. Для остальных параметров он оказался еще меньше.

Дополнительно проведен анализ многолетнего хода, сглаженных по пяти годам, значений:  $\Delta \bar{T}_5 = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \left( \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \Delta T_i \right)$  его тренда (рис. 2).

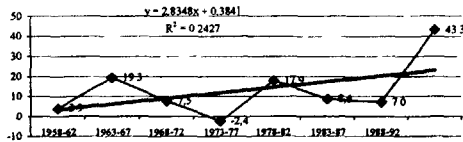


Рис. 2 – Распределение сглаженных по 5-ти годам значений  $\Delta \bar{T}_s$

Расчеты подтвердили наличие выявленного ранее положительного тренда  $0,02^\circ\text{C}/\text{год}$ , хотя трудно быть уверенным в том, что этот процесс сохранится, так как на общем фоне повышения наблюдаются длительные периоды (порядка 10 лет), в течение которых происходит монотонное понижение температуры.

Для выявления короткопериодных колебаний в изменении климата, оценивались непрерывная продолжительность сохранения преобладающего знака полей температуры и продолжительность крупной возмущенности по различным градициям. Установлено, что средняя непрерывная продолжительность сохранения одного знака, составляет 6 месяцев, при этом для положительного знака она может достигать 11 месяцев, а отрицательного – 7 месяцев. С наибольшей вероятностью (53%), исходный знак поля сохраняется 1 месяц. В многолетнем распределении устойчивости преобладающего знака поля при фиксированном месяце, выявлен годовой ход с максимумом 7 лет (январь - декабрь) и минимумом 4 года (май - июнь). Сохранение тенденции роста (падения) величины параметра  $K_m$  составляет 6 месяцев. С вероятностью около 80%, направление тенденции не превышает двух месяцев.

Для выявления длиннопериодных колебаний в исследуемых рядах, использовался автокорреляционный анализ. Коэффициент автокорреляции для параметра аномальности  $K_m$  имеет вид

$$\rho(\tau) = \frac{\sum_{m=1}^{N-\tau-1} \Delta \bar{K}_m \Delta \bar{K}_{m+\tau}}{(N-\tau-1)\sigma_{\Delta \bar{K}_m}^2}$$
, где  $\rho(\tau)$  - автокорреляционная функция,

зависящая от временного сдвига  $\tau=1$  месяц;  $m$  - исходный момент времени;  $N$  - объем выборки ( $N=480$ ). Его оценкой служат средние квадратические отклонения

$$\sigma_\rho = \frac{1 - [\rho(\tau)]^2}{\sqrt{N - \tau - 1}}$$
. Из анализа распределения  $\rho(\tau)$  обнаружен значимый коэффициент автокорреляции на сдвиге  $\tau=74$  месяца или приблизительно 6 лет, который согласуется с

периодом нутации полюсов (И.В. Максимов, Н.С. Сидоренков). Дополнительно к исследуемым рядам применен спектральный анализ разложения колебательного процесса в виде набора гармоник:  $A(\Gamma) = \frac{2}{n} \sum_{l=0}^{\frac{n}{2}} f(l, \Gamma) \cos \frac{2\pi l}{T}$ ,  $B(\Gamma) = \frac{2}{n} \sum_{l=0}^{\frac{n}{2}} f(l, \Gamma) \sin \frac{2\pi l}{T}$ . Спектром является функция  $S_l = \sqrt{A_l^2(\Gamma) + B_l^2(\Gamma)}$ , а его оценка  $I_{\beta} \Delta S_{\omega} = \bar{S}_x(\omega) \chi^2 / l$ , где  $S_x(\omega)$  – средний уровень спектральной плотности, вычисляемый в интервале значений автокорреляционной функции в пределах сдвигов (от 1 до  $m$ );  $l$  - число степеней свободы.

Исходя из анализа спектрального разложения, во временном ходе параметра  $K_m$  обнаружены циклы: полугодовой, квазидвухлетний, трехлетний и шестилетний, кото-

рые согласуются с глобальными геофизическими факторами, обнаруженными и в других исследованиях.

**Во второй главе** «Пространственно-временные закономерности формирования давления над Северным полушарием» приводятся: сезонные особенности распределения давления у поверхности Земли; результаты исследования пространственных синхронных связей приземных барических полей Северного полушария; анализ асинхронных связей приземного поля давления в различных широтных зонах; установленные связи циркуляции приземного поля давления с вышележащими слоями атмосферы.

На формирование термического режима в значительной мере оказывает влияние циркуляция атмосферы. Она обладает колебаниями, совпадающими с колебаниями термического режима. Исследованию связей между параметрами циркуляции и температурой воздуха посвящено много работ (Бардин М.Ю., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рождественский А.А.). С целью совершенствования прогнозов необходимо детальное исследование пространственно – временной структуры циркуляционного режима Северного полушария. Актуальность более детального изучения циркуляционных характеристик атмосферы обсуждалась на Международном совещании по мониторингу климата, проходившему в Женеве. На нем, среди параметров и объектов, нуждающихся в более глубоком исследовании, были особо выделены основные барические гребни и ложбины.

В связи с этим, в данной работе ставилась задача изучить характер пространственного распределения среднемесячного давления, с целью уточнения сезонной локализации основных барических ложбин и гребней и их изменчивость, на различных широтных зонах Северного полушария. Предварительно, для каждого узла  $\lambda$ , на фиксированной широте  $\varphi$ , рассчитаны средние, многолетние значения давления  $\bar{P}'_{\varphi\lambda} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P'_{\varphi\lambda j}$ , где  $\varphi = 1, 2, \dots, 5$ ;  $\lambda = 1, 2, \dots, 36$ . На рис. 3 представлено распределение геопотенциала АТ-1000гПа: а) январь; б) июль.

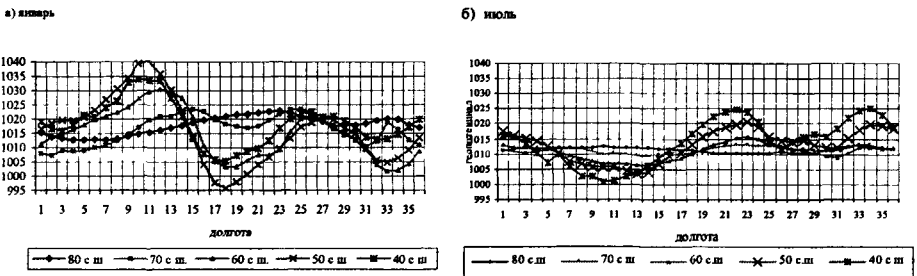


Рис. 3 Распределение  $\bar{P}'_{\varphi\lambda}$  вдоль широтного круга у поверхности Земли.

Из рис. 3а видно, что в распределении давления у поверхности Земли на Северном полушарии, в холодный период, имеют место две зоны высокого давления, соответствующие климатическим положениям центров действия атмосферы (ЦДА): Сибирскому максимуму (90-110в.д.) и Канадскому (110-140з.д.); и две ложбины: над Ти-

хим океаном (180° в.д.) – Алеутский минимум и Атлантическим океаном (30° з.д.) – Исландский минимум. Более четко проявляются ложбины и гребни на широтах  $\varphi=40-50^\circ$  с.ш. С увеличением широты амплитуда волн значительно уменьшается, а их ось смещается к востоку. Расчет среднеквадратических отклонений показал, что наибольшие колебания наблюдаются не на осях волн, а на восточной их периферии. Это свидетельствует о том, что в меньшей степени подвержены изменчивости интенсивность ЦДА и в большей степени, размер территории, а именно, они в большей степени расширяются вдоль широтных зон и в меньшей – к северу и югу.

В летний период (рис. 3б) волновые возмущения выражены менее четко. Ложбины и гребни меняются местами, однако их оси, по отношению к январю, не совпадают и смещены к востоку на  $30^\circ$ . В переходные периоды амплитуды климатического давления практически исчезают.

