
УДК 551.5; 551.583

Канд. географ. наук

Е.Е. Белдеубаев¹С.А. Долгих¹**О ТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМЕ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА
В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД В ПРИБАЛКАШЬЕ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ
В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ**

Ключевые слова: температурный режим, климатические индексы температуры воздуха, холодный период.

В данной статье проведен анализ температуры приземного воздуха в холодный период по данным метеорологических станций Прибалкашского региона за 1971...2018 годы. Были рассчитаны основные статистические характеристики и климатические индексы температуры воздуха, характеризующие многолетний термический режим холодного периода и его изменение за последние несколько десятилетий, когда наиболее ярко проявилось изменение глобального климата.

Введение. Температура воздуха – изменчивая и непрерывная метеорологическая величина в пространстве и во времени.

Все явления и процессы, происходящие в органическом и неорганическом мире, непосредственно обуславливаются термическими условиями среды. Температура воздуха является одним из важнейших элементов климата, который предопределяет характер и режим типов погоды [1].

Распределение температуры воздуха в атмосфере и непрерывные изменения этого распределения называют тепловым режимом атмосферы. Являясь важнейшей характеристикой климата, тепловой режим приземной атмосферы определяется прежде всего теплообменом между атмосферным воздухом и окружающей средой [4].

Особенности географического положения оз. Балкаш обуславливают резкую континентальность и засушливость климата.

¹РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан.

В холодный период года район подвержен преимущественно воздействию континентальных умеренных воздушных масс западного отрога сибирского максимума, обуславливающего устойчивую морозную погоду. Наиболее сильные похолодания наблюдаются при вторжениях холодных арктических воздушных масс с севера, а также при тыловых вторжениях холодного воздуха, следующего за пределами за прорывающимися сюда южными циклонами [3].

Цель работы. Целью данной работы было изучить особенности температурного режима воздуха холодного периода года в прибалкашском регионе и его изменение за последние несколько десятилетий.

Исходная информация и методы. Для работы были выбраны 5 метеорологических станций (МС) расположенных в прибалкашском регионе (рис. 1).

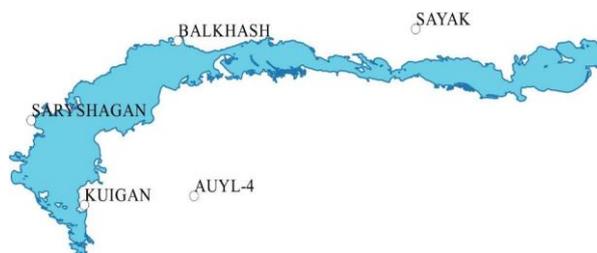


Рис. 1. Расположение метеорологических станций в Прибалкашском регионе.

Для расчета статистических характеристик и климатических индексов температуры воздуха использовались данные Республиканского гидрометеорологического фонда РГП «Казгидромет»:

- 1) ряды среднемесячных температур воздуха с 1971 по 2018 гг.
- 2) ряды суточных максимальных и минимальных температур воздуха с 1971 по 2018 гг.

Методы статистического анализа. Поскольку главной задачей климатологической обработки данных наблюдений состоит в получении климатических показателей, правильно характеризующих особенности температурного режима рассматриваемого района, для расчета были выбраны следующие статистические параметры: – степенные средние величины (средняя арифметическая); – структурные характеристики (медиана, квартиль); – меры асимметрии (коэффициент асимметрии); – характеристики линейного тренда, такие как коэффициент линейного тренда, коэффициент детерминации [2].

Эксперты Климатической программы Всемирной метеорологической организации разработали ряд индексов, в том числе климатические индексы температуры воздуха, которые в качестве диагностических инструментов позволяют наиболее полно описать различные аспекты температурного режима.

Климатические индексы температуры рассчитываются из суточных максимальных и минимальных температур. Индексы используются также для оценки изменяющегося климата, включая оценку изменения в интенсивности, частоты и продолжительности метеорологической величины. Они представляют собой величины, которые охватывают месяц, сезон или год, что придает им более устойчивые статистические свойства, чем мерам экстремальных значений, которые находятся в хвостах распределения [5].

