

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.58

*В.П. Горбатенко, И.И. Ипполитов, С.В. Логинов, Н.В. Поднебесных, Е.В. Харюткина*

## РОЛЬ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ФАКТОРОВ В ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА СИБИРИ

Представлен анализ тенденций в значениях средних месячных температур воздуха и давления на фоне изменчивости параметров циклонической и антициклонической активности над территорией Сибири за 1976–2006 гг. Обнаружено, что годовая температура воздуха растет в основном в феврале, марте, мае и октябре. Увеличение средних значений температуры воздуха в феврале и марте является результатом усиления циклонической активности. В мае и в октябре температура воздуха растет в результате совместного влияния двух факторов: радиационного (увеличения продолжительности антициклональной погоды) и адвективного (затoka воздуха с южных широт).

**Ключевые слова:** температура воздуха; тренд; циклоны; антициклоны.

Проблеме изменения климата на планете уделяется в настоящее время большое внимание. Наблюдения показывают увеличение приземной температуры воздуха как в среднем для земного шара, так и для отдельных регионов суши [1. С. 12]. Одной из возможных причин наблюдаемого потепления могут быть вариации общей циркуляции атмосферы [2. С. 680].

По результатам анализа температурного режима Сибири выявлены районы, где скорость потепления превышает  $0,5^{\circ}\text{C}/10$  лет [3. С. 344], т.е. на порядок больше, чем для Северного полушария Земли в целом [1. С. 12]. Для понимания причин происходящих изменений климата требуется анализ воздействия на рассматриваемую территорию множества климатообразующих факторов. Поскольку темпы потепления в различных географических регионах неодинаковы [1. С. 12], они могут быть обусловлены отклонением от многолетних норм характеристик региональной циркуляции. Особенности в динамике региональной циркуляции можно обнаружить по характеристикам циклонической и антициклонической активности, в том числе наблюдая за изменчивостью траекторий перемещения барических образований над исследуемой территорией.

В работе [4. С. 36] представлена динамика крупномасштабной вихревой активности над территорией Сибири за период 1976–2006 гг. Циклоны (Zn) и антициклоны (Az) классифицированы по месту их зарождения и траекториям выхода на исследуемую территорию. Изучены их основные характеристики (давление в центре, градиент давления между центром и периферией), частота выхода в разные сезоны года. Причем как по результатам анализа синоптических карт, так и по результатам реанализа было установлено [5. С. 41] увеличение числа дней с антициклональной погодой к концу исследуемого периода (за исключением зимнего сезона). Это не могло не отразиться на тепловом режиме изучаемой территории. Представляется актуальным тщательный анализ тенденций в изменении уровня средних значений температуры воздуха на фоне обнаруженной изменчивости параметров циклонической и антициклонической активности над территорией Сибири в разные месяцы года за климатически значимый период.

Целью настоящих исследований является сравнение изменчивости средних по территории значений давления и температуры воздуха на фоне динамики циклонов и антициклонов, определявших климатические условия Сибири на территории, ограниченной  $50^{\circ}$ – $70^{\circ}$  с.ш. и  $60^{\circ}$ – $110^{\circ}$  в.д. за период 1976–2006 гг.

Для изучения динамики характеристик циклонов и антициклонов над Сибирью были использованы приземные синоптические и высотные карты и данные реанализа NCEP/DOE AMIP II. Исследовались частота выхода циклонов и антициклонов разного генезиса на исследуемую территорию и продолжительность их стационарирования в разные месяцы года, давление в центре барических образований.

Для вычисления полей температуры и давления использовались ежесуточные данные наблюдений на 169 станциях, расположенных в выбранном районе (центр распределения данных NOAA, <ftp://ftp.cdc.noaa>), за 1976–2006 гг. Выбор этого временного интервала продиктован тем, что именно с середины 1970-х гг. отмечен ускоренный рост глобальной температуры приземного воздуха, продолжающийся и по настоящее время.

По суточным значениям рассчитывались средние месячные значения климатических характеристик. Так как данные в силу различных причин содержат пропуски, то расчёт средних месячных величин проводился для тех месяцев, для которых количество пропусков в данных (за месяц) не превышало 5 сут. Далее для каждой станции по средним месячным температурам вычисляли их средние годовые значения и тренды. Тренды находили для рядов средних месячных величин с пропусками не более 2 лет на 31-летнем интервале. Для устранения влияния пространственной неоднородности местоположения метеорологических станций проводилась пространственная интерполяция рассчитанных средних годовых значений величин и их трендов на сетку  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  по алгоритму Крайгинга [6. С. 250].