С целью выявления тенденций в многолетнем изменении геопотенциала для каждой широтной зоны, рассчитывались нормы по скользящим 30-летним периодам:

$$\bar{H}_\lambda^\sigma(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{j=i+\tau}^{k-M+\tau} H_{\lambda_j}^\sigma$$

где  $M$  – период осреднения ( $M=30$  лет);  $N$  – общая длина выборки ( $N=40$  лет);  $\tau$  – порядковый номер сдвига по времени ( $\tau=0, 1, 2, \dots, (N-M)$ );  $\ell$  – временной период сдвига ( $\ell=1$  год);  $K$  – крайняя правая граница выборки;  $j$  – начальная граница выборки;  $i$  – порядковый номер узла регулярной сетки.

Анализ полученных результатов выявил дифференцированность климатической изменчивости геопотенциала на различных широтных зонах. Так, на южных широтах (рис. 4а), на осях гребней заметных колебаний не происходило. В то же время, существенные изменения наблюдаются в районе Атлантики и на Европейской территории, вплоть до Уральских гор ( $\lambda = 60^\circ$  в.д.). На северных широтах (рис. 4б), при сохранении конфигурации кривых геопотенциала, значительная изменчивость отмечается вдоль всего полушария.

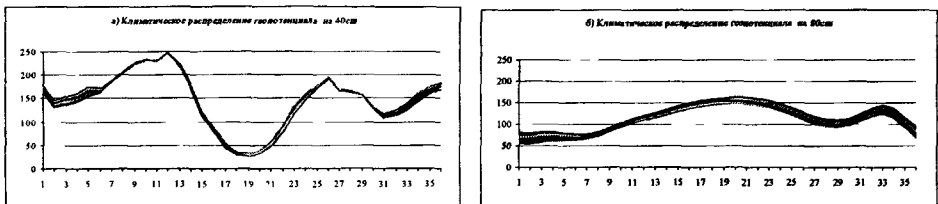


Рис. 4 - Скользящие средние значения геопотенциала АТ-1000 в январе

Для выявления общего характера изменения геопотенциала на различных широтных зонах, рассчитывались суммы межгодовых среднеширотных разностей  $\delta H$  (рисунк 5).

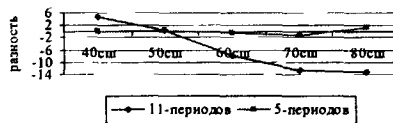


Рис. 5 - Среднеширотные суммы сглаженных разностей геопотенциала  $\delta H$  по 11-ти и пятилетним скользящим периодам 30-летнего осреднения

Из рисунка следует, что в последние годы на широте  $\varphi=40$ с.ш. происходило понижение геопотенциала, начиная с  $\varphi=60$ с.ш. значение  $\delta H$  - растет. Выявленная тенденция может свидетельствовать, об усилении наметившихся меридиональных процессов с восточной составляющей.

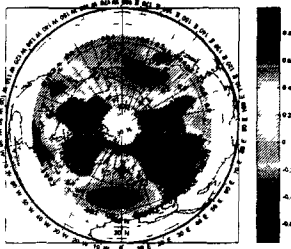
При решении задач долгосрочного прогнозирования погоды крайне важным, представляется знание пространственных корреляционных связей. Такие сведения, позволяют выявить наиболее активные зоны на полушарии и, в соответствии с ними, установить эффективный состав предикторов и предиктантов. Установлению таких связей посвящены исследования: Груза Г.В., Раньковой Э.Я., Гирской Э.И., Уоллеса и Гуцлера, Уокера и Блисса, Рейтенберга, при этом используются различные подходы.

В данной работе, для выявления связей между значениями давления в пространстве, рассчитывалась структурная функция, которая показывает, как связаны между собой значения геопотенциала в исходной точке, со значениями, находящимися на той же широте, на различных удалениях от нее. Вычисления проведены для АТ-1000гПа с фиксированным шагом  $10^0$  меридиана. Для конкретной широты  $\varphi$ , структурная функция имеет вид:  $\rho(r)_\varphi = \frac{1}{(N-1)r^2} \sum_{\lambda}^N \Delta H_\varphi(\alpha_0, \lambda) * \Delta H_\varphi(\alpha_0 + r, \lambda)$ , где -  $\rho(r)_\varphi$  - структурная функция, зависящая от расстояния  $r$ ;  $\lambda_0$  - реперный разрез.

Рассматривалось несколько вариантов меридиональных разрезов (реперных точек):  $\lambda_0 = 0$  - на нулевом меридиане (переход от океана к континенту);  $\lambda_0 = 50^0$  в.д. - континентальный район Европы;  $\lambda_0 = 170^0$  з.д. - океаническая поверхность (Тихий океан);  $\lambda_0 = 30^0$  з.д. (Северная Атлантика). Расчет проводился для всех календарных месяцев в синхронные сроки.

Для примера на рис. 6 представлены результаты расчета  $\rho(r)_\varphi$  для репера  $\lambda=50^0$  в.д. (континент).

а) январь



б) июль

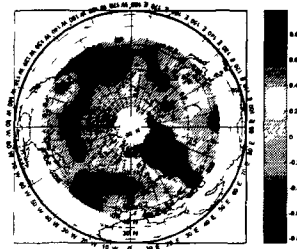
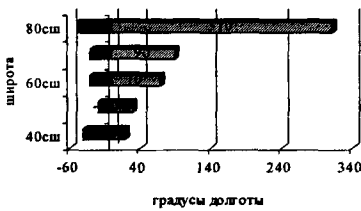


Рис. 6 - Пространственное распределение  $\rho(r)_\varphi$  для репера  $\lambda = 50^0$  в.д.

Из рисунков видно, что в январе территория, занятая значимыми коэффициентами корреляции ( $R \geq 0,31$ ) значительно больше, чем летом. Знак связи над континентами положительный, над океанами - отрицательный.

На рис. 7 приведены границы “ближних” связей  $\rho(r)_\varphi \geq 0,31$

а) Реперный разрез 50в д. Январь



б) Реперный разрез 50в д. Июль

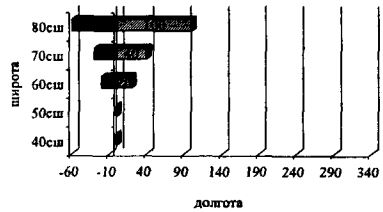


Рис. 7 – Распределение значимых связей относительно  $\lambda=50$  в. д. (континент)

Из рисунка следует, что зимой значимые связи ( $R \geq 0,31$ ) наблюдаются практически вдоль всей широты  $\varphi=80^\circ$  с.ш. К югу границы значимых связей резко уменьшаются. Причем к востоку от репера на широтах  $\varphi=60-70^\circ$  с.ш. они распространяются на удаление до  $70-90^\circ$ , а к западу – только на  $30^\circ$ . Наименьшая площадь, почти одинаково удаленная от репера, отмечается в самых южных широтах (на  $20-30^\circ$ ).

В июле характер распространения связей сохраняется. Границы связей в Северных широтах ( $\varphi=80-60^\circ$  с.ш.) удалены от репера в обе стороны на  $40-20^\circ$ , а на южных находятся лишь вблизи репера.

Кроме того, из рисунков также следует, что имеют место и дальние связи, расположенные преимущественно над океаническими поверхностями. Причем преобладает отрицательный знак. В таблице 1, для каждой широты приведены координаты “дальних” связей.

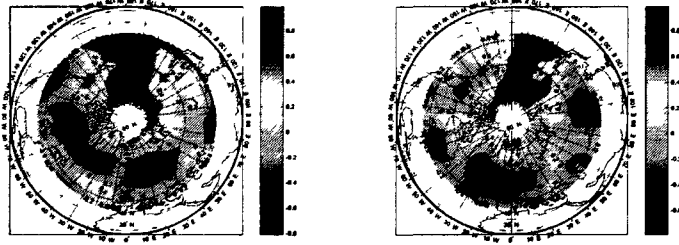
Таблица 1 – Дальние связи (реперный разрез 50 в. д.)