Индексы, используемые в данной работе, можно разделить на 3 категории:

1. Индексы, основанные на перцентилях, включают количество холодных ночей (TN10p), количество теплых ночей (TN90p), количество теплых дней (TX90p), количество холодных дней (TX10p). Эти индексы позволяют оценить повторяемость экстремумов за исследуемый интервал времени, когда максимальная или минимальная суточная температура ниже значения 10-го перцентиля или выше значения 90-го перцентиля.

2. Индексы, основанные на абсолютных значениях, представляют максимальные и минимальные значения в месяце, сезоне или в году. Они включают абсолютный максимум температуры (TXx), максимум из суточных минимумов (TNx), минимум из суточных максимумов (TXn), абсолютный минимум температуры (TNn), среднее значение из средних суточных температур (TMm).

3. Индексы, основанные на пороговых значениях, определяются как число дней, в которых значения метеорологической величины находятся выше или ниже фиксированного порогового значения. К ним относятся:

- количество суток, когда суточный минимум температуры $< 0^{\circ}\text{C}$ (frost days, FD);
- количество суток, когда суточный минимум температуры $< 2^{\circ}\text{C}$ (frost days 2, FD2);
- количество суток, когда суточный минимум температуры $<$ минус 2°C (hard freeze, FDm2);
- количество суток, когда суточный минимум температуры $<$ минус 20°C (very hard freeze, FD);
- количество суток, когда суточный максимум температуры $< 0^{\circ}\text{C}$ (ice days, ID).

Третья группа индексов является значимой для многих секторов экономики, включая сельское и коммунальное хозяйства, транспорт и

здравоохранение. В работе [6] показано, что данные температурные индексы демонстрируют отрицательные тренды в средних широтах в течение второй половины двадцатого века.

Полученные результаты. В зависимости от радиационных и циркуляционных факторов продолжительность холодного периода в регионах страны может быть различной. На рисунке 2 для примера приведен график годового хода средней многолетней температуры воздуха на МС Балкаш за 1971...2018 гг.

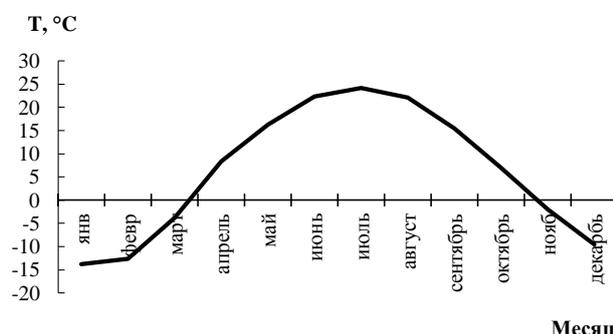


Рис. 2. Годовой ход средней многолетней температуры воздуха на метеостанции Балкаш за 1971...2018 гг.

В соответствии с рисунком 2 видно, что температура воздуха переходит через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ноябре и марте, так что период ноябрь-март можно рассматривать как холодный. Самое минимальное значение в январе минус $13,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Были рассчитаны основные статистические характеристики среднемесячных значений температуры воздуха в холодный период за 1971...2018 гг. (табл. 1), такие как среднее многолетнее (\bar{x}), среднеквадратическое отклонение (σ), первый и третий квартиль (1Q, 3Q), медиана (Me), межквартильный размах (IQR), коэффициент асимметрии (A_s).

В соответствии с табл. 1, самым холодным месяцем по данным за 1971...2018 гг. является январь. Среднеквадратическое отклонение за весь холодный период варьирует от $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значения медианы и среднего арифметического очень близки между собой. Значения первого и третьего квартиля самые низкие в январе. Межквартильный размах варьируется от $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коэффициент асимметрии во все месяцы отрицателен, кроме марта.

Таблица 1.

