

# Анализ и интерпретация климатических изменений

В.И. Шишлов

*Институт мониторинга климатических и экологических систем*

Е.А. Дюкарев

*Институт мониторинга климатических и экологических систем*

...

29 декабря 2003 г.

The methodical questions of using of computing-information technologies at analysis of monitoring result and interpretation the climate changes are discussed in the framework of methodology of the system-evolutionary approach to study interrelated changes of systems, their relations, and process cycles in the geosphere. The conceptions and mechanisms of the climate change, facility of their integrated description by means of mapping of the climate condition in a phase space of the estimation characteristics, techniques of graph-analytical analysis, and technologies of interpretation are described. The results of the analysis and interpretation interdecadal climate fluctuations, vibrations in 90s, and arrhythmias of the climate-forming processes are shown.

## 1. Введение

Изменения климата и их последствия приводят к необходимости приспособления социума к изменяющимся условиям и принятия превентивных мер на основе оценки уязвимости подсистем биосферы. Для разработки технологических решений по смягчению последствий климатических изменений и согласованию межсистемных отношений на основе результатов мониторинга климатических и экологических систем необходимы содержательные знания об особенностях их изменения в ситуациях определенного типа. Получить естественнонаучные знания о формировании феноменов климатических изменений и развитии экологических ситуаций можно на основе анализа реальных ситуаций, корректного описания обнаруженных эмпирических фактов, выявления причинно-следственных связей, их интерпретации и обобщения.

Развитие средств описания динамических свойств, пространственных структур и ансамбля состояний климатической системы [1],[2], информационных технологий и алгоритмов логико-математической обработки разнородной информации обусловило применение методических средств и процедур системного анализа при исследовании климатических ситуаций. Настоящая работа посвящена проблемам анализа и интерпретации климатических изменений в рамках развиваемой нами системно-эволюционной методологии [1],[2] исследования взаимообусловленных изменений систем, межсистемных отношений и циклов процессов в геосфере. В основу методического подхода и технологии решения задач данного класса положены:

- закономерные связи структурных изменений компонент, преобразования их отношений и реорганизации процессов в геосфере;
- типизация климатических изменений и их проявлений в подсистемах геосферы;
- особенности реорганизации энергомассопереноса и изменений климатообразующих процессов под влиянием факторов ослабления и блокирования, формирующихся при изменениях пространственной структуры энергопреобразующих систем (ЭПС);
- внутрисистемные механизмы изменения процессов энергопреобразования и погодообразования.

При анализе и интерпретации используются ряды метеонаблюдений, результаты мониторинга подсистем геосферы, дополнительные данные об особенностях изменений объектов биосферы, а также результаты моделирования процессов, влияющих на пространственную структуру ЭПС и организацию энергомассопереноса в атмосфере. Учет пространственно-структурной организации ЭПС позволяет структурировать конкретную проблему климатических изменений и получить относительно простое макроописание климато-экологической ситуации с учетом связи разнородных процессов, явлений и факторов, что упрощает системно-эволюционную и содержательную (физическую, геофизическую, климатологическую, экологическую) интерпретацию.

## **2. Климатические изменения, их типизация и задачи интерпретации**

Рассмотрим системно-динамические и энергетические аспекты проблемы климатических изменений в рамках концепции энергопреобразующих систем и энергомассопереноса в геосфере [3]. В геосфере протекает множество сопряженных процессов и явлений в подсистемах разного уровня, а в пределах хронологических единиц совокупности климатических, гидрологических, геохимических процессов, явлений биогеоценотической и биологической жизни связаны системой отношений с элементами подсистем, в которых они существуют. В условиях единой системы отношений существуют циклы процессов и явлений с определенными результатами на выходе, которые обеспечивают будущие процессы другого уровня или поддерживают условия их существования. Так, погодные условия и физические поля поддерживают условия существования биогеоценотических явлений. Тесные связи и взаимообусловленность процессов определяют изменчивость состояний геосистем и приземной атмосферы в зависимости от всей совокупности совместно протекающих процессов с учетом их сопряженности. Все объекты геосферы выполняют энергопреобразующие функции.

Каждая энергопреобразующая система имеет систему поддержки, которая включает источники веществ и источники энергии. ЭПС связаны в рамках единой системы природных циклов энергомассопереноса и образуют самоорганизованные многоуровневые системы направленной поддержки процессов в подсистемах геосферы, биосферы и социосферы. Климатическая система (ЭПС I уровня) обеспечивает энергомассоперенос в рамках геосферы, реализует круговорот элементов и поддерживает среду, необходимую для функционирования явлений других уровней. Автотрофные экосистемы, в которых фитоценозы (ЭПС II уровня) превращают энергию излучения и косного вещества в биомассу,

обеспечивают поддержку энергомассопереноса в рамках биосферы. Они реализуют круговорот биогенных элементов и поддерживают газовый состав атмосферы и среду жизни для биосистем. Природно-хозяйственные системы (ЭПС III уровня) обеспечивают энергомассоперенос в рамках социосферы, реализуют круговорот элементов жизнеобеспечения биосоциальных систем и поддерживают условия существования социума. Активные системы, входящие в состав ЭПС III уровня, воздействуют на компоненты других уровней и влияют на организацию средообразующих и климатообразующих процессов.

Установлена роль внутрисистемных и межсистемных отношений в формировании единого цикла процессов в рамках многоуровневой системы, включающей источники системы поддержки, а также факторы ослабления и факторы блокирования. Ослабление и прерывание некоторых процессов под влиянием факторов внешних систем, либо изменение внутрисистемных отношений приводят к изменчивости режимов сложных процессов и соответствующей изменчивости состояния системы, ее выхода, что влияет на ход всех процессов и природные ритмы.