широта	январь	июль
80сш	0	0
70сш	150-30з.д.(+)	0
60сш	140-170в.д.(-); 120-30з.д.(+)	170-60з.д.(-); 30-0з.д.(-)
50сш	110-160в.д.(+); 10-0в.д.(-); 60-40з.д.(+); 20-10з.д.(-)	110в.д.-130в.д.(+); 170-140з.д.(-); 120-110з.д.(+)
40сш	130-140в.д.(+); 90-70з.д.(-)	90в.д.-100в.д.(-); 180з.д.-170з.д.(+); 120з.д.-90з.д.(+); 40з.д.-20з.д.(-)

На рисунке 8 представлено распределение  $\rho(r)_\varphi$  для репера  $\lambda=170^\circ$  в. д.

а) январь

б) июль



Реферная точка  $\lambda=170^{\circ}$  в.д. (Тихий океан)

Рис. 8 - Пространственное распределение  $\rho(r)$ , для репера  $\lambda=170^{\circ}$  в.д.

Над океанической поверхностью (рис. 8а, б) как в январе, так и в июле территория высоких корреляционных связей ( $R \geq 0,6$ ), по сравнению с континентом, меньше.

Во многих работах А.И. Угрюмова, Ш.А. Мусаеляна, О.А. Дроздова, Б.И. Сазонова и др. показано, что атмосфера обладает временной инерцией. На этом свойстве атмосферы в настоящее время разрабатываются месячные прогнозы погоды, в частности температуры воздуха. Однако, детальных исследований, позволяющих дать ответ: одинакова ли инерция в различных широтных зонах Северного полушария, и как она себя проявляет в различные периоды года, проведено не было. Поэтому следующим этапом данного исследования, является установление связей между полями, сформированными в различные климатические месяцы года.

Для выявления асинхронных связей использовался корреляционный анализ. С этой целью, для всех календарных месяцев строились ряды, состоящие из средних, многолетних значений давления на поверхности 1000 гПа в 36 узлах Северного полушария при каждой фиксированной широте:

$$\begin{aligned} & \bar{H}_{\lambda_1 \varphi}^{1000}(\varphi), \bar{H}_{\lambda_2 \varphi}^{1000}(\varphi), \dots, \bar{H}_{\lambda_n \varphi}^{1000}(\varphi) \\ & \bar{H}_{\lambda_1 \varphi}^{1000}(\varphi + \tau), \bar{H}_{\lambda_2 \varphi}^{1000}(\varphi + \tau), \dots, \bar{H}_{\lambda_n \varphi}^{1000}(\varphi + \tau) \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\bar{H}_{\lambda, \varphi}^{1000}(\varphi)$  - значение геопотенциала в каждом рассматриваемом узле на широте  $\varphi$ , в месяце  $\tau$ ;  $\tau$  - сдвиг по времени ( $\tau=1, 2, \dots, 11$ ).

Проведенный анализ асинхронных связей позволил выявить особенности смены знака циркуляции в различных широтных зонах, которые можно свести к следующему: на всех широтах имеет место годовой ход коэффициентов корреляции с высокими положительными значениями в холодное полугодие и отрицательными – в теплое полугодие; продолжительность периода, для которого характерны отрицательные связи, уменьшается от южных широт к северным; отрицательные, но довольно высокие по абсолютной величине корреляционные связи, на всех широтах отмечаются в июле.

Для примера на рис. 8 представлен годовой ход коэффициентов корреляции  $R[\bar{H}_{\lambda, \varphi}(\varphi), \bar{H}_{\lambda, \varphi}(\varphi + \tau)]$  на широтах  $\varphi = 40^{\circ}$ с.ш. и  $\varphi = 80^{\circ}$ с.ш.

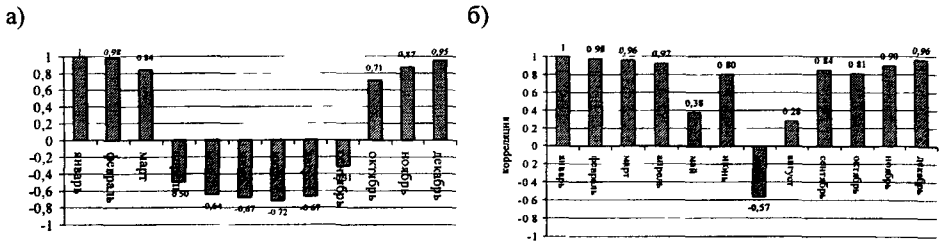


Рис. 8 - Характер тесноты связей  $R[\bar{H}_{\lambda, \varphi}(\varphi), \bar{H}_{\lambda, \varphi}(\varphi + \tau)]$  на  $\varphi = 40^{\circ}$ с.ш. и  $\varphi = 80^{\circ}$ с.ш.

Так если для широты  $\varphi=40^{\circ}$ с.ш. период с отрицательными связями отмечается с апреля по сентябрь, то на  $\varphi=80^{\circ}$ с.ш. он составляет всего 1 месяц.

Проведенные исследования позволили для каждой широтной зоны установить периоды однородной циркуляции и границы смены ее знака.

В дальнейшем, с целью более полного понимания закономерностей развития и эволюции циркуляции атмосферы Северного полушария предпринята попытка, выявить особенности взаимосвязей по высотам. Связь приземного поля с вышележащими слоями исследовалась Ю.П. Переведенцевым, М.А. Верещагиным, К.М. Шанталинским, Н.В. Исмагиловым, Л.Р. Ракиповой, В.Г. Кидияровой на основе различных сглаженных характеристик. В данной работе исследования проводились дифференцированно для каждой широтной зоны в отдельности. При этом изучались связи между АТ-1000гПа и остальными стандартными поверхностями. Предварительно, в каждом узле для фиксированных широт  $\varphi$ , высоты  $\gamma$  и месяца  $t$ , рассчитывались нормы  $\bar{H}'_{\lambda, \varphi}(\varphi)$ :

$$\begin{aligned} & \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{1000}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{1000}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{1000}(\varphi) \\ & \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{850}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{850}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{850}(\varphi). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{100}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{100}(\varphi), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{100}(\varphi)$$

Результаты расчетов парных коэффициентов корреляции  $R[\bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_1}(t), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_2}(t)]$  показали, что степень связи для различных изобарических поверхностей и различных широт, неодинакова. Анализ значений  $\bar{R}[\bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_1}(t), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_2}(t)]$ , осредненных за год показал, что наиболее высокие связи отмечаются между АТ-1000гПа и АТ-850гПа. С увеличением высоты  $\gamma$  связи уменьшаются и меняют знак. Анализируя особенности годового хода для всех широт, обнаружено, что максимум корреляции наблюдается на широте  $\varphi=80^{\circ}$ с.ш., где значение  $\bar{R}[\bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_1}(t), \bar{H}'_{\lambda, \varphi}{}^{\gamma_2}(t)]$  достигает 0,87. Второй максимум отмечается на  $\varphi=40^{\circ}$ с.ш. ( $\bar{R}=0,86$ ). Минимальное значимое  $\bar{R}$  обнаруживается на  $\varphi=70^{\circ}$ с.ш., хотя также является значимым ( $\bar{R}=0,47$ ). Для сравнения на рис. 9 представлены распределения  $\bar{R}(\gamma)$  для широты 80с.ш. и 40с.ш.

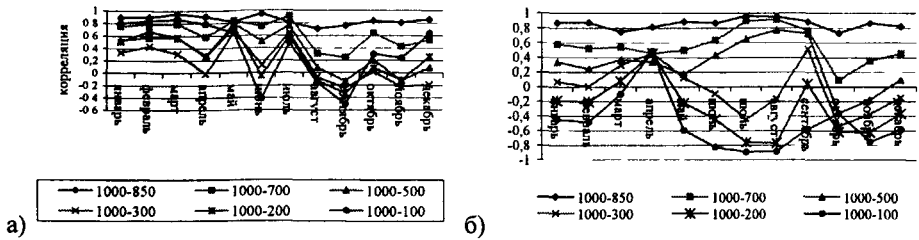


Рис. 9 - Годовой ход коэффициентов корреляции на а)  $\varphi = 80^\circ$ ; б)  $\varphi = 40^\circ$

В результате анализа графиков годового хода коэффициентов корреляции, для различных широтных зон, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее тесные связи, наблюдаются между полями давления на 1000гПа и поверхностью 850гПа. Это происходит на всех широтах и во всех календарных месяцах. С увеличением высоты, значения коэффициентов корреляции монотонно уменьшаются. Это особенно наглядно видно в месяцах холодного полугодия.