Статистические характеристики среднемесячных значений температуры воздуха в холодный период года за 1971...2018 гг.

| Станция | Месяц | \bar{x} | σ | 1Q | Me | 3Q | IQR | As |
|-----------|---------|-----------|----------|-------|-------|-------|-----|-------|
| Ауыл-4 | ноябрь | -0,7 | 2,6 | -2,5 | -0,3 | 1,3 | 3,8 | -0,47 |
| | декабрь | -8,2 | 4,4 | -10,9 | -8 | -5,1 | 5,8 | -0,6 |
| | январь | -12 | 3,8 | -15,1 | -11,8 | -8,9 | 6,2 | -0,27 |
| | февраль | -9,5 | 4,2 | -11,9 | -8,5 | -7 | 5 | -0,26 |
| Балкаш | ноябрь | 0 | 3,7 | -3,3 | 0 | 2,2 | 5,5 | 0,23 |
| | ноябрь | -1,9 | 2,6 | -3,7 | -1,9 | 0,6 | 4,2 | -0,62 |
| | декабрь | -9,5 | 3,3 | -11,5 | -9 | -7,9 | 3,6 | -0,32 |
| | январь | -13,7 | 2,9 | -15,7 | -12,9 | -11,7 | 4 | -0,06 |
| Куйган | февраль | -12,6 | 3,5 | -14,6 | -12,3 | -10,4 | 4,2 | -0,08 |
| | март | -3,8 | 3,6 | -7,2 | -3,9 | -1,5 | 5,8 | 0,41 |
| | ноябрь | -0,3 | 2,5 | -2,1 | -0,3 | 1,7 | 3,7 | -0,42 |
| | декабрь | -7,6 | 4 | -10,7 | -7,5 | -5,1 | 5,6 | -0,56 |
| Сарышаган | январь | -11,5 | 3,6 | -14,5 | -10,8 | -8,9 | 5,6 | -0,13 |
| | февраль | -9,6 | 4,1 | -12,4 | -8,9 | -7,1 | 5,3 | -0,1 |
| | март | -0,7 | 3,7 | -3,6 | -0,3 | 1,7 | 5,3 | 0,14 |
| | ноябрь | -1 | 2,5 | -2,5 | -1 | 1,2 | 3,7 | -0,59 |
| Саяк | декабрь | -8,7 | 3,5 | -10,6 | -8 | -7 | 3,7 | -0,32 |
| | январь | -12,9 | 3,1 | -15,5 | -12,7 | -11 | 4,5 | -0,05 |
| | февраль | -11,8 | 3,6 | -14,6 | -11,3 | -9,2 | 5,4 | -0,01 |
| | март | -3,3 | 3,7 | -6,5 | -3,3 | -0,9 | 5,6 | 0,4 |
| Саяк | ноябрь | -1,5 | 2,7 | -3,4 | -1,9 | 0,9 | 4,4 | -0,23 |
| | декабрь | -8,6 | 3,4 | -10 | -8,1 | -6,8 | 3,2 | -0,95 |
| | январь | -11,8 | 2,7 | -13,3 | -11,5 | -10 | 3,3 | -0,35 |
| | февраль | -10,3 | 3,4 | -12,3 | -10,2 | -7,5 | 4,8 | -0,11 |
| Саяк | март | -1,6 | 3,4 | -4,1 | -1,7 | 0,5 | 4,6 | 0,39 |

Средние месячные температуры воздуха являются одной из основных характеристик термического режима. В данной работе рассматривается тенденция изменения температуры воздуха в холодный период за 1971...2018 гг. Статистически значимыми оказались тренды только в феврале и марте на всех пяти МС (рис. 3), а также в ноябре на МС Саяк, где наблюдался рост температуры со скоростью $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, при этом коэффициент детерминации составлял 11 %.

Коэффициент линейного тренда в феврале составил на МС Балкаш $0,80\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, на МС Куйган $1,03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, на МС Сарышаган $0,83\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, на МС Саяк $0,78\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. В марте скорость повышения температуры была более значительной: на МС Балкаш и Сарышаган она составила $1,36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$; на МС Ауыл-4 – $2,21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, на МС Куйган – $1,30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, на МС Саяк – $1,25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Для представления групп числовых данных через квартили и визуального сравнения одного распределения с другим на рисунке 4 приведена диаграмма размаха температуры воздуха на МС Балкаш за 1971...2018 гг.

