

УДК 551.515

СВЯЗЬ АНОМАЛИЙ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В г. ПЕРМИ С ФОРМАМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ КАЦА

Н.А. Калинин

Аннотация

По рассчитанным индексам за каждый день с декабря 1999 г. по ноябрь 2005 г. определены формы атмосферной циркуляции А.Л. Каца. Вычислены их средняя продолжительность и вероятность взаимного преобразования. Рассчитаны аномалии среднесуточной температуры воздуха в различные месяцы, холодный (октябрь – март) и теплый (апрель – сентябрь) периоды в г. Перми и дана характеристика связи этих аномалий с формами атмосферной циркуляции Каца.

Ключевые слова: индексы атмосферной циркуляции, формы атмосферной циркуляции, температура воздуха.

Известно, что все метеорологические величины и явления зависят от характера и интенсивности атмосферной циркуляции, а прогноз погоды основывается на прогнозе синоптического положения атмосферных процессов. Таким образом, для того чтобы правильно рассчитать все погодные характеристики, необходимо знать, каким образом они связаны с атмосферной циркуляцией. Эта задача наиболее актуальна для температуры воздуха как одного из главных элементов прогноза погоды [1–3].

Цель настоящей работы заключается в исследовании связи между аномалиями среднесуточной температуры воздуха в г. Перми и формами атмосферной циркуляции А.Л. Каца.

В качестве исходного материала для расчета индексов атмосферной циркуляции Каца использовалась электронная версия синоптических бюллетеней Северного полушария за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г. (карты изобарической поверхности AT_{500} за 0 ч Международного согласованного времени), любезно предоставленных директором Гидрометцентра России Р.М. Вильфандом [4]. Значения среднесуточной температуры воздуха за указанный временной интервал были рассчитаны на основе срочных данных метеорологической станции аэропорта Большое Савино (Пермь).

Индексы атмосферной циркуляции Каца вычислялись в целом для района 40° з.д. – 100° в.д., в зоне 40 – 70° с.ш. и отдельно по северной и южной зонам района (40 – 55 и 55 – 70° с.ш.) [5].

При расчете индекса зональной циркуляции I_3 для северной зоны $\varphi_2 = 70^\circ$, $\varphi_1 = 55^\circ$, а $\varphi_2 - \varphi_1 = 15^\circ$. Для южной зоны $\varphi_2 - \varphi_1 = 55^\circ - 40^\circ = 15^\circ$, $i =$

15 – число меридианов, по которым считается пересечение изогипс в широтной зоне 70–55° (для северной зоны) или 55–40° (для южной зоны) в долготном интервале λ_1, λ_2 от 40° з.д. до 100° в.д. с шагом $\Delta\lambda = 10^\circ$. Таким образом, рабочая формула для расчета индекса зональной циркуляции I_3 будет выглядеть следующим образом:

$$I_3 = \frac{1}{225} 4 \sum_1^4 n_i. \quad (1)$$

При расчете n_i (число пересечений изогипс поверхности AT_{500} с пятнадцатью меридианами в каждой зоне между долготами φ_2 и φ_1) направления переноса с запада на восток (n_3) считают положительными, а направления переноса с востока на запад – отрицательными (n_B). Поэтому $n_i = n_3 - n_B$. Обычно $n_i > 0$. Индекс I_3 определяют отдельно для северной и южной зон.

При расчете индекса меридиональной циркуляции I_M $\lambda_2 - \lambda_1 = 100^\circ$ в.д. – 40° з.д. = 140°, $j = 4$ (северная зона – 70°, 65°, 60° и 55°, южная – 55°, 50°, 45° и 40°) – число параллелей, на которых считаются пересечения изогипс поверхности AT_{500} в долготной зоне $\lambda_2 - \lambda_1 = 140^\circ$. Для северной зоны

$$\overline{\cos \varphi} = \frac{1}{4} (\cos 70^\circ + \cos 65^\circ + \cos 60^\circ + \cos 55^\circ) = 0.46,$$

для южной

$$\overline{\cos \varphi} = \frac{1}{4} (\cos 55^\circ + \cos 50^\circ + \cos 45^\circ + \cos 40^\circ) = 0.67.$$

Таким образом, рабочая формула для расчета индекса меридиональной циркуляции I_M имеет следующий вид:

$$I_M = \frac{1}{560 \overline{\cos \varphi}} 4 \sum_1^4 m_j. \quad (2)$$

При расчете m_j (число пересечений изогипс поверхности AT_{500} с четырьмя параллелями в долготной зоне λ_2 и λ_1) все пересечения считаются положительными, то есть $m_i = m_{Ю} + m_C$, где $m_{Ю}$ – перенос с юга на север, m_C – перенос с севера на юг. Индекс I_M считают отдельно для северной и южной зон.