При построении оценок, характеризующих пространственное распределение какой-либо величины по территории, проводилась их коррекция на площадь, вызванная тем обстоятельством, что при движении к северу уменьшается площадь ячейки сетки. По скорректированным значениям рассчитанных величин проводились вычисления выборочной плотности вероятности  $p_x(x)$  с последующим расчётом выборочной функции распределения  $F_x(x)$ . Объём выборки составлял 890 узлов. В качестве характеристики средней величины выборки использовалась оценка по медиане функции распределения  $F_x(x)$ . Временные ряды определённых таким образом средних значений использовались далее в оценке корреляционных связей с характеристиками циклонов и антициклонов.

На рис. 1 представлен временной ход средних по территории среднегодовых значений приземной температуры воздуха и давления. Среднее по территории значение тренда средней годовой температуры составило  $0,36^{\circ}\text{C}/10$  лет, следовательно, за 1976–2006 гг. температура приземного воздуха ( $T$ ) повысилась на  $1,1^{\circ}\text{C}$ .

Давление воздуха ( $P$ ) при этом снижалось со средней скоростью  $0,18$  гПа/10 лет. Это говорит о том, что потепление над территорией Западной Сибири может быть обусловлено либо ослаблением антициклональной активности, либо усилением циклонической, либо оба фактора действуют одновременно.

На рис. 2 представлена временная изменчивость суммарной за год продолжительности воздействия на исследуемую территорию циклонов ( $Zn$ ) и антициклонов ( $Az$ ). Очевидно, что средняя годовая продолжительность воздействия на Сибирь антициклонов постепенно увеличивается, хотя средние значения давления несколько уменьшаются.

В этом нет противоречия, поскольку скорость перемещения барических образований определяется в основном скоростью основных воздушных потоков (макропереноса) и практически не зависит от давления в их центре.

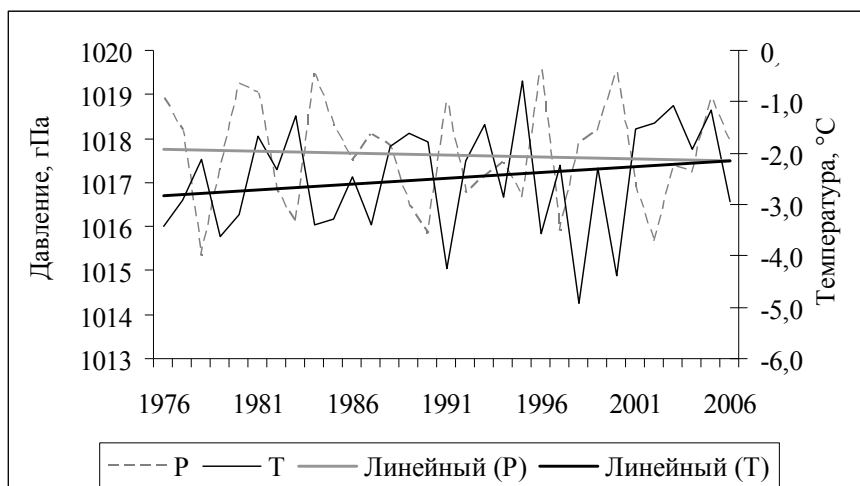


Рис. 1. Средние годовые по территории Сибири значения приземной температура воздуха и давления

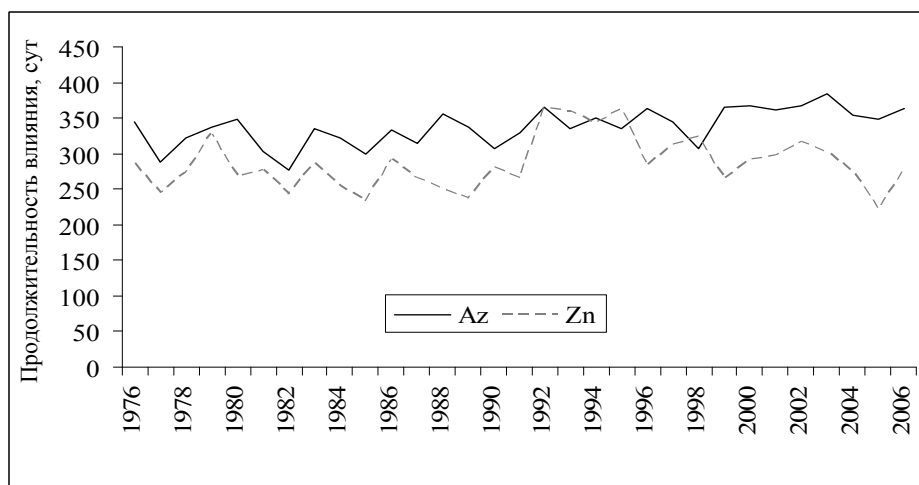


Рис. 2. Суммарная за год продолжительность воздействия на исследуемую территорию ( $Zn$ ) и ( $Az$ )