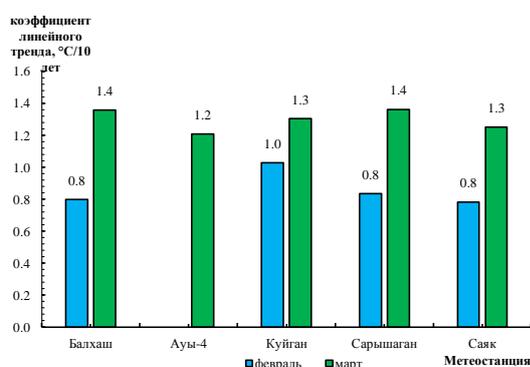


Рис. 3. Коэффициент линейного тренда температуры воздуха на метеорологических станциях Прибалкашья в феврале и марте за период 1972...2018 гг.

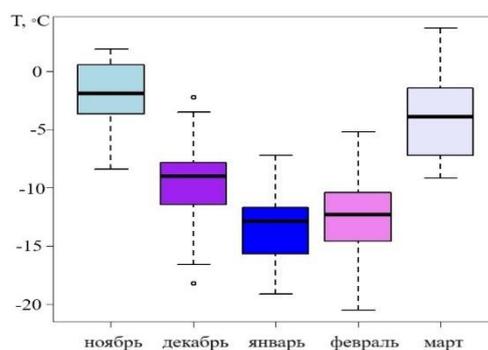


Рис. 4. Диаграмма размаха температуры воздуха в холодный период на МС Балкаш за период 1971...2018 гг.

Рисунок 4 показывает, что температура воздуха с ноября по январь стремительно понижается. Отмечаемое в ноябре резкое понижение температуры воздуха связано с вторжениями холодных северных воздушных масс и развитием отрога сибирского антициклона [3]. В декабре наблюдаются значения, которые выделяются из общей выборки и не входят в градацию $Q1-1,5*IQR < x < Q3+1,5*IQR$. Несмотря на то, что среднее и медиана температуры воздуха в январе являются самыми низкими в холодном периоде, самая минимальная среднемесячная температура (минус 20,5 °С) наблюдалась в феврале в 1973 году. Повышение средней многолетней температуры от января к февралю незначительно, поскольку циркуляционные и радиационные условия этих месяцев схожи между собой. От февраля к марту, с выносом теплых воздушных масс и увеличением прихода солнечной радиации отмечается

заметное повышение температуры. По среднему значению самым теплым месяцем данного периода является ноябрь, а самое максимальное среднемесячное значение температуры ($3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдалось в марте.

Для визуального представления частотного распределения значений температуры воздуха в ноябре, январе и марте были построены соответствующие гистограммы на примере МС Балкаш (рис. 5, 6, 7).

На рисунке 5 видно, что асимметрия отрицательная. Наиболее часто встречаются значения в градации минус $0,3\dots$ минус $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самая наименьшая частота в градациях минус $9,3\dots$ минус $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минус $7,5\dots$ минус $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

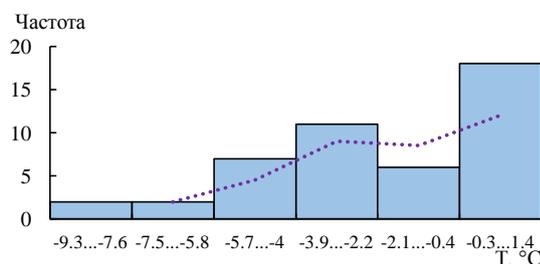


Рис. 5. Гистограмма распределения температуры воздуха на МС Балкаш в ноябре за период 1971...2018 гг.

Асимметрия распределения температуры воздуха в январе левосторонняя (рис. 6). Наибольшая частота наблюдается в градации минус $13,8\dots$ минус $11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, наименьшая – в градации минус $9,6\dots$ минус $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

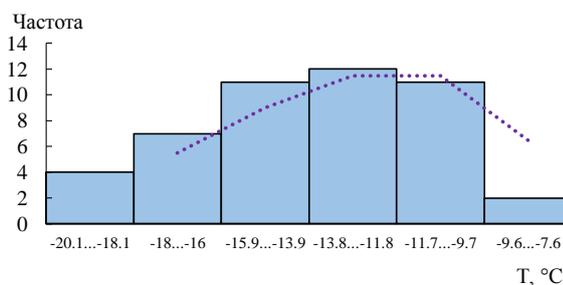


Рис. 6. Гистограмма распределения температуры воздуха на МС Балкаш в январе за период 1972...2018 гг.

