

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В. И. Шишлов, Е. А. Дюкарев

*Институт мониторинга климатических и экологических
систем СО РАН, Томск, Россия*
e-mail: egor@imces.ru

The problems of thorough description, analysis, identification of ensemble of states and estimation of changes in the nature-climatic system are discussed. Techniques, algorithms and technologies for instrumental data processing, calculation of integrated estimation characteristics of changeability of the natural-climatic system, mapping of the state ensemble in the phase space of estimation characteristics are presented in this paper.

Введение

Актуальность социально значимых проблем, обусловленных последствиями климато-экологических изменений, стимулирует развитие новых методов мониторинга и средств анализа разнородной информации. При анализе и интерпретации изменений природной среды и климата, оценке последствий антропогенной трансформации природных комплексов используется широкий набор средств обработки разнородных данных, их интегрированного представления, идентификации изменений и описания ситуаций [1, 2].

В рамках методологии системно-эволюционного подхода [3] развиваются направления геосферно- и биосферно-ситуационного анализа феноменов изменчивости природной среды и климата при трансформации подсистем геосферы и реорганизации цикла средо- и климатообразующих процессов. Развитие методов системно-эволюционного анализа многоуровневых систем с учетом взаимосвязей компонентов, взаимодействия макромасштабных и региональных процессов при сочетании разнородных факторов требует создания качественно новых средств емкого и точного описания особенностей состояния многоуровневой природно-климатической системы (ПКС), идентификации процесса трансформации ее состояний. Развитие технологий анализа изменений окружающей среды поддерживается разработкой новых средств описания, алгоритмов обработки, форм представления результатов обработки данных мониторинга с использованием геоизображений, графических образов и моделей, обеспечивающих глубинный смысловой анализ информации. Характерной особенностью методов и технологий геосферно-ситуационного анализа является сочетание геоинформационных технологий с методами математического анализа и оценивания хода изменения ситуации.

В настоящей работе представлены методики идентификации и оценки климатических изменений, а также алгоритмы и технологии целевой обработки инструментальных данных, вычисления интегрированных оценочных характеристик изменчивости состояния ПКС и отображения ансамбля состояний в пространстве оценочных характеристик и траекторий трансформации состояний природно-климатической системы с использованием описательных средств геометрии, тригонометрии и матричной алгебры. Особое внимание уделено вопросам математического описания изменений состояний ПКС, в частности матричному описанию ансамбля последовательных состояний природно-климатической системы. Матричное описание состояний систем и их изменений в виде последовательности матриц отклонений характеристик состояний позволяет использовать широкий арсенал средств их математического анализа в рамках теории многошаговых процессов, классической теории анализа матричных рядов и оценки изменения состояний в нормированных пространствах [4].

1. Идентификация и анализ изменений оценочных характеристик климата

Методика и алгоритмы количественной оценки климатических изменений основаны на параметрической идентификации модели процессов многолетних (вековых) изменений характеристик сезонных состояний по результатам инструментальных измерений. Используются простые модели периодических (гармонических, телеграфных, трапециевидальных многоступенчатых) сигналов, которые описывают эволюцию хода многолетних изменений характеристик состояний.

Модель телеграфного сигнала описывает ход изменений температуры в виде прямоугольных знакопеременных импульсов фиксированной длительности с изменяемой амплитудой, соответствующей средней температуре теплого T_s и холодного T_w периодов года. На рис. 1 представлены результаты идентификации хода многолетних изменений температуры для ансамбля состояний климата г. Омска. (T_s — средняя температура за период

