

УДК 551.524.34(574)

**О МНОГОЛЕТНИХ ТЕНДЕНЦИЯХ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

С. А. Долгих

*Представлено пространственное распределение тенденций сезонных и годовых температур воздуха за периоды: 1881-1991 гг. и 1962-1991 гг. на территории Республики Казахстан. Установлено, что для большей части территории Казахстана в данные отрезки времени характерна тенденция повышения средних годовых и сезонных температур воздуха, за исключением весеннего сезона, где она отсутствует в последние 30 лет.*

Проблема изучения современного изменения климата является актуальной в климатологии. Это связано с тем, что в течение последних 100 лет это изменение носило не только естественный, но и антропогенный характер. Задача исследования временной изменчивости, включая тренды за длительный период времени, характеристик глобального и регионального климата, определена во Всемирной климатической программе [1] - одной из самых долговременных программ международного научного сотрудничества в рамках ВМО. Что касается изменения глобального климата, то многими учеными и исследовательскими группами получены его оценки, чаще всего, в силу доступности, с помощью такой характеристики как приземная температура воздуха, осредненная по всему земному шару, по полушариям, по широтным зонам [2,3,6,8]. Тренд глобально осредненной приземной температуры составил около 0,4 - 0,5 °C/100 лет. Некоторая разноречивость в оцен-

ках тренда вызвана различием подходов к учету неоднородности временных рядов, растущей урбанизации, а также различной степенью пространственной освещенности данными по температуре. Более сложным и менее изученным является вопрос об изменении климата по регионам, которое также происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, и является откликом на изменения климата более крупного масштаба.

Цель настоящей работы - выявить и оценить существующие тенденции в изменении термического режима на территории Республики Казахстан за период инструментальных наблюдений за приземной температурой воздуха, что составило порядка 100 лет, а также за последнее тридцатилетие, характеризующее современное состояние климата.

Исходными данными для исследования послужили ряды средней месячной температуры воздуха на 55 станциях Казахстана, 26 из них с периодом наблюдений от 65 до 111 лет. Рассматривались среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые температуры, при этом зимний сезон включает декабрь-февраль, весенний - март-май, летний - июнь-август и осенний - сентябрь-ноябрь. К рядам температуры предъявлялись повышенные требования относительно климатологической однородности. С помощью введения поправок устранена неоднородность, возникшая как следствие различного количества наблюдений в сутки.

Для выявления многолетних тенденций (трендов) в изменении термического режима ряды температуры воздуха аппроксимировались линейной функцией. Проверка гипотезы о равенстве нулю коэффициентов линейного тренда осуществлялась с помощью критерия  $t$ -Стьюдента. Анализировались тренды, для коэффициентов которых уровень доверительной вероятности составил 80 % и выше. Столь низкий уровень доверительной вероятности оправдан желанием не упустить из поля зрения самые незначительные, но, тем не менее, реально существующие тенденции. Для определения доли дисперсии трендов в общей дисперсии исходных рядов температуры рассчитывал-

ся коэффициент детерминации:

$$D = \left(1 - \frac{\hat{S}^2}{S^2}\right) 100 \%,$$

где  $\hat{S}^2$  - дисперсия отклонений от тренда,  $S^2$  - дисперсия исходного ряда.

В тех случаях, когда уровень доверительной вероятности оказывался ниже 80 % и при малых значениях коэффициента детерминации, принимался во внимание только знак тенденции изменения температуры.