В марте наиболее часто встречающиеся значения температуры находятся в градации минус $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}\dots$ минус $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, наименьшие частоты в градации минус $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}\dots$ минус $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 7).

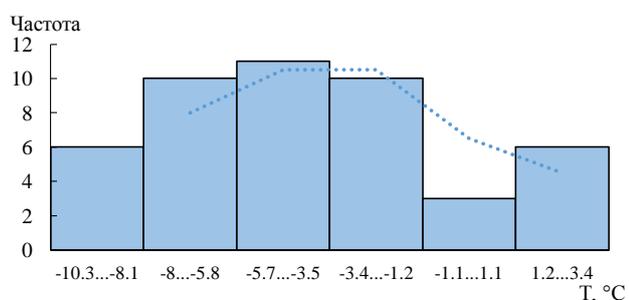


Рис. 7. Гистограмма распределения температуры воздуха на МС Балкаш в марте за период 1972...2018 гг.

На основе суточных данных были рассчитаны некоторые климатические индексы температуры воздуха и проведена оценка их изменения за период 1971...2018 гг. (табл. 2...5).

Таблица 2

Характеристики индексов температуры воздуха в холодный период года (ноябрь-март) основанных на абсолютных значениях, рассчитанных за период 1971...2018 гг.

| Станция | Индекс | Среднее значение индекса, °С | Коэффициент линейного тренда, °С/10 лет | Коэффициент детерминации, % | p-value |
|-----------|--------|------------------------------|---|-----------------------------|---------|
| Ауыл-4 | Txx | 22,3 | 1,4 | 22 | 0 |
| | Tnx | 6,6 | 0,8 | 13 | 0,01 |
| | Tnn | -31,2 | 0,7 | 5 | 0,13 |
| | Txn | -19 | 0,3 | 1 | 0,43 |
| | Tmm | -5,6 | 0,4 | 8 | 0,05 |
| Балкаш | Txx | 14,1 | 1,4 | 31 | 0 |
| | Tnx | 3,7 | 0,7 | 14 | 0,01 |
| | Tnn | -31,3 | 0,8 | 11 | 0,02 |
| | Txn | -20,7 | 0,7 | 8 | 0,06 |
| | Tmm | -8 | 0,5 | 16 | 0,01 |
| Куйган | Txx | 20,2 | 1,7 | 36 | 0 |
| | Tnx | 5,5 | 0,9 | 20 | 0 |
| | Tnn | -31 | 1 | 15 | 0,01 |
| | Txn | -17,5 | 0,8 | 10 | 0,03 |
| | Tmm | -5,5 | 0,6 | 18 | 0 |
| Сарышаган | Txx | 16,3 | 1,4 | 23 | 0 |
| | Tnx | 4,6 | 0,7 | 16 | 0,01 |
| | Tnn | -29,6 | 0,8 | 12 | 0,02 |
| | Txn | -20,9 | 0,7 | 9 | 0,05 |
| | Tmm | -7,3 | 0,6 | 19 | 0 |
| Саяк | Txx | 17,7 | 1,6 | 25 | 0 |
| | Tnx | 4,8 | 1,3 | 28 | 0 |
| | Tnn | -29,2 | 0,9 | 9 | 0,04 |
| | Txn | -18,8 | 0,2 | 1 | 0,58 |
| | Tmm | -6,4 | 0,6 | 18 | 0 |

Из данных, приведенных в табл. 2 видно, что среднее значение абсолютного максимума (Тхх) варьируется от 14,1 °С до 22,3 °С и возрастает на всех МС со скоростью 1,4...1,7 °С/10 лет. Вклад доли тренда в общую дисперсию составляет от 22 до 36 %, $p\text{-value} \leq 0,05$, что говорит о статистической значимости тренда. Максимум из суточных минимумов (Тпх) меняется в пределах 3,7...6,6 °С. Коэффициент линейного тренда индекса Тпх составляет от 0,7 до 1,3 °С/10 лет, коэффициент детерминации составил 13...28 %, $p\text{-value} \leq 0,05$. Значение абсолютного минимума (Тпн) составило от минус 31,3 до минус 29,2 °С и растет в пределах 0,7...1,0 °С/10 лет, доля вклада тренда в общую дисперсию варьирует от 9 до 15 %, тренд статистически значим на всех станциях кроме МС Ауыл-4. Минимум из суточных максимумов (Тхп) варьирует от минус 20,9 до минус 17,5 °С, его рост составил от 0,2 до 0,8 °С/10 лет, коэффициент детерминации составил 8...10 % на 3-х МС и 1 % на 2-х МС, $p\text{-value} \leq 0,05$ только на МС Куйган и Сарышаган. Средняя суточная температура (Тмм) меняется от минус 8,0 до минус 5,5 °С растет со скоростью 0,4...0,6 °С/10 лет, коэффициент детерминации составил от 8 % до 19 %, $p\text{-value} \leq 0,05$ на всех МС.

