

УДК 577.4 (571.52)

М.Ф. Андрейчик

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В ТОДЖИНСКОЙ КОТЛОВИНЕ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с изменением климата в Тоджинской котловине Республики Тыва. По данным автора, наибольшее повышение температуры поверхности почвы и воздуха наблюдается в холодный период года. Скорость потепления в котловине в 2,5 раза выше, чем в России, в 12 раз – в аналогичный период глобальных изменений XX в.

**Ключевые слова:** Тоджинская котловина, Республика Тыва, изменение климата, температура почвы и воздуха.

M.F. Andreychik

## THE CLIMATE CHANGE IN TODJA HOLLOW OF THE TYVA REPUBLIC

The issues connected with the climate change in Todja Hollow of the Tyva Republic are considered in the article. According to the author's data, the greatest temperature increase of the soil surface and air is observed in the cold period of the year. The warming speed in the hollow is 2,5 times higher than in Russia, 12 times higher – in the global change similar period of the XX century.

**Key words:** Todja Hollow, Tyva Republic, climate change, soil and air temperature.

**Введение.** Тоджинская котловина расположена на Восточно-Тувинском нагорье Республики Тыва. Она представляет собой крупное межгорное тектоническое понижение – заболоченную равнину с пересеченным рельефом, лежащую на высоте 800–1200 м. Сложный комплекс останцевых гряд чередуется с участками мореного рельефа, в понижениях которого встречаются многочисленные озера (около 70 % по республике). В среднегорных и гольцовых массивах провинции расположены бассейны двух главных рек – Бий-Хем и Ка-Хем. На севере Тоджинская котловина примыкает к горному массиву Восточного Саяна. С юга и запада она ограничена хребтами Академика Обручева, на востоке – Удинским хребтом (рис. 1).

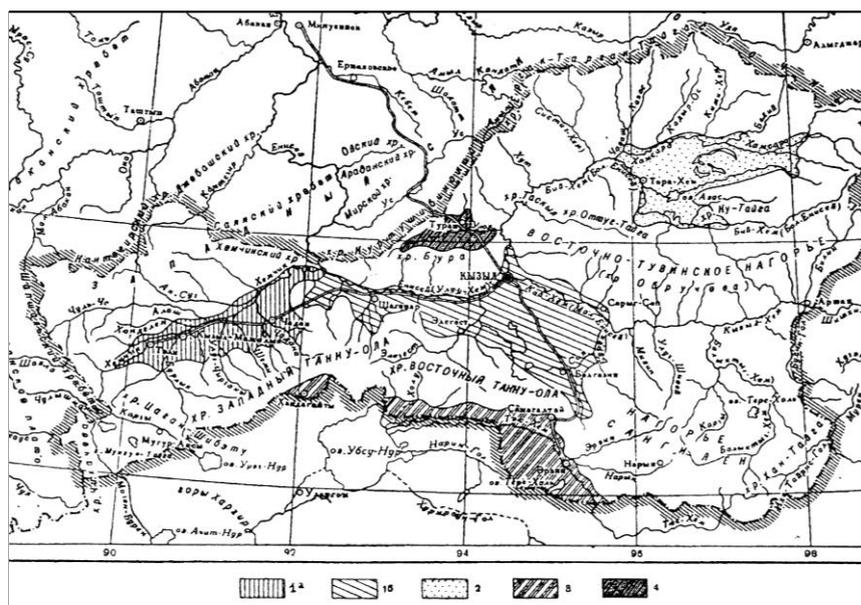


Рис. 1. Орографическая схема Республики Тыва: котловины: 1 – Центрально-Тувинская (1а – Хемчикская, 1б – Улуг-Хемская); 2 – Тоджинская; 3 – Убсунурская; 4 – Турано-Уюкская

**Цель исследований.** Изучить динамику температурного режима поверхности почвы и температуры воздуха.

**Задачи исследований:** 1) вычисление аномалий (отклонений) среднемесячных и среднегодовых температур поверхности почвы и воздуха от базового периода (1961–1990 гг.), сглаживание их по 11-летним циклам; 2) построение трендов за 1977–2010 гг.; 3) анализ связей между исследуемыми климатическими показателями; 4) вычисление вклада различных сезонов года в потепление климата; 5) разработка нового климатического параметра – показателя изменения климата.

**Материалы и методы исследований.** Для оценки изменения климата Всемирная метеорологическая организация рекомендует в качестве исходной характеристики использовать тридцатилетний период – 1961–1990 гг. [2]. Именно от этих средних значений метеорологических параметров данного периода и принято отсчитывать степень изменения климата. Для сравнения динамики изучаемого показателя нами были выделены два периода: базовый – 1961–1990 гг. и исследуемый – 1977–2010 гг. Более подробная методика обработки метеорологических данных изложена в работе [1].