На рис.1 представлены поля коэффициентов линейного тренда  $A_{Tr}$  ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) средних сезонных и годовых температур воздуха, характеризующие пространственное распределение тенденций термического режима за период 1881-1991 гг. по сезонам и в целом за год. Области с коэффициентом детерминации выше 10 % заштрихованы. Анализ рис.1 показывает, что в течение последних 100 лет происходил рост среднего уровня сезонных и годовых температур воздуха практически на всей рассматриваемой территории, за исключением небольшого района на северо-востоке, где в летний и осенний сезоны и в целом за год отмечена тенденция к понижению температуры воздуха до  $0,2$   $^{\circ}\text{C}/10$  лет при относительной дисперсии тренда 10 %. Максимальные положительные тенденции в изменении температуры воздуха ( $0,5-0,6$   $^{\circ}\text{C}/10$  лет) наблюдались зимой на севере и северо-западе Республики. Относительная дисперсия тренда составила при этом 13-15 % от общей дисперсии ряда. На эти же районы приходится максимальные положительные значения  $A_{Tr}$  для весны, но здесь они несколько ниже:  $0,4$   $^{\circ}\text{C}/10$  лет при  $D$  равном 13-16 %. Самое незначительное повышение температуры за 100-летний период произошло летом и осенью,  $A_{Tr}$  не превышает  $0,2$   $^{\circ}\text{C}/10$  лет при  $D = 10$  %. Причем, в эти сезоны на значительной части территории значения коэффициентов линейного тренда имеют уровень доверительной вероятности менее 80 %, поэтому, как указано выше, учитывался только знак тенденции.

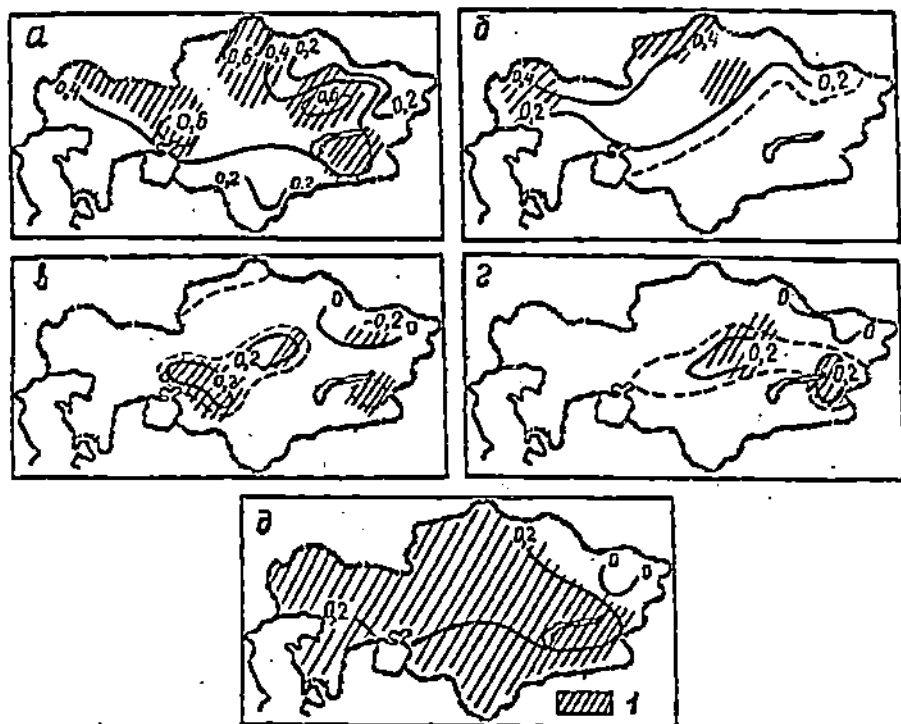


Рис. 1. Поля коэффициентов линейного тренда средней зимней (а), весенней (б), летней (в), осенней (г), годовой (д) температур воздуха и области превышения относительной дисперсии тренда 10 % (1) на территории Республики Казахстан за период 1881-1991 гг.

Рассмотрим пространственное распределение тенденций термического режима на исследуемой территории за последние 30 лет. Отметим, что тренд годовой температуры воздуха за этот период положительный во всем регионе. Максимальные значения коэффициента линейного тренда средней годовой температуры наблюдались в районе Аральского моря и в юго-восточной половине региона и составили  $0,4 - 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ , доля дисперсии тренда - 10-20 %. Зимой на востоке и юго-востоке региона выделяется район, где максимальная скорость потепления составила  $1,2 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ , относительная