2. В северной широтной зоне ( $60-80^\circ$ с.ш.) в ходе кривых коэффициентов корреляции на всех высотах имеет место хорошо выраженный годовой ход с двумя максимумами, один из которых отмечается в мае, второй, в зависимости от широты, – в июле. Основной минимум на всех широтах приходится на июнь, второй наблюдается в сентябре - ноябре. Исключением является кривая годового хода R для поверхности 850гПа, на которой он практически отсутствует.

3. На широтах  $40-50^\circ$ с.ш., в холодное полугодие кривые годового хода повторяют конфигурацию, характерную для северных широт. Однако в теплый период, начиная с мая по сентябрь, кривые для поверхностей, находящихся выше и ниже 500гПа, имеют противоположные фазы. В мае и сентябре происходит на этих поверхностях пересечение кривых коэффициентов корреляции.

**В третьей главе** «Оценка корреляционных связей между термическим режимом над Европой и интенсивностью циркумполярного вихря Северного полушария» приводится: анализ исследуемых параметров на нормальность распределения; методика расчета циркумполярного вихря и его временные закономерности; оценка взаимно-корреляционных связей между полями температуры над Европейской территорией и интенсивностью циркумполярного вихря; результаты анализа вертикального распределения среднеширотных коэффициентов корреляции.

Оценка исследуемых рядов проводилась с помощью различных «параметрических» статистик: коэффициента вариации  $c_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$ , асимметрии  $(As_{x_k})_n = \frac{1}{N\sigma^3} \sum_{i=1}^N (K_i - \bar{K}_i)^3$  и эксцесса  $(Ex_{x_k})_n = \frac{1}{N\sigma^4} \sum_{i=1}^N (K_i - \bar{K}_i)^4 - 3$ , критериев Пирсона:  $\chi^2 = \sum_{n=1}^k \frac{(m_n - m_{\alpha n})^2}{m_{\alpha n}}$ , Колмогорова – Смирнова  $\lambda|d|$ . Наряду с вышеизложенной методикой, использовались графические методы: построение гистограмм и расчета статистических критериев (рис. 10)

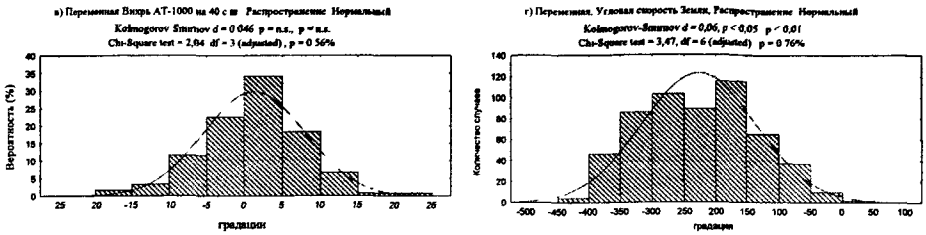


Рис. 10 - Гистограммы и критерии значимости: а) вихря  $\Omega_{\varphi=40c.u.}^{\gamma=1000гПа}$ ; б) угловой скорости вращения Земли  $v$

Анализ рисунков и полученные оценки исследуемых параметров показали, что их распределения близки к «нормальному» закону. Это дает основание использовать их в корреляционно – регрессионном анализе.

В настоящее время в прогностических моделях циркуляционные факторы учитываются в виде различных индексов циркуляции. Однако они не в полной мере описывают особенности циркуляции Северного полушария. На наш взгляд наиболее полной характеристикой может являться интенсивность циркумполярного вихря (ЦПВ), которая рассматривалась в работах Д.А. Педя, Г.А. Глыза и других. Как правило, в этих работах расчет вихря проводился только на АТ-100гПа и  $\varphi = 40c.ш.$

В данном исследовании ставилась задача оценить информативность ЦПВ на всех исследуемых изобарических поверхностях, рассчитанных на разных широтных зонах с целью выбора наиболее успешного для прогноза варианта. Расчет вертикальной составляющей вихря скорости проводился по картам среднемесячных значений геопотенциала:  $\Omega'_{\varphi\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{\lambda=1}^n (H'_{\varphi\lambda\sigma} - H'_{\varphi 0})$  где  $n$  – количество долгот ( $n=36$ );  $H'_{\varphi 0}$  – среднемесячное значение геопотенциала на полюсе;  $H'_{\varphi\lambda\sigma}$  – среднемесячное значение геопотенциала на соответствующей изобарической поверхности  $\gamma$  на фиксированных  $\lambda$  и  $\varphi$ .

Рассматривались изобарические поверхности  $\gamma$ : АТ-1000, АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300, АТ-200, АТ-100гПа с радиусами охвата территории Северного полушария  $\gamma$  ( $\gamma = 0 - 40^\circ$ ;  $\gamma = 0 - 50^\circ$ ;  $\gamma = 0 - 60^\circ$ ;  $\gamma = 0 - 70^\circ$ ;  $\gamma = 0 - 80^\circ$ ).

Анализ средних многолетних значений вихря показал, что от Северных широт к южным и с высотой, наблюдается увеличение интенсивности вихря. Для выявления возможных временных закономерностей к данным  $\Omega'_\varphi$  на всех изобарических поверхностях и широтных зонах ( $\varphi=40-80^\circ c.ш.$ ) применен спектральный анализ, который позволил выявить наличие в северных широтах полугодовых колебаний, в южных – годовых. Также обнаружен 32-ти месячный цикл, близкий к угловой скорости вращения Земли.

Для установления связей между интенсивностью вихря  $\Omega'_\varphi$  и полями температуры, представленными параметрами  $K_t$ , был проведен расчет парных коэффициентов корреляции  $R[\Omega'_\varphi, K_t]$  для каждого календарного месяца  $t$ . Массивы представлялись в следующем виде:

$$\Omega'_{i,\varphi,j} \approx \left\{ \begin{array}{l} \Omega'_{1,\varphi=40,1959}, \Omega'_{1,\varphi=40,1960}, \dots, \Omega'_{1,\varphi=40,N} \\ \Omega'_{2,\varphi=40,1959}, \Omega'_{2,\varphi=40,1960}, \dots, \Omega'_{2,\varphi=40,N} \\ \dots \\ \Omega'_{12,\varphi=40,1959}, \Omega'_{12,\varphi=40,1960}, \dots, \Omega'_{12,\varphi=40,N} \end{array} \right\}, K_{m,j} \approx \left\{ \begin{array}{l} K_{1,1}, K_{1,2}, \dots, K_{1,n} \\ K_{2,1}, K_{2,2}, \dots, K_{2,n} \\ \dots \\ K_{12,1}, K_{12,2}, \dots, K_{12,n} \end{array} \right\}$$

Аналогичные массивы строились для всех высот  $\gamma$  и исследуемых широт  $\varphi$ . В общей сложности для каждого месяца использовался 35-мерный вектор наблюдений.

На первом этапе для выявления особенностей взаимно - корреляционных связей проведена оценка влияния ЦПВ, рассчитанного для фиксированной изобарической поверхности, на характер формирования температуры воздуха у Земли, в различные календарные месяцы. Параллельно оценивали степень влияния радиуса охвата приполюсного циркумполярного вихря.

Для примера на рис. 11, представлено распределение  $R[\Omega'_{\varphi}, K_{\gamma}]$

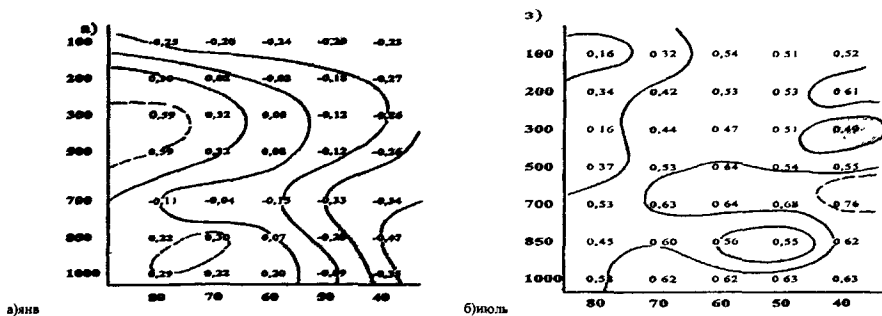


Рис. 11 - Вертикальное распределение коэффициентов взаимной корреляции  $\bar{R}[\Omega'_{\varphi}, K_{\gamma}]$

а) январь, б) июль

Из анализа вертикального распределения корреляционных связей следует, что в январе преобладают северные широты (70-80с.ш.), в июле основной вклад вносит информация на широтах 40-60с.ш.

