

УДК 551.582.1(471.43-21)

## ДИНАМИКА ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРОДОВ КАЗАНИ И УЛЬЯНОВСКА

*Ю.П. Переведенцев, Р.Х. Салахова, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский*

### Аннотация

Рассмотрены основные статистические характеристики температурного режима в городах Казани и Ульяновске за период 1877–2000 г.

---

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата становится в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, в том числе с продолжающимся ростом концентрации  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов в атмосфере. Отметим, что наиболее яркой особенностью в изменении климата минувшего XX столетия является его глобальное потепление. По имеющимся оценкам [1] средняя годовая глобальная температура приземного слоя воздуха за последние 100 лет увеличилась на  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Анализ ее временных рядов позволил выявить неоднородный характер отмеченного потепления: в 1910–1946 гг. происходило потепление, в 1947–1975 гг. – слабое похолодание, и начиная с 1976 г. отмечается фаза наиболее интенсивного потепления, которое продолжается и по настоящее время (2005 г.). Согласно климатическим прогнозам, темпы глобального потепления в XXI в., как минимум, удвоятся [2], так по новейшим расчетам с использованием глобальных климатических моделей к концу XXI в. средняя глобальная температура воздуха может повыситься на  $1.5\text{--}5.8^\circ\text{C}$ , если концентрация  $\text{CO}_2$  удвоится [3].

Особенностью потепления последних десятилетий, зафиксированного мировой сетью инструментальных метеорологических наблюдений, согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), является то, что оно охватывает также и тропическую зону. При этом в умеренных и высоких широтах Северного полушария оно выражено главным образом в холодное время года, тогда как в период 1910–1940 гг. потепление происходило одновременно зимой и летом. Естественно возникает вопрос – каковы же причины современного глобального потепления и что следует ожидать в будущем. Однозначного ответа на этот вопрос в настоящее время не существует. В настоящее время широко обсуждаются в основном две версии объяснения происходящего потепления: антропогенная (рост температуры за счет быстрого повышения концентрации парниковых газов – парниковый эффект) и естественная.

Первой позиции придерживается МГЭИК, подготовившая доклад по этой проблеме [4]. Недавней ратификацией Киотского протокола Россия по существу признала эту версию официально.

Согласно другой (конкурирующей) версии, глобальное потепление, наметившееся с момента завершения малой ледниковой эпохи, объясняется в основном действием факторов естественного происхождения. Сторонники указанной концепции [5] указывают, что период наиболее интенсивного роста глобальной температуры XX столетия (90-е годы) приходится на восходящую ветвь 60-летнего колебания, выявленного ими в индексах, характеризующих термическое и циркуляционное состояния атмосферы. При этом высказывается предположение, что современные колебания климата являются следствием нелинейных реакций климатической системы (КС) на квазипериодические внешние воздействия (чандлеровские биения полюсов Земли, циклы лунно-солнечных приливов и солнечной активности, циклы обращения наиболее крупных планет солнечной системы вокруг общего центра и т. п.).

Такая неопределенность объясняется исключительной сложностью КС с ее многочисленными обратными связями между компонентами и многомасштабной нелинейной динамикой, дефицитом информации о ее состоянии.

Большое внимание в последние годы стало уделяться природным и социально-экономическим последствиям глобальных и региональных изменений климата. Четко прослеживается антропогенное воздействие на земную поверхность, океаны, побережья и атмосферный воздух, а также на биоразнообразие, круговорот воды и биогеохимические циклы, которые выходят за пределы природной изменчивости. По мнению В.И. Осипова [6], изменение температуры воздуха вызывает развитие ряда процессов в геосферных оболочках Земли, способных оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на природную среду. С последним связано снижение безопасности общества и рост ущербов от стихийных бедствий. Так, в 1995–1999 гг. ежегодных крупных стихийных бедствий по отношению к 1965–1969 гг. в среднем стало втрое больше. Только в Азиатско-Тихоокеанском регионе за последние 30 лет погибло почти 1.4 млн., пострадало же около 4 млрд. человек [7]. Огромный ущерб понесли США, Мексика, Куба и др. страны от тропических ураганов, разгравшихся осенью 2005 г.

Современный период характеризуется активными процессами урбанизации. Стремительно растут города, в которых сегодня проживает каждый третий житель планеты. Воздействие современного города на окружающую природную среду велико и многообразно [8]. В то же время в крупных городах (принято называть так города с населением 500 тыс. человек) под влиянием деятельности человека формируется своя экосистема, изменяется состояние воздушного бассейна (воздух загрязняется) и климата. Характерным для крупных городов является рост температуры в центре города на 1–2°C по сравнению с окрестностями, формирование «острова тепла», снижение скорости ветра, происходят заметные изменения в метеорологическом режиме. Изучению специфики формирования метеорологических и климатических условий в крупных городах посвящена обширная литература. В последние годы ряд интересных материалов по этой проблеме опубликован в Докладах РАН [9, 10]. Этот инте-

рес вполне закономерен, так как постоянно ухудшающаяся экологическая обстановка на планете особенно ярко проявляется на территориях, подвергшихся урбанизации [11]. Не являются исключением и крупные города Среднего Поволжья – Казань и Ульяновск, где метеорологические наблюдения проводятся не одно десятилетие.