дисперсия тренда при этом - 10-17 %. Летом значительный рост среднего уровня температуры воздуха произошел на большей части территории Республики Казахстан. Обращает внимание, что максимальные значения  $A_{Tr}$  ( $1,0^{\circ}C/10$  лет) и коэффициента детерминации  $D$  (30-60 %) отмечены вдоль восточного побережья Аральского моря. Данный факт, вероятно, связан с уменьшением охлаждающего эффекта, наиболее заметного летом, этого водного бассейна на указанные районы: именно с 60-х годов нашего столетия началось интенсивное падение уровня моря. Осенью район потепления занимал юг и юго-восток Казахстана, где скорость повышения температуры составила до  $0,5^{\circ}C/10$  лет. Исключение - несколько станций, где тренд отсутствует. Изменение температуры весеннего сезона повсеместно, за исключением крайних северных и западных районов, имеет отрицательный знак. Но эта тенденция статистически мало обеспечена, и только юг Республики характеризуется значительным понижением сезонной температуры воздуха, где оно достигло  $0,2-0,3^{\circ}C/10$  лет,  $D$  при этом равен 10 %. Таким образом, последнее тридцатилетие характеризуется более высокой, чем в целом за столетие, скоростью изменения сезонных (кроме весны) и годовой температур воздуха.

В таблице, приведенной ниже, представлены оценки линейного тренда осредненных по площади региона средних месячных, сезонных и годовых температур воздуха за различные периоды. Как свидетельствуют данные этой таблицы, скорость изменения температуры воздуха в различные месяцы, объединенные в сезон, довольно различна. Так, например, в период 1962-1991 гг. зимой наибольшее изменение температуры произошло в январе ( $1,0^{\circ}C/10$  лет), а летом в июне ( $0,6^{\circ}C/10$  лет). Весна и осень объединяют месяцы, которые имеют противоположный знак тенденции изменения температуры воздуха. Для изучения некоторых проблем, например, откликов регионального климата на изменение глобального климата, это обстоятельство необходимо учитывать. Как известно, наибольшей изменчивости подвержены температуры зимой и весной,

летом и осенью вариации температуры менее значительны. Для территории Казахстана, как показано в [4], среднее квадратическое отклонение колеблется зимой и весной от 2,0 до 4,5 °С, а летом и осенью - от 0,8 до 1,7 °С. Таким образом, вес равновеликих значений коэффициентов линейного тренда сезонных температур различен, что и подтверждает коэффициент детерминации (см. табл.).

Таблица

Коэффициенты линейного тренда ( $A_{тр}$ , °С/10 лет) и детерминации (D, %) средних месячных, сезонных и годовых приземных температур воздуха, осредненных по территории Республики Казахстан за различные периоды

Период осреднения	1927-1991 гг.		1962-1991 гг.	
	$A_{тр}$	D	$A_{тр}$	D
Декабрь	0,7	17	0,8	5
Январь	0,6	14	1,0	7
Февраль	0,2	1	0,3	1
Март	0,2	3	-0,5	3
Апрель	0,2	4	0,3	2
Май	0,1	2	0	0
Июнь	0,2	6	0,6	23
Июль	0,1	3	0,3	5
Август	0	0	0,4	11
Сентябрь	0,1	4	0,4	10
Октябрь	-0,1	1	0,3	3
Ноябрь	0,3	4	-0,2	1
Зима	0,5	15	0,7	8
Весна	0,2	6	0	0
Лето	0,1	5	0,4	27
Осень	0,1	4	0,2	2
Год	0,2	24	0,3	11

Например, в последнее тридцатилетие доля дисперсии линейного тренда температуры воздуха зимнего сезона составляет всего 8 % от общей дисперсии ряда при значении коэффициента тренда 0,7 °С/10 лет, а летнего сезона - 27 % при  $A_{тр}$

равном  $0,4^{\circ}\text{C}/10$  лет, т.е. статистическая значимость оценки потепления летом оказалась выше таковой зимой.