В течение 1992–1995 гг. продолжительность влияния циклонов и антициклонов была почти одинаковой (рис. 2), хотя в другие годы антициклоны определяли погоду исследуемого региона практически круглый год (в среднем 364 дня в году), а  $Zn$  – только на протяжении 277 дней (75%). Именно в период 1992–1995 гг. и был отмечен значительный рост приземной температуры воздуха (рис. 1). Несмотря на то что с 1996 г. продолжительность пребывания циклона над исследуемой территорией опустилась до климатической нормы и даже немного ниже, тренд на увеличение приземной температуры воздуха сохранился. Это позволяет пред-

полагать, что из всех антициклонов, определяющих погоду региона, стали чаще выходить те, что способствуют повышению средней годовой температуры воздуха, следовательно, они приходят на территорию Сибири не в зимний период. Чтобы сравнить сезонные особенности поведения трендов температуры воздуха и давления, необходимы подробные исследования для каждого месяца. В табл. 1 представлены средние значения температуры воздуха ( $\bar{T}$ ) и давления ( $\bar{P}$ ), значения их средних квадратических отклонений ( $\sigma$ ) и характеристики их трендов ( $\bar{T}_{tr}$ ,  $\bar{P}_{tr}$ ).

Внутригодовые характеристики многолетней изменчивости температуры воздуха (°C) и давления (гПа)

| Месяц    | Характеристики температуры воздуха |          |                       |                      | Характеристики давления воздуха |          |                       |                      |
|----------|------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|
|          | $\bar{T}$                          | $\sigma$ | $\bar{T}_{\text{тр}}$ | $\sigma_{\text{тр}}$ | $\bar{P}$                       | $\sigma$ | $\bar{P}_{\text{тр}}$ | $\sigma_{\text{тр}}$ |
| Январь   | -22,2                              | 5,9      | 0,2                   | 0,5                  | 1024,6                          | 7,00     | -0,46                 | 0,29                 |
| Февраль  | -19,7                              | 5,3      | <b>0,8</b>            | 0,5                  | 1024,1                          | 5,61     | <b>-0,82</b>          | 0,42                 |
| Март     | -10,8                              | 4,9      | <b>0,8</b>            | 0,3                  | 1021,2                          | 3,97     | <b>-0,88</b>          | 0,73                 |
| Апрель   | -1,8                               | 5,3      | 0,0                   | 0,4                  | 1016,3                          | 2,50     | -0,34                 | 0,47                 |
| Май      | 6,6                                | 4,7      | <b>0,7</b>            | 0,3                  | 1012,9                          | 1,94     | -0,01                 | 0,56                 |
| Июнь     | 14,2                               | 3,1      | 0,3                   | 0,2                  | 1008,9                          | 1,22     | -0,53                 | 0,19                 |
| Июль     | 17,5                               | 2,0      | 0,3                   | 0,3                  | 1007,6                          | 1,57     | 0,12                  | 0,24                 |
| Август   | 14,1                               | 0,9      | 0,2                   | 0,3                  | 1009,8                          | 1,54     | 0,17                  | 0,26                 |
| Сентябрь | 6,9                                | 2,2      | 0,0                   | 0,2                  | 1014,3                          | 2,68     | -0,11                 | 0,44                 |
| Октябрь  | -1,7                               | 3,6      | <b>0,6</b>            | 0,3                  | 1016,5                          | 4,83     | 0,02                  | 0,76                 |
| Ноябрь   | -12,5                              | 5,4      | -0,3                  | 0,5                  | 1020,9                          | 5,29     | 0,80                  | 0,94                 |
| Декабрь  | -19,4                              | 5,6      | 0,0                   | 0,3                  | 1022,2                          | 7,15     | 0,80                  | 0,73                 |
| Год      | -2,7                               | 4,1      | 0,4                   | 0,2                  | 1016,7                          | 3,40     | -0,18                 | 0,16                 |

Как видно из табл. 1, наибольшие и значимые тренды потепления имеют место в феврале, марте, мае и октябре. При этом в феврале и марте наблюдаются наибольшие отрицательные тренды давления воздуха. Таким образом, повышение температуры воздуха в феврале и марте над Сибирью может быть вызвано либо усилением циклонической деятельности, либо ослаблением антициклональной.

Рост температуры воздуха в другие месяцы связан не столь очевидно с общим фоном давления воздуха и требует более подробных исследований.