В работе рассматриваются изменения температуры воздуха в Казани и Ульяновске за период инструментальных наблюдений (1877–2000 гг.). Для выявления региональных особенностей распределения температуры воздуха рассчитывался ряд статистических параметров за различные периоды XX столетия: 1901–2000, 1961–2000, 1961–1990, 1991–2000 гг., что позволяет охарактеризовать его в целом и по частям, включая самое теплое десятилетие века [12]. Поскольку ведется сравнение полученных результатов для Казани и Ульяновска, то привлекались к рассмотрению дополнительно еще два периода: 1877–1938 и 1939–2000 гг. Естественно, что вначале расчеты выполнялись для всего периода совместных наблюдений: 1877–2000 гг. (табл. 1). Климатические показатели выражают в компактном виде наиболее важные свойства распределений, облегчают анализ и сравнение между собой метеорологических рядов. В работе рассчитывались следующие статистические характеристики: климатическая норма, среднее квадратичное отклонение (СКО), мода, медиана, коэффициенты асимметрии и эксцесса и др.

Ввиду того, что города Казань и Ульяновск находятся в умеренном поясе, отличающемся активной циркуляцией атмосферы, температурные условия характеризуются здесь большой изменчивостью от года к году, что проявляется не только в средних суточных значениях температуры воздуха, но и в средних месячных величинах. Как видно, зима в Ульяновске несколько суровее, чем в Казани.

Максимальное значение среднеиюльской температуры в Ульяновске выше, что объясняется его более южным расположением и предрасположенностью к весенне-летним засухам. Большие межмесячные изменения температуры воздуха отмечаются в Казани и Ульяновске в переходные сезоны года, особенно весной, что видно из табл. 1. Все это свидетельствует о континентальном характере климата региона.

В теплый период изменчивость средних месячных температур воздуха в 1.5–2.5 раза меньше, чем в холодный, что свидетельствует о большей зависимости средних температур от особенностей и характера циркуляции в холодный период.

Сравнение статистических характеристик температуры двух городов за весь период 1877–2000 гг. указывает на их значительное сходство, что объясняется их географической близостью, однородностью физико-географических условий и общим циркуляционным фоном. Этот вывод относится и к распределению по месяцам года коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Так, в Казани, за исключением двух месяцев, (август  $A = 0.61$ , ноябрь  $A = -0.52$ ) асимметрия достаточно мала. В Ульяновске в годовом плане отмечается та же картина (август  $A = 0.63$ , ноябрь  $A = -0.55$ ). Интересно отметить, что в период интенсивного потепления климата, начиная с 1976 г., в ноябре стали чаще отмечаться аномалии холода, что и привело к левосторонней скошенности.

Табл. 1

Основные статистические характеристики температуры воздуха городов Казани и Ульяновска за период 1877–2000 гг.

Характеристика	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Казань													
Среднее	-12.51	-11.51	-5.38	4.54	13.18	18.04	20.08	17.75	11.59	4.09	-3.55	-9.55	3.90
Медиана	-12.20	-11.20	-5.40	4.60	13.10	17.90	20.05	17.45	11.50	4.05	-3.20	-9.30	3.93
Мода	-10.60	-14.40	-8.20	3.80	12.90	17.60	21.30	17.30	11.10	3.10	-2.40	-8.40	4.12
СКО	3.70	3.51	2.68	2.74	2.30	1.99	1.83	1.68	1.90	2.21	2.76	3.47	1.05
Дисперсия	13.71	12.31	7.17	7.51	5.30	3.95	3.34	2.83	3.62	4.90	7.64	12.03	1.09
Эксцесс	-0.37	-0.27	-0.50	-0.14	0.04	-0.17	-0.71	0.59	-0.02	-0.24	-0.01	-0.60	-0.07
Асимметрия	-0.23	-0.07	-0.12	0.24	-0.06	0.24	0.07	0.61	0.14	-0.14	-0.52	-0.17	0.11
Размах	16.10	17.20	12.60	13.20	12.00	9.70	7.90	9.40	9.50	10.50	12.80	15.60	5.42
Минимум	-21.20	-20.20	-12.30	-1.20	6.40	13.60	16.10	14.00	7.20	-1.80	-10.80	-18.50	1.39
Максимум	-5.10	-3.00	0.30	12.00	18.40	23.30	24.00	23.40	16.70	8.70	2.00	-2.90	6.81
Ульяновск													
Среднее	-12.76	-12.19	-6.03	4.51	13.03	17.70	19.65	17.59	11.54	3.90	-3.70	-9.72	3.63
Медиана	-12.25	-12.00	-6.20	4.50	12.90	17.50	19.55	17.30	11.45	3.80	-3.40	-9.75	3.63
Мода	-12.00	-12.00	-6.40	3.80	12.50	18.00	18.60	16.60	9.60	3.50	-2.00	-13.70	3.15
СКО	3.83	3.85	2.78	2.66	2.34	1.87	1.79	1.67	1.87	2.17	2.81	3.43	1.02
Дисперсия	14.69	14.84	7.71	7.05	5.47	3.51	3.21	2.79	3.51	4.69	7.89	11.80	1.03
Эксцесс	-0.28	0.02	-0.55	-0.10	0.18	-0.29	-0.25	0.28	0.22	0.05	0.10	-0.79	0.47
Асимметрия	-0.34	-0.18	0.03	0.18	-0.14	0.24	0.27	0.63	0.26	-0.10	-0.55	-0.13	-0.09
Размах	16.80	19.63	12.60	12.94	13.00	9.00	9.00	9.00	9.40	11.70	12.89	14.00	5.61
Минимум	-22.30	-23.00	-11.90	-1.20	5.80	13.50	16.00	14.10	7.30	-2.50	-11.09	-17.20	0.88
Максимум	-5.50	-3.37	0.70	11.74	18.80	22.50	25.00	23.10	16.70	9.20	1.80	-3.20	6.48