Таблица 3

Характеристики индексов температуры воздуха в холодный период года (ноябрь...март), основанных на перцентилях, рассчитанных за период 1971...2018 гг.

| Станция | Индекс | Среднее значение индекса, кол-во суток | Коэффициент линейного тренда, %/10 лет | Коэффициент детерминации, % | p-value |
|-----------|--------|--|--|-----------------------------|---------|
| Ауыл-4 | TX90p | 16 | 1,1 | 8 | 0,05 |
| | TX10p | 16 | -0,6 | 1 | 0,47 |
| | TN90p | 17 | 1,6 | 11 | 0,02 |
| | TN10p | 15 | -1,2 | 6 | 0,1 |
| Балкаш | TX90p | 16 | 2,3 | 17 | 0 |
| | TX10p | 15 | -1,5 | 8 | 0,05 |
| | TN90p | 17 | 1,8 | 11 | 0,02 |
| | TN10p | 15 | -1,8 | 13 | 0,01 |
| Куйган | TX90p | 16 | 2 | 21 | 0 |
| | TX10p | 15 | -1,4 | 8 | 0,05 |
| | TN90p | 16 | 1,8 | 12 | 0,02 |
| | TN10p | 15 | -1,8 | 16 | 0,01 |
| Сарышаган | TX90p | 21 | 2,5 | 18 | 0 |
| | TX10p | 16 | -1,5 | 8 | 0,06 |
| | TN90p | 21 | 2,5 | 18 | 0 |
| | TN10p | 18 | -1,7 | 11 | 0,03 |
| Саяк | TX90p | 16 | 1,6 | 8 | 0,07 |
| | TX10p | 16 | -0,9 | 3 | 0,26 |
| | TN90p | 16 | 2,2 | 17 | 0,01 |
| | TN10p | 15 | -1,8 | 15 | 0,01 |

Данные, представленные в табл. 3 показывают, что среднее количество суток, которое определено для каждого индекса за период 1971...2018 гг., варьируется в пределах 15...21 суток. Доля теплых дней (TX90p) и доля теплых ночей (TN90p) растет на 1...3%/10 лет. Доля вклада тренда в общую дисперсию составил от 8 до 21%. В основном на всех МС тренды индексов TX90p и TN90p статистически значимы, что видно по значению p-value. В количестве холодных дней и ночей (TX10p и TN10p) наблюдается отрицательный тренд со скоростью 1...2%. Коэффициент детерминации составил от 8 до 16%. Статистически незначимым является тренд индексов TX10p и TN10p на МС Ауыл-4, TX10p на МС Сарышаган, TX90p и TX10p на МС Саяк.

В таблице 4 приведены значения индексов, которые показывают количество суток с температурой воздуха ниже или выше определенного порога. Целью данной работы было исследовать термический режим холодного периода, следовательно, в качестве пороговых индексов были взяты именно те, которые связаны с низкими и отрицательными температурами.

Таблица 4

Характеристика индексов температуры воздуха в холодный период года (ноябрь...март), основанных на пороговых значениях, рассчитанных за период 1971...2018 гг.

| Станция | Индекс | Среднее значение индекса, кол-во суток | Коэффициент линейного тренда, кол-во суток/10лет | Коэффициент детерминации % | p-value |
|-----------|--------|--|--|----------------------------|---------|
| Ауыл-4 | FD2 | 145 | -1,5 | 16 | 0,01 |
| | FD0 | 138 | -2,4 | 19 | 0 |
| | FDm2 | 126 | -2,9 | 13 | 0,01 |
| | ID | 76 | -2,2 | 4 | 0,18 |
| | FDm20 | 28 | -1,9 | 4 | 0,2 |
| Балкаш | FD2 | 148 | -1,1 | 18 | 0 |
| | FD0 | 142 | -1,9 | 18 | 0 |
| | FDm2 | 133 | -2,7 | 14 | 0,01 |
| | ID | 99 | -3,3 | 10 | 0,03 |
| | FDm20 | 30 | -2,4 | 7 | 0,07 |
| Куйган | FD2 | 146 | -1,5 | 18 | 0 |
| | FD0 | 137 | -2,4 | 16 | 0 |
| | FDm2 | 124 | -3,6 | 17 | 0 |
| | ID | 76 | -4,2 | 14 | 0,01 |
| | FDm20 | 26 | -3 | 9 | 0,04 |
| Сарышаган | FD2 | 147 | -1,4 | 22 | 0 |
| | FD0 | 139 | -2,7 | 25 | 0 |
| | FDm2 | 128 | -3,6 | 20 | 0 |
| | ID | 97 | -4,2 | 16 | 0,01 |
| | FDm20 | 25 | -2,7 | 9 | 0,05 |
| Саяк | FD2 | 146 | -1,7 | 22 | 0 |
| | FD0 | 141 | -3 | 31 | 0 |
| | FDm2 | 131 | -4,1 | 25 | 0 |
| | ID | 94 | -3,8 | 11 | 0,03 |
| | FDm20 | 21 | -2,1 | 8 | 0,06 |

На всех МС чаще всего наблюдались дни с суточным минимумом температуры ниже 2 °С. Значения индекса FD2 составляют от 145 до 148 суток, и наблюдается тренд на уменьшение дней с такой температурой со скоростью около 2...1 суток/10 лет, $p\text{-value} \leq 0,05$. Коэффициент детерминации равен 16...22 %. Число суток, когда суточный минимум температуры был ниже 0 °С (FD0), составляло от 138 до 142. Тренд индекса FD0 отрицательный и статистически значим на всех МС и составил от 3 до 2 суток/10 лет. Коэффициент детерминации составил от 16 до 31 %. Количество дней, когда суточный минимум был ниже минус 2 °С (FDm2), колеблется по исследуемым станциям в пределах 124...133. Тренд статистически значим, и количество дней с такой температурой сокращается примерно на 3...4 суток каждые 10 лет. Доля вклада тренда в общую дисперсию варьирует от 13 до 25 %. Количество суток с суточным максимумом ниже 0 °С (ID) составило на исследуемых МС от 76 до 99. Тренд был статистически значим на всех МС кроме МС Ауыл-4. Тенденция индекса ID идет на сокращение таких дней со скоростью примерно 2...4 суток/10 лет. Коэффициент детерминации составляет от 4 до 16 %.

Значение индекса FDm20 было наименьшим. Количество дней с суточным минимумом ниже минус 20 °С составляло от 21 до 30. Статистически значимыми являются тренды на МС Куйган и Сарышаган. Количество суток на этих МС уменьшается со скоростью примерно 3 суток/10 лет. Коэффициент детерминации составил 9 %. О степени континентальности климата можно судить по суточным амплитудам температуры воздуха. В таблице 5 приведены значения средней многолетней суточной амплитуды за холодные периоды года в 1971...2018 гг., а также характеристики тенденций в суточной амплитуде. Значение средней многолетней суточной амплитуды составляет от 8.1 до 10.8 °С. Статистически значимый тренд амплитуды ($p\text{-value} \leq 0.05$) наблюдается на МС Ауыл-4, Балкаш и Саяк. Средняя суточная амплитуда уменьшается со скоростью 0,2...0,4 °С. Коэффициент детерминации для этих МС составляет 9 и 21 %.