Рассмотрим влияние повторяемости выхода на исследуемую территорию тех или иных барических образований и продолжительности их стационарирования в месяцы с наиболее выраженными (и значимыми) трендами на увеличение средней месячной температуры воздуха. Типизация барических образований позаимствована из работы [4. С. 29]:

I. Циклоны, смещающиеся с западной составляющей вдоль 60–65 параллели с.ш.

II. Западные циклоны, образующиеся на волне полярного фронта в районе Свердловска, Омска, Самары.

III. Юго-западные циклоны, продвигающиеся из районов Каспийского и Аральского морей.

IV. Северные циклоны, смещающиеся с Северных районов Западной Сибири к югу или с запада на восток вдоль побережья Северного Ледовитого океана.

V. Южные циклоны, образующиеся в районе оз. Балхаш и в районах Ашхабада, Ташкента либо в междуречье Амударьи и Сырдарьи.

VI. Местные циклоны, образующиеся в районе междуречья Обь-Иртыш или на юге Западной Сибири.

VII. Северные циклоны, смещающиеся из районов Кольского полуострова, севера ЕТР и северного Урала.

VIII. Антициклоны с центром над Тувой, Алтаем, Монголией.

IX. Антициклоны с центром над Арктикой (Новосибирские острова).

X. Антициклоны с центром над Уралом или блокирующий гребень.

XI. Антициклоны, выходящие с ЕТР. Смещаются строго с запада на восток.

XII. Причерноморские антициклоны, образующиеся в районе Чёрного и Каспийского морей.

Климатические условия *февраля и марта* вообще и температуру воздуха в частности чаще всего определяют антициклоны VIII типа, выходящие из районов Алтая, Тувы, Монголии (т.е. Сибирский или Азиатский антициклон).

Они составляют 36% от общего числа антициклонов в феврале и 28% от общего числа антициклонов в марте (табл. 2). Кроме того, необходимо учитывать циклоны, приходящие на исследуемую территорию из районов Кольского полуострова (VII тип) (табл. 2), которые составляют 30% от их общего числа в феврале и марте. Самые низкие температуры обеспечивает Сибирский антициклон, который оказывает продолжительное влияние на исследуемую территорию. На его фоне любые циклонические вторжения способствуют понижению среднего за месяц давления воздуха и повышению средней месячной температуры февраля.

В табл. 2 представлены средние значения продолжительности стационарирования циклонов и антициклонов определенного генезиса в те месяцы года, когда происходит наибольший рост значений температуры воздуха. Число дней с циклонами (антициклонами) учитывалось следующим образом: если в течение месяца наблюдалось, например, два циклона, первый – с 1-го по 20-е, а второй – с 15-го по 30-е число, то суммарное число дней этих двух циклонов в данном месяце составляет 36 сут. Для получения среднего числа дней в месяце с циклонами и антициклонами их суммарное число дней, во время которых они находились на территории, делилось на их общее число. Несмотря на то что по количеству выходов на территорию в феврале лидируют антициклоны, приходящие из Азии, продолжительность их пребывания над Сибирью не превышает в среднем многолетнем продолжительность влияния антициклонов, приходящих с запада. Кроме того, отметим, что в период 1989–1998 гг. давление в центрах антициклонов VIII типа было ниже уровня среднего и в 1991 г. составило 1027 гПа. В этот период в феврале на исследуемую территорию выходило до 5 циклонов, определяющих погоду Сибири на протяжении 10 и более дней.

Как следует из табл. 1, средняя температура февраля и марта в целом напрямую зависит от значений среднемесячного давления воздуха: чем ниже среднее давление в каждом конкретном месяце, тем выше температура воздуха. Коэффициенты корреляции высоки (–0,56 в феврале и –0,64 в марте) и значимы с вероятностью не менее 99%. Следовательно, целесообразно проследить динамику продолжительности пребывания в эти месяцы над исследуемой территорией циклонов и антициклонов.

В антициклонической активности и по числу выходов Az и по продолжительности их влияния на территорию в эти месяцы значимых тенденций не обнаружено (табл. 3).

Таблица 2

Среднее число дней с циклонической и антициклонической погодой и число барических образований, господствовавших на территории Западной Сибири в 1976–2006 гг.