Коэффициент эксцесса среднемесячной температуры здесь так же, как и в Казани, невелик:  $|E| \leq 0.5$  для большинства месяцев (исключение составляют март (-0.55) и декабрь (-0.79)). По годовым данным  $E = 0.47$ . Для зимы эксцесс равен 0.26. Таким образом, кривая распределения температуры для Ульяновска достаточно близка к нормальному распределению.

В табл. 1 дано распределение минимальных и максимальных средних месячных значений температуры для двух городов Среднего Поволжья. Размах колебаний ( $t_{\max} - t_{\min}$ ) в Ульяновске наиболее велик и составляет 19.6°C (февраль), минимум отмечается летом – 9°C в июле. Величина СКО изменяется в пределах от 1.67°C (август) до 3.85°C (февраль). Заметим, что в феврале температурный режим менее устойчив, чем в январе. В Казани также величина размаха колебаний наиболее значительна в феврале – 17.2°C, минимум перепада отмечается в августе (7.90°C), когда  $\sigma = 1.68^\circ\text{C}$ , т. е. межгодовая изменчивость температуры минимальна.

Табл. 2

## Распределение среднемесячных температур воздуха и СКО по периодам

Период	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Казань													
1901–2000	-12.04	-11.39	-5.12	4.96	13.14	18.30	20.09	17.84	11.75	4.13	-3.38	-9.29	4.08
1961–2000	-11.61	-10.34	-3.99	5.71	13.70	18.30	20.20	17.63	11.85	4.54	-3.04	-8.29	4.55
1961–1990	-12.25	-10.64	-4.19	5.42	13.81	17.90	20.16	17.75	11.82	4.17	-2.68	-8.34	4.41
1991–2000	-9.68	-9.44	-3.40	6.55	13.36	19.50	20.32	17.26	11.93	5.63	-4.13	-8.11	4.98
1877–1938	-13.02	-12.05	-6.04	3.87	12.95	17.63	20.09	17.70	11.35	3.93	-3.65	-10.49	3.52
1939–2000	-12.00	-10.98	-4.72	5.21	13.41	18.45	20.06	17.81	11.83	4.25	-3.46	-8.60	4.27
СКО													
1901–2000	3.62	3.71	2.55	2.65	2.38	2.03	1.88	1.74	1.90	2.14	2.71	3.33	1.04
1991–2000	2.72	3.79	1.74	3.10	2.53	1.87	1.81	0.68	2.12	1.53	3.39	2.22	0.94
1877–1938	3.11	3.34	2.65	2.62	2.28	1.79	1.84	1.69	1.89	2.42	2.97	3.33	0.88
1939–2000	4.18	3.61	2.56	2.71	2.32	2.10	1.83	1.69	1.90	1.99	2.56	3.37	1.07
Максимумы													
1901–2000	-5.1	-3.0	0.3	12.0	18.4	23.3	24.0	23.4	16.7	8.7	2.0	-2.9	6.8
Год	1983	1995	1990	1975 1995	1906	1921 1948	1931	1972	1909	1905	1923	1960	1995
Минимумы													
1901–2000	-20.8	-20.2	-12.0	-1.2	6.4	13.6	16.1	14.0	7.8	-1.8	-10.6	-18.5	1.4
Год	1942	1956	1963	1923	1918	1930	1926	1980	1956 1973 1993	1976	1993	1955	1941
Ульяновск													
1901–2000	-12.41	-12.22	-5.96	4.89	12.95	17.88	19.58	17.59	11.65	3.90	-3.57	-9.56	3.73
1961–2000	-11.88	-11.38	-5.16	5.59	13.40	17.76	19.31	17.27	11.68	4.15	-3.18	-8.67	4.07
1961–1990	-12.63	-11.75	-5.33	5.38	13.54	17.42	19.26	17.39	11.66	3.82	-2.75	-8.67	3.95
1991–2000	-9.62	-10.29	-4.65	6.21	12.96	18.77	19.46	16.92	11.74	5.16	-4.45	-8.67	4.46
1877–1938	-13.02	-12.33	-6.26	3.85	12.95	17.49	19.99	17.74	11.44	3.87	-3.72	-10.49	3.46
1939–2000	-12.50	-12.04	-5.79	5.16	13.12	17.91	19.30	17.45	11.64	3.92	-3.68	-8.95	3.79
СКО													
1901–2000	3.83	4.11	2.75	2.57	2.42	1.94	1.80	1.74	1.87	2.12	2.79	3.29	1.06
1991–2000	2.80	4.40	2.37	2.91	2.69	1.91	1.84	0.90	1.98	1.44	3.62	2.40	1.03
1877–1938	3.15	3.48	2.78	2.56	2.38	1.75	1.84	1.68	1.93	2.38	2.97	3.39	0.86
1939–2000	4.42	4.21	2.78	2.60	2.31	1.98	1.68	1.67	1.82	1.95	2.67	3.33	1.13
Максимумы													
1901–2000	-5.5	-3.4	0.7	11.7	18.8	22.5	25.0	23.1	16.7	9.2	1.8	-3.5	6.5
Год	1983	1995	1990	1975 1995	1906	1921 1948	1931	1972	1909	1905	1923	1960	1995
Минимумы													
1901–2000	-22.3	-23.0	-11.9	-1.2	5.8	13.5	16.0	14.1	7.7	-2.5	-11.1	-17.2	0.9
Год	1942	1956	1963	1923	1918	1930	1926	1980	1956 1973 1993	1976	1993	1955	1941