Совокупность циклов энергопреобразования и энергомассопереноса в геосфере обеспечивает единство стадий климатообразующих и средообразующих процессов, протекающих в подсистемах разного уровня [3]. Цикл энергопреобразования в рамках системы отношений ЭПС-I реализует в конкретной геосистеме определенный режим погодообразования с соответствующей организацией процессов в приземном слое атмосферы. Изменение отношений в какой-либо цепи этого цикла вызывает трансформацию множества ЭПС, связанных с элементами этой цепи. Например, изменение отношений в системе океан-атмосфера (изменение течений вод в океане и соответственно тепло и водообмена) вызывает трансформацию ЭПС океана, островов, прибрежных районов, а изменение выхода процессов энергопреобразования влияет на циркуляцию атмосферы и энергомассоперенос в КС континента.

В рамках концепции исследована изменчивость процессов энергопреобразования и погодообразования в КС [3] и выявлены внутрисистемные механизмы их изменений:

- механизм изменений многорежимного процесса погодообразования на основе реорганизации процессов энергопреобразования в наземных ЭПС при изменениях свойств сред и условно обратимых преобразованиях отношений ее элементов;
- механизм изменений цикла энергопреобразования и энергомассопереноса при преобразовании отношений в системе океан-криосфера-атмосфера-суша.

Первый механизм в совокупности с механизмом циркуляции атмосферы действуют регулярно и определяют ситуационную изменчивость погодных условий, флуктуации полей метеопараметров и вариации характеристик климата. Ситуационные нарушения регулярных изменений (аритмии) обусловлены несинхронностью и динамико-стохастической изменчивостью процессов, неоднозначностью переходных процессов, перестроек в условиях взаимодействия подсистем при различных сочетаниях факторов. Колебания климата связаны с реорганизацией цикла процессов на определенный срок при условно обратимых изменениях структурных элементов и преобразованиях основных отношений. Направленные изменения, с трендами на отдельных временных интервалах, обусловлены необратимыми преобразованиями отношений, при которых формируется новый цикл условно согласованных процессов. Последовательность условно обратимых преобразований подсистем и их отношений приводит к цепи разнонаправленных пространственно неоднородных (многолетних) изменений погодно-климатических условий, которые можно назвать вибрацией

[4]. При совместном действии трех механизмов в случае преобразования отношений в системе океан-криосфера-атмосфера-суша ход преобразований ЭПС, изменений энерго-массопереноса и свойств климата зависит как от характера преобразований, так и от хода естественных изменений отношений центров действия атмосферы (ЦДА).

Типизация климатических изменений и постановка задач их интерпретации. Изменчивость процессов в КС зависит от пространственно-структурной организации ее компонентов и их отношений, в том числе динамических отношений экосистем, барических систем, ЦДА, изменяющегося почвенного покрова суши. Это предопределяет многофакторность и многообразие форм изменчивости, широкий диапазон изменчивости характеристик состояний КС, а также ее подсистем и компонентов. Поскольку состояния КС определяют условия существования геосистем и биоты, а характеристики ее компонентов и элементов геосистем отражают климатические изменения, то предложена типизация климатических изменений на основе связи их особенностей и проявлений (Табл. 1). Данная типизация открывает возможности обнаружения феноменов изменчивости по особенностям их проявления в объектах биосферы и последующей идентификации.

Целевые задачи исследования феномена изменчивости состоят в следующем:

- выявить цикл процессов энергопреобразования, энергомассопереноса и особенности его реорганизации, которые формируют феномен изменчивости;
- установить систему отношений процессов и структурных элементов подсистем, в которых протекают процессы;
- установить факторы, определяющие особенности изменения процессов и элементов;
- установить причинно-следственные связи процессов, явлений и факторов;
- дать интерпретацию феномена изменчивости (объяснить суть, раскрыть способ его возникновения, дать трактовку особенностей).

### **3. Средства описания, анализа и технология интерпретации**

Возможности формализованного описания сложноорганизованного цикла процессов и его реорганизации в ходе преобразования отношений ограничены. Неопределенности в описании изменения свойств взаимодействующих объектов КС, зависимостей характеристик процессов от сочетаний факторов и недостаток знаний не дают возможности построить полную модель, которая адекватно воспроизводит особенности наблюдаемых изменений под воздействием конкретных сочетаний факторов. Предлагается технология интерпретации, ориентированная на использование компьютерных баз знаний, средств их отображения в виде образов, методов численного моделирования и процедур анализа наглядно-образных знаний.

Основные положения концепции и развитая система интегрированных представлений в сочетании со средствами отображений знаний в виде образов позволяют объяснить суть феномена, раскрыть способ его возникновения под воздействием сочетания факторов и дать системно-эволюционную трактовку основных особенностей. Для этого необходимо

Таблица 1. Типы климатических изменений

Тип изменения	Масштаб	Проявления
Многовековые колебания	Планетарный	Изменения подсистем КС, Катастрофические последствия в биосфере
Внутривековые колебания	Полушарие, Материк	Изменения криосферы, гидросферы, Кризисы в биоценозах, Критические состояния биоты
Направленные изменения (к десятилетиям)	Климатический пояс, Часть материка	Тренды оценочных характеристик, Изменения границ природных зон Изменения состояний биомов
Вибрации климата (к лет)	Часть материка, Регион	Пространственно-неоднородные изменения оценочных характеристик, Изменения состояния биомов, Кризис популяций
Аритмии		
А. Межсезонных перестроек циркуляции	Полушарие	Аномальная циркуляция ВМ, Опасные погодно-климатические явления, Критические состояния биоты
В. Сезонных преобразований компонент и их отношений	Часть материка	Аномальный ход климатообразующих процессов, Пульсации метеовеличин, Изменения природных ритмов
С. Погодно-климатических явлений	Регион	Засуха, ураганы, ураганы, Дождливый сезон, Устойчивая облачность, Критические состояния биоты
Д. Многорежимного процесса погодообразования	Местный	Пульсации метеовеличин, Аномальные погодно-климатические условия, Изменения природных ритмов

синтезировать и отобразить схему организации климатообразующих процессов и описать этапы формирования особой ситуации на основе результатов системно-эволюционного анализа.