Таблица 5

Характеристики средней суточной амплитуды (индекс DTR) температуры воздуха, рассчитанные за холодный период года в 1971...2018 гг.

| Станция | Среднее значение индекса, °С | Коэффициент линейного тренда, °С/10 лет | Коэффициент детерминации % | p-value |
|-----------|------------------------------|---|----------------------------|---------|
| Ауыл-4 | 10,8 | -0,3 | 9 | 0,04 |
| Балкаш | 9 | -0,2 | 9 | 0,04 |
| Куйган | 10,7 | -0,1 | 0 | 0,73 |
| Сарышаган | 8,1 | -0,2 | 6 | 0,11 |
| Саяк | 9,4 | -0,4 | 21 | 0 |

Заключение. По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Холодный период в данном регионе длится с ноября по март;
- 2) Анализ трендов средних месячных температур воздуха показал, что статистически значимы тренды только в феврале и марте на пяти МС и в ноябре на МС Саяк. Коэффициент линейного тренда положительный, что свидетельствует о росте температур воздуха в прибалкашском регионе в феврале и марте в период 1971...2018 гг.;
- 3) По среднемесячным показателям самым холодным месяцем является январь, а самым теплым – ноябрь, хотя на МС Балкаш самое минимальное значение (минус 20,4 °С) наблюдалось в феврале 1974 года, а самая максимальная среднемесячная температура (3,7 °С) в марте 2013 года. Коэффициенты асимметрии во все месяцы кроме марта отрицательны. В феврале и марте почти на всех МС наблюдается рост среднемесячной температуры за 1972...2018 гг. Тренды среднемесячных температур в остальных месяцах незначимы.
- 4) Анализ климатических индексов, основанных на абсолютных значениях, показывают, что тренды многих индексов статистически значимы ($p\text{-value} \leq 0.05$). Коэффициенты линейного тренда у всех индексов положительны, что говорит об устойчивом повышении суточных максимумов и минимумов.
- 5) Увеличивается повторяемость теплых дней (TX90p) и теплых ночей (TN90p), а повторяемость холодных дней (TX10p) и ночей (TN10p) уменьшается.
- 6) Уменьшается количество суток с температурой воздуха ниже выбранных пороговых значений: 2 °С, 0 °С, минус 2 °С, минус 20 °С;
- 7) Наблюдается уменьшение суточной амплитуды воздуха на трех МС (Ауыл-4, Балкаш, Саяк) это уменьшение статистически значимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат Казахстана. Под ред. А.С. Утешева – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 367 с.
2. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Том 13. Вып.2. Бассейн озера Балкаш. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 644 с.
4. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 528 с.
5. Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Kumar Kolli R., Revadekar J.V., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar

- E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez Aguirre J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation // Journal of Geophysical Research-Atmospheres. – 2006. – issue 111. – P. 1-22.
6. Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T. Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the twentieth century // Climate Research. – 2002. – issue 19. – P.193-212.

Поступила: 26.11.2019 г.

Е.Е. Белдеубаев

Географ. ғылымдар. кандидаты

С.А. Долгих

БАЛҚАШ МАҢЫ АУАСЫНЫҢ ЖЕР БЕТІНЕ ЖАҚЫН ҚАБАТЫНДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ МЕН СОҢҒЫ ОН ЖЫЛДЫҚТАҒЫ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Түйін сөздер: температуралық жағдай, ауа температурасының климаттық көрсеткіштері, суық мезгіл

Бұл мақалада Балқаш маңы өңірінің метеорологиялық станцияларының 1971...2018 жылдардағы деректері бойынша суық мезгілдегі ауаның жер бетіне жақын қабатының температурасы талданды. Ауа температурасының негізгі статистикалық сипаттамалары мен климаттық көрсеткіштер есептелді, олар суық кезеңнің ұзақ мерзімді жылу режимін және жаһандық климаттың өзгеруі неғұрлым айқын болған, соңғы он жылдықтағы өзгерісін сипаттайды.

Ye.Ye. Beldeubayev, S.A. Dolgikh

ABOUT TEMPERATURE REGIMES OF SURFACE AIR IN THE COLD PERIOD IN THE BALKASH REGION AND ITS CHANGES IN THE LAST DECADES

Keywords: temperature regime, climatic indices of air temperature, cold period.

This article analyzes the temperature of surface air in the cold period according to data from meteorological stations of the Balkan region for 1971...2018. The basic statistical characteristics and climatic indices of air temperature were calculated, characterizing the long-term thermal regime of the cold period and its change over the past few decades, when global climate change manifested itself most vividly.