На основании рассчитанных коэффициентов корреляции и проведенного анализа для каждого календарного месяца и изобарической поверхности выявлены наиболее информативные широтные зоны, которые для центральных месяцев года представлены в табл. 2.

Табл. 2 - Предикторы для прогноза аномалии температуры  $K_{\gamma}$

месяцы	Изобарические поверхности							
	1000	850	700	500	300	200	100	экстремум
Январь	-0,38 $\varphi=40^{\circ}$	-0,47 $\varphi=40^{\circ}$	-0,34 $\varphi=40^{\circ}$	0,59 $\varphi=80^{\circ}$	0,29 $\varphi=80^{\circ}$	0,30 $\varphi=80^{\circ}$	-0,29 $\varphi=80^{\circ}$	0,59 $\varphi=80^{\circ}$
Апрель	0,33 $\varphi=70^{\circ}$	0,34 $\varphi=60^{\circ}$	0,25 $\varphi=60^{\circ}$	0,28 $\varphi=60^{\circ}$	0,26 $\varphi=60^{\circ}$	0,38 $\varphi=60^{\circ}$	0,44 $\varphi=70^{\circ}$ 0,44 $\varphi=40^{\circ}$	0,44 $\varphi=70^{\circ}$ 0,44 $\varphi=40^{\circ}$
Июль	-0,61 $\varphi=50^{\circ}$	-0,60 $\varphi=50^{\circ}$	-0,61 $\varphi=50^{\circ}$	-0,61 $\varphi=50^{\circ}$	-0,85 $\varphi=50^{\circ}$	-0,56 $\varphi=50^{\circ}$	-0,54 $\varphi=50^{\circ}$	-0,85 $\varphi=50^{\circ}$
Октябрь	0,77 $\varphi=80^{\circ}$	0,71 $\varphi=80^{\circ}$	0,59 $\varphi=70^{\circ}$	0,67 $\varphi=70^{\circ}$	0,47 $\varphi=70^{\circ}$	0,68 $\varphi=70^{\circ}$	-0,11 $\varphi=80^{\circ}$	0,77 $\varphi=80^{\circ}$

На основании анализа таблицы установлено, что связь между полем температуры и интенсивностью вихря на различных изобарических поверхностях носит избирательный характер и в каждом конкретном месяце к отбору предикторов нужно подходить дифференцированно (с апреля по сентябрь преобладают 60-40с.ш., в холодное полугодие -70-80с.ш.).

С целью выявления наиболее информативного барического уровня, на котором характер приполюсной циркуляции целесообразно использовать в прогнозе температурного режима над исследуемым районом Европейской территории, для каждого месяца рассчитаны парные коэффициенты корреляции  $\bar{R}_t^\gamma [K_t, \Omega_{t,\varphi}^\gamma]$ , сглаженные для конкретной изобарической поверхности  $\gamma$  по всей широтной зоне (40–80°с.ш.):

$\bar{R}_t^\gamma = \frac{1}{F} \sum_{\varphi=1}^F R_{t,\varphi}^\gamma$ . Годовой ход наиболее информативных высот представлен на рис. 12.

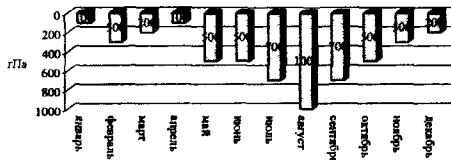


Рис. 12 – Годовой ход информативных изобарических поверхностей

Из характера распределения среднеширотных коэффициентов корреляции с высотой, с ноября по апрель наиболее тесные связи отмечаются с высокими слоями (100-300гПа), в теплую половину года, на температуру влияют более низкие слои атмосферы (500-1000гПа).

**Четвертая глава** «Диагностические регрессионные модели прогнозов» посвящена оценке информативности циркумполярного вихря для прогноза, как комплексного параметра аномальности поля температуры  $K_t$ , так и аномалии температуры в отдельных пунктах Европейской территории; выявлению влияния угловой скорости вращения Земли и возможности ее использования для прогноза поля давления в Северном полушарии.

Еще одной оценкой успешности циркумполярного вихря, используемого в качестве предиктора, могут служить уравнения регрессии. В этом случае успешность уравнений регрессии будет являться и успешностью ЦПВ, как предиктора. В качестве прогнозируемой величины использовался параметр аномальности  $K$ . В качестве предиктора – интенсивность ЦПВ на всех изобарических поверхностях. Отбор предикторов производился с помощью множественной пошаговой регрессии. Для прогноза использовалось линейное уравнение вида:  $K_t = a_1 \Omega_{t,\varphi_1}^\gamma + a_2 \Omega_{t,\varphi_2}^\gamma + b$ . В результате для каждого календарного месяца  $t$  и высоты изобарической поверхности  $\gamma$  построены уравнения регрессии. Ошибки прогностических уравнений оценивались с помощью средней ошибки  $\bar{\delta} = (K_t)_{\text{факт}} - (K_t)_{\text{прогноз}}$

Анализ уравнений и их ошибок показал, что информативность изобарических поверхностей в различные календарные месяцы различна.

На рисунках 13 представлено распределение среднеширотных ошибок прогноза по высотам и годовой ход ошибок независимо от высоты

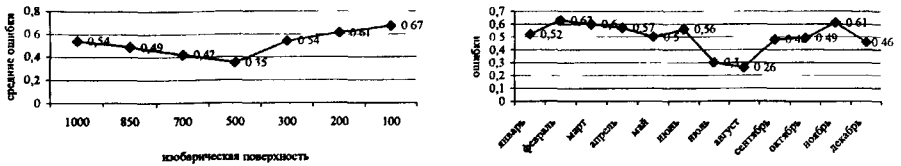


Рис. 13 а) Успешность прогнозов по высотам; б) Годовой ход ошибок

Анализ рисунков свидетельствует о том, что наиболее успешные прогнозы оказались для высоты АТ-500гПа, на которой наблюдается минимальная ошибка  $\bar{\delta} = 0,35^0$ . В годовом ходе наиболее успешными оказались прогнозы для августа.

В целях детализации по оценке вклада циркумполярного вихря, проведены дополнительные эксперименты по расчету коэффициентов корреляции для аномалии температуры в каждом из рассматриваемых пунктов. Расчеты проводились для января.

В таблице 3 представлены, осредненные по полю, коэффициенты корреляции  $R(\sigma_{\varphi}^r, \Delta T_r)$

Табл. 3 - Средние по полю значения парных коэффициентов корреляции

Широты	Высоты (гПа)						
	1000	850	700	500	300	200	100
$\varphi = 80^0$	0,31	0,39	0,37	0,59	0,42	0,41	0,18
$\varphi = 70^0$	0,25	0,33	0,22	0,30	0,25	0,20	0,15
$\varphi = 60^0$	0,23	0,24	0,24	0,22	0,21	0,20	0,16
$\varphi = 50^0$	0,19	0,26	0,27	0,20	0,21	0,21	0,18
$\varphi = 40^0$	0,32	0,36	0,20	0,18	0,20	0,22	0,19

Из таблицы следует, что, в среднем, наиболее тесные связи отмечаются при использовании информации о приполюсном вихре на широте  $80^0$ с.ш. Здесь, практически на всех высотах, кроме АТ-100гПа, коэффициенты корреляции превышают уровень значимости ( $R_{3,нач} \geq 0,31$ ). При этом, от поверхности земли до АТ-500гПа, они монотонно растут, достигая максимального значения 0,59. Выше слоя АТ-500гПа, средний уровень коэффициентов корреляции снова понижается, хотя и остается довольно высоким (на АТ-200гПа,  $r=0,41$ ). Таким образом, наиболее успешно возможно описание поля температуры, если использовать информацию о вихре на поверхности АТ-500гПа, причем размер вихря достаточно ограничить широтой  $80^0$ .