По данным табл. 2 выявляется факт возрастания неустойчивости температурного режима в январе и феврале за период 1939–2000 гг. по сравнению с 1877–1938 гг. как в Казани, так и в Ульяновске, о чем свидетельствует возрастание величин СКО. В то же время, в октябре и ноябре в обоих городах период 1877–1938 гг. был менее устойчивым (значения СКО в Казани достигали, соответственно, 2.42°C и 2.97°C, а в Ульяновске – 2.38°C и 2.97°C), чем более поздний период.

Следует также отметить, что среднегодовые температуры воздуха как в Казани, так и в Ульяновске за период 1939–2000 гг. повысились по отношению к периоду 1877–1938 гг.: в Казани – на 0.75°C, а в Ульяновске – на 0.33°C.росло и значение СКО среднегодовых температур на 0.19°C и 0.27°C соответственно.

Из табл. 2, кроме того, видны особенности годового хода температуры, рассчитанные для XX в. в целом для сравниваемых городов, отмечены годы с максимальными и минимальными значениями среднемесячных температур, представлен годовой ход СКО для различных периодов.

Как и следовало ожидать, для Ульяновска самым теплым является десятилетие 1991–2000 гг. Разность между среднемесячными значениями, рассчитанными по этому десятилетию, и климатической нормой (1961–1990 гг.) особенно велика в январе (3.01°C), в июне она равна 1.36°C. Однако в мае, августе, ноябре температуры были заметно ниже нормы, и эти разности составили, соответственно, –0.58°C (май); –0.47°C (август); –1.70°C (ноябрь).

Интересно отметить, что в Казани аналогичные разности составили 2.57°C в январе; 1.6°C в июне; –0.45°C в мае; –0.49°C в августе; –1.45°C в ноябре. Практически все совпадают по знаку и величине.

Выявленные отрицательные отклонения температуры в мае и ноябре (похолодание) являются характерными для всего востока Европейской части России. Май – последний месяц весны, ноябрь – осени. Весенний возврат холодов обусловлен циркуляционным фактором – затокком арктического воздуха, что может вызывать заморозки и т. п.

При анализе векового хода температуры более естественно использовать гидрологический год (ноябрь–октябрь). В этом случае сохраняется непрерывность зимнего процесса. Анализ динамики среднегодовых значений температур, начиная с 1877 г., в Ульяновске показывает на их систематический рост (положительный тренд). Скорость прироста составляет 0.89°C / 100 лет (коэффициент детерминации – порядка 7%).

Для выявления долгопериодной динамики в климатических изменениях температурные ряды подвергались сглаживанию с помощью низкочастотного фильтра Поттера. Пропускающая способность фильтра Поттера регулировалась таким образом, что при этом полностью подавлялись лишь те циклические колебания температуры, длина периодов которых не достигала 30 лет.

При этом важно отметить, что сравнение сглаженных долгопериодных компонент средней за гидрологический год температуры показывает, что приблизительно до 1901 г. в Ульяновске было теплее на 0.2°C, затем кривые пере-

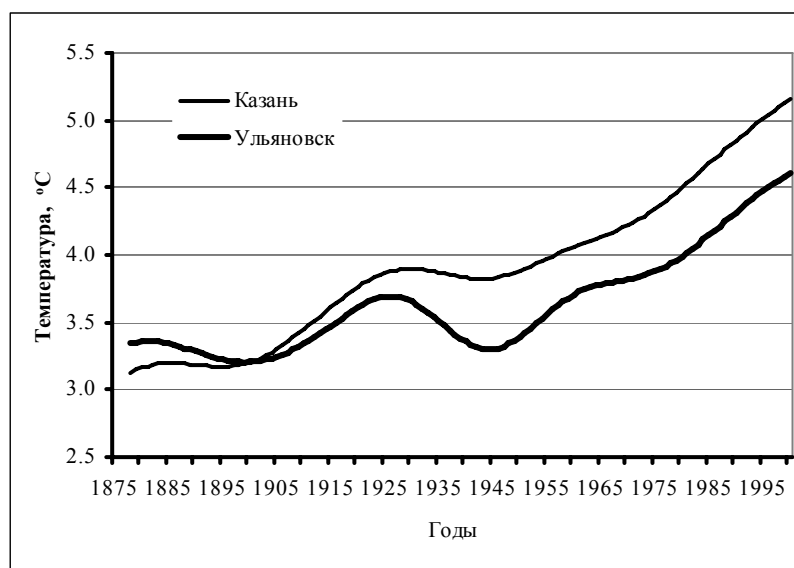


Рис. 1. Долгопериодная компонента (более 30 лет) средней за гидрологический год температуры воздуха на станциях Казань, университет и Ульяновск