При описании на макроуровне преобразований отношений, реорганизации цикла процессов по их отображениям предлагается использовать ёмкие системные понятия и образы, наполняя их обобщенным естественно-научным содержанием дисциплин (физики, геофизики, биологии, климатологии, геохимии), описывающих отдельные стороны явлений. При интерпретации конкретных особенностей на основе сопоставления эмпирических данных и результатов численного моделирования причинно-следственных связей либо оценочных расчетов изменения свойств объектов и характеристик процессов от факторов целесообразно использовать конкретные знания соответствующих дисциплин и обобщающие их интегрированные представления.

Технология идентификации и интерпретации феноменов изменчивости на основе совместного сопряженного анализа изменений структур полей метеовеличин, оценочных характеристик цикла процессов, ансамблей состояний и межсистемных отношений в геосфере включает этапы:

- обнаружение особых проявлений изменчивости на основе обработки данных и отображения ансамбля состояний, оценочных характеристик;
- выявление отношений процессов и элементов систем, в которых они протекают;
- идентификация феномена изменчивости на основе совместного анализа разнородной информации о сопряженных изменениях в подсистемах геосферы и выявления особенностей их проявления;
- анализ реорганизации процессов при преобразованиях отношений с учетом сочетания факторов, выявления связей особенностей реорганизации с изменениями;
- разработка модели реорганизации процессов и преобразования ЭПС;
- разработка схемы формирования проблемных ситуаций, цепи последствий;
- оценка возможной трансформации подсистем и их проявлений.

Для решения данного класса задач анализа изменчивости КС разработана совокупность средств описания, графического представления и методов анализа, которая позволяет проводить на основе разнородной информации о подсистемах и процессах разного масштаба, совместный сопряженный анализ изменчивости сред, процессов, ансамбля состояний систем и межсистемных отношений в геосфере. Описание процессов и их идентификация проводятся в рамках формализма системной теории многошаговых процессов с использованием модели многошаговых процессов преобразования состояний КС, модели многорежимного процесса погодообразования, информационной модели, средств описания и графического представления климатических процессов по результатам мониторинга [1],[2],[5]. При анализе отображений множеств состояний КС в фазовом пространстве метеовеличин используются методические средства теории множеств.

Методики анализа и оценки климатических изменений используют процедуры анализа отображений процессов, их оценочных функций, состояний КС в фазовом пространстве оценочных характеристик, метеовеличин. Технологии отображения состояния КС

включают процедуры обработки рядов метеоданных, вычисления оценочных характеристик метеовеличин за определенные периоды (месяц, сезон, год) и построения фазовых портретов. Как правило, при анализе используются совмещенные фазовые портреты, эволюционные траектории многих характеристик, а также портреты ансамбля состояний КС в многомерном фазовом пространстве определяющих метеовеличин, полей водных масс, климатические и ландшафтные карты.

## 4. Результаты анализа и интерпретация

На основе анализа результатов обработки рядов инструментальных наблюдений, обнаружены и идентифицированы внутривековые колебания климата (1964–1974 г.г.), вибрации (1995–1999 гг.) и разного типа аритмии. Анализ дополнительных данных о сопряженных изменениях в атмосфере, гидросфере, криосфере и экосистемах суши позволил установить типы климатических изменений по особенностям их проявления. В 60е годы наблюдался рост оледенения арктических морей [6], увеличение площади многолетнемерзлых грунтов на суше, снижение биопродуктивности и численности видов в биоценозах. В 90е годы отмечены резкие межгодовые вариации биопродуктивности, изменения сроков ледовых явлений на реках, аномалии природных ритмов, деградации мерзлых грунтов. На рис. 1 приведен ход изменения среднегодовой температуры приземного воздуха в лесостепной зоне Сибири (Омск) и оценочных характеристик (сумм среднесуточных температур) теплого  $Z_s$  и холодного  $Z_w$  периодов года на выделенных интервалах. Во время колебания наблюдались синхронные изменения оценочных характеристик метеовеличин во всех регионах Сибири снижение температур и повышение атмосферного давления, как в холодные, так и теплые периоды, увеличение осадков в теплые периоды, снижение облачности в холодные периоды года. В ходе вибраций в 90х годов наблюдались пространственно неоднородные межгодовые изменения оценочных характеристик температуры при асинхронных повышениях в теплые и холодные периоды года, регулярные снижения атмосферного давления, рост облачности и осадков в холодные периоды и уменьшение осадков в теплые периоды года.

Колебания охватывали значительную часть территории Азии и севера Европы. Из анализа изменчивости оценочных функций ( $Z_s$ ,  $Z_w$ ) и продолжительностей теплого и холодного периодов года, отображений пространственно-временных изменений состояний КС посредством набора функций  $Z_s$  и  $Z_w$  для каждого региона (часть которых представлена на рис. 2) следует, что во всех регионах происходили одновременно изменения одинаковой направленности. При этом во всех регионах КС совершили цикл переходов и вернулись (возврат показан пунктирными стрелками) в область состояний 1963-1966 гг. Во время переходов сохранялся профиль  $\Pi$  пространственного распределения оценочных функций. Результаты свидетельствуют о реализации единого колебания климатических процессов мезомасштабного уровня в рамках КС Сибири.