Дополнительно, оценка информативности вихря на различных изобарических поверхностях проводилась на основе расчета уравнений регрессии. Их ошибки представлены в таблице 4.

Табл. 4 - Средние оценки успешности прогнозов по величине и знаку аномалий температуры

оценки	Изобарическая поверхность (гПа)						
	1000	850	700	500	300	200	100
$\delta$	2,61	2,36	2,55	<b>2,30</b>	2,64	2,42	2,89
$\rho$	0,41	0,44	0,44	<b>0,54</b>	0,48	0,47	0,33
Предикторы	5(21), 3(14), 1	1(17), 5(15), 2	1(19), 5(16), 4	1(29), 2(7), 3	1(24), 5(8), 4	1(25), 2, 5	1(16), 4, 2
R	0,628	0,596	0,586	<b>0,700</b>	0,583	0,515	0,431

С помощью параметра  $\rho$  оценивалась успешность прогноза по знаку  $\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}$ ,

где  $n_+$  - количество случаев, в которых знаки фактической и прогностической аномалии температуры совпали;  $n_-$  - количество несовпадений знаков аномалий;  $N$  - общее количество случаев. Прогноз считается оправдавшимся, если  $\rho > 0,3$ . Исходя из критериев значимости  $\delta$ ,  $\rho$  и  $R$  наиболее успешные уравнения, оказываются при использовании информации о вихре для поверхности АТ-500гПа.

На рисунке 14 представлены фактические и прогностические поля аномалии температуры в январе месяце 1968 года, по данным интенсивности циркумполярного вихря на поверхности АТ-500гПа.

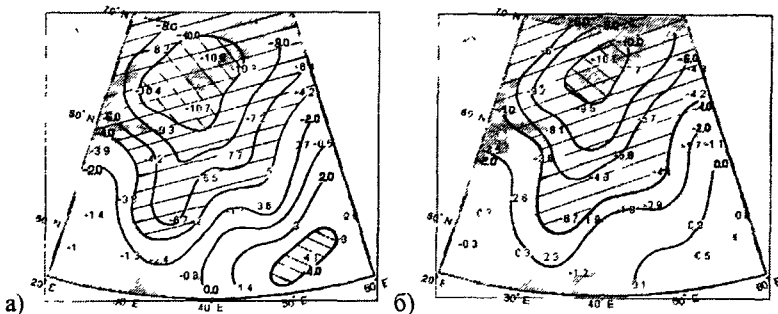


Рис. 14 – Поля аномалии температуры (январь 1968г.)

а) фактическое;

б) прогностическое

Сравнивая оба распределения можно сделать вывод, что как по локализации очагов аномалии, так и по конфигурации изолиний эти поля достаточно хорошо согласуются между собой. Различие наблюдается лишь в интенсивности. На прогностических полях она ниже.

Дополнительно, с целью оценки успешности использования циркумполярного вихря для прогноза аномалии температуры воздуха, сравнивалась обеспеченность ошибок методического и климатического прогнозов, представленная на рисунке 15.



Рис. 15 - Обеспеченность ошибок методического и климатического прогнозов.

Из рисунков следует, что на всем интервале градаций ошибок обеспеченность методического прогноза выше, чем климатического. Наибольшая успешность наблюдается на интервале  $2^{\circ}\text{C}$ , где обеспеченность ошибок методического прогноза составляет около 30%.

Таким образом, для прогноза температуры необходимо иметь заблаговременные сведения об интенсивности циркумполярного вихря. В данном исследовании в качестве предиктора для прогноза циркумполярного вихря исследуется возможность использовать угловую скорость вращения Земли, которая может быть рассчитана заранее. Целесообразность такого подхода была обоснована в работах Н.С. Сидоренкова, И.В. Максимова и др.

С целью выявления особенностей, влияния угловой скорости вращения Земли ( $v_{i,j}$ ) на характер циркуляции в различных слоях атмосферы, оценивалась ее корреляционная связь  $R[v_{i,j}, H'_{i,j,\varphi,\lambda}]$  со среднемесячными значениями геопотенциала  $H'_{i,j,\varphi,\lambda}$  на каждой исследуемой изобарической поверхности  $\gamma$  и широтной зоны  $\varphi$ .

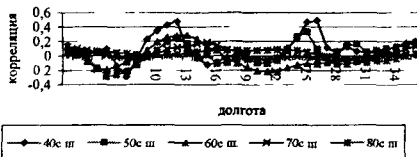
Исходный ряд геопотенциала  $H_{i,j,\varphi=40}^{1000}$  для узла ( $\varphi; \lambda$ ), поверхности АТ-1000гПа, на широте  $\varphi = 40^{\circ}\text{с.ш.}$ , представлялся в виде:

$$H_{i,j,\varphi=40,\lambda}^{1000} \approx \left\{ \begin{array}{l} H_{1,1959,\varphi=40,\lambda=0}^{1000}, H_{1,1960,\varphi=40,\lambda=0}^{1000}, H_{1,1998,\varphi=40,\lambda=0}^{1000} \\ H_{1,1959,\varphi=40,\lambda=10}^{1000}, H_{1,1960,\varphi=40,\lambda=10}^{1000}, H_{1,1998,\varphi=40,\lambda=10}^{1000} \\ \dots \\ H_{1,1959,\varphi=40,\lambda=360}^{1000}, H_{1,1960,\varphi=40,\lambda=360}^{1000}, H_{1,1998,\varphi=40,\lambda=360}^{1000} \end{array} \right\} \quad (10)$$

Аналогичные ряды строились для остальных поверхностей, широтных зон  $\varphi$  и всех календарных месяцев  $t$ .

Результаты вычислений  $R[v_{i,j}, H'_{i,j,\varphi,\lambda}]$  для января на изобарической поверхности АТ-1000гПа, представлены на рисунке 16а.

а) январь



б)

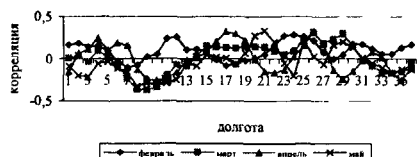


Рис. 16 - Распределение коэффициентов  $R[v_{i,j}, H'_{i,j,\varphi=40,\lambda}]$  на широте  $\varphi=40^{\circ}\text{с.ш.}$

Из рисунков следует, что влияние угловой скорости вращения Земли, как по широте, так и по долготе носит избирательный характер. Основное влияние в январе (рис. 16а) проявляется над центральными районами континентов Евразии и Америки. Причем, характер связи положительный. При этом над акваториями океанов значимые связи отсутствуют. Наиболее тесные связи наблюдаются на широте  $\varphi=40^{\circ}$ с.ш.

На рис. 16б представлены кривые коэффициентов корреляции для месяцев с февраля по май. Анализ показывает, что от месяца к месяцу происходит перемещение области влияния с запада на восток, с сохранением тесноты связи.

Анализ расчетов месяцев теплого периода обнаружил повышение тесноты связей. При этом над континентом наблюдается отрицательная связь, над океанами – положительная.

Влияние угловой скорости вращения Земли на вышележащие слои атмосферы исследовалось с помощью корреляционных функций  $R_{i,j}^{\gamma}, N_{i,j}^{\gamma, \varphi, \lambda}$   $\gamma=1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100$ ].

Результаты расчета для всех изобарических поверхностей для января и августа, представлены на рис. 17.