секлись, расстояние между ними стало увеличиваться, и начиная с 1965 г. кривые идут параллельно, т. е. процесс стабилизировался (рис. 1).

Таким образом, в XIX в. естественный фактор в формировании городского климата (Ульяновск расположен южнее г. Казани примерно на 200 км) играл первостепенную роль из-за сравнительной малости этих городов. Более южный Волжский город имел более теплый климат, но в XX в. из-за интенсивного развития г. Казани на первое место вышел антропогенный фактор, и разность средних температур между городами стала положительной (до  $0.5^{\circ}\text{C}$ ).

Долгопериодные компоненты (длины периодов более 30 лет) средней температуры холодного периода на ст. Казань, университет и в Ульяновске, вычисленные для января, декабря–февраля, ноября–марта ведут себя синфазно. Начиная с 1895 г. температура в Казани в холодную половину года выше, чем в Ульяновске. Значение разности между городами достигает максимума в 1942 г. Казань теплее Ульяновска в январе на  $1.4^{\circ}\text{C}$ , зимой – на  $1^{\circ}\text{C}$ , в холодный период – на  $0.8^{\circ}\text{C}$  по сглаженным данным. Антропогенный фактор однонаправленного действия способствует росту температуры в крупном городе, однако естественный фактор играет первостепенную роль в формировании долгопериодных колебаний климата. Действительно, начиная с 1945 г. отмечается быстрый подъем температуры рассматриваемых двух городов (восходящая ветвь), уменьшение разностей и проявление синфазных колебаний в ее изменениях, что свидетельствует об их общей физической природе. Вероятнее всего, это – проявление глобального потепления и влияние циркуляции. На графике для января обнаруживаются колебания с периодом 35 лет (рис. 2).

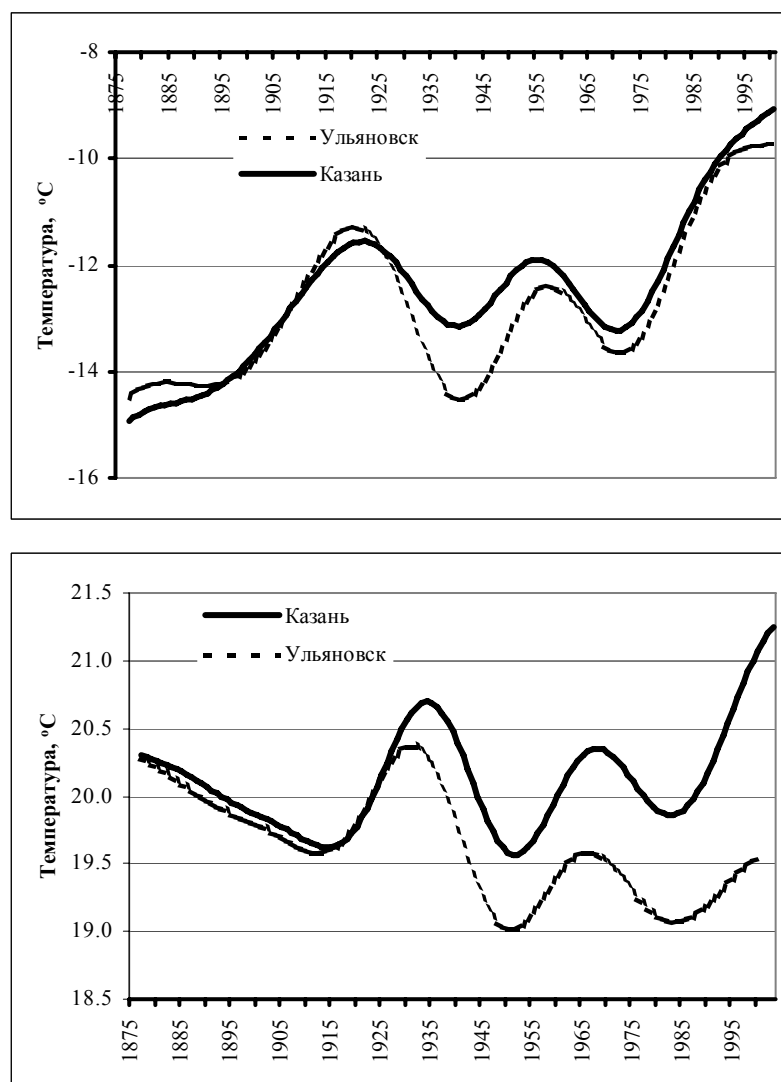


Рис. 2. Долгопериодные компоненты (более 30 лет) средней температуры воздуха на станциях Казань, университет и в Ульяновске в январе (вверху) и в июле (внизу)