Эти особенности являются проявлением закономерности: пространственного подобия изменения оценочных характеристик поля температур теплого и холодного периодов года. Данная закономерность позволяет описать многолетний ход изменения отношения оценочных характеристик температуры  $y = Z_s/Z_w$  уравнением с разделением временной и пространственных переменных  $dy(p,r) = f(r) dA(p)$ , где  $r$  - пространственная координата,  $p$  - год,  $f(r)$  - коэффициент профиля поля для точки пространства с координатой  $r$ ,  $dy(p,r)$  - приращение характеристик в году  $p$ ,  $dA(p)$  - приращение амплитуды поля  $A$  в году  $p$ .

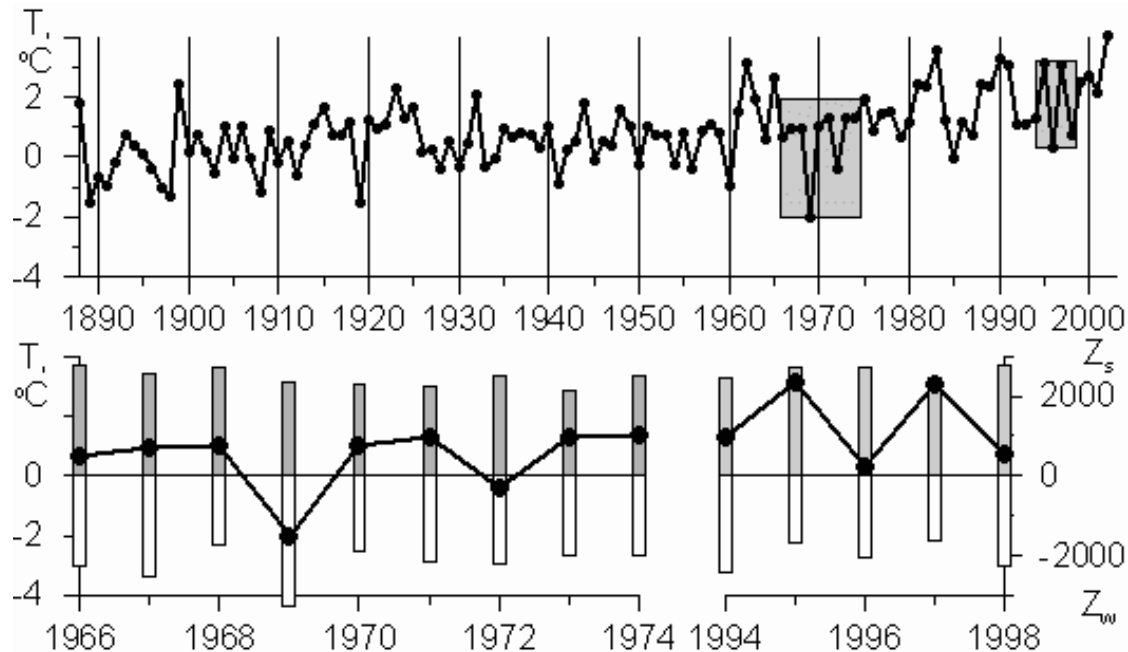


Рис. 1. Ход изменения среднегодовой температуры (точки) и оценочных характеристик ( $Z_s$ ,  $Z_w$ ) для метеостанции Омск.

В результате системно-эволюционного анализа установлено:

- изменение межсистемных отношений из-за влияния факторов вулканизма  $\Phi_v$  и факторов испытаний ядерного оружия в 60-х годах обусловило изменение цикла радиационных процессов в атмосфере и сокращение притока солнечной радиации;
- изменения пространственной структуры полей водных масс в арктических морях привело к реорганизации цикла энергопреобразования и энергомассообмена в ЭПС океана, что вызвало уменьшение энергомассопереноса и интенсивности зонального переноса воздушных масс над материком;
- преобразование отношений в системе океан-атмосфера-криосфера-суша изменило циркуляцию ВМ и цикл климатообразующих процессов;
- уменьшение притока тепла и влаги с ВМ изменило цикл процессов энергомассообмена и энергопреобразования в ЭПС суши, привело к уменьшению парникового эффекта и теплового баланса в холодный период года.

Интерпретация колебания климата проведена на основе результатов анализа различных аспектов климатических и экосистемных изменений на континенте под воздействием множества факторов и в Северо-Европейском бассейне океана. Анализ данных об изменении ледовитости Баренцева моря [6] и их интерпретация проведены с использованием результатов работ Адрова Н.М. по исследованию и моделированию процессов оледенения и трансформации водных масс океана при опреснении вод [7]. На основе обобщения результатов о влиянии ледового покрова на тепло и влагообмен воздушных и водных масс, об основной роли опресненных вод и твердых осадков в формировании ледового покрова