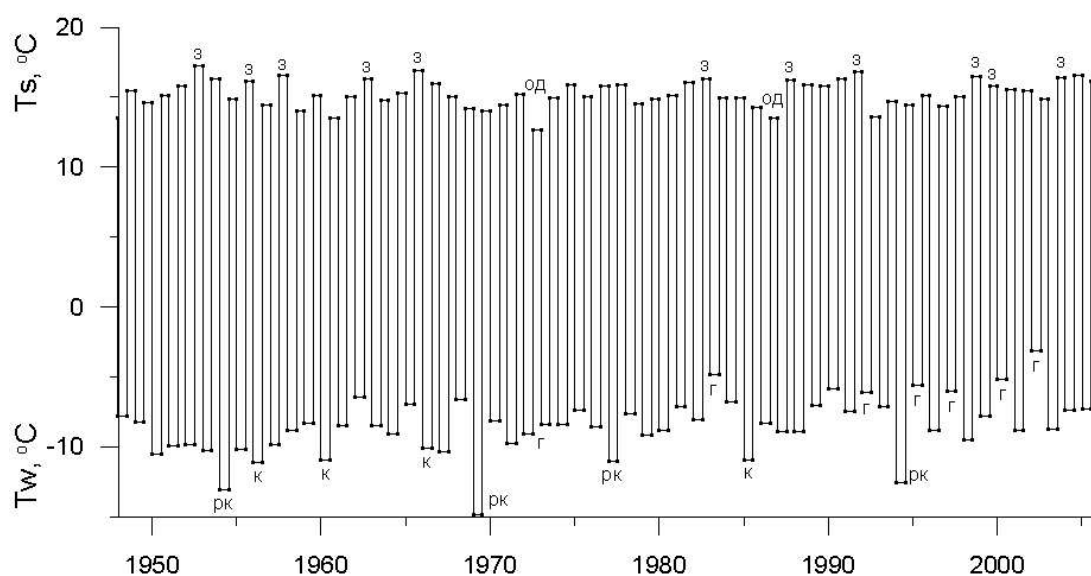


Рис. 1. Ход многолетних изменений температур теплого T_s и холодного T_w периодов г. Омска.

с мая по сентябрь, T_w — средняя температура за период с октября по апрель.) Эти результаты показывают, что возросла изменчивость состояний, уменьшилась континентальность (К), но сохраняется частота резко-континентальных состояний (РК) с морозной зимой и засушливым (З) летом. Установлена тенденция роста числа теплых состояний холодного периода года с обильными осадками, что обусловлено циклоногенезом. Возросло число гумидных (Г) годовых состояний с интенсивным влагооборотом и дефицитом тепла в вегетационный период. Число состояний с высоким потенциалом климатических ресурсов в Омске за последние 30 лет по сравнению с предыдущим 30-летним периодом сократилось на 20 %.

Более информативна модель четырехступенчатого сигнала, в которой выделены ступени, соответствующие средним месячным температурам переходных месяцев — апреля (IV) и октября (X). В качестве примера на рис. 2 представлены результаты идентификации с использованием этой модели хода многолетних изменений температуры для двух ансамблей состояний климата г. Саратова (T_v — средняя температура за период с ноября по март, T_s — средняя температура за период с мая по сентябрь). На основе данного описания выделены несколько типов состояний климата: состояние *A* с продолжительным теплым (температура выше 5°C) периодом года $\tau_{\text{ТП}} = 7$ месяцев (с IV–X), состояние *B* — продолжительность $\tau_{\text{ТП}} = 6$ месяцев (IV–IX), состояние *C* — продолжительность $\tau_{\text{ТП}} = 6$ месяцев (V–X), состояние *D* — продолжительность $\tau_{\text{ТП}} = 5$ месяцев (V–IX), состояние *E* — продолжительность холодного периода года $\tau_{\text{ХП}} = 6$ месяцев (XI–IV), состояние *F* — продолжительность $\tau_{\text{ХП}} = 6$ месяцев (X–III), состояние *G* — продолжительность $\tau_{\text{ХП}} = 7$ месяцев (X–IV). В результате анализа хода изменения состояний региональных климатов установлена общая тенденция роста частоты повторения состояний типа *A* и *B* и выявлены региональные особенности потепления климата. В регионах Восточной Европы на этапах потепления возрастает частота повторения состояний типа *A* в 1.3–1.6 раза. В последней трети 20 в. доминируют состояния климата типа *A* и типа *B*, в частности, в Саратове их