В теплый период складывается аналогичная ситуация. Между городами имеет место устойчивое температурное различие (Казань теплее Ульяновска). Эта разница достигает более  $1^{\circ}\text{C}$  в июле 1995 г.,  $0.65^{\circ}\text{C}$  в летний период и  $0.5^{\circ}\text{C}$  в теплый период того же года, т. е. с увеличением временного периода осреднения происходит сглаживание контрастов между станциями. Долгопериодные колебания температуры происходят в обоих городах синфазно во всех случаях: в июле, июне–августе, апреле–октябре. При этом за весь теплый период различия проявляются в меньшей степени, чем в холодный период. С 1895 г. в Казани в зимний период теплее, чем в Ульяновске; с 1920 г. в летний период (июнь–август) температурные различия между городами увеличиваются. В июле картина наиболее сложная – выделяются колебания с периодом порядка 35 лет. С течением времени разности температур между Казанью и Ульянов-



ском в июле, июне–августе, апреле–октябре увеличиваются и достигают следующих значений: в июле – до  $1.7^{\circ}\text{C}$ ; в июне–августе – до  $1.0^{\circ}\text{C}$ , в апреле–октябре –  $0.6^{\circ}\text{C}$ . Долгопериодные составляющие температуры изменяются синхронно (период 30–35 лет).

Кроме того, в работе рассмотрен ряд прикладных климатических характеристик, рассчитанных по данным ст. Казань, университет за 1944–2003 гг. Построены уравнения трендов дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0, 5, 10 и  $15^{\circ}\text{C}$  весной и осенью, согласно которым весной происходит их сдвиг к началу года, а осенью, наоборот, – к более поздним датам. Рассмотрена динамика продолжительности теплого и холодного, вегетационного и отопительного периодов, рассчитаны их средние температуры, суммы активных температур, а также временной ход индекса биологической эффективности климата. Свидетельством формирования острова тепла в городе является обнаруженный факт внутринедельного нарастания температуры от понедельника к выходным в январе на  $1.2^{\circ}\text{C}$  за счет тепловых выбросов.

Обращает также на себя внимание однотипный характер изменения долгопериодной компоненты средней температуры холодного периода, выявленный при дополнительном рассмотрении пяти метеорологических станций – Казани, Больших Кайбиц, Тетюш, Ульяновска и Сенгилея, протянувшихся с севера на юг.

Разность между температурами Ульяновска и Сенгилея повсеместно отрицательная (для холодного периода), сказывается более южное географическое положение Сенгилея, а разность между температурами Казани и Б. Кайбиц – уже положительная (роль крупного города сказывается более эффективно, чем географическое положение).

Долгопериодные компоненты ( $\tau > 30$  лет) средней температуры теплого периода на всех станциях испытывают колебания ( $\tau \sim 35$  лет). В июле в Казани теплее, причем колебания июльских температур двух городов (Казань, Ульяновск) синфазные, в июне–августе картина сложнее. В целом за теплый период (апрель–октябрь) обнаруживается заметное различие между Сенгилеем, Казанью и Ульяновском, с одной стороны, и пунктами Б. Кайбицы, Тетюши, с другой, где температура заметно ниже.

Рассмотрена также роль атмосферной циркуляции в изменчивости температурного режима региона. Как известно, циркуляционный фактор является одним из климатообразующих. Циркуляция подвержена пространственно-временным изменениям. Для характеристики ее интенсивности и направленности используются различные параметры. К наиболее известным критериям классификации атмосферной циркуляции относятся зональный и меридиональный индексы циркуляции Каца.

В работе были рассчитаны индексы зональной  $I_3$  и меридиональной  $I_m$  циркуляций Каца по известной методике для Приказанского региона  $50\text{--}60^{\circ}$  с.ш. и  $40\text{--}60^{\circ}$  в.д. для периода 1873–2003 гг. по данным о давлении в узлах регулярной сетки  $2.5 \times 2.5^{\circ}$ . Затем полученные значения  $I_3$  и  $I_m$  подверглись статистической обработке и анализу параллельно с температурой в г. Казани и Ульяновске. Индексы зональной и меридиональной циркуляции испытывают ярко выраженный годовой ход (рис. 3).

Дифференцированный анализ поведения линейных трендов и низкочастотных компонент  $I_3$  и  $I_m$  показал, что в январе, зимой и в холодный период произошли существенные структурные изменения в режиме атмосферной циркуляции. Если до 1970-х гг. индексы Каца изменялись синфазно, то затем зональная компонента значительно возросла, а меридиональная стала понижаться. В январе прослеживается 50-летний цикл колебаний. Коэффициент наклона линейного тренда испытывает слабый рост наиболее заметный в зимний период. При этом, если температура воздуха имеет значительную тенденцию роста особенно в январе ( $3.1^\circ\text{C} / 100$  лет), то индексы атмосферной циркуляции подвержены более слабым изменениям как в зимний, так и в летний период.