Общий индекс $I_O = I_M / I_3$ также вычитают отдельно для северной и южной зон. Он дает возможность отнести синоптические процессы либо к зональному, либо к меридиональному типу [5].

Индексы атмосферной циркуляции Каца были рассчитаны за каждый день с декабря 1999 г. по ноябрь 2005 г. На основании общего индекса были определены случаи с зональной и меридиональной циркуляцией, а затем по соотношению знаков зональных градиентов геопотенциала AT_{500} на участках Лондон – Киев и Киев – Оренбург [5], устанавливались формы меридиональной циркуляции (западная (З), центральная (Ц), восточная (В) или смешанная (С)). В табл. 1 приведена средняя продолжительность форм атмосферной циркуляции Каца за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г.

Как следует из этих данных, зимой наибольшая средняя продолжительность на пространстве I естественного синоптического района отмечается у западной

Табл. 1

Средняя продолжительность (дни) форм атмосферной циркуляции Каца за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г.

Период	Зональный тип	Меридиональный тип циркуляции по А.Л. Кацу			
		З	Ц	В	С
Зима	7	24	18	9	32
Весна	4	16	32	12	28
Лето	11	13	37	11	20
Осень	9	12	35	10	25

и смешанной форм циркуляции (суммарно эти формы занимают 56 дней), а наименьшая – у центральной и восточной форм (всего 27 дней), а также зональных процессов. Это объясняется сезонным влиянием подстилающей поверхности и полностью согласуется с многолетними характеристиками тропосферной циркуляции в холодную половину года. При этом над Атлантическим океаном развивается гребень тепла, который образуется вследствие того, что зимой океан теплее суши, и за счет западного переноса смещается от океана на восток с осью, расположенной восточнее Великобритании. Таким образом, в холодный период года меридиональные процессы З и С имеют общую особенность – над восточными районами Северной Атлантики и Западной Европой располагается высотный гребень, который над Европейской территорией России сменяется высотной ложбиной, что характерно для карт многолетних средних значений H_{500} [3, 6]. Две другие формы циркуляции – меридиональные процессы Ц и В – характеризуются противоположной локализацией высотных гребней и ложбин. Гребни расположены над центральной частью Евразии, а ложбины – над Западной Европой и прилегающей частью Атлантического океана. В холодную половину года такая локализация не может быть поддержана обычным состоянием подстилающей поверхности (океан теплее суши), поэтому принято считать формы З и С зимними [3].

В то время как в холодную половину года формы З и С являются преобладающими, летом, наоборот, на них приходится всего 33 дня. Наиболее часто повторяющейся в это время года оказывается форма Ц, на которую приходится 37 дней. Второе место по повторяемости летом занимает форма С (20 дней), хотя это не является характерным событием в многолетнем режиме [7] и может быть связано с недостаточно большим периодом исследования. При этом суммарно процессы Ц и В составляют 48 дней, поэтому данные формы условно называют летними процессами [3].

Весной и осенью каких-либо ярких различий в повторяемости меридиональных форм атмосферной циркуляции не обнаружено. Весной суммарная продолжительность форм З и С и форм Ц и В одинакова – 44 дня. Осенью формы З и С наблюдались всего 37 дней, формы Ц и В – 45 дней. Так как весна и осень являются переходными сезонами, то заметного контраста между материком и океаном нет, поэтому и каких-либо заметных различий в повторяемости форм меридиональной циркуляции Каца не существует.

Проанализируем далее преобладание форм атмосферной циркуляции Каца, определив вероятность их взаимного преобразования. Соответствующие

Табл. 2

Преимственность (число случаев/%) форм атмосферной циркуляции Каца

Исходный процесс	Последующий процесс					Число случаев	% от общего числа случаев
	Зональный	З	Ц	В	С		
Зональный	–	7/18	10/25	5/12	18/45	40	11
З	7/10	–	23/34	0	38/56	68	18
Ц	13/13	25/25	–	32/31	32/31	102	28
В	3/6	3/6	20/41	–	23/47	49	13
С	11/10	44/40	38/35	16/15	–	109	30