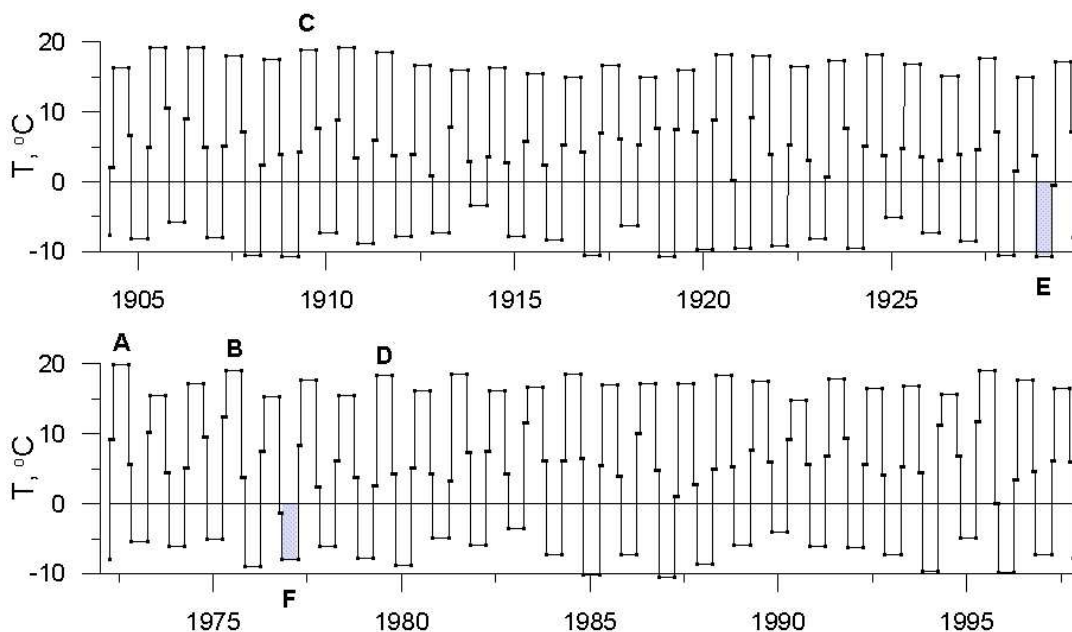


Рис. 2. Ход многолетних изменений температуры для двух ансамблей состояния климата г. Саратова.

доля составляет 0.38 и 0.42 соответственно. В регионах Западной Сибири в ходе потепления климата уменьшается частота повторения состояний типа F и E , повышается частота повторения состояний типа B . Например, в Барнауле с 1972 по 2002 г. доля состояний типа B составила 0.2, в Омске — 0.3.

2. Анализ траекторий изменения состояний в фазовом пространстве оценочных характеристик и оценка изменений регионального климата

Методика анализа изменений области состояний регионального климата и траекторий хода изменений состояний в фазовом пространстве [5] основана на исследовании отображения эволюции состояний на фазовом портрете в плоскости оценочных характеристик температуры в теплое T_s и в холодное T_w время года. На рис. 3 приведены отображения ансамблей состояний климатов Саратова и Оренбурга за период с 1890 по 2004 г. Из результатов анализа отображений следует, что во многих регионах в последние десятилетия области состояний сместились в сторону более высоких температур T_w , в некоторых регионах (Саратов, Барабинск) после 1991 г. область состояний сужается (тенденция перехода в аттрактивное состояние). В ряде регионов (Оренбург, Тобольск) происходит расширение области состояний, наблюдаются резкие переходы от состояний континентального климата (жаркое лето, жестко морозная зима) к состояниям гумидного климата (прохладное дождливое лето, слабозимная зима с частыми осадками).