Для научных и практических целей важно знать степень корреляционной зависимости температуры воздуха от изменений циркуляции. Расчеты коэффициентов линейной корреляции производились между температурой воздуха в Казани и Ульяновске и значениями индексов  $I_3$  и  $I_m$  для различных месяцев.

В табл. 3 приводятся данные, характеризующие тесноту корреляционных связей между изменениями термического и циркуляционного режимов региона для трех временных периодов: 1877–2000, 1877–1938 и 1939–2000 гг. Выявилось, что в более поздний период (1939–2000 гг.) связь между температурным и циркуляционным режимами стала более тесной. Так, для января, зимы и холодного периода в целом величины коэффициентов корреляции между температурой и зональным индексом заметно возросли. При этом различия в значениях коэффициентов корреляции, рассчитанных для Казани и Ульяновска не существенны ввиду их географической близости. Связь между температурой и зональным индексом в холодный период положительная. Западные потоки способствуют росту температуры. Однако в июле и в летний период значения коэффициентов корреляции заметно уменьшаются по величине и становятся отрицательными (как в течение всего теплого периода). В более ранний период (1877–1938 гг.) характер связей между температурой и циркуляцией сохранялся (в холодный период  $r > 0$ , в теплый  $r < 0$ ), однако не было существенных различий по величине  $r$  между зимним и летним периодами.

Меридиональная циркуляция оказывает существенно меньшее влияние на термический режим в холодный период по сравнению с зональной. Об этом свидетельствуют небольшие по величине значения коэффициентов корреляции, рассчитанные между температурой и индексом меридиональной циркуляции. В теплый период происходит существенный рост величин  $r$ , особенно в 1939–2000 гг. При этом значения коэффициентов корреляции положительны, что свидетельствует о преобладающем влиянии меридиональной циркуляции на температурный режим.

С целью выявления динамики процесса были рассчитаны также скользящие 31-летние значения коэффициента линейной корреляции между температурой воздуха в Казани и индексами циркуляции в январе, декабре–феврале и ноябре–марте. В январе имеет место ярко выраженный положительный тренд коэффициента корреляции между температурой и зональным индексом. Уравнение тренда  $y = 0.0039 \tau + 0.4226$  (рис. 4). Видно что, с 1888 по 1988 гг. величина коэффициента корреляции возросла от 0.4 до 0.8. С меридиональным индексом корреляция более слабая, и также произошел ее рост от 0 до 0.4. В зим-

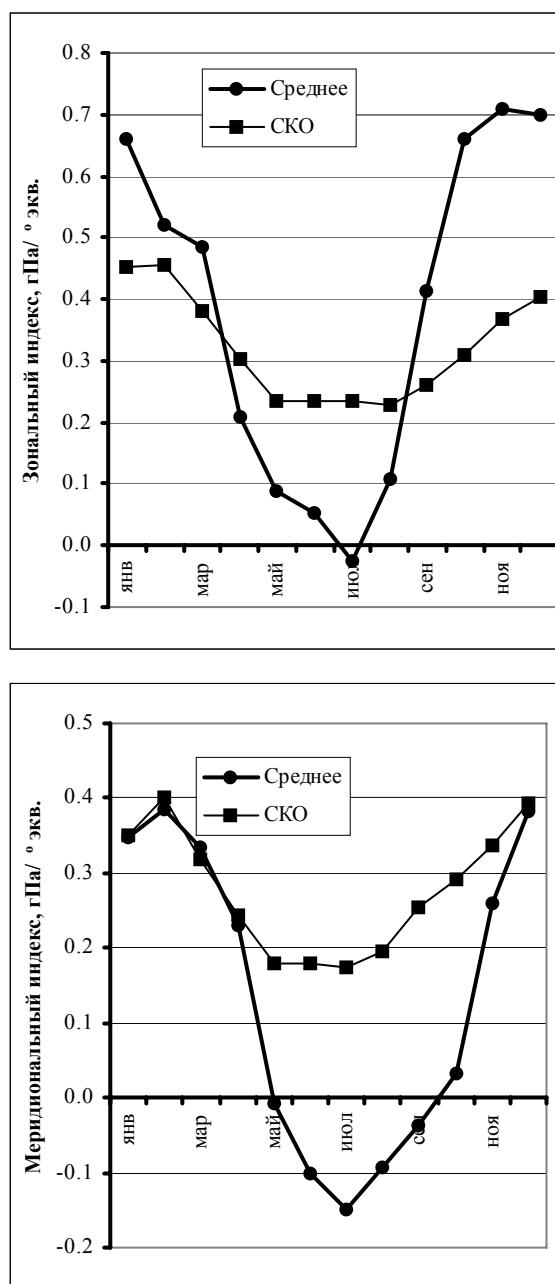


Рис. 3. Годовой ход параметров индексов циркуляции Каца в Приказанском регионе

ний и холодный период в целом картина более сглаженная, но тенденция усиления отмеченной связи сохраняется.

Корреляционная связь между температурой и зональной циркуляцией в течение всего теплого периода имеет отрицательный знак, и со временем происходит ее рост по абсолютной величине, с меридиональной же циркуляцией, за исключением июля, связь положительная и она несколько возрастает с 1888 до 1988 гг.