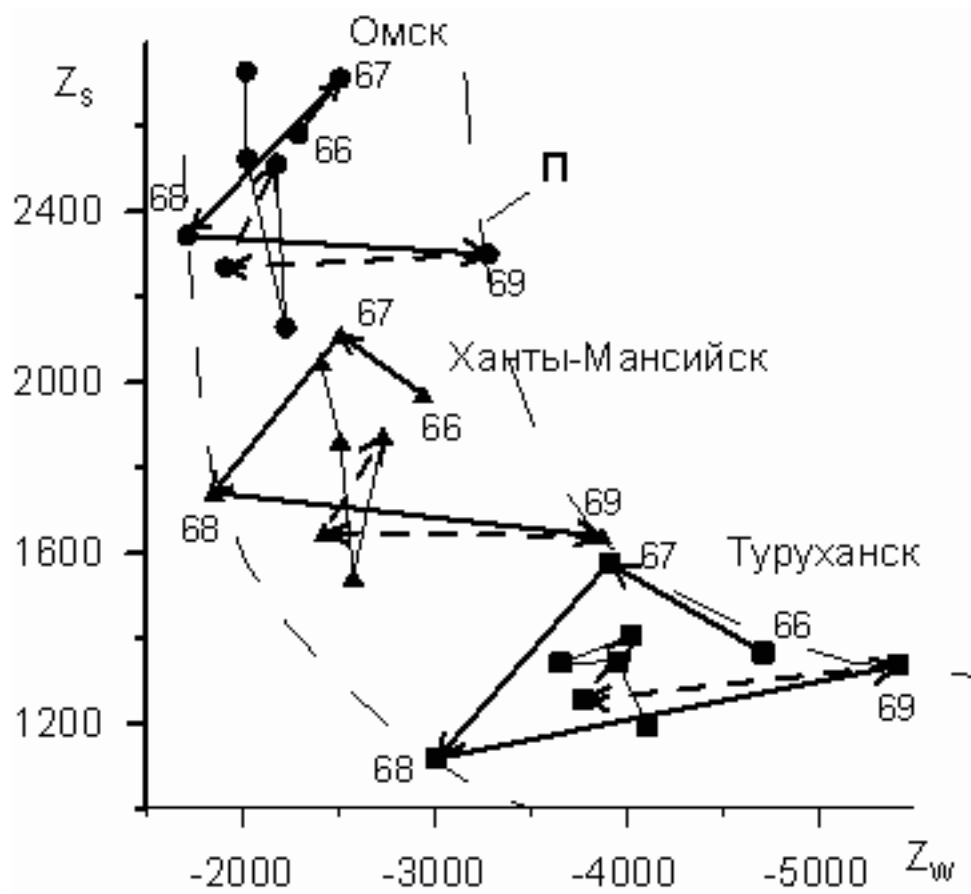


Рис. 2. Отображение состояний КС в плоскости оценочных функций температуры теплого ( $Z_s$ ) и холодного ( $Z_w$ ) периодов года.

получены выводы о связи преобразований ЭПС океана, реорганизации в ней процессов энергомассообмена и изменений энергомассопереноса над континентом. Это позволило установить причинно-следственные связи и ход процессов преобразования отношений в КС северного полушария. Разработана схема многостадийного процесса формирования особой климатической ситуации (Рис.3).

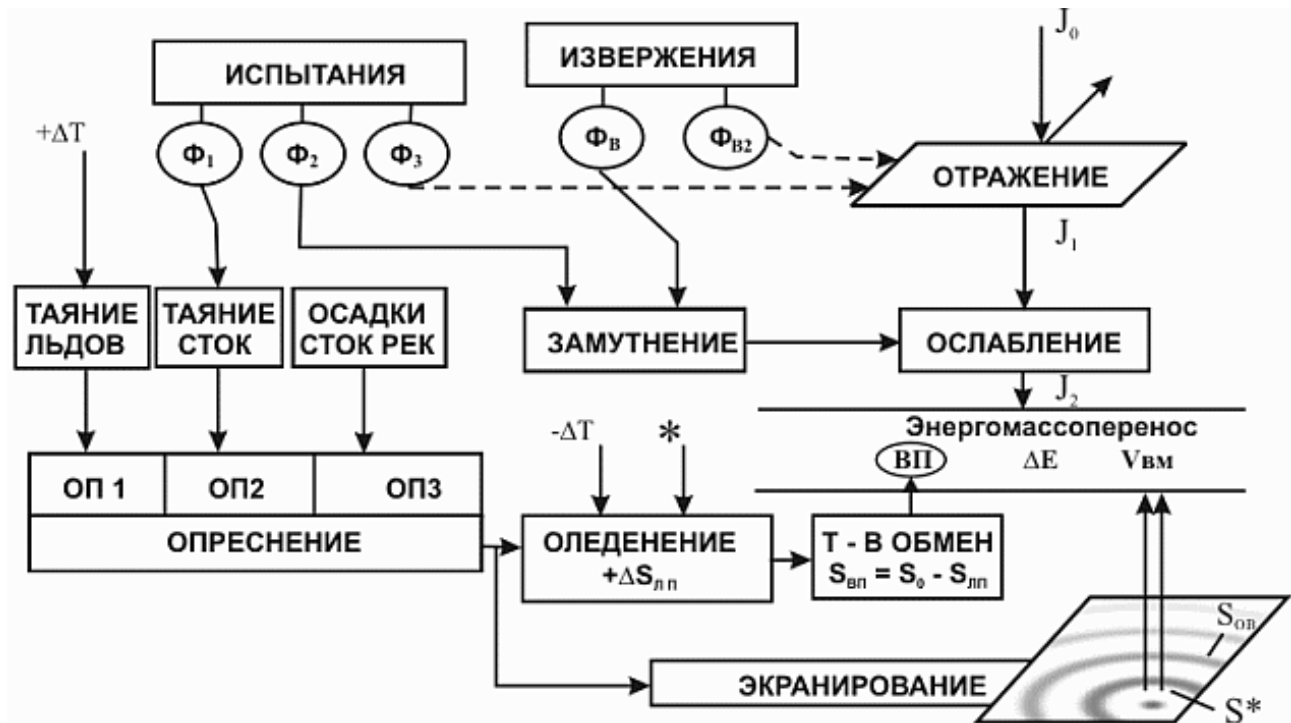


Рис. 3. Схема связей процессов и факторов.