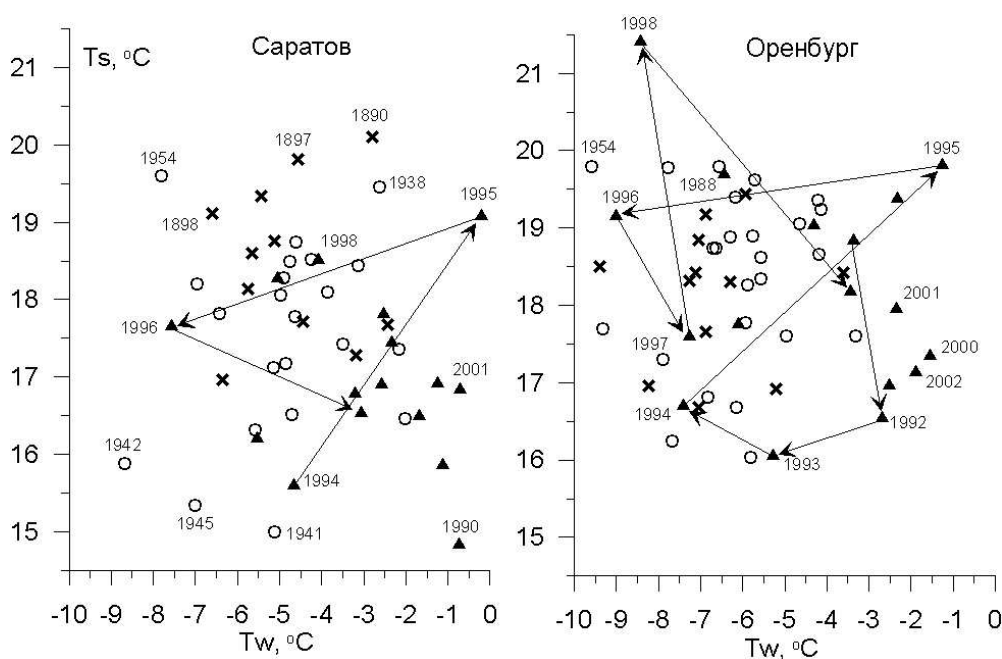


Рис. 3. Отображение ансамблей состояний климата Саратова и Оренбурга.
 × — 1890–1930 гг. o — 1931–1955 гг. ▲ — 1988–2004 гг.

3. Нормированная оценка климатических изменений

Методика и алгоритм нормированной оценки климатических изменений основаны на вычислении и оценке изменений норм матриц оценочных характеристик для последовательности состояний, которая описывается матричным рядом, при этом используются известные положения и формулы теории анализа матричных рядов [4].

При описании годового состояния элементами матрицы могут быть сезонные, месячные метеовеличины либо оценочные характеристики состояний холодного и теплого периодов года, а также многолетние интегральные оценочные характеристики объектов биосферы (продуктивность биоценозов, энергия живого вещества), гидросферы. В качестве оценочной характеристики используются типовые нормы матрицы: l -норма R_l и m -норма J_m :

$$R_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i|, \quad J_m = \max_i |Y_i|.$$

Нами исследованы особенности потепления в Казани по вычисленным нормам J и R матриц отклонений Y сезонных температур от аттрактивных температур T^* (предельных — чуть выше главных вековых максимумов сезонных температур), $T^* = \lim T(p)$, $p = 0, 1, 2, 3 \dots$

В таблице приведены аттрактивные сезонные температуры T^* и вычисленные отклонения Y сезонных температур, оценочные характеристики (нормы матриц отклонений) для нескольких ансамблей годовых состояний климата Казани. Из анализа хода изменений отклонений годовых температур Y_T и норм матриц отклонений сезонных температур (рис. 4)

Матрицы характеристик состояний и нормы матриц, °С

Год	Y_3	Y_6	Y_{12}	Y_0	Y_T	R_l	J_m
T^*	-7	7	21	6	6		
1881	-5.88	-2.93	-2.8	-4.5	-3.28	4.03	-5.88
1882	-3.77	-3.67	-1.53	-2.73	-2.18	2.93	-3.77
1883	-6.83	-2.33	-2.87	-0.73	-2.44	3.19	-6.83
1884	-4.2	-6.83	-3.8	-2.57	-3.6	4.35	-6.83
1885	-3.17	-4.27	-2.97	-4	-2.85	3.60	-4.27
1938	-4.6	-2.2	-1.37	0.5	-1.17	2.17	-4.6
1939	-6.53	-3.83	-2.33	-3.17	-3.22	3.97	-6.53
1940	-8.03	-4.63	-1.23	-1.13	-3.01	3.76	-8.03
1941	-6.6	-7.13	-3.7	-5	-4.86	5.61	-7.13
1942	-9.93	-6.03	-3.63	-2.8	-4.85	5.60	-9.93
1966	-3.37	-1.03	-2.1	-2.23	-1.43	2.18	-3.37
1967	-8.4	-0.63	-2.27	-0.7	-2.25	3.00	-8.4
1968	-5.87	-2.97	-3.37	-3.07	-3.07	3.82	-5.87
1969	-10.5	-5.9	-4.7	-1.77	-4.96	5.71	-10.5
1998	-4.7	-7	-0.83	-3.4	-2.25	3.98	-7
1999	-0.57	-3.51	-1.67	-2.73	-1.37	2.12	-3.51
2000	0.42	-1.9	-1.57	-2.03	-0.52	1.48	-2.03
2001	0.6	-0.27	-2.5	-1	-0.04	1.09	-2.5
2002	-0.27	-1.7	-2.77	-1.17	-0.73	1.48	-2.77
2003	-6.07	-2.03	-3.1	-0.1	-2.08	2.83	-6.07
2004	-0.43	-1.77	-1.8	-0.43	-0.36	1.11	-1.8
2005	-1.9	-2.03	-2.97	0.8	-0.78	1.93	-2.97