| Тип циклона/антициклона                       | Среднее число дней с циклонической и антициклонической погодой |      |     |         |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------|-----|---------|
|                                               | Февраль                                                        | Март | Май | Октябрь |
| Zn I                                          | 7,3                                                            | 5,3  | 5,2 | 5,0     |
| Zn II                                         | 5,5                                                            | 6,3  | 8,0 | 8,9     |
| Zn III                                        | 5,4                                                            | 3,7  | 4,2 | 4,5     |
| Zn IV                                         | 8,2                                                            | 6,4  | 4,8 | 9,3     |
| Zn V                                          | 2,6                                                            | 3,8  | 4,2 | 3,5     |
| Zn VI                                         | 3,4                                                            | 2,4  | 2,3 | 2,8     |
| Zn VII                                        | 7,7                                                            | 7,7  | 6,1 | 9,7     |
| Az VIII                                       | 10,9                                                           | 10,0 | 6,5 | 6,5     |
| Az IX                                         | 7,9                                                            | 8,1  | 8,8 | 7,9     |
| Az X                                          | 13,3                                                           | 11,5 | 7,9 | 8,0     |
| Az XI                                         | 11,2                                                           | 8,3  | 7,8 | 11,9    |
| Az XII                                        | 5,3                                                            | 8,2  | 6,2 | 6,8     |
| Число циклонов и антициклонов в 1976–2006 гг. |                                                                |      |     |         |
|                                               | Февраль                                                        | Март | Май | Октябрь |
| Zn I                                          | 6                                                              | 13   | 10  | 12      |
| Zn II                                         | 17                                                             | 15   | 20  | 14      |
| Zn III                                        | 10                                                             | 10   | 26  | 11      |
| Zn IV                                         | 22                                                             | 25   | 24  | 23      |
| Zn V                                          | 10                                                             | 12   | 17  | 13      |
| Zn VI                                         | 16                                                             | 15   | 10  | 5       |
| Zn VII                                        | 35                                                             | 39   | 32  | 38      |
| Az VIII                                       | 31                                                             | 13   | 17  | 32      |
| Az IX                                         | 11                                                             | 15   | 34  |         |
| Az X                                          | 8                                                              | 10   | 14  | 7       |
| Az XI                                         | 18                                                             | 25   | 35  | 32      |
| Az XII                                        | 18                                                             | 12   | 18  | 25      |

Таблица 3

Продолжительность влияния на территорию Сибири Zn и Az

| Год     | Циклоны |      | Антициклоны |      |
|---------|---------|------|-------------|------|
|         | Февраль | Март | Февраль     | Март |
| 1976    | 28      | 18   | 29          | 31   |
| 1977    | 16      | 32   | 28          | 16   |
| 1978    | 23      | 13   | 24          | 34   |
| 1979    | 28      | 30   | 31          | 30   |
| 1980    | 16      | 23   | 30          | 32   |
| 1981    | 29      | 37   | 23          | 35   |
| 1982    | 22      | 23   | 15          | 26   |
| 1983    | 26      | 27   | 31          | 32   |
| 1984    | 19      | 24   | 28          | 31   |
| 1985    | 12      | 14   | 28          | 29   |
| 1986    | 15      | 30   | 28          | 31   |
| 1987    | 26      | 5    | 22          | 28   |
| 1988    | 12      | 13   | 26          | 30   |
| 1989    | 28      | 21   | 18          | 33   |
| 1990    | 22      | 27   | 28          | 23   |
| 1991    | 17      | 24   | 27          | 32   |
| 1992    | 30      | 27   | 29          | 40   |
| 1993    | 27      | 28   | 27          | 30   |
| 1994    | 32      | 20   | 23          | 30   |
| 1995    | 31      | 29   | 27          | 32   |
| 1996    | 16      | 9    | 30          | 31   |
| 1997    | 28      | 38   | 27          | 33   |
| 1998    | 37      | 26   | 16          | 29   |
| 1999    | 20      | 19   | 30          | 33   |
| 2000    | 28      | 22   | 29          | 31   |
| 2001    | 29      | 24   | 27          | 37   |
| 2002    | 29      | 29   | 27          | 30   |
| 2003    | 31      | 36   | 26          | 19   |
| 2004    | 22      | 23   | 29          | 32   |
| 2005    | 14      | 22   | 28          | 34   |
| 2006    | 14      | 28   | 28          | 33   |
| Среднее | 23      | 24   | 26          | 31   |

Общее число дней с циклонами над исследуемой территорией в феврале и марте заметно увеличивается к концу исследуемого периода, следовательно, общий фон дав-

ления тоже уменьшится (см. табл. 3), а температура воздуха увеличится (см. табл. 1). Коэффициенты корреляции между числом дней с циклонической погодой и значе-

ниями температуры воздуха высоки (0,49 в феврале и 0,43 в марте) и значимы с вероятностью не менее 95%.

Уменьшение давления в феврале и марте происходит в основном за счёт увеличения числа циклонов, вторгающихся на исследуемую территорию из районов Кольского полуострова (VII тип), а так как циклоны данного типа глубокие и хорошо развитые, то за счёт них и происходит увеличение числа дней с циклонической погодой.

Таким образом, температуры февраля и марта увеличились к концу исследуемого периода за счет участвовавших вторжений циклонов на исследуемую территорию.

Температурные контрасты *мая* чаще всего формируют соотношения влияния циклонов, выходящих с севера из районов Баренцева и Карского морей (VII тип) (23% от общего числа циклонов в мае), и антициклонов – IX и XI типов (29 и 30% от общего числа антициклонов в мае соответственно) (см. табл. 2). По продолжительности влияния на территорию выделяются западные циклоны (II группа) и антициклоны IX, X, XI групп.