Опреснение вод арктических морей вследствие таяния льдов (ОП1) в период потепления 40х-50х годов возросло после испытаний ядерного оружия в 60х годах, в ходе которых интенсивно таяли льды на островах и осуществлялся поверхностный сток талых вод (ОП2) в океан. Увеличение площади поверхности опресненных вод ( $S_{оп}$ ), экранирующих конвекцию, уменьшило теплообмен между океаном и атмосферой. Замутнение атмосферы в результате выбросов пепла и пыли при взрывах бомб, а также вулканических выбросов, радиоактивных аэрозолей и окислов металлов, изменяющих свойства стратосферы [8],[9], привело к снижению притока солнечной радиации в середине 60х годов и усилению процессов оледенения опресненных вод при поступлении твердых атмосферных осадков. Максимум оледенения в Баренцевом море наблюдался в 1969 г после термоядерных взрывов осенью 1968 г [9]. На этой стадии оледенение северных морей и сокращение площади водной поверхности ( $S$ ) привело к снижению энергомассообмена между океаном и атмосферой и уменьшению трансформации океанического тепла, переходящего с частицами водяного пара (ВП) в количество движения частиц воздуха, в энергию движения воздушных масс. Преобразование отношений в системе океан-атмосфера-криосфера-суша изменило энергомассообмен, циркуляцию ВМ и цикл климатообразующих процессов на континенте.

Вибрации климата Сибири проявились в 90х годах в пространственно неоднородных изменениях погодно-климатических условий, оценочных характеристик метеовели-

чин, продолжительностей теплого и холодного периодов года. Изменения оценочных характеристик метеовеличин в эти годы тесно связаны с изменениями продолжительностей теплого и холодного периодов. Анализ отображений состояний региональных КС в плоскости оценочных функций, а также характеристик отношений  $Z_s/Z_w$ ,  $t_s/t_w$  показал [2], что пространственное подобие в изменении поля температур нарушается. Это связано с различной направленностью межгодовых изменений температурного режима в регионах и обусловлено различным сочетанием климатообразующих процессов, особенностями энергомассообмена при различных типах циркуляции воздушных масс, т.е. проявлением разного типа аритмий. Рассмотрим результаты детального анализа сезонных изменений, которые существенно влияют на продолжительность холодного периода года.

При повышении интенсивности зонального (западно-восточного) переноса воздушных масс (ВМ) усиливается циклоническая активность, что приводит к увеличению продолжительности переходной динамики от лета к зиме в зоне циклогенеза и сокращению продолжительности холодного периода года на 8-10 дней [8]. Однако пространственная структура изменений температуры зависит от особенностей циркуляции ВМ и отношений барических систем. Так поздней осенью 1994 года устойчивый переход среднесуточной температуры через ноль произошел в г. Омске и Томске 4 ноября, а в Ханты-Мансийске - 31 октября. В 1997 г. в г. Ханты-Мансийске переходная динамика закончилась 30 октября, в Омске - 7 ноября, а в Томске и Красноярске - 19 октября, так как продвижение циклона на восток было заблокировано Сибирским антициклоном.

Весной циклоническая активность приводит к ускорению переходной динамики и сокращению продолжительности холодного периода года. Весной 1995 года над северным полушарием зональная и меридиональная составляющие циркуляции были на 10% выше обычных значений. В поле давления на уровне моря наблюдалась высокая интенсивность в ЦДА. В центре Сибирского антициклона давление превышало норму. Особенности расположения барических полей способствовали выносу теплого воздуха в нижней тропосфере на европейскую часть страны, Урал и Западную Сибирь и формированию циклонов, что привело к повышению температуры приземного воздуха до  $-5^{\circ}\text{C}$  на западной части территории. Во второй декаде марта антициклон, движущийся с Карского моря, распространил свое влияние на всю Сибирь, где установился режим трансформации выхолаживания TrV и морозная погода X класса на юге и XI-XIII классов на севере. На рис. 4 представлены карты (в изолиниях) полей температуры, приведенного давления и снежного покрова. В третьей декаде обширный циклон охватил северо-запад территории и на юге Западной Сибири установился режим адвекции тепла и влаги, температура повысилась (карта 24.03) и на 18-20 дней раньше средних многолетних сроков произошел переход средней суточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ , началось снеготаяние. Под влиянием Сибирского антициклона режим трансформации выхолаживания установился на восточной части территории в апреле (карта 10.04). Переходный период продолжительностью 10-15 дней на юго-западе и 28-33 дня на востоке территории закончился рано и сократилась продолжительность холодного периода года.

Похолодание зимой 1996 г. и увеличение продолжительности холодного периода (до 200 суток в таежной зоне) обусловлено блокированием зонального переноса ВМ. В центре Сибирского антициклона давление превышало норму, а расположение барических полей способствовало выносу холодных ВМ на Урал, Западную Сибирь и Красноярский Край. На юго-западе территории их влияние было ослаблено. В Омске продолжительность холодного периода составила 159 суток.

Весной 1997 года над Восточной Европой располагалась высотная ложбина, по юго-

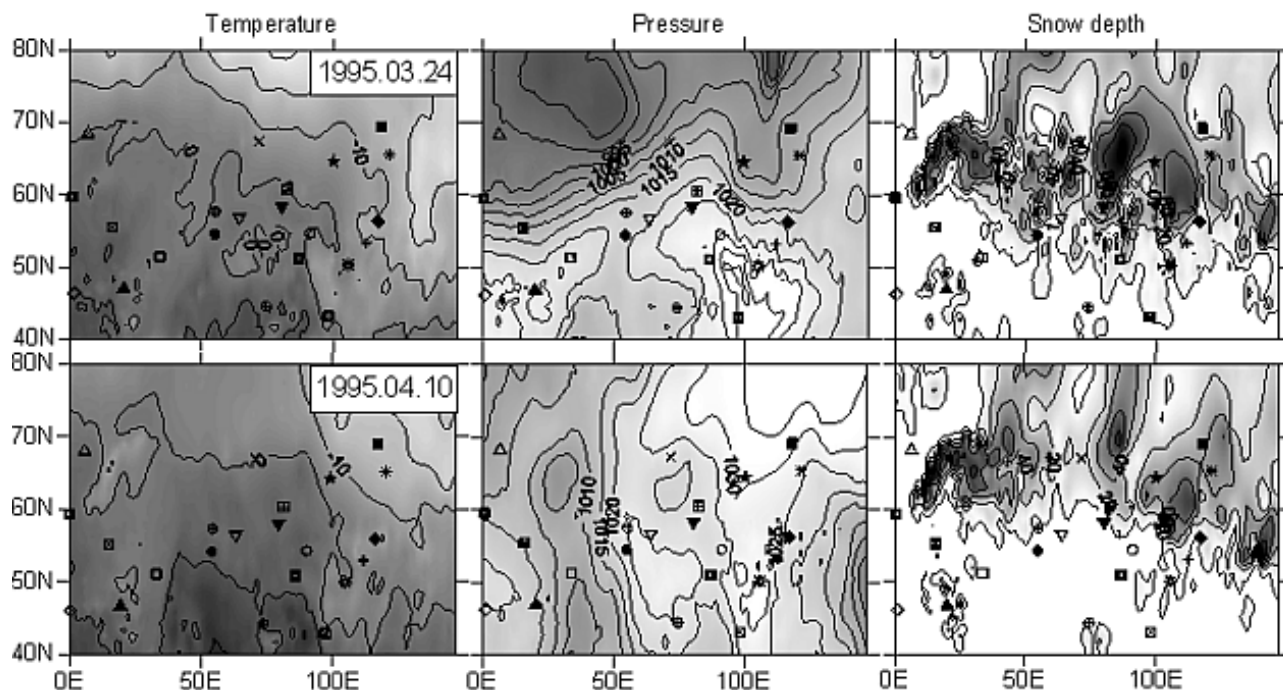


Рис. 4. Карты полей температуры, давления и снежного покрова весной 1995 г.

западной периферии которой теплый воздух через Малую Азию выносился на центральную Азию и юг Сибири. Теплая погода (аномалии температуры  $+9^{\circ}\text{C}$ ) вызывала раннее снеготаяние (рис. 5 карта 29.03). Повышение температур (переход средней суточной температуры через  $+10^{\circ}\text{C}$  произошел на месяц раньше многолетних сроков) ускорило снеготаяние и наступление вегетации растений.

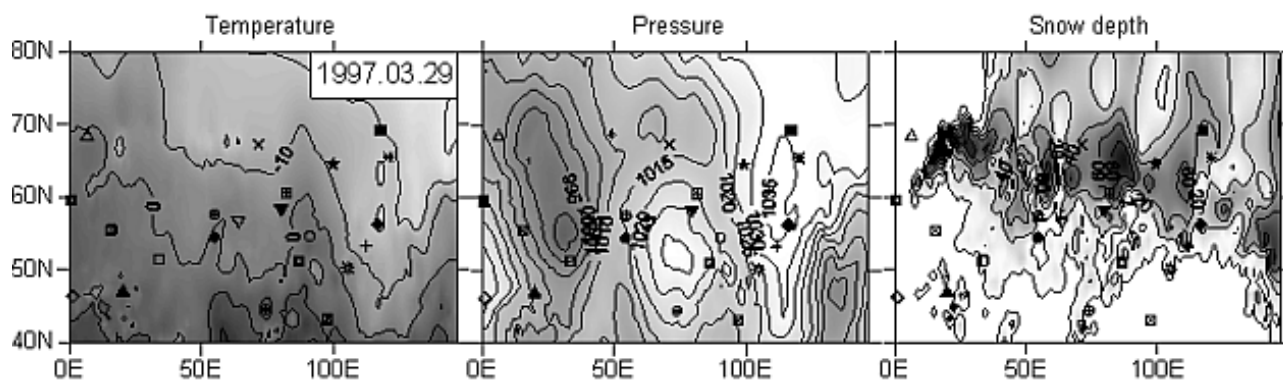


Рис. 5. Карты полей температуры, давления и снежного покрова 29 марта 1997 г.

Особый феномен атмосферной динамики, обусловленный взаимодействием барических систем, наблюдался весной 1998 года [10]. После перестройки стратосферной циркуляции на летний тип 28 марта центр околполярного циклонического вихря перемещался в апреле с запада на восток над севером Азии. На уровне моря большая часть Арктики была занята антициклоном. В начале апреля в Сибирь переместился циклон, под влиянием которого произошло преобразование режимов погодообразования, что привело к

установлению положительных среднесуточных температур на обширной территории. Однако, усиление активности Сибирского антициклона и влияние арктического антициклона привело к преобразованию барического поля, (область высокого давления разделила циклоны) и режимов погодообразования. Установилась слабomорозная погода (карта 08.04). Под воздействием движущегося активного циклона, Сибирский антициклон переместился на юго-восток. Во второй декаде апреля цепь циклонов прошла над Западной Сибирью, и преобразование барического поля привело к формированию обширной области пониженного давления, в которой режим адвекции тепла с осадками вызвал повышение температуры.