расчеты, которые проводились для процессов, имеющих продолжительность не менее двух дней, то есть без учета исходных процессов-однодневок, приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что зональный процесс чаще всего (в 45% случаев) переходит в форму С. Меридиональные формы З, Ц и В также чаще всего переходят в форму С: соответственно в 56%, 31% и 47% случаев. Одной из главных причин является то обстоятельство, что форма С наблюдается чаще всего (30% всех рассмотренных за данный период случаев). Довольно высокий процент взаимных преобразований форм З и Ц, В и Ц, а также Ц с З и В. Этой особенности также легко найти объяснение, которое заключается в том, что эти формы близки друг другу в диагностическом плане и небольшое смещение осей гребней и ложбин приводит к данным преобразованиям. А вот форма З ни разу не преобразовалась в форму В, а форма В только 3 раза (всего 6%) преобразовывалась в форму З (табл. 2). Объясняется это тем, что на месте гребня одной формы наблюдается ложбина другой, и наоборот, поэтому случаи взаимной перестройки этих форм, которые минуют промежуточные формы Ц или С, наблюдаются крайне редко.

Для того чтобы дать характеристику аномалий среднесуточной температуры воздуха в г. Перми при различных формах атмосферной циркуляции Каца, определимся прежде всего с расчетом этой аномалии, которая вычислялась как отклонение среднесуточной температуры воздуха за каждый день месяца (T_i) от среднемесячной температуры (T_{cp}). При этом последняя представляла собой:

- 1) среднемесячную температуру данного месяца данного года;
- 2) среднее значение T_{cp} для каждого месяца, рассчитанное за весь исследуемый период (1999–2005 гг.);
- 3) климатические значения среднемесячной температуры воздуха ($T_{cp \text{ клим}}$), выписанные из Научно-прикладного справочника по климату СССР [8].

Отдельно для каждой формы циркуляции Каца были найдены средние аномалии за месяц. Затем для каждого месяца по каждой форме рассчитывалась средняя аномалия за исследуемый период.

Предварительно были рассчитаны среднемесячная температура за каждый год исследуемого периода и средние значения указанного параметра за весь период. Табл. 3 содержит результаты вычислений и климатические значения среднемесячной температуры воздуха.

Табл. 3

Среднемесячная температура воздуха в г. Перми за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г.

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1999	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–5.9
2000	–10.5	–7.3	–2.3	7.2	8.2	17.9	20.9	14.7	8.3	2.5	–6.9	–13.1
2001	–10.3	–15.2	–3.4	6.3	12.6	14.6	18.0	15.0	10.8	0.4	–4.9	–15.1
2002	–11.0	–5.0	–2.1	2.6	7.8	14.0	18.7	11.7	10.1	1.4	–4.4	–19.9
2003	–12.8	–13.6	–4.2	4.4	12.2	13.8	18.9	19.2	10.5	5.6	–5.1	–5.3
2004	–9.5	–10.0	–3.4	–0.8	13.0	15.4	21.3	16.1	11.1	2.0	–3.8	–12.1
2005	–10.4	–15.1	–7.1	5.3	14.9	15.3	19.0	16.4	11.0	4.5	–0.6	–6.7
$T_{\text{ср}}$	–10.8	–11.0	–3.8	3.7	11.4	15.2	19.5	15.5	10.3	2.7	–4.3	–11.2
$T_{\text{ср клим}}$	–15.3	–13.4	–6.9	2.6	10.2	15.7	18.0	15.4	9.3	1.4	–6.3	–12.7

Интересным моментом в этих данных является то, что начиная с зимы 2000–2001 гг. минимум температуры отмечался не в январе, который принято считать на Урале самым холодным месяцем года, а в декабре (зимы 2001–2002 и 2002–2003 гг.) или в феврале (зимы 2000–2001, 2003–2004 и 2004–2005 гг.). Минимальное среднее значение в исследуемом периоде также приходится на декабрь. Максимум температуры в 2003 г. отмечался не в июле, а в августе.

Следует отметить и тот факт, что для всех месяцев, за исключением июня, значения среднемесячной температуры, осредненные за рассматриваемый период, превышают климатические данные на 0.1°C (август) – 4.5°C (январь). Это свидетельствует о том, что наблюдается некоторое повышение температуры воздуха в последние годы по сравнению с нормой, рассчитанной за период 1883–1980 гг. [8–11].

Данные табл. 3, а также значения среднемесячной температуры воздуха, представленные в [8], позволили рассчитать аномалии среднесуточной температуры воздуха в различные месяцы, в холодный (октябрь – март) и теплый (апрель – сентябрь) периоды года при зональной циркуляции, а также разных формах меридиональной атмосферной циркуляции Каца. Результаты этих расчетов представлены в табл. 4–6 соответственно для трех вариантов расчета.

