



М. Ф. Андрейчик

**ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЕ
ТУВИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ**

Изменение климата носит синусоидальный характер. Скорость потепления климата составила 0,077 °С/год – 2,23 °С за 30 лет. Выявлены солнечно-земные связи. Гидротермический коэффициент уменьшился на 16 %. В 2001 г. наметилась тенденция замедления темпов потепления климата.

22

Climate changes correspond to a sinusoidal pattern. The climate warming rate is about 0.077 °C/year or 2.23 °C in 30 years. Solar-terrestrial relationships are described in the article. Hydrothermal coefficient has decreased by 16 %. A decreasing climate warming trend emerged in 2001.

Ключевые слова: потепление климата, центр Азии, инерционность термических параметров, нелинейные связи, замедление процесса потепления.

Key words: climate warming, center of Asia, persistence of thermal properties, nonlinear connections, decreasing climate warming trend.

Введение

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата на планете считается общепризнанным фактом. В Тувинской горной области современные изменения климата изучаются впервые. В качестве исходных статистических данных использованы материалы метеостанции Эрзин, расположенной на территории России, в северной части Убсу-Нурской котловины (СЧУНК) – в сухостепной зоне Тувинской горной области (Туву).

Самым холодным периодом для СЧУНК были 1961–1976 гг. – среднегодовая температура колебалась в интервале от –6,1 (1961 г.) до –3,9 °С (1971 г.), самым теплым – 1998 г. (–0,8 °С). Самым теплым для России был 1995 г., за ним следуют 2005 и 2002 гг. Для Земного шара в целом самым теплым был 1998 г. – рекордно теплая веха за всю полуторавековую историю инструментальных наблюдений за погодой [1].

Для глобального потепления характерна неоднородность данного явления. В XX и начале XI в. выделяются три интервала флуктуаций климата: потепление – 1910–1945 гг., слабое похолодание – 1946–1976 гг. и наиболее интенсивное потепление – после 1976 г. [2], в СЧУНК – в 1991–2000 гг. Темпы потепления в Туву в начале XXI в. (2001–2006 гг.) уменьшились на 20 % [3], что согласуется с прогнозом возможного похолодания климата с 2012 г., изложенным в средствах массовой информации ведущим сотрудником Пулковской астрономической обсерватории Х. Абдусаматовым.



Методика исследований

Всемирной метеорологической организацией рекомендуется за основу принять тридцатилетний период – 1961–1990 гг., от средних значений которого принято отсчитывать степень изменения климата. Нами выделено два периода – 1961–1990 и 1977–2006 гг. В качестве критериев оценки изменения климатических параметров используются коэффициенты линейных трендов, определяемые по методу наименьших квадратов. Они характеризуют среднюю скорость изменений анализируемых характеристик. Мера существенности тренда – доля дисперсии (в процентах) от полной дисперсии климатической переменной за рассматриваемый интервал времени. Оценка статистической значимости тренда определяется по 5%-ному уровню значимости (с вероятностью 0,95). Обнаруженные изменения параметров климата реальны (соответствуют действительности), если их величина превосходит ошибку оценки изменений.

Для определения 11-летней периодичности, связанной с изменением числа солнечных пятен, вычисляются скользящие средние по 11 годам, так как потепление может маскировать эту периодичность. Если в первоначальном ряду скрыта 11-летняя периодичность, то в остаточном ряду она выявится с большей очевидностью.

Результаты исследований

Усредненные значения климатических параметров за два периода временного ряда 1961–2006 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1

Динамика усредненных климатических параметров за 1961–1990 и 1977–2006 гг. по данным метеостанции Эрзин

Параметр	Период	
	1961–1990	1977–2006
Среднегодовая температура воздуха, °С:	-4,4	-3,3
холодный период (I–III, XI–XII мес.)	-24,5	-22,8
теплый период (V–IX)	14,0	14,7
переходный период (IV, V)	-0,2	1,0
Дата перехода температуры воздуха через 0 °С весной	13. IV	18. IV
Число дней с морозами в первом полугодии	109	107
Число дней с морозами (в среднем за год)	185	181
Дата перехода температуры воздуха через 0 °С осенью	16. X	18. X
Число дней с морозами во втором полугодии	76	74
Сумма эффективных температур воздуха ($t > 5$ °С)	1 888	2 278
Сумма активных температур воздуха ($t > 10$ °С)	1 858	2 209
Индекс континентальности, ед. (°С)	90,2	89,5
Сумма атмосферных осадков, мм	209,6	202,6
Распределение осадков (мм) по сезонам года:		
холодный период	31,2	32,8
теплый период	164,9	144,9
переходный период	13,5	24,9



Параметр	Период	
	1961 – 1990	1977 – 2006
Гидротермический коэффициент по Селянинову	0,87	0,73
Температура поверхности почвы, °С:		
холодный период	-1,5	-1,1
теплый период	-25	-23,9
переходный период	18,7	18,9
	1,7	1,8

Приведенная информация климатических показателей СЧУНК вписывается в общий процесс глобального изменения климата с некоторыми отклонениями. Однако среднеарифметические величины не являются основой для оценки потепления климата. Повышение температуры за 1971–2000 гг. соответствует глобальному потеплению за 100 лет (XX в.). В последнее 10-летие приращение температуры воздуха составило 1,8 °С. Продолжительность морозного периода в СЧУНК уменьшилась на 4 дня. Удлинение теплого периода на один день повышает суммы эффективных и активных температур воздуха на 3 %.

Динамика атмосферных осадков также не согласуется с общей закономерностью потепления климата на Земле: с повышением температуры воздуха количество осадков увеличивается. На метеостанции Эрзин количество выпавших осадков уменьшилось на 3,4 %. Кстати, климатические изменения осадков в масштабах планеты изучены значительно хуже, чем приземная температура воздуха. Это объясняется не только большой изменчивостью данного фактора, но и отсутствием единой методики наблюдений. Так, в России она многократно корректировалась с 1936 по 2000 г. [4].

Изменение температуры поверхности почвы и воздуха

Поверхность почвы является преобразователем коротковолновой солнечной энергии в тепловую. Она определяет динамику температуры воздуха. За анализируемый период температура поверхности почвы ($t_{\text{пн}}$) повысилась на 0,4 °С. В годовом ходе изменение $t_{\text{пн}}$ происходит неоднозначно. Наибольший прирост температуры происходит в январе – марте, ноябре и декабре. В последние два месяца температура поверхности снега ниже температуры воздуха, что указывает на интенсификацию циркуляции атмосферы и усиление циклонической деятельности в зимнее время. Вклад холодного периода в потепление климата значительно выше теплого – 65 %.

Закономерности теплообмена между приземным воздухом и поверхностью почвы хорошо прослеживаются на рисунке 1.

Динамика температуры поверхности почвы и приращения температуры воздуха аппроксимируется полиномом 6-й степени:

$$t_{\text{пн}}: y = 0,001x^6 - 0,04x^5 + 0,72x^4 - 7x^3 + 33,9x^2 - 61x + 1,7R^2 = 0,998;$$

$$\Delta t_{\text{в}}: y = -0,001x^6 + 0,02x^5 - 0,2x^4 + 1,5x^3 - 4,6x^2 + 5,8x - 1,5R^2 = 0,921.$$

Аналогичными кривыми описываются температура воздуха и приращение температуры поверхности почвы.

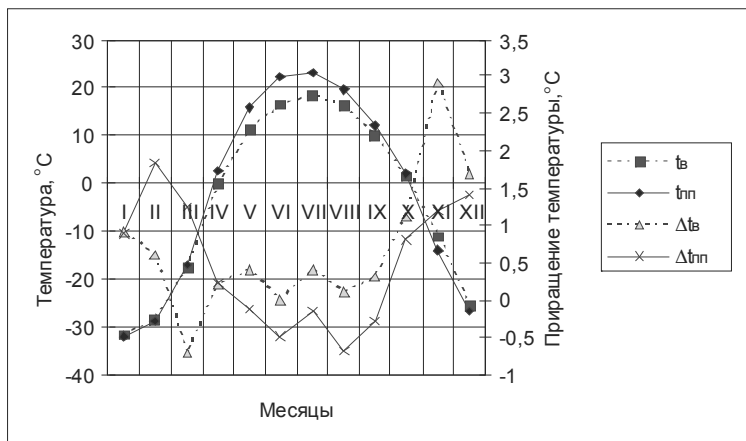


Рис. 1. Динамика годового хода температуры воздуха ($t_{\text{в}}$), поверхности почвы ($t_{\text{пн}}$) и их приращений — $\Delta t_{\text{в}}$ и $\Delta t_{\text{пн}}$ по многолетним данным 1977 – 2006 гг. Метеостанция Эрзин

Криволинейные тренды термических характеристик двух геосфер и их производных (приращений) имеют зеркальное отображение, что говорит об обратной связи между изучаемыми признаками. На рисунке четко прослеживается следующая закономерность. Все градиенты температуры воздуха в годовом ходе за исключением марта месяца имеют положительные знаки (см. правую ось y), значения приращений температуры поверхности почвы в апреле – сентябре обладают отрицательными величинами. Это говорит о том, что эффект потепления климата в первую очередь проявляется в приземном слое атмосферы. Вывод: температура поверхности почвы в климатической системе обладает свойством инерционности по отношению к среднегодовой температуре воздуха.

Введение нового климатического параметра – показателя изменения климата

Введение в климатическую систему показателя изменения климата (ПИК) при оценке потепления климата объясняется несинхронностью динамики трендов аномалий среднегодовой температуры воздуха и индекса континентальности, сглаженных 11-летним циклом. Индекс континентальности отражает значение доли годовой амплитуды температуры воздуха за счет суши, или величину континентального вклада в годовую амплитуду температуры, и характеризует степень континентальности климата главным образом по температурному режиму: с увеличением значения K континентальность климата возрастает. Индекс континентальности является надежным показателем при климатическом районировании Земли, но не совсем приемлем при оценке изменения климата.

ПИК определяется по той же методике, что и другие климатические характеристики и вычисляется отношением сумм аномалий, сглаженных по 11-летним циклам, холодного к теплому периоду:



$$\text{ПИК} = \frac{\sum t_x}{\sum t_t},$$

где $\sum t_x$, $\sum t_t$ – суммы аномалий температуры воздуха холодного и теплого периодов относительно среднегодовой температуры воздуха 1961–1990 гг.

На рисунке 2 хорошо прослеживается согласованность линейных трендов аномалий среднегодовой температуры воздуха и ПИК, подтверждающих процесс потепления. Достоинством данного параметра является его стабильная направленность. Если в климатической системе наблюдаются существенные колебания изучаемых величин, то положение линейного вектора ПИК всегда устойчиво. Это дает право ставить точку в дискуссии современного изменения климата в пользу его потепления.

26

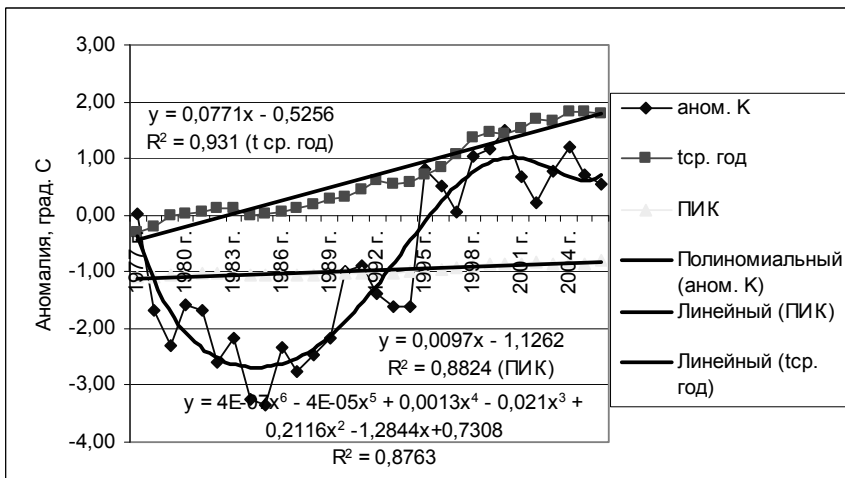


Рис. 2. Динамика аномалий среднегодовой температуры воздуха ($t_{\text{ср. год}}$), индекса континентальности (аном. К) и показателя изменения климата (ПИК), сглаженных по 11-летним циклам. Метеостанция Эрзин 1977–2006 гг.

Символ E означает число 10. Выражение $4E-07x^6$ читается $4 \cdot 10^{-7} \cdot x^6$

Анализ рисунка требует абстрактного мышления при снятии информации К. Дело в том, что К – дублирующий показатель изменения климата: его увеличение говорит о проявлении признаков «похолодания» климата, а уменьшение – о смягчении континентальности, потеплении. На рисунке потепление климата характеризуют отрицательные градиенты К: чем больше их значения (по абсолютной величине), тем интенсивнее потепление, и наоборот. Изложенное абстрагирование позволяет перейти к следующему пункту выводов.

Наименьшая континентальность климата была в 1984 г. Первый экстремум лежит в 21-м, второй – в 22-м цикле солнечной активности с максимальным числом Вольфа (W).

Для выявления солнечно-земных связей с индексом континентальности целесообразно провести анализ его декомпозиционных составляющих годовой амплитуды – температуры июля и января. Динамика их аномалий представлена на рисунке 3.

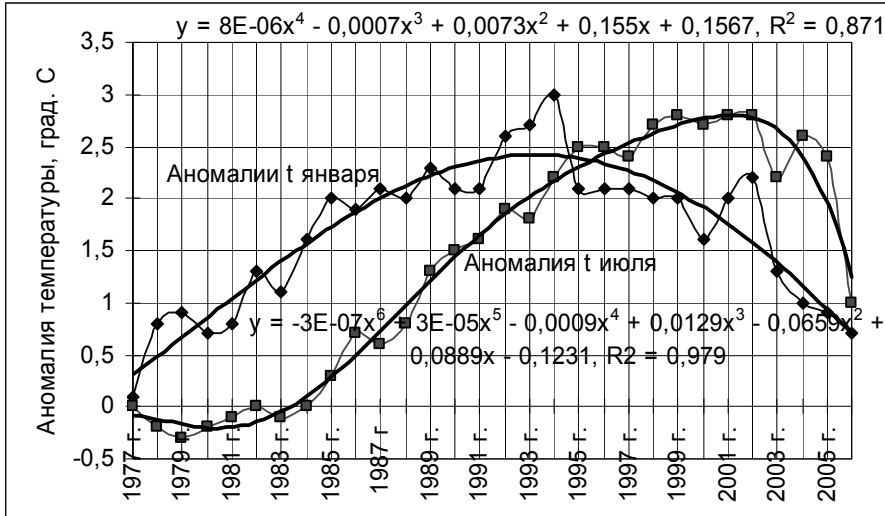


Рис. 3. Полиномиальные тренды аномалий температуры (t) воздуха января и июля, сглаженные по 11-летним циклам. Метеостанция Эрзин, 1977–2006 гг.

Внешне обе кривые имеют схожую форму и выражают однозначную закономерность. На самом деле каждая из них имеет принципиальные различия, раскрывающие общие закономерности изменения климата в холодный и теплый периоды года. Во-первых, в кривых отсутствует синхронность динамики. Во-вторых, тренд июля обладает четко выраженными экстремумами. В-третьих, максимум аномалий июля смещен относительно максимума января вправо на девять лет. В-четвертых, темпы понижения температуры воздуха июля после максимума выше января в 1,6 раза.

Минимум кривой сглаженных аномалий температуры воздуха июля лежит в 21-м, а максимум — в 23-м цикле солнечной активности. Период между минимумом и максимумом кривой составляет 21 год.

Из рисунка 3 видно, что все значения аномалий температуры января — положительные числа. Это говорит о том, что холодный период года является индикатором изменения климата.

Аналогичный анализ по выявлению связей между среднемесячными температурами и К был выполнен для всех месяцев календарного года. Графический материал позволяет проследить следующую закономерность. Кривая индекса континентальности представляет собой устойчивую синусоиду (объект), а графики среднемесячных температур — динамическую систему, постепенно сдвигающуюся вправо, приобретая различные трансформированные формы параболидальных кривых.

Уровень безопасности изменения климата ($K_{\text{БИК}}$)

Критичным для планеты считается изменение общемировой температуры на 2 °С. Однако для Тувинской горной области критичной ситуацией следует считать повышение температуры на 4 °С, которая может значительно ухудшить условия традиционного земледелия и скотоводства. $K_{\text{БИК}}$ определяется по формуле



$$K_{\text{БИК}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{t}_{\text{тек.}} - \bar{t}_{\text{уст.}}}{\bar{t}_{\text{пред.}} - \bar{t}_{\text{уст.}}} \right),$$

где $\bar{t}_{\text{тек.}}$ – настоящая (текущая) среднегодовая температура воздуха республики; $\bar{t}_{\text{уст.}}$, $\bar{t}_{\text{пред.}}$ – среднеустойчивая (зафиксированная) и предельная температура воздуха республики [6].

Уровни безопасности по изменению климата представлены в таблице 2.

Таблица 2

Уровни безопасности по изменению климата

Индекс	Уровень безопасности	
I	> 0,8	Высокий
II	0,8–0,6	Приемлемый
III	0,6–0,4	Средний
IV	0,4–0,2	Критический
V	< 0,2	Катастрофический

Полученные расчеты показывают, что уровень безопасности по изменению климата соответствует среднему, однако наметилась тенденция к критической ситуации ($K_{\text{БИК}} = 0,44$).

Выводы

Среднее повышение температуры воздуха составило $0,077 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$ – $2,23 \text{ }^\circ\text{C}$ за 30 лет. Вклад холодного периода года в потепление климата составляет 65 %.

Уменьшение атмосферных осадков на 3,4 % еще больше усугубило влагообеспеченность котловины – гидротермический коэффициент уменьшился на 16 %. По классификации она перешла из категории «недостаточной» в «слабозасушливую» [5].

Выявлены солнечно-земные связи индекса континентальности: минимумы сглаженных аномалий лежат в 21-м (1976–1985 гг.), а максимумы – в 23-м (1999–2001 гг.) циклах солнечной активности в областях максимальных чисел Вольфа.

Список литературы

1. Богданова Э.Г., Ильин Б.М., Гаврилова С.Ю. Современные методы корректировки измеренных осадков и результаты их применения в полярных регионах России и Северной Америке // Метеорология и гидрология. 2007. №4. С. 21–44.

2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата // 60 лет Центру гидрометеорологических прогнозов. Л., 1989. С. 148–170.

3. Андрейчик М.Ф., Монгуш Л.Д.-Н., Мусанова М.Н. и др. Изменение температуры воздуха – показатель потепления климата в Тувинской горной области // Проблемы охраны и природопользования : матер. IX Убсу-Нурского Международ. симп. Кызыл, 2008. С. 321–323.



4. Винников К. Я., Гройсман П. Я., Лугина К. М., Голубев А. А. Изменение средней температуры воздуха Северного полушария за 1841 – 1985 гг. // Метеорология и гидрология. 1987. №1. С. 45 – 55.

5. Хомякова Г. В., Зоидзе Е. К. Агроклиматическая оценка почвенных засух на европейской территории Российской Федерации (по наземным данным) // Метеорология и гидрология. 2002. №9. С. 75 – 86.

6. Bertoks P. World resources 1994 – 1995. N.Y. ; Oxford, 1987.

Об авторе

Михаил Федорович Андрейчик – канд. биол. наук, доц., Тувинский государственный университет, Республика Тыва, Кызыл.

E-mail: Andreychickm@yandex.ru

About author

Dr Mikhail Andreichik, Associate Professor, Tuva State University, Kyzyl.

E-mail: Andreychickm@yandex.ru