Структура внутривековых колебаний температуры воздуха наглядно представлена на рис.2 на примере зависимости коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры воздуха, осредненной по территории Республики Казахстан, от длины  $L$  анализируемого отрезка времени ( $L=10, 20, 30 \dots 90$ ), скользящего с шагом 1 год, и его конца  $t$ . Т.е., выбрав конечный год периода  $t$ , можно определить знак и скорость изменения температуры воздуха за предшествующие  $10, 20, \dots, 90$  лет, поднимаясь по вертикали до пересечения с  $L=10, 20, \dots, 90$  лет. Либо, двигаясь по горизонтали, проследить изменение  $10, 20, \dots, 90$ -летней тенденции ряда во времени и определить периоды похолодания и потепления для конкретных  $L$ .

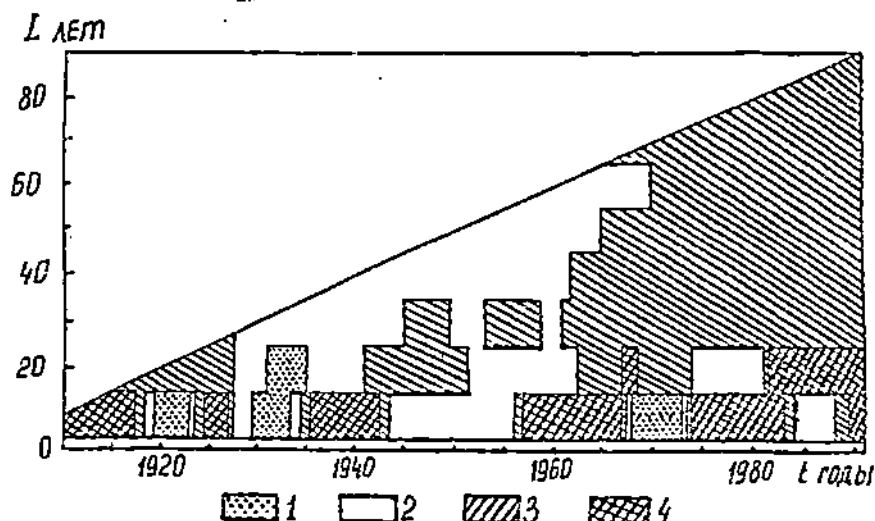


Рис. 2. Зависимость коэффициента линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) средней годовой температуры воздуха, осредненной по территории Республики Казахстан, от длины периода оценки тренда ( $L$ ) и конца периода ( $t$ ).

- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. $\text{Amr} < -0,5$ ;    | 2. $-0,5 < \text{Amr} < 0$ ; |
| 3. $0 < \text{Amr} < 0,5$ ; | 4. $\text{Amr} > 0,5$ .      |

Как видно на рис.2, чем меньше длина  $L$  ана-

лизируемого отрезка, тем чаще меняется знак тенденции. С увеличением  $L$  знак коэффициента тренда меняется реже, например, при  $L$  равной 40, 50 и 60 лет знак поменялся лишь однажды: в начале 60-х годов отрицательная тенденция средней годовой температуры сменилась положительной. В эти же годы произошла аналогичная смена знака тенденции и для длины периода 20 и 30 лет, а несколько раньше и для 10-ти летней скользящей  $L$ , что указывает на относительно устойчивое повышение среднего уровня средней годовой температуры воздуха, начавшееся с конца 50-х годов. Величина коэффициентов тренда уменьшается с увеличением длины  $L$  анализируемого отрезка времени: если при  $L$ , равном 10, значения  $A_{\text{тр}}$  достигают  $1^\circ\text{C}/10$  лет и более, то уже при  $L$ , равном 20, составляют лишь доли единицы.

Приведенные результаты анализа долгопериодных составляющих одного из основных климатических параметров, каким является температура воздуха, показывают, что для большей части территории Казахстана характерна тенденция повышения средних годовых и сезонных температур как для 100-летнего периода так и для последнего тридцатилетия, за исключением весеннего сезона, где в последний из указанных периодов тенденция отсутствует. Рассматривая относительную дисперсию выявленных трендов, которая редко превышает 20 % от общей дисперсии рядов температуры, можно сказать, что тенденция выражена не столь уж ярко. Но, как показано в [7], относительно небольшие изменения средней температуры воздуха могут привести к относительно большим изменениям вероятности возникновения экстремальных температур.