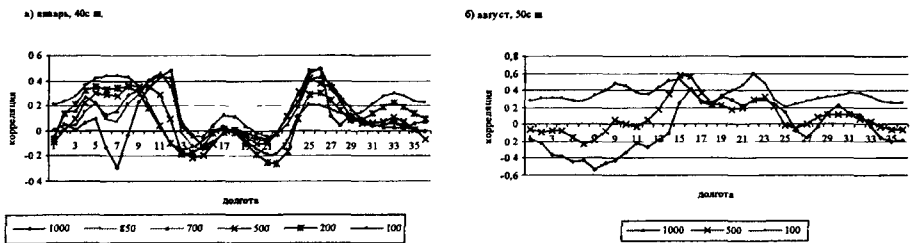


Рис. 17 – Широтное распределение  $R_{i,j}^{\gamma}, N_{i,j}^{\gamma, \varphi, \lambda}$   $\gamma=1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100$ ]

Анализ показал, что в январе (рис. 17а) на всех высотах, над Северным полушарием, сохраняются две области экстремально высокого влияния, которые связаны с континентальной частью Евразии и Северной Америки. При этом, если над Америкой от высоты к высоте происходит уменьшение тесноты связи, то над Евразией, практически не меняя интенсивности область максимальных связей имеет тенденцию перемещения к западу. В теплый период (рис. 17б) над Евразией в нижней тропосфере знак связи приобретает отрицательные значения, выше АТ-500гПа над всем полушарием знак связи - положительный.

Приведенные результаты были получены на основе корреляционных связей между фактическими значениями угловой скорости вращения Земли и геопотенциала.

Теснота связей значительно увеличивается, если использовать их межмесячные изменения. Для примера, на рис. 18 представлены временные ряды межмесячных изменений геопотенциала АТ-1000гПа и угловой скорости вращения Земли на широте

$\varphi=50^{\circ}$ с.ш. в виде скользящих разностей: 
$$\begin{cases} \Delta N_{\varphi=50, \lambda=100}^{1000}(m) = N_{\varphi=50, \lambda=100}^{1000}(m+1) - N_{\varphi=50, \lambda=100}^{1000}(m) \\ \Delta v(m) = v(m+1) - v(m) \end{cases}$$



Рис. 17 - Временной ход  $\delta N_{\varphi=50, \lambda=100}^{1000}$  (m) и  $\delta v(m)$

Из рисунка следует, что на протяжении всего периода наблюдений, даже малые межмесячные изменения геопотенциала достаточно полно улавливаются межмесячными изменениями угловой скорости вращения Земли. Коэффициент корреляции между данными параметрами составляет 0,75.

Оценки успешности прогностического уравнения составляют:  $\rho=0,53$  и  $Q=0,43$ . Это свидетельствует о том, что угловая скорость вращения Земли является реальным фактором, позволяющим достаточно успешно предсказать поведение геопотенциала на конкретной изобарической поверхности. В связи с этим, представляется правомерным использовать данные угловой скорости вращения Земли для прогноза интенсивности циркумполярного вихря  $\Omega^Y(t)$ .

С этой целью проведены эксперименты по выявлению асинхронных корреляционных связей  $R[\delta v(m), \Omega_p^Y(m + \tau)]$  между межмесячными изменениями угловой скорости вращения Земли и интенсивностью вихря со сдвигом 4 месяца.

В результате обнаружено, что значимое влияние угловой скорости вращения Земли на интенсивность  $\Omega_p^{Y=1000}(m + \tau)$  сохраняется в течение двух месяцев на всех широтах, кроме 40с.ш. С увеличением высоты  $\gamma$  продолжительность влияния угловой скорости  $\delta v$  увеличивается до 4 месяцев.

С учетом выявленных закономерностей влияния угловой скорости вращения Земли, рассчитаны линейные диагностические уравнения регрессии и их ошибки для прогноза интенсивности вихря скорости на каждой изобарической поверхности и широтной зоне  $\varphi$ .

В табл. 5 представлены фрагменты уравнений для АТ-1000 и АТ-100гПа

Табл. 5 - Уравнения регрессии и оценки их успешности

изобар пов-ть	уравнение	$\sigma_{ошибки}$	$\sigma_{климатическое}$	$ \delta $	Q	$\rho$
АТ-850гПа	$\Omega_{80} = -2,16 + 0,35\delta v$	20,20	21,47	14,56	0,86	0,30
	$\Omega_{70} = 7,34 + 0,51\delta v$	41,98	43,33	30,91	0,92	0,45
	$\Omega_{60} = 30,79 + 0,34\delta v$	59,30	59,73	46,36	0,96	0,35
	$\Omega_{50} = 82,53 + 0,34\delta v$	72,06	72,40	56,89	0,97	0,80
	$\Omega_{40} = 152,31 + 0,41\delta v$	76,13	76,61	61,31	0,96	0,95
АТ-100гПа	$\Omega_{80} = 56,63 - 0,10\delta v$	33,17	33,24	23,86	0,97	0,85
	$\Omega_{70} = 220,44 - 0,25\delta v$	110,32	110,44	81,60	0,97	0,85
	$\Omega_{60} = 432,57 - 0,66\delta v$	205,95	206,41	153,66	0,97	0,85
	$\Omega_{50} = 663,78 + 0,59\delta v$	246,88	247,19	182,28	0,97	0,95
	$\Omega_{40} = 900,69 + 0,67\delta v$	254,58	254,97	188,94	0,97	1,00

Из анализа таблицы следует, что по всем вариантам, ошибки методического прогноза по величине вихря  $\sigma_{\text{ошибки}}$ ,  $Q$  меньше их климатической изменчивости  $\sigma_{\text{клим}}$ , а по знаку  $\rho \geq \rho_{\text{кр}}$ . С высотой успешность прогноза увеличивается.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что между угловой скоростью вращения Земли и интенсивностью циркумполярного вихря, а также между циркумполярным вихрем и термическим режимом существует тесная связь, которая может быть использована при разработке долгосрочных прогнозов. Выбрав соответствующее уравнение, разрабатывается прогноз вихря, по которому в последующем – температура воздуха у поверхности Земли.

**В заключении сформулированы основные выводы:**

1. На основании анализа временных рядов по параметрам аномальности  $\Delta \bar{T}_m$ ,  $A_m$ ,  $K_m$  и площади, занятой  $\Delta \bar{T}_m \geq 0$ , обнаружен слабовыраженный положительный тренд, составляющий  $0,02^\circ/\text{год}$  и  $0,3\%$  по площади/10 лет. Его вклад в суммарную дисперсию поля составляет 1%.

2. Средняя непрерывная продолжительность сохранения преобладающего знака поля составляет 6 месяцев. В 53% случаев, исходный знак поля сохраняется один месяц. Максимальная продолжительность сохранения положительного знака достигает 11 месяцев, а отрицательного – семь. В 80% случаев сохранение полей с крупной аномальностью ( $K \geq 1$ ) не превышают один – два месяца.

3. Во временном ходе исследуемых параметров обнаружены циклы: полугодовой, квазидвухлетний, трехлетний и шестилетний циклы, связанные с глобальными факторами.

4. В Северном полушарии выявлена сезонная локализация ложбин и гребней, соответствующая климатическому положению центров действия атмосферы. Наиболее четко они проявляются на  $\varphi = 40-50^\circ \text{с.ш.}$  С увеличением широты амплитуда волн уменьшается, а их оси смещаются к востоку. Наибольшая изменчивость давления отмечается не на осях волн, а на их восточной периферии.

5. Выявлена тенденция во временной изменчивости приземного геопотенциала, свидетельствующая об уменьшении давления на  $\varphi = 40^\circ \text{с.ш.}$  и значительном росте на  $\varphi = 60-80^\circ \text{с.ш.}$  Это может указывать на усиление в Северном полушарии меридиональных форм циркуляции с восточной составляющей.

6. На основании анализа структурных функций, на Северном полушарии установлены особенности локализации «ближних» и «дальних» связей для различных подстилающих поверхностей и широтных зон.

7. Выявлены закономерности асинхронных связей полей давления, позволяющие определить сезонную границу смены знака циркуляции на различных широтных зонах.

8. Исследован годовой ход корреляционных связей между приземными полями давления и вышележащими слоями атмосферы. В теплый период, в ходе кривых

на широтах  $\varphi=40-50^{\circ}$ с.ш. обнаружены противоположные фазы для поверхностей, находящихся выше и ниже АТ-500гПа.