Табл. 3

Коэффициенты линейной корреляции между температурой воздуха в Казани и Ульяновске и значениями зонального и меридионального индексов циркуляции в Приказанском регионе

Коэф. корреляции	Месяцы	Период					
		1877–2000		1877–1938		1939–2000	
		Казань	Ульяновск	Казань	Ульяновск	Казань	Ульяновск
$r(T, I_z)$	I	0.60	0.62	0.44	0.44	0.74	0.75
	XII–II	0.63	0.64	0.53	0.55	0.73	0.71
	XI–III	0.53	0.56	0.42	0.46	0.68	0.66
	VII	–0.53	–0.49	–0.55	–0.50	–0.51	–0.52
	VI–VIII	–0.46	–0.44	–0.46	–0.45	–0.46	–0.46
	IV–X	–0.20	–0.21	–0.16	–0.16	–0.33	–0.29
$r(T, I_m)$	I	0.21	0.17	0.02	–0.01	0.31	0.27
	XII–II	0.04	0.04	–0.09	–0.09	0.06	0.07
	XI–III	0.14	0.12	0.04	0.05	0.15	0.15
	VII	0.44	0.42	0.39	0.37	0.50	0.44
	VI–VIII	0.32	0.30	0.28	0.20	0.42	0.38
	IV–X	0.32	0.36	0.38	0.41	0.35	0.35

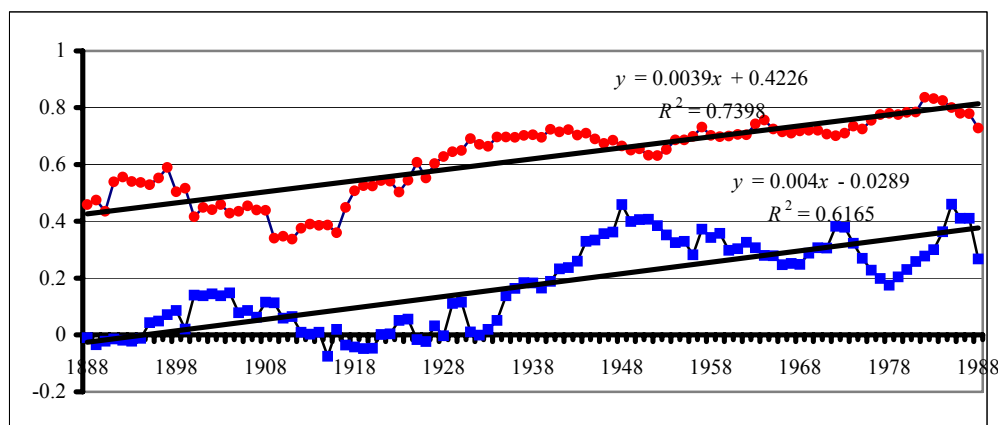


Рис. 4. Скользящие 31-летние значения коэффициента линейной корреляции между температурой воздуха в Казани и индексами циркуляции  $I_3$  (вверху) и  $I_m$  (внизу) в январе

### Summary

*Y.P. Perevedentsev, R.Kh. Salakhova, E.P. Naumov, K.M. Shantalinsky.* The dynamics of temperature regime in Kazan and Ulyanovsk.

The main statistic characteristics of temperature regime in Kazan and Ulyanovsk at the period from 1877 to 2000 years are observed.

## Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений в состоянии климата, изменчивости и экстремальности климата // Всемирная конф. по изменению климата. – М., 2004. – С. 28–30.
2. Всемирная конференция по изменению климата. Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г. Тр. – М., 2004. – 624 с.
3. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 5. – С. 5–21.
4. Изменения климата, 2001 г. // Обобщенный докл. ВМО. – ЮНЕП, 2001. – 420 с.
5. Даценко Н.М., Монин А.С., Сонечкин Д.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Докл. РАН. – 2004. – Т. 399, № 2. – С. 253–256.
6. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестн. РАН. – 2001. – Т. 71, № 4. – С. 291–302.
7. Угрозы земных стихий // Наука в России. – 2005. – № 1. – С. 5–9.
8. Владимиров В.В. Урбоэкология. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. – 203 с.
9. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. О роли основных примесей в формировании и колебаниях климата Земли // Докл. РАН. – 2005. – Т. 401, № 3. – С. 399–402.
10. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Докл. РАН. – 1998. – Т. 367, № 2. – С. 253–256.
11. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 159 с.
12. Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Салахова Р.Х., Тудрий В.Д., Шанталинский К.М. Современные изменения климата в Среднем Поволжье (на примере Казани и Ульяновска). – Казань: Казан. гос. ун-т, 2005. – 74 с.

Поступила в редакцию  
19.04.06

---

**Переведенцев Юрий Петрович** – доктор географических наук, профессор, декан факультета географии и геоэкологии Казанского государственного университета.

E-mail: [Yuri.Perevedentsev@ksu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@ksu.ru)

**Салахова Рауиле Халимуловна** – зам. директора по научной работе государственного историко-мемориального заповедника «Родина В.И. Ленина», г. Ульяновск.

E-mail: [zapoved@mv.ru](mailto:zapoved@mv.ru)

**Наумов Эдуард Петрович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

**Шанталинский Константин Михайлович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

E-mail: [Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru](mailto:Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru)