

Е.А. Дюкарев, М.В. Кабанов, В.И. Шишлов

Системно-эволюционный анализ региональных климатических изменений

Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 12.11.2001 г.

Обсуждается системно-эволюционный подход к описанию и анализу природно-климатических изменений по результатам обработки данных мониторинга. Предложены графоаналитические методики анализа пространственно-временных изменений природно-климатических систем по их отображениям в пространстве оценочных функций. Приведены примеры анализа современных климатических изменений в Западной Сибири для отдельных участков эволюционной траектории (кратковременное похолодание 1966–1972 гг., аномалия температурных изменений весной 1999 г.).

Развитие методологии [1] и средств мониторинга [2] стимулирует разработку новых методов анализа данных комплексного мониторинга природной среды и климата с целью интерпретации и прогноза их изменений. Настоящая статья посвящена анализу региональных климатических изменений по результатам многолетних наблюдений гидрометеорологических характеристик и мониторинга состояний природной среды с использованием методов и средств системно-эволюционного подхода [3].

Объектом изучения является природно-климатическая система (ПКС) Западной Сибири, которая представляет собой часть геосферы материка с определенным мезоклиматом, изменения которого связаны как с глобальными изменениями в геосфере, так и с изменениями внутрисистемных отношений между составными геосферными элементами. ПКС Сибири в целом характеризуется рядом особенностей: влиянием зональных компонент циркуляции воздушных масс Арктики и Средней Азии, крупномасштабных антициклонических вихрей Сибирского центра действия атмосферы, доминирующего зимой над континентом [4], барических образований Алтае-Саянской горной области [5], а также крупномасштабными антропогенными преобразованиями природных комплексов с изменением их геосферных функций и свойств.

В предыдущих работах с помощью графоаналитических средств анализа получены результаты по вековой изменчивости региональных климатов [3] с использованием эволюционных траекторий интегральной оценочной функции процесса и кумулятивной суммы рядов метеорологических величин [6], а также по особенностям межгодовых изменений и внутригодовых циклов регионального климата с помощью фазовых портретов метеовеличин и оценочных функций [7, 8]. Ниже анализируется поведение ПКС географического района как единой системы с учетом ее структурных перестроек и реорганизации межсистем-

ных отношений в рамках многоуровневой системы отношений процессов и объектов геосферы. Предлагаемый подход к анализу изменений полей метеовеличин по их отображениям на плоскости позволяет проводить более тонкий анализ особенностей пространственно-временных изменений состояния ПКС, выявлять сочетания доминирующих факторов и устанавливать некоторые причинно-следственные связи.

Возможности анализа и интерпретации климатических изменений, оценки роли антропогенных и природных факторов в изменении климато-экологических условий зависят от уровня описания и формы представления данных комплексного мониторинга, несущих информацию о связанных разномасштабных процессах в многоуровневой природно-климатической системе. Корректное решение проблемы интерпретации изменчивости климата возможно при выполнении требования полноты описания, что означает описание всех сторон процессов и явлений климатического цикла и изменчивости состояний подсистем геосферы, в которых они происходят.

Методологические основы анализа

Сложность проблемы описания многоуровневых связанных систем с элементами хронологической и структурно-функциональной организации при изменениях внутрисистемных отношений элементов, характера динамики процессов и реорганизации их взаимодействий приводит к необходимости интеграции традиционных системных методов естественных наук с методическими средствами по учету процессов эволюции и преобразования межсистемных отношений. По методологии системно-эволюционного подхода геосфера Земли рассматривается как многоуровневое системно-организованное образование элементов, связанных процессом единого цикла энергопреобразования и энергомассопереноса, а анализ изменчивости состояний ее

подсистем проводится с учетом преобразований их отношений, межсистемных взаимодействий, их последствий и возможных процессов эволюции.

В рамках системно-эволюционного подхода принцип единой системы отношений элементов и процессов многоуровневой макросистемы отражает единство структурно-функциональной организации и отношений, а также единство сопряженных явлений и связанных процессов в подсистемах разного уровня. Принцип единого цикла согласованных процессов многоуровневой макросистемы отражает единство всех стадий сложных процессов, протекающих в подсистемах разного уровня, включая системы поддержки. Принцип относительной согласованности внутрисистемных и межсистемных отношений утверждает идею относительности существования стационарного состояния системы, которое реализуется в квазиравновесном режиме при условии согласованности внутрисистемных отношений подсистемы и ее отношений с другими системами всех уровней. При этом изменение любого из межсистемных отношений влияет на режимы процессов, что приводит к изменению их общего результата и к преобразованию состояния системы.

Использование уточненных понятий и принципов позволяет развить новую систему представлений об изменчивости состояний систем при изменении функций и отношений подсистем, а также разработать новые методики системно-эволюционного анализа.

Новые методики анализа

Последовательность состояний ПКС в ходе непрерывного многолетнего цикла эволюции климатических процессов и режимов погодообразования можно описать рядом матричных операторов:

$$X^{(0)}(M_1), X^{(1)}(L_{1i}), X^{(2)}(M_i), \dots, X^{(p)}(M_k), \dots, \quad (1)$$

где M_i, M_k – операторы моделей соответствующих режимов равновесной динамики; $X^{(p)}$ – матрица характеристик состояния системы на стадии p , где $p = 0, 1, 2, 3, \dots$; L_{ji} – операторы преобразования режимов погодообразования. Каждому режиму погодообразования в регионе соответствуют определенная модель M_i , матрица коэффициентов доминирования процессов, матрица классов погод, матрица определяющих метеовеличин, матрица оценочных характеристик параметрических полей и явлений атмосферы.

Процесс преобразования характеристик системы при изменении погодообразующих факторов $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_j, \Phi_k$ описывается соотношением

$$X^{(p+1)} = X^{(p)} + L^{(p+1)}(\Phi_1, \Phi_i, \Phi_j, \Phi_k, X^{(p)}), \quad (2)$$

где $L^{(p+1)}$ – матричный оператор преобразования режима погодообразования и характеристик состояния системы на стадии $p + 1$.

Приращения оценочной функции Z состояния и определяющих метеовеличин Y_k , удовлетворяющих условию аддитивности, при изменении ведущего фактора Φ_j нового режима можно выразить в виде

$$\Delta Z^{(p+1)}(L_j) = L_{zj}(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n, Z) \Delta \Phi_j^{(p+1)}, \quad (3)$$

$$\Delta Y_k^{(p+1)}(L_j) = L_{kj}(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n, Y) \Delta \Phi_j^{(p+1)}. \quad (4)$$

На основе данных соотношений осуществляется диагноз режимов по результатам мониторинга. Методика диагноза режима погодообразования основана на процедурах оценки климатообразующих факторов и измеряемых метеовеличин Y_k , совместного анализа приращений оценочной функции, метеовеличин и факторов, установления их сочетаний и доминирующих процессов с использованием информационных моделей многорежимных процессов погодообразования [9].

Образное представление об изменчивости характеристик ПКС в ходе цикла климатических процессов дают их графические изображения в фазовом пространстве определяющих метеовеличин и оценочных функций характеристик процесса. Процедуры анализа сложных процессов базируются на методах математической теории отображений [10], в которой для описания отображений сложных поверхностей на плоскость используется набор функций нескольких переменных. Отображение точки поверхности с координатами (x_1, x_2) на точку плоскости с координатами (y_1, y_2) задается парой функций $y_1 = f_1(x_1, x_2)$, $y_2 = f_2(x_1, x_2)$. Для анализа пространственно-временных изменений процесса необходимо получить отображение изменений поверхности на плоскость. Для этого нами предложено использовать интегральные преобразования

$$\text{вида } Z_t = \int_0^t x(t) dt \text{ и } Z = \int_{t_i}^{t_{i+1}} x(t) dt. \text{ Исследование}$$

свойств и особенностей отображений квазипериодических процессов, получаемых с использованием различных сочетаний интегральных преобразований метеовеличин, позволило разработать ряд методик графического отображения состояний ПКС.

Методика графического представления состояний ПКС включает процедуры обработки рядов метеоданных, вычисления оценочных характеристик метеовеличин за определенные периоды (месяц, сезон, год) и построения метеопортрета (точек состояния, фазовых траекторий). При использовании в качестве одной из координат интегральной оценочной функции Z получаем графическое отображение эволюции свойств (характеристик) и режимов климата в собственном характерном времени. Как правило, при анализе используются совмещенные фазовые портреты, эволюционные траектории многих характеристик (солнечной радиации, температуры воздуха, температуры почвогрунтов, осадков, скорости ветра, давления и т.д.), а также портреты ансамбля состояний ПКС в многомерном фазовом пространстве определяющих метеовеличин. На основе предложенного описания и средств графического представления разработаны графоаналитические методы анализа климатических процессов [3, 6, 8], которые позволяют по графическому отображению многолетних циклов погодообразования при анализе состояний климатиче-

ской системы установить характер процесса, описать его с использованием формализма геометрии и тригонометрии и провести относительно строгий анализ.

Методика анализа межгодовой изменчивости температуры приземной атмосферы основана на исследовании траектории оценочной функции $Z(T)$, определении амплитуд особых точек (годовых экстремумов) оценочной функции среднесуточных температур $Z_i(T)$, $Z_j(T)$ и вычислении оценок температурного режима теплого $Z_S = Z_j(T) - Z_i(T)$ и холодного $Z_W = Z_{i+1}(T) - Z_j(T)$ периодов года, а также интегральных годовых оценок теплового баланса $Z_Y = Z_i(T) - Z_{i-1}(T)$. На рис. 1 приведены зависимости интегральной оценочной функции Z от времени

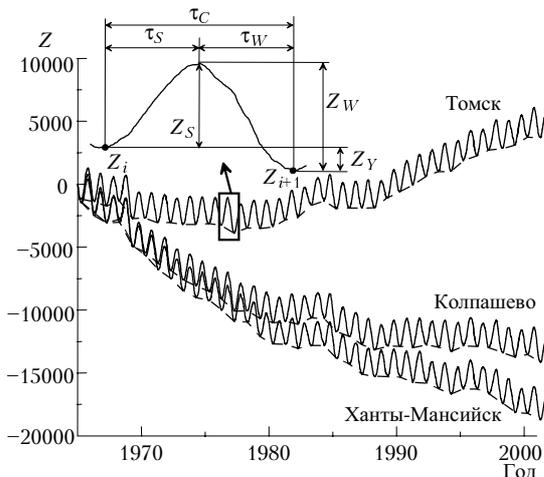


Рис. 1. Изменение интегральных оценочных функций температуры Z во времени и их эволюционные траектории для Томска, Колпашево и Ханты-Мансийска

для различных метеостанций. В увеличенном масштабе показан годовой ход интегральной оценочной функции и его основные характеристики: продолжительность годового цикла τ_C , продолжительности теплого τ_S и холодного τ_W периодов и соответствующие им характеристики интегральной оценки Z_S , Z_W . Пунктиром показаны эволюционные траектории температурного режима [3].

Методика сопоставительного анализа элементов годового цикла изменений метеовеличин предусматривает совмещение геометрических образов однотипных элементов различных лет на одном фазовом портрете и их совместную обработку. Данная методика позволяет определять межгодовые вариации элементов годового цикла, диапазон их многолетней изменчивости, выявлять особые режимы и аномальные годы.

Методика пространственно-временного анализа мезомасштабных процессов с целью выявления причинно-следственных связей и установления ключевых факторов формирования режимов погодообразования в конкретных географических районах основана на совместном анализе метеопортретов различных районов с учетом их географического положения. В частности, сопряженный анализ изменчивости среднемесячных температур и месячных приращений оце-

ночной функции с учетом согласованности хронологических отношений географических районов и доминирующих мезомасштабных процессов в атмосфере позволяет установить ход процессов погодообразования и их пространственное распределение. При физической интерпретации пространственно-временной картины хода различных климатических процессов дополнительно используются синоптические карты, аэрологическая и космическая информация.

Методика анализа пространственно-временных изменений температурного (радиационного) режима ПКС основана на исследовании отображения эволюции состояний ее регионов на одном фазовом портрете в плоскости оценочных функций режима в теплое Z_S и в холодное Z_W времена года. Отображение последовательности состояний квазипериодического процесса в разных точках пространства (рис. 2) позволяет производить анализ пространственно-временной изменчивости циклов климатических процессов.

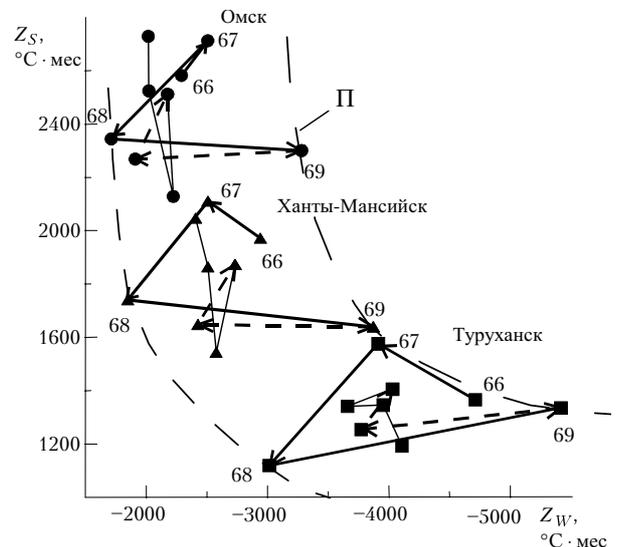


Рис. 2. Отображение состояний ПКС по температурному режиму в плоскости оценочных функций теплого (Z_S) и холодного (Z_W) периодов года

Методика анализа изменений состояний ПКС, их пространственных особенностей и направленности основана на отображении состояний в разных регионах ПКС на одном портрете в плоскости оценочных характеристик годового цикла: характеристики отношения оценочных функций $\phi = Z_S/Z_W$ и характеристики соотношения продолжительностей теплого и холодного периодов года $\tau = \tau_S/\tau_W$. При анализе данного отображения (рис. 3) выявляются зависимости оценочных характеристик процесса от соотношения продолжительности теплого и холодного периодов, определяются направленности межгодовых изменений состояний ПКС и устанавливаются их особенности по резкому изменению направленности хода межгодовых изменений. Это позволяет производить дифференциацию зон ПКС с различной направленностью межгодовых изменений и устанавливать их зависимость от климатообразующих факторов.

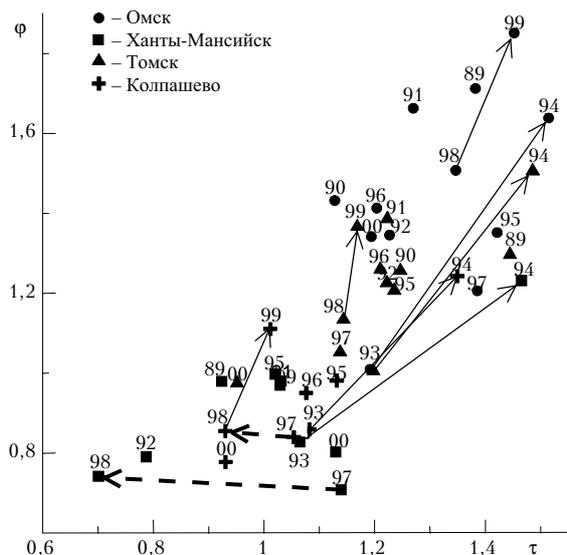


Рис. 3. Отображение состояний ПКС в плоскости характеристик отношения оценочных функций ϕ и отношения продолжительностей теплого и холодного периодов года τ

Совокупность средств описания, графического представления и методик анализа позволяет проводить на основе разнородной информации об объектах и процессах разного масштаба и уровня совместный сопряженный анализ изменчивости процессов, характеристик состояния систем и межсистемных отношений.

Некоторые результаты анализа

Из анализа вековых изменений среднемесячных температур и осадков следует [6], что в XIX в. и в начале XX в. во всех регионах таежной зоны Сибири был умеренно холодный влажный климат. Таежная ПКС Западной Сибири представляла собой единую систему мезомасштабного уровня, в атмосфере которой доминировал единый цикл климатических процессов с пространственно-однородными изменениями тепловых режимов. Особенность таежной ПКС заключается в несогласованности отношений атмосферных климатических процессов с наземными таежными экосистемами со специфическими водообменными процессами (перехват осадков кронами деревьев, пониженное испарение напочвенного покрова, удерживание влаги моховым покровом) и теплообменом через кроны деревьев, которые приводят к затягиванию процессов снеготаяния в лесу и сокращению длительности теплого периода, уменьшению прогрева почв и сохранению мерзлых грунтов. Это порождает несогласованность термического режима (дефицит тепла в мае, июне при максимуме солнечной радиации) с радиационным режимом (астроклиматом широтного пояса), следствием чего является несогласованность климатических и биогеоэкологических явлений, т.е. несогласованность отношений между климатической системой и биосистемами.

В начале XX в. на юго-западе Сибири установился этап перехода таежного климата на степной, в ходе которого шла структурная перестройка назем-

ных экосистем, деградация криосферы грунтов, коэволюция атмосферных и наземных гидрометеорологических процессов и реорганизация межсистемных отношений ПКС. На переходном этапе увеличивалась продолжительность теплого периода года. Так, после 1920 г. в Омске доминируют режимы степного климата, который характеризуется значениями интегральной оценки $Z_S = 76+85 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{мес}$, положительной среднегодовой температурой, продолжительностью теплого периода $\tau_S = 180+210$ дней, положительной температурой апреля ($0,5 - 6,5 \text{ }^\circ\text{C}$), годовой амплитудой среднемесячных температур $42-48,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T_{\max} = 2,2$, $T_{\min} = -26,2 \text{ }^\circ\text{C}$). В Барабинске основные явления переходного этапа завершились к 1930 г., а в Томске к 1939 г., но с сокращением продолжительности теплого периода года до 160 дней и отрицательными значениями среднегодовой температуры и со ступенчатой (на 1–2 года) изменчивостью хода климатических режимов. Изменения ступенчатого типа имели место в 1941, 1944, 1946, 1949, 1950, 1953, 1968, 1984 гг. и сопровождались режимами адвекции холода, большой продолжительностью режимов трансформации выхоложивания при глубоком антициклоне. Особо выделяется глубокий антициклон зимы 1968/69 г., с которого начались мезомасштабные изменения и этап похолодания 1968–1976 гг. (см. рис. 1).

Анализ изменчивости оценочных функций (Z_S , Z_W) и продолжительностей теплого и холодного периодов года (τ_S , τ_W) показывает, что в период общего похолодания (1966–1974 гг.) в анализируемых регионах изменения оценочных функций слабо связаны с изменениями продолжительностей холодных и теплых периодов. Так, из анализа отображений для пространственно-временных изменений состояний ПКС 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 (направленности указаны стрелками). При этом во всех регионах ПКС совершили цикл переходов и вернулись (возврат показан пунктирными стрелками) в начальное состояние (область состояний 1963–1966 гг.). Во время переходов сохранялся профиль Π пространственного распределения оценочных функций. В таблице приведены данные (исходное состояние Z_S^0 и Z_W^0 и отклонения на этапах p : $y^{(p)} = Z_S^{(p)} - Z_S^0$, $x^{(p)} = Z_W^{(p)} - Z_W^0$), иллюстрирующие ход изменения состояний ПКС девяти регионов. Эти результаты свидетельствуют о реализации единого цикла климатических процессов мезомасштабного уровня в рамках единой ПКС Западной Сибири.

Анализ изменений оценочных характеристик процессов при потеплении (80–90-е гг. XX в.) показывает, что изменения значений оценочных функций достаточно тесно связаны с изменениями продолжительностей теплого и холодного периодов года. На рис. 3 показаны состояния ПКС для четырех регионов с использованием наборов характеристик отношения ϕ и τ . Из анализа приведенного отображения состояний

Изменения состояний ПКС по оценочным функциям в теплый (Z_S) и холодный (Z_W) периоды года

Оценочные функции	Омск	Березово	Томск	Ханты-Мансийск	Барнаул	Сургут	Александровское	Красноярск	Туруханск
Z_S^0	2582	1632	2253	1889	2655	897,9	881,5	1528	1365,8
Z_W^0	-2291	-2561	-2627	-2509	-2102	-2365	-2342	-1454	-3910
Y^1	129,9	115,1	82,6	222,1	14,7	766,2	749,4	116,6	210,5
X^1	578,3	317,8	709,2	661	159,8	722,9	660,3	138,1	895,3
Y^2	-238	-226	-219	-147	-197	-660	-555	-208	-246,9
X^2	-989	-1632	-818	-1362	-969	-445	-493	-698	-1504
Y^3	-282	-280	-129	-249	-185	136,4	247,9	240,1	-29,9
X^3	380,3	-301	545	84,3	314,5	238,8	230	-51,5	140,1
Y^4	-314	-220	-248	-240	-231	-133	-72,5	35	-111
X^4	114,7	-592	254	-222	31,2	164	168	-140	-119,6
Y^5	-70,7	-246	-30,6	-15,3	-132	-	-	-	40
X^5	66,7	-314	428,1	-67,1	233,7	-	-	-	253,2
Y^6	-	-294	-	-	-	-	-	-	-24,1
X^6	-	-252	-	-	-	-	-	-	-42,8

видно, что зависимость отношения интегральных оценок от продолжительности периодов имеет место, хотя и неоднозначна (одному значению τ соответствуют разные значения ϕ), а изменения состояний ПКС в этих регионах при резких потеплениях (1982–1983, 1994–1995) имеют одинаковую направленность (сплошные стрелки).

Дополнительные и полезные возможности системно-эволюционного анализа природно-климатических изменений открываются также для интерпретации отдельных участков эволюционных траекторий региональных ПКС. Для иллюстрации этих возмож-

ностей проанализируем особенность межгодовых изменений состояний ПКС Ханты-Мансийска и Колпашева, потепление в которых закончилось уже в цикле 1995–1996 гг. В цикле 1998 г. резкие изменения направленности (штриховые стрелки на рис. 3) их состояний связаны с увеличением длительности холодного периода за счет холодного апреля 1999 г. Для исследования данного вывода проведен детальный анализ сезонного хода среднесуточных температур и осадков в различных регионах и особенностей изменения атмосферных процессов. Сезонные ходы изменения температур и осадков приведены на рис. 4, из

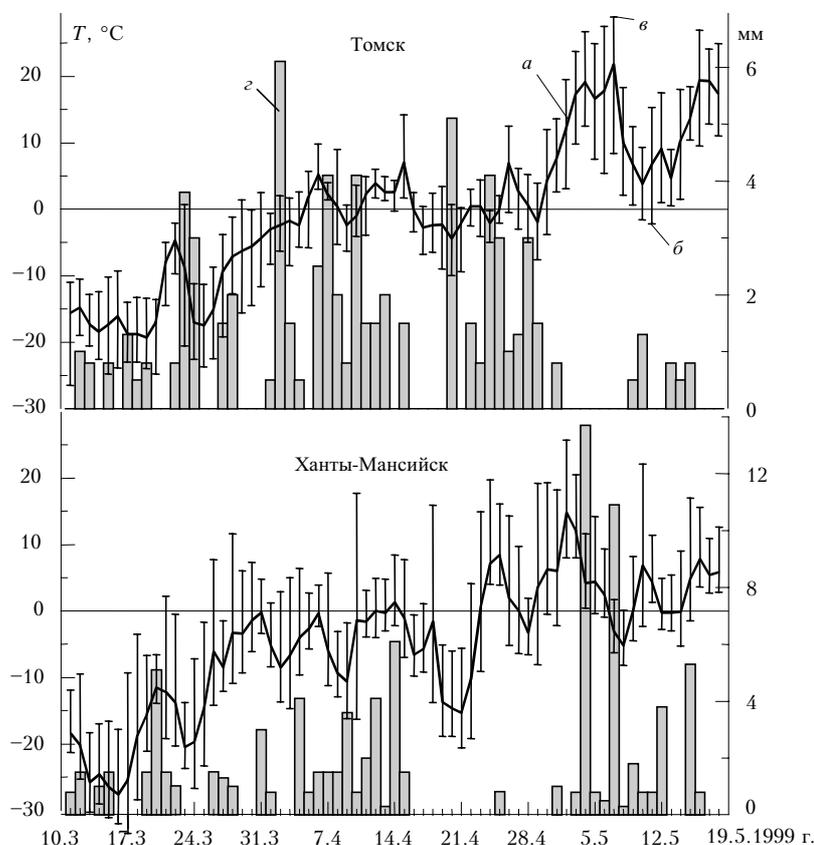


Рис. 4. Изменения среднесуточной температуры (a), минимальных (b) и максимальных (v) суточных температур и суммы суточных осадков (z) весной 1999 г. по данным станций Томск и Ханты-Мансийск

которого видно, что в конце марта 1999 г. во всех регионах Западной Сибири стояла холодная погода.

Потепление в начале апреля наступило с приходом западного циклона, которое распространилось на северо-восток (Барабинск, Томск). В Томске 4–6-го апреля за счет адвекции тепла и влаги дневные температуры поднимались до +10 °С, началось интенсивное снеготаяние. Однако в Колпашеве и Ханты-Мансийске до 22 апреля удерживалась холодная погода под влиянием антициклона, который с Новой Земли перемещался к юго-востоку, что было обусловлено аномальной циркуляцией в верхней атмосфере [11]. Перестройка циркуляции на летний тип в стратосфере произошла в марте, но устойчивого развития околополярного антициклонического вихря не произошло из-за блокирующего влияния мощного антициклона, охватывающего Сибирь и значительные территории Арктики и Канады [12].

Под влиянием неустойчивого полярного вихря в начале апреля произошло преобразование барического поля. Через образовавшуюся ложбину в атмосфере над европейской территорией страны на материк проникли холодные воздушные массы с Арктики, а циклон из Поволжья переместился на юг Западной Сибири. А на северо-западе, в районе Новой Земли, в апреле формировались антициклоны, которые перемещались к юго-востоку через север Западной Сибири до Красноярского края. Перестройка в стратосфере на летний тип циркуляции осуществилась только 1-го мая, т.е. на 19 дней позже средних сроков. Итак, несогласованность хорологических (позиционных) отношений азиатского антициклона и полярного вихря обусловила особенности перестройки циркуляции атмосферы (изменение структуры барического поля, формирование холодной высотной ложбины на Западе и антициклонов на Востоке), которые привели к формированию на территории Западной Сибири двух различных циклов процессов погодообразования.

Заключение

В рамках системно-эволюционного подхода к исследованию региональных климатических изменений описание изменчивости состояний природно-климатической системы через приращения интегральных оценочных функций (с использованием многоуровневой информационной модели погодообразования и средств графического представления ансамбля состояний климатической системы) позволило создать методики и информационную технологию сопряженного анализа изменчивости процессов, характеристик состояния ПКС и межсистемных отношений на основе разнородной информации об объектах и процессах разного масштаба и уровня. Их использование при анализе инструментальных данных позволяет нагляд-

но описать эволюцию климата Западной Сибири, особенности изменения межсистемных отношений и их проявления в вариациях характеристик состояния ПКС. В настоящее время по отдельным результатам системно-эволюционного анализа региональных природно-климатических изменений можно сделать следующие выводы:

– изменчивость климатических условий в различных регионах умеренных широт северного полушария определяется особенностями преобразования структуры барического поля и изменяющимися соотношениями доминирования климатических процессов в ПКС, которые существенно зависят от эволюции воздушных масс в ходе движения и взаимодействий атмосферных образований, в том числе в нижних и верхних слоях атмосферы;

– несмотря на то что в таежной ПКС Западной Сибири проявляется пространственно-неоднородная несогласованность температурных и радиационных режимов, а также несогласованность климатических и биотических отношений, существуют многолетние периоды с одинаковой межгодовой изменчивостью температурного режима в различных регионах, что позволяет рассматривать ПКС Западной Сибири как единую систему мезомасштабного уровня с перестраиваемой структурой и реорганизацией циклов погодообразования.

Приведенные выводы являются результатом первого этапа исследований и представляются полезными для последующего системного описания природных и антропогенных факторов, определяющих современные природно-климатические изменения в Сибири.

1. *Кабанов М.В.* Региональный мониторинг атмосферы. Ч. I. Научно-методические основы / Под ред. В.Е. Зуева. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 210 с.
2. *Региональный мониторинг атмосферы. Ч. III. Уникальные измерительные комплексы* / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд-во СО РАН, 1998. 238 с.
3. *Региональный мониторинг атмосферы. Ч. IV. Природно-климатические изменения* / Под редакцией М.В. Кабанова. Томск: МГП «Раско», 2000. 270 с.
4. *Вакуленко Н.В., Монин А.С., Шишков Ю.А.* Об изменениях общей циркуляции атмосферы в XX веке: Докл. РАН. 2000. Т. 371. № 6. С. 802–805.
5. *Севостьянов В.В.* Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Изд-во ТГУ, 1998. 201 с.
6. *Dyukarev E.A., Shishlov V.I.* Analysis of climatic changes using phase portraits // SPIE. 2001. V. 4678 (to be published).
7. *Дюкарев Е.А., Шишков В.И.* Анализ эволюции климатических процессов по фазовым портретам // Материалы II Международного симпозиума «Контроль и реабилитация окружающей среды». Томск, 19–21 июля 2001 г. С. 121–123.
8. *Dyukarev E.A., Shishlov V.I.* Estimation of aperiodic changes of climate parameters // SPIE. 2001. V. 4678 (to be published).

9. *Шишлов В.И.* Многоуровневая модель усвоения и интегрированного представления данных климатического мониторинга // *Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии природно-территориальных комплексов Западной Сибири: Материалы научной конференции.* Горно-Алтайск, 2000. С.46–48.
10. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М.: Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1990. 128 с.
11. *Белинский О.Н., Кириенко Л.В., Найшуллер М.Г.* Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 1999 г. // *Метеорол. и гидрол.* 1999. № 7. С. 122–124.
12. *Белинский О.Н., Кириенко Л.В., Найшуллер М.Г.* Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в мае 1999 г. // *Метеорол. и гидрол.* 1999. № 8. С. 120–122.

Е.А. Dyukarev, M.V. Kabanov, V.I. Shishlov. **System-evolutionary analysis of regional climatic changes.**

The system-evolutionary approach to description and analysis of natural and climatic changes is discussed based on the monitoring data. Graphic-analytical techniques were suggested for analysis of spatiotemporal changes of nature-climate systems judging from their images in the space of evaluation functions. As an example, analysis of modern climatic changes in West Siberia is presented for some periods of evolutionary trajectory (short-term drop in temperature in 1966–1972, anomalous temperature changes in spring of 1999).