Практически все из них обеспечивают положительные аномалии температуры. Отрицательные аномалии температуры в мае формируют I, IV и VII типы циклонов, перенося холодные воздушные массы с северных районов. Исследования показали, что выход на территорию ныряющих циклонов с севера (VII тип) не уменьшился, однако выходы других типов холодных циклонов (I, IV типы) к концу изучаемого периода стали реже (рис. 3), а циклонов, движущихся с ЕТР (II тип) и несущих тепло, чаще.

Что касается антициклонов, то наряду с общей тенденцией увеличения числа дней с антициклональной погодой в мае (среднее меняется от 25 до 31 дней) отмечается тенденция увеличения числа дней для антициклонов, движущихся с Европейской территории России и причерноморских антициклонов (XI, XII типы) (рис. 4). Заметим, что антициклоны XI и XII типов, выходящие с районов ЕТР или с Черного моря, являются по сути отрогами Азорского антициклона или отделившихся от него очагов и всегда приносят на территорию Сибири теплый воздух.

Из полученного следует, что на увеличение значений температуры воздуха в мае оказывают влияние следующие факторы: увеличивается общее число дней с антициклонами, а следовательно, увеличивается продолжительность безоблачной погоды и воздух успевает прогреваться (коэффициент корреляции со значениями средней температуры месяца равен 0,3 и значим с вероятностью не менее 95%). Сложившуюся тенденцию усиливает увеличивающееся число дней с влиянием отрогов Азорского антициклона, обеспечивающих наряду с радиационным фактором увеличения температуры воздуха за счет адвекции, а именно выхода на территорию Западной Сибири теплых воздушных масс из Казахстана и более южных территорий. Адвективное увеличение температуры воздуха усиливают и участвовавшие случаи выходов на исследуемую территорию теплых циклонов. В целом увеличение температуры воздуха в мае обеспечивается усилением адвективного и радиационного факторов.

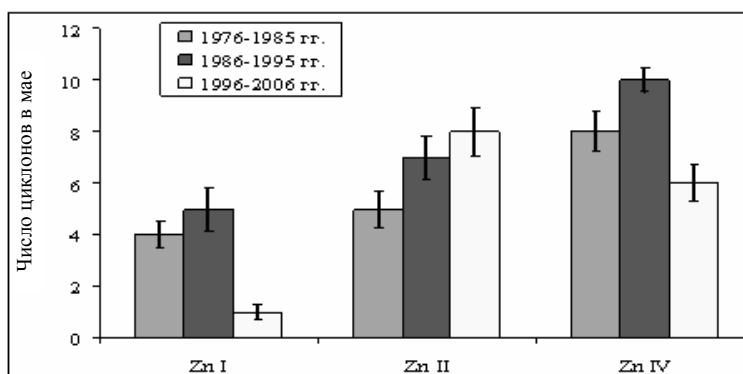


Рис. 3. Распределение числа циклонов различных типов в мае над Сибирью

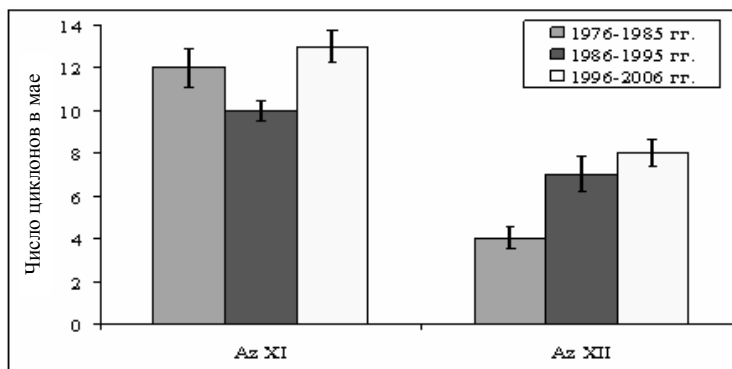


Рис. 4. Распределение числа антициклонов различных типов в мае над Сибирью

В *октябре* климатические условия Сибири определяют в основном циклоны трех групп (II, IV, VII) и антициклоны трех групп (VIII, XI, XII). Циклоны приходят на

исследуемую территорию чаще всего из районов Кольского полуострова (VII тип – 33% от общего числа циклонов в октябре), и продвигающиеся вдоль побережья

Северного Ледовитого океана (IV тип – 20%) оба типа циклонов обеспечивают понижение температуры воздуха в регионе (см. табл. 2). Из антициклонов наибольшее влияние на климатические условия изучаемой территории в октябре оказывают антициклоны, выходящие с Европейской территории России (XI тип – 31% от общего числа антициклонов в октябре), Причерноморья (XII тип – 31%) и Алтая (VIII тип – 24%) (см. табл. 2) – каждый из этих типов барических образований способствует росту значений температуры в течение 25 дней в первую очередь за счет радиационного фактора. Замечена интересная особенность: число дней с антициклонами над исследуемой территорией во все месяцы года несколько превышает число дней с циклонами (табл. 4), исключение составляет только октябрь. В этом месяце суммарное число дней с циклонами над территорией практически равно

числу дней с антициклонами, т.е. соотношение циклонической и антициклонической активности в этом месяце всегда играло особую роль в формировании погодных условий и температурного режима. На рис. 5 представлена многолетняя изменчивость продолжительности воздействия на территорию Сибири в октябре всех Zn и Az. Продолжительность воздействия циклонов на территорию значимых трендов не обнаруживает. Несмотря на тот факт, что в октябре 1993 г. на исследуемую территорию циклонов выходило намного больше, чем обычно (в том числе и холодных циклонов IV и VII типов), существенного влияния на тренд температуры воздуха это не оказало. Это может быть вызвано тем, что антициклоническая активность в этом году тоже была выше средних многолетних значений и продолжает расти до настоящего времени.

Таблица 4

Среднее число дней с циклонами и антициклонами на территории Западной Сибири за период 1976–2006 гг.

| Месяц    | Среднее число дней |                 |
|----------|--------------------|-----------------|
|          | с циклонами        | с антициклонами |
| Январь   | 9,6                | 14,5            |
| Февраль  | 8,0                | 12,4            |
| Март     | 6,0                | 11,3            |
| Апрель   | 5,8                | 9,4             |
| Май      | 5,5                | 9,4             |
| Июнь     | 6,6                | 9,4             |
| Июль     | 7,8                | 11,5            |
| Август   | 6,1                | 8,2             |
| Сентябрь | 7,2                | 10,1            |
| Октябрь  | 10,4               | 10,5            |
| Ноябрь   | 7,8                | 12,4            |
| Декабрь  | 8,3                | 15,4            |
| Год      | 7,4                | 11,2            |

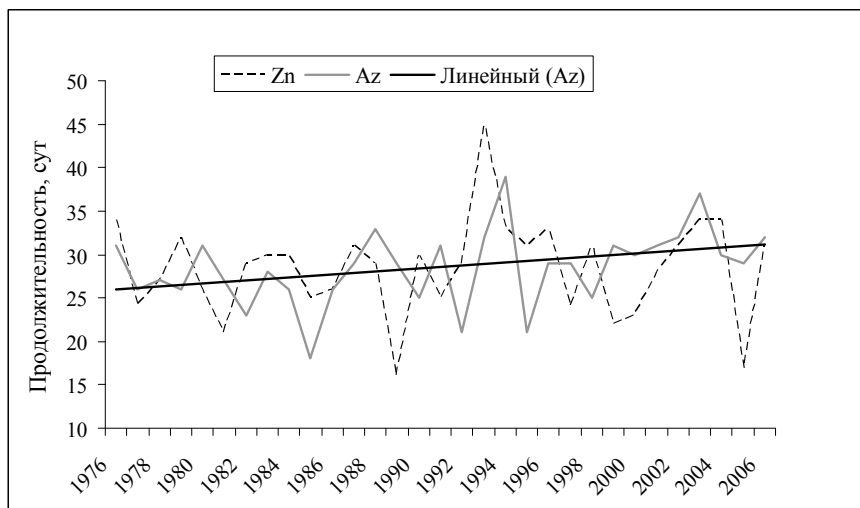


Рис. 5. Суммарная продолжительность влияния на территорию циклонов и антициклонов в октябре

В результате исследований получено, что средняя температура воздуха в октябре существенно увеличивается за счет дневного прогрева в отсутствие облачности при антициклонической погоде.

Что касается циклонов, то заметно уменьшилось число дней с западными и северными циклонами II и IV типов, но при этом (с конца 1980-х гг.) увеличилось число дней с юго-западными циклонами III типа, приносящими на исследуемую территорию тепло. Активизация этих процессов увеличила долю адвективного фактора в увеличении средних значений температуры воздуха.

Следовательно, температура воздуха в октябре увеличивается в основном за счет радиационного фактора, хотя замечен и адвективный фактор.

Поскольку активность выхода барических образований на ту или иную территорию является результатом особенностей планетарной циркуляции атмосферы, представляет интерес сравнение полученных нами результатов с исследованиями других авторов [7. С. 21]. Есть возможность сравнить общее количество циклонов, выходивших на территорию Сибири в разные годы с числом тропических циклонов, наблюдавшихся в Се-

верном полушарии Земли. Особый интерес для Западной Сибири представляют соотношение северных и южных циклонов, так как они оказывают наибольшее охлаждающее или обогревающее действие на исследуемую территорию. В результате сравнения полученных нами и приведенных в [7. С. 24] данных получено, что при большом числе тропических циклонов в Северном полушарии наблюдается существенно меньшее число северных и большее число южных циклонов над Западной Сибирью (рис. 6). То есть число циклонов, при-

ходящих на Западную Сибирь по северным траекториям, в том числе с Кольского полуострова (IV и VII типы), находится в противофазе с числом тропических циклонов, образующихся над Северным полушарием, а число циклонов, приходящих по южным траекториям, имеет схожую картину. Активный тропический циклогенез оказывает существенное влияние на циркуляционные процессы умеренных широт и является звеном общей циркуляции атмосферы, по меньшей мере, от экватора до полюса.

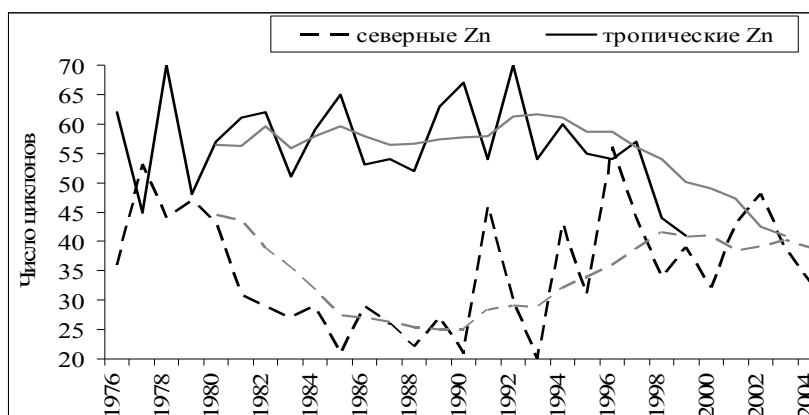


Рис. 6. Число тропических циклонов и число циклонов, приходящих на территорию Западной Сибири с северных и южных направлений

Полученный результат убеждает в наличие существенной взаимосвязанности циркуляционных процессов тропических и умеренных широт и позволяет предполагать, что и повышенная циклоническая активность северной группы циклонов, наблюдавшаяся в зимние месяцы исследуемого периода, и повышенная активность барических образований южных групп в переходные сезоны года, являются звеньями в цепи колебаний общей планетарной атмосферной циркуляции. Процессы активизации меридиональной южной группы циркуляции, обнаруженные во второй половине XX в. в Северном полушарии [2. С. 680], над Сибирью наиболее заметными оказались в переходные сезоны года, а именно в мае и октябре. В исследуемом нами регионе именно они определили наличие положительных трендов в рядах температуры воздуха в эти месяцы и тем самым усилили среднегодовой положительный тренд температуры воздуха, обеспеченный снижением активности Сибирского антициклона зимой.

В результате проведенных исследований установлено:

1. Средняя годовая температура воздуха над Сибирью растет в основном за счет февраля, марта, мая и октября.
2. Увеличение средних значений температуры воздуха в феврале и марте возможно в результате усиления циклонической активности, проявляющейся в участившихся выходах циклонов в эти месяцы и в увеличении продолжительности их пребывания над территорией Сибири.
3. Увеличение средних значений температуры воздуха над Сибирью в мае и октябре происходит в первую очередь в результате усиления радиационного фактора (увеличения продолжительности влияния антициклональной погоды). Существенное влияние на рост температуры воздуха оказывает и адвективный фактор (заток воздуха с южных широт).
4. Тенденции циклонической и антициклонической активности отражают процессы активизации меридиональной южной группы циркуляции, обнаруженные во второй половине XX в. для всего Северного полушария.

## ЛИТЕРАТУРА

1. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури Р.К., Райзингер А. и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК; Женева; Швейцария, 104 с.
2. Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Особенности динамики климата Северного полушария в XX столетии // Доклады Академии наук. 2002. Т. 384, № 5. С. 674–681.
3. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Журнал Сибирского федерального университета. 2008. № 1 (4). С. 323–344.
4. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 28–36.
5. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинова С.В., Поднебесных Н.В. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реанализа NCEP/DOE AMIP-II и синоптических карт // Оптика атмосферы и океана. 2009. № 1. С. 38–41.
6. Cressie N.A.C. The Origins of Kriging // Mathematical Geology. 1990. Vol. 22. P. 239–252.
7. Кружкова Т.С., Иванидзе Т.Г. Некоторые статистические характеристики тропических циклонов за период с 1970 по 1999 г. // Метеорология и гидрология. 2000. № 11. С. 21–30.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 10 января 2011 г.