Проблема изменения климата тесно связана с проблемой жизни и деятельности человека. Например, в такой сфере жизнеобеспечения как сельскохозяйственное производство изменение климата повлечет за собой изменение географического распределения почвенно-климатических зон, а отсюда - переориентация отраслей хозяйства. Либо потребуются разработка мер по поддержанию урожайности привычных для данного региона культур. В США и во многих других странах уже проводятся контрольные



опыты в фитотронах, парниках и фитокамерах по изучению поведения растений, выращиваемых при различных климатических режимах. Наши выводы подсказывают необходимость подобных экспериментов с культурами, произрастающими в Казахстане. Для этих и многих других целей необходимо иметь прогноз возможных изменений регионального климата.

В [5] приведены оценки равновесных изменений климата, вызванных удвоением концентрации  $\text{CO}_2$ , полученные по 5-ти моделям общей циркуляции атмосферы, разработанным в Геофизической лаборатории динамики жидкости (GFDL), Годдарском институте космических исследований (GISS), Национальном центре атмосферных исследований (NCAR), Университете штата Орегон (OSU), Метеорологическом центре Соединенного королевства (UKMO). На территории Республики Казахстан удвоение концентрации  $\text{CO}_2$  по всем 5-ти моделям приводит к повышению температуры воздуха. Зимой оно составляет  $4-6^\circ\text{C}$ , летом -  $4-6^\circ\text{C}$  по моделям GFDL и UKMO и  $2-4^\circ\text{C}$  по остальным из названных моделям. Если предположить, что тенденции термического режима прошлого столетия сохранятся до периода удвоения  $\text{CO}_2$ , которое по прогнозам [5] произойдет во второй половине следующего столетия, то о модельных оценках предстоящих изменений температуры воздуха можно сказать, что, во-первых, они совпадают по знаку с тенденциями прошлого, во-вторых, близки по величине в очагах максимальных изменений температуры для зимы и, как минимум, вдвое завышены для лета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная климатическая программа 1988-1997 гг. Второй долгосрочный план ВМО. Ч. 2, т. 2. //Бюллетень ВМО. - N 692. - 1987.- 67 с.
2. Груза Г. В. Климатическая изменчивость и прогноз изменений климата //Природа.- 1992.- N 8.- С. 28-36.
3. Изменение средней температуры воздуха северного полушария за 1841-1985 гг./К. Я. Винников и др. //Метеорология и гидрология. - 1987.- N 1. - С. 45-55.

4. Панова Е. Н. О статистической структуре сезонной температуры воздуха в Казахстане // Тр. КазНИГМИ. - 1988. - Вып.100.- С. 59-64.
5. Предстоящие изменения климата / Под ред. М. И. Будыко, Ю. А. Израэля, М. С. Маккракена и др. // Совместный советско - американский отчет о климате и его изменениях.- Л.: Гидрометеоиздат, 1991.- 272 с.
6. Hansen J. E., Lebedeff S. Global surface air temperatures: update through 1987//Geophys. Res. Let. - 1988. - Vol. 15. - P. 323-326.
7. Mearns L. O., Katz R. W., Schneider N. Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature// J. Clim. Appl. Meteorol. - 1984. - Vol. 23. - P. 1601-1613.
8. Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984 /Jones P. D. et al. // J. Clim. Fhhl. Meteorol. - 1986. - Vol. 25. - P. 161-179.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

## КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ТЕРРИТОРИЯСЫНДАҒЫ ЖЫЛУ ТӘРТІБІНІҢ КӨПЖЫЛАҒЫ ӨЗГЕРУ БАҒЫТЫ ТУРАЛЫ

С.А. ДОЛГИХ

Қазақстан Республикасы территориясының 1881-1991 ж.ж. және 1962-1991 ж.ж. аралығындағы ауаның маусымдық және жылдық жылу тенденциясының ауқымдық бөлінуі қарастырылады. Қазақстан территориясының үлкен бөлігінде соңғы 30 жылда көктемгі маусымды қоспағанда ауаның орташа жылдық және маусымдық температурасы көтеріле түскені анықталды.