**Результаты исследований и их обсуждение.** *Динамика температуры поверхности почвы.* Основным преобразователем лучистой энергии Солнца в тепловую в деятельном слое суши является поверхность почвы. Именно изменение температуры почвы определяет динамику температуры воздуха.

Усредненные данные показывают, что за 1977–2010 гг. среднегодовая измеренная температура поверхности почвы относительно базового периода (1961–1990 гг.) повысилась на  $0,7^{\circ}\text{C}$ , что дает основание для ошибочного утверждения о тенденции потепления климата. С использованием же классической методики Всемирной метеорологической организации приращение рассматриваемого показателя составило  $2,0^{\circ}\text{C}$ , т.е. почти в три раза выше. Линейный коэффициент показывает, что среднегодовая температура поверхности почвы увеличивалась на  $0,06^{\circ}\text{C}$  (рис. 2).

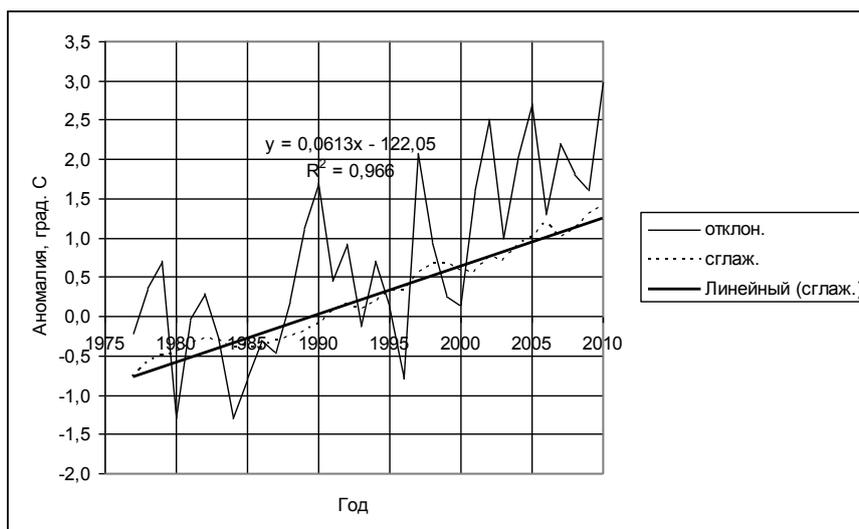


Рис. 2. Аномалии среднегодовых значений температуры поверхности почвы и их значений, сглаженных по 11-летним циклам за период 1977–2010 гг. Метеостанция Тоора-Хем ( $R^2$  – коэффициент детерминации)

Полученная линейная связь достоверна. Вычисленный коэффициент корреляции (0,98) говорит о высокой тесноте связи. Коэффициент детерминации свидетельствует, что 96,6 % повышение температуры поверхности почвы определяет фактор времени.

Для выявления вклада каждого сезона в общее повышение температуры поверхности почвы календарный год был разбит на три периода: холодный (I–III, XI–XII месяцы), теплый (V–IX) и переходные месяцы от зимы к лету – апрель (IV) и от осени к зиме – октябрь (X).

По зимним месяцам расчеты выполнялись по каждому месяцу и в целом за холодный период – январь-март и ноябрь-декабрь. Это позволило выявить следующую закономерность: наибольшее повышение среднемесячной температуры поверхности почвы наблюдалось в холодный период –  $0,6^{\circ}\text{C}$  (вклад в потепление составил 52,0 %), наименьшее – в теплый –  $0,1^{\circ}\text{C}$  (вклад в потепление 12,0 %), а в июне месяце приращение имело отрицательный знак –  $0,1$  (вклад в потепление 1,7 %). В разрезе каждого календарного месяца анализируемые признаки представлены в табл. 1.

Средние значения приращения измеренной температуры поверхности почвы в течение календарного года за период 1977–2010 гг.

Месяц	Приращение температуры, °С	Вклад в потепление, %	Месяц	Приращение температуры, °С	Вклад в потепление, %
I	0,7	12,1	VII	0,5	8,6
II	1,6	27,6	VIII	0,1	1,7
III	0,7	12,1	IX	0	0
IV	1,1	19,0	X	0,6	10,4
V	0,2	3,4	XI	0,1	1,7
VI	-0,1	-1,7	XII	0,1	1,7

*Изменение температуры воздуха.* Тепловой режим атмосферы является важнейшим звеном в изучении климата, который во многом определяется теплообменом между приземным воздухом и поверхностью почвы. Важной отличительной особенностью изучаемого процесса является интенсивность повышения температуры: потепление климата в изучаемой котловине оказалось значительно выше, чем в России и на планете в целом. Размах аномалий (то есть разность между максимумом и минимумом) среднегодовых температур в Тоджинской котловине достигает 