9. Проведен анализ корреляционных связей между полями температуры у поверхности земли и циркумполярным вихрем на различных изобарических поверхностях и широтных зонах. Установлено, что в холодное полугодие информативными являются поверхности 100-300гПа и широтная зона  $\varphi=80^{\circ}$ с.ш., в теплый период, основной вклад вносит информация поверхностей 1000-500гПа и широтные зоны  $\varphi=40-60^{\circ}$ с.ш. Зимой связи ниже, чем летом.

10. Рассчитаны диагностические уравнения регрессии и их ошибки для прогноза параметра аномальности  $K_m$  и по отдельным точкам. Наиболее успешными оказались прогнозы для поверхности АТ-500гПа, хотя в различные месяцы информативность высот меняется от АТ-1000гПа в январе, до АТ-500гПа в мае и все последующие месяцы года. Наиболее успешным в годовом ходе оказался август.

11. Исследовано сезонное влияние угловой скорости вращения Земли на распределение геопотенциала в различных слоях атмосферы и широтных зонах. Установлено преимущественное влияние угловой скорости вращения Земли в холодное полугодие на континенты, летом – на океаны. С увеличением высоты наблюдается смещение экстремумов связей, как во времени, так и в пространстве. Наиболее существенное влияние обнаруживается зимой на  $\varphi=40^{\circ}$ с.ш., летом -  $\varphi=50-60^{\circ}$ с.ш.

12. С учетом угловой скорости вращения Земли предложены диагностические уравнения регрессии для прогноза геопотенциала и циркумполярного вихря для стандартных изобарических поверхностей на исследуемых широтных зонах Северного полушария. Ошибки уравнений по всем вариантам меньше естественной изменчивости. С высотой, успешность прогнозов растет.

Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 23 научных работах:

1. Акимов, Л.М. Связь типов распределения температуры над Европейской территорией с формами атмосферной циркуляции / Акимов Л.М., Задорожная Т.Н. // Современные глобальные и региональные изменения геосистем: Всерос. науч. конф. 19-21 окт. 2004. – Казань: КГУ, 2004. – С. 259-261.

2. Задорожная, Т.Н. Климатические особенности распределения аномалии температуры воздуха над территорией Европы / Т.Н. Задорожная, Л.М. Акимов // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем и средств наземного обеспечения авиации: Сб. науч. работ – Воронеж: ВВАИУ, 2003. – Ч.1. – С.101-106.

3. Задорожная, Т.Н. Исследование комплексного показателя полей температуры на нормальность распределения / Т.Н. Задорожная, Л.М. Акимов // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем и средств наземного обеспечения авиации: Сб. науч. работ – Воронеж: ВВАИУ, 2003. – Ч.II. – С.38-43.

4. Задорожная, Т.Н. Исследование полей температуры над Европейской территорией с помощью параметра аномальности /Т.Н. Задорожная, Л.М. Акимов //Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем и средств наземного обеспечения авиации: Сб. науч. работ – Воронеж: ВВАИУ, 2003. – Ч.II.– С.44-50.

5. Акимов, Л.М. Анализ временной структуры полей среднемесячной аномалии температуры / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем и средств наземного обеспечения авиации: Сб. науч. работ – Воронеж: ВВАИУ, 2004. – Ч.II.– С. 21-27.

6. Акимов, Л.М. Исследование пространственно-временных особенностей циркуляции Северного полушария и их влияния на температурный режим в Европе / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Результаты Всерос. конф. – Москва: МГУ, 2004. – С.13.

7. Акимов, Л.М. Оценка вклада полярного вихря в формирование поля температуры воздуха над Центральной Европой / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. Москва: Академия наук о Земле, 2004. Т.3 – С.17-19.

8. Акимов, Л.М. Исследование корреляционных связей приземного поля давления с вышележащими слоями атмосферы / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Сб. метод. материалов. - Воронеж: ВВАИУ, 2005. – № 28. – С.33-37.

9. Акимов, Л.М. Климатическая изменчивость давления в умеренных широтах Северного полушария у поверхности Земли / Акимов Л.М., Задорожная Т.Н. // Вестник Воронежского Государственного Университета, сер. География и геоэкология - Воронеж: ВГУ, 2005. – №1. – С.42-45.

10. Акимов, Л.М. Оценка устойчивости полей температуры над Европейской территорией / Акимов Л.М.// Научные исследования, информация, анализ, прогноз: Монография / под ред. Кирикова О.И. – Книга 6. – Воронеж: ВГПУ, 2005. – С.326-336.

11. Акимов, Л.М. Временная устойчивость полей температуры над Европой с крупной аномальностью / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, Н.Г. Немченко – Деп. в центр. справочно – информац. фонде. - Москва, МОРФ от 08.07.05.- Инвентарный №В6045. – 11с.

12. Акимов, Л.М. Исследования климатического распределения аномалии температуры воздуха над территорией Европы / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Вестник Воронежского отдела Русского Географического общества. Воронеж: ВГПУ, 2005. Т.5. – С. 38-41.

13. Акимов, Л.М. Связь циркуляции приземного поля давления с вышележащими слоями атмосферы / Акимов Л.М.// Философия, вера, духовность: истоки, позиции, тенденции развития: Монография / под ред. Кирикова О.И. – Книга 4. – Воронеж: ВГПУ, 2005. - С.278-287.

14. Акимов, Л.М. Исследование временного хода полей температуры над Центральной Европой /Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, А.И. Сумин // Вестник Воронежского отдела Русского Географ. общества. Воронеж: ВГПУ, 2005. Т.5. – С. 49-52.

15. Акимов, Л.М. Влияние циркумпольярного вихря с центром в районе полюса на распределение температуры воздуха на Европейской территории / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, В.П. Еремин // Вестник Воронежского отдела Русского Географического общества. Воронеж: ВГПУ, 2005. Т.5. – С. 45-49.

16. Акимов, Л.М. Особенности синхронных связей полей давления на Северном полушарии / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Сб. метод. матер. – Воронеж: ВВАИУ, 2005. – №28. – С.3-7.

17. Акимов, Л.М. Учет особенностей циркуляции Северного полушария для прогноза приземной температуры воздуха над Центральной Европой / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Пути дальнейшего совершенствования подготовки инженерно – технических кадров для авиации ВС РФ в современных условиях: 7-ая Межвузовская науч.-метод. конф. Ставрополь: СВВАИУ, 2005 – 3с.

18. Акимов, Л.М. Взаимно-корреляционные связи приземного и высотного полей давления / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Деп. в центр. справочно – информ. фонде. – Москва: МОРФ от 08.07.05.- Инвентарный №В6038. – 11с.

19. Акимов, Л.М. Исследование пространственных связей в Северном полушарии на поверхности АТ-1000гПа / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, И.С. Родюков // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации: Матер. Межвуз. конф. (26-27 окт. 2005). Воронеж: ВВАИУ, 2005. – Ч.1. - С.92-94.

20. Акимов, Л.М. Многолетние изменения геопотенциала в Северном полушарии/ Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, И.С. Родюков // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации: Матер. Межвуз. конф. (26-27 окт. 2005). Воронеж: ВВАИУ, 2005. – Ч.1. - С.14-16.

21. Акимов, Л.М. Исследование прогностических возможностей циркуляции атмосферы для прогноза температуры над Европейской территорией / Л.М. Акимов // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации: Матер. Межвуз. конф. (26-27 окт. 2005). Воронеж: ВВАИУ, 2005. – Ч.1. – С.3-6.

22. Акимов, Л.М. Пространственно-временные связи между интенсивностью полярного вихря в нижней тропосфере и параметрами поля температуры у земной поверхности над Центральной Европой / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации: Матер. Межвуз. конф. (26-27 окт. 2005). Воронеж: ВВАИУ, 2005. – Ч.1. – С.7-13.

23. Акимов, Л.М. Анализ временной структуры среднемесячной аномалии температуры / Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная // Современные методы подготовки специалистов и совершенствование систем наземного обеспечения авиации: Матер. Межвуз. конф. (26-27 окт. 2005). Воронеж: ВВАИУ, 2005. – Ч.1. – С.86-91.

**№-2570**

---

Подписано к печати 25.01.06г. Заказ № 25

Тираж 100 экз.

---

Издательство Воронежского ВВАИУ  
394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, 54 «а»