При сопоставлении данных трех таблиц видно, что наиболее значительны аномалии, рассчитанные как отклонение от климатических данных. Это подтверждает тот факт, что при большом периоде осреднения циркуляционные особенности учитываются в меньшей степени.

Согласно [3], в холодный период года на Урале при зональной циркуляции отмечается положительная аномалия температуры воздуха, а в теплый период отклонения от нормы практически отсутствуют. Наши расчеты в целом подтверждают этот вывод.

Особенно отчетливо это проявляется при рассмотрении результатов 3-го варианта расчета, где аномалия составляет 0.9°C в теплый период и 5.4°C в холодный. Исключение составляет май, для которого аномалия принимает значения -3.4°C , -2.2°C , -1.7°C соответственно для 1-го, 2-го и 3-го вариантов расчета. В декабре при 1-м варианте расчета аномалия составляет также -2.1°C (табл. 4).

Табл. 4

Аномалии среднесуточной температуры воздуха в различные месяцы, холодный (ХП) и теплый (ТП) периоды при разных формах циркуляции (ФЦ) Каца за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г. (1-й вариант расчета)

ФЦ	Месяц												ХП	ТП
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Зон.	2.7	3.6	1.6	1.7	-3.4	1.9	0.4	1.8	1.9	0.6	4.2	-2.1	1.7	0.7
З	-2.4	-2.3	-0.3	-3.3	-3.0	-1.6	-2.5	-2.1	-2.1	0.7	-1.2	-1.0	-1.1	-2.4
Ц	0.7	-2.7	-2.1	-1.2	0.1	-1.3	-1.6	-0.1	-1.7	-1.0	-0.6	-0.5	-1.0	-1.0
В	0.4	3.1	3.3	2.7	0.8	0.8	2.1	-0.1	2.6	2.1	2.7	-0.9	1.8	1.5
С	0.6	1.8	1.3	-0.1	2.0	2.5	1.3	0.5	0.8	0.8	-0.1	1.5	1.0	1.2

Табл. 5

Аномалии среднесуточной температуры воздуха в различные месяцы, холодный (ХП) и теплый (ТП) периоды при разных формах циркуляции (ФЦ) Каца за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г. (2-й вариант расчета)

ФЦ	Месяц												ХП	ТП
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Зон.	2.4	6.0	2.6	0.7	-2.2	0.7	0.1	0.7	1.6	1.1	4.4	1.5	3.0	0.3
З	-2.9	-2.5	-0.6	-4.9	-3.9	-2.0	-2.8	-2.1	-1.8	0.0	-0.5	-0.6	-1.2	-2.9
Ц	0.7	-3.4	-2.1	-1.9	-0.7	-1.3	-2.0	-0.8	-1.8	-1.7	-0.7	-1.0	-1.4	-1.4
В	0.9	2.3	3.2	4.6	2.9	0.9	2.8	0.3	2.5	3.7	1.4	3.3	2.5	2.3
С	1.0	1.7	1.3	-0.3	3.5	3.1	1.9	2.0	0.9	1.5	0.3	0.1	1.0	1.9

Табл. 6

Аномалии среднесуточной температуры воздуха в различные месяцы, холодный (ХП) и теплый (ТП) периоды при разных формах циркуляции (ФЦ) Каца за декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г. (3-й вариант расчета)

ФЦ	Месяц												ХП	ТП
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Зон.	6.5	9.1	6.4	2.0	-1.7	0.3	1.6	0.6	2.4	2.1	5.6	2.6	5.4	0.9
З	1.4	0.9	3.2	-3.6	-3.4	-2.5	-1.3	-2.1	-0.9	1.0	0.7	0.3	1.2	-2.3
Ц	4.9	-0.2	1.8	-0.6	-0.2	-1.7	-0.6	-0.8	-0.9	-0.7	0.5	-0.2	1.0	-0.8
В	5.3	5.5	7.0	6.0	3.4	0.4	4.4	0.2	3.4	4.7	2.7	4.2	4.9	3.0
С	5.4	4.9	5.1	1.0	4.1	2.7	3.5	2.0	1.7	2.4	1.5	0.9	3.4	2.5

При форме З в холодное и теплое полугодия отмечаются отрицательные аномалии температуры воздуха, что также подтверждает известный вывод, представленный в [3]. Исключением является аномалия холодного полугодия, рассчитанная как отклонение от климатической нормы, которая составляет 1.2 °С.

Форма Ц должна давать отрицательные аномалии в холодный период и положительные – в теплый [3]. Наши расчеты подтверждают этот вывод только в холодный период года при 1-м и 2-м вариантах расчета. В теплый период, согласно данным табл. 4–6, при всех вариантах расчета отмечается отрицательная аномалия от -0.8 °С до -1.4 °С. Вероятнее всего, это объясняется тем, что формы циркуляции Каца характеризуют атмосферную циркуляцию на довольно

большом пространстве и в сравнительно небольших регионах I естественного синоптического района, сравнимых по размерам с территорией Пермского края, одна и та же форма циркуляции Каца может содержать несколько различных местных циркуляций, которые, в свою очередь, формируют не всегда типичный температурный фон, как это наблюдалось при форме Ц в теплый период года в Перми.

При форме В во все месяцы года для всех вариантов расчета наблюдались положительные аномалии среднесуточной температуры воздуха (за исключением декабря и августа при 1-м варианте расчета – табл. 4). Это в целом соответствует распределению изаномал, представленных в [3], однако разброс значений довольно велик: 1-й вариант расчета – от 2.7 °С в апреле до 0.4 °С в январе и –0.9 °С в декабре (табл. 4); 2-й вариант расчета – от 4.6 °С в апреле до 0.3 °С в августе (табл. 5); 3-й вариант расчета – от 7.0 °С в марте до 0.2 °С в августе (табл. 6). Отчасти этот разброс можно объяснить небольшим числом случаев с данной формой циркуляции.

Форма С дает следующий разброс аномалий: от 2.5 °С в июне, до –0.1 °С в ноябре и апреле при 1-м варианте расчета; от 3.5 °С в мае до –0.3 °С в апреле при 2-м варианте расчета; от 5.4 °С в январе до 0.9 °С в декабре при 3-м варианте расчета, чем формирует типичный температурный режим в выбранном нами периоде (декабрь 1999 г. – ноябрь 2005 г.) [3].

В заключение сделаем следующие выводы.

Наиболее значительны аномалии, рассчитанные как отклонение от климатических значений среднемесячной температуры воздуха.

В целом зональная циркуляция и формы меридиональной атмосферной циркуляции Каца за исследуемый период формируют в районе г. Перми температурный режим, определенный ранее в исследованиях А.Л. Каца. Однако при долгосрочном прогнозе температуры воздуха, основанном на связи атмосферной циркуляции и погодных характеристик, необходимо более детальное исследование циркуляционных особенностей на территории Пермского края для определения подтипов как зональной циркуляции, так и форм меридиональной циркуляции Каца.

Работа выполнена при поддержке Ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/4984).

Summary

N.A. Kalinin. A Connection of the Average Daily Temperature in Perm City with Kats's Forms of Atmospheric Circulation.

By the calculated indices for each day from December 1999 till November 2005, A.L. Kats's forms of atmospheric circulation have been determined. Their average duration and probability of interconversion have been computed. The anomalies of average daily temperature for different months of cold (October to March) and warm (April to September) periods in Perm city have been estimated. The connection between these anomalies and Kats's forms of atmospheric circulation has been characterized.

Key words: atmospheric circulation indices, atmospheric circulation forms, atmospheric temperature.

Литература

1. *Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И.* Долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.
2. *Воробьев В.И.* Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
3. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3–10 дней. Часть 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 352 с.
4. Синоптический бюллетень. Северное полушарие. Часть 1. Электронная версия. Гидрометцентр России. – НПЦ «МЭп Мейкер», 1999–2005.
5. *Бауман И.А., Кондратович К.В., Савичев А.И.* Практикум по долгосрочным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 104 с.
6. *Кац А.Л.* Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 270 с.
7. *Гирс А.А., Кондратович К.В.* Методы долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 344 с.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 9. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 557 с.
9. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. – Казань. Изд-во Казан. ун-та, 2004. – 320 с.
10. *Калинин Н.А., Ермакова Л.Н., Аликина И.Я.* Особенности формирования высокой температуры воздуха в сентябре – октябре 2003 г. на Среднем и Южном Урале // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 5. – С. 82–89.
11. *Калинин Н.А., Кислов А.В., Бабина Е.Д., Ветров А.Л.* Оценка качества воспроизведения моделью MM5 температуры воздуха в июле на Урале // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 10. – С. 15–22.

Поступила в редакцию
24.10.11

Калинин Николай Александрович – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета.

E-mail: kalinin@psu.ru