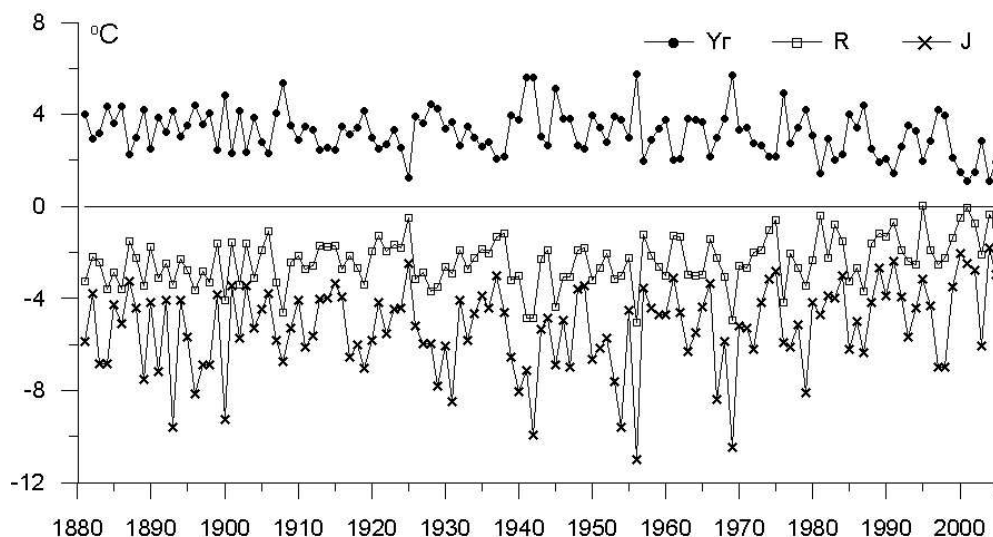


Рис. 4. Ход изменений отклонений годовых температур Y_r и норм матриц отклонений сезонных температур Казани.

следует, что ритмичный процесс изменений температуры имеет тенденцию сходимости по норме R_i к области аттрактивных состояний, однако m -норма матрицы варьирует в больших пределах, что обусловлено возвратом морозных зимних состояний.

Заключение

Разработанные средства обработки, анализа данных инструментальных измерений, идентификации и количественной оценки изменений характеристик ансамбля состояний позволяют провести объективный системно-эволюционный анализ и интерпретацию наблюдаемых изменений климата. Их применение открывает дополнительные возможности идентификации и описания закономерных связей в наблюдаемых изменениях природной среды и климата.

Список литературы

- [1] Шишлов В.И., Дюкарев Е.А. Анализ и интерпретация климатических изменений // Вычисл. технологии. 2004. Т. 9. Спецвыпуск: Тр. Междунар. конф. "Вычислительно-информационные технологии для наук об окружающей среде". Ч. 1. С. 58–70.
- [2] Шишлов В.И., Дюкарев Е.А. Обработка результатов мониторинга и отображение изменений климата // География и природные ресурсы. 2004. Спецвыпуск. С. 261–266.
- [3] Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 4: Природно-климатические изменения / Под общ. ред. М.В. Кабанова. Томск: МГП "РАСКО", 2000. 270 с.
- [4] Канторович Л.В., Акимов Т.П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. М.: Физматгиз, 1959. 326 с.
- [5] 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.

Поступила в редакцию 19 октября 2006 г.