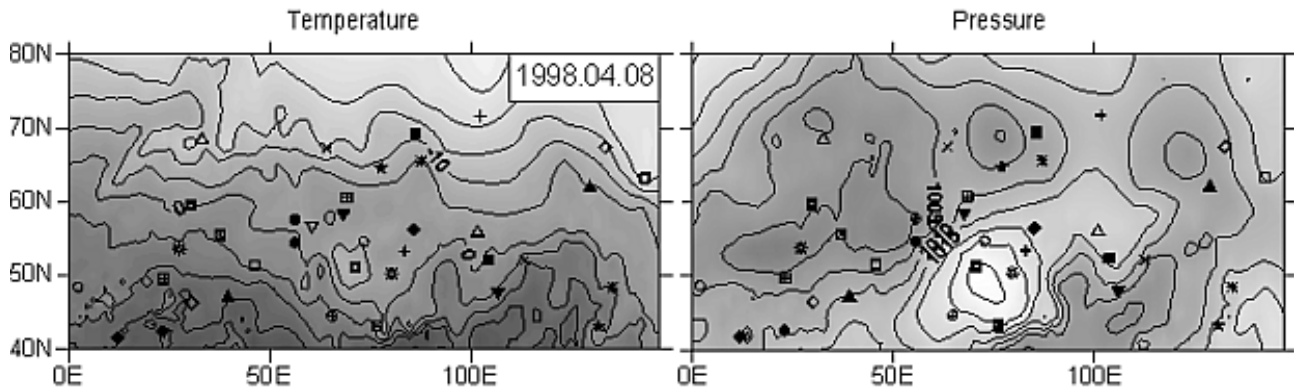


Рис. 6. Карты полей температуры и давления 8 апреля 1998 г.

Однако обширное потепление было блокировано на западе территории арктическим антициклоном, который оказывал свое влияние до третьей декады мая. В южных регионах Западной Сибири положительные температуры установились 28 апреля.

Особенности пространственно-временных изменений полей метеовеличин весной 1999 г. [2] связаны с аритмией перестройки циркуляции с зимнего типа на летний. В процессе перестройки циркуляции развитие полярного вихря было блокировано Сибирским антициклоном, что привело к преобразованиям барических полей и формированию в Западной Сибири двух циклов климатообразующих процессов.

Таким образом, последовательность разного типа аритмий климатообразующих процессов, обусловленных изменением энергомассопереноса и циркуляции атмосферы, формирует вибрацию климата.

## Заключение

Вычислительные технологии и средства интегрированного образного представления результатов моделирования и анализа данных мониторинга упрощают описание на макроуровне особенностей феномена климатических изменений во взаимосвязи с сочетанием факторов, позволяют установить причинно-следственные связи, ход реорганизации процессов при преобразованиях отношений и дать их интерпретацию. По предварительным результатам системно-эволюционного анализа и интерпретации климатических изменений в XX веке можно сделать следующие выводы.

- Макромасштабные внутривековые колебания имеют место при реорганизации процессов энергопреобразования и энергомассопереноса между океаном и сушей, ко-

торые происходят при преобразовании основных отношений в системе атмосфера-океан-криосфера-суша, изменении ледового покрова северных морей и радиационного режима под влиянием сочетания множества факторов.

- Вибрации климата и соответствующие многолетние пространственно-неоднородные изменения погодно-климатических условий в регионах - это проявление последовательности аритмий климатообразующих процессов и изменений энергомассопереноса под влиянием нерегулярных, редких и случайных отношений.

Изучение конкретных особенностей реорганизации процессов на основе детальных эмпирических данных и результатов численного моделирования позволит получить их содержательную мультidisциплинарную интерпретацию и более полные достоверные знания.

## Список литературы

- [1] КАБАНОВ М.В., КОМАРОВ В.С., ШИШЛОВ В.И. Проблемы анализа и моделирования региональных природно-климатических изменений / Региональный мониторинг атмосферы. ч.IV Природно-климатические изменения. Под редакцией М.В. Кабанова. Томск, МГП "Раско"2000, с.200-252.
- [2] ДЮКАРЕВ Е.А., КАБАНОВ М.В., ШИШЛОВ В.И. Системно-эволюционный анализ региональных климатических изменений // Оптика атмосферы и океана. 2002, т.15, №1, с.29-35.
- [3] SHISHLOV V.I. Analysis of dynamic properties of Siberia climate system // Proceedings of SPIE Volume: 5027 "Ninth Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics. Part II: Laser Sensing and Atmospheric Physics", SPIE, Bellingham, WA, 2003, pp.284-292.
- [4] МОНИН А.С., ШИШКОВ Ю.А. Климат как проблема физики // УФН, 2000, том 170, № 4, с.419-446.
- [5] ШИШЛОВ В.И. Анализ и оценка изменений регионального климата // Труды Международной конференции "ENVIROMIS-2002", Изд-во ГУ "Томский ЦНТИ", 2002, т.2, с. 283-287.
- [6] ДАВЫДОВ А.А. Изменения температуры воздуха на Кольском полуострове и ледовитости Баренцева моря во второй половине двадцатого века. // Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2001. с.291-297.
- [7] АДРОВ Н.М. К вопросу о природе климатических изменений ледовитости морских вод Арктики. // Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2001. с. 229-247.
- [8] КОНДРАТЬЕВ К.Я. Климатические шоки: естественные и антропогенные. Л.:Гидрометеиздат. 1978.
- [9] МАЛАХОВ С.Г. О переносе радиоактивных аэрозолей в атмосфере из полушария в полушарие // Метеорология и гидрология. №9, 1971. с. 40-48.

- [10] DYUKAREV E.A., SHISHLOV V.I. Dynamics of conjugate transformations of baric systems and weather forming regimes in Siberia // Proceedings of SPIE Volume: 5027 "Ninth Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics. Part II: Laser Sensing and Atmospheric Physics", SPIE, Bellingham, WA, 2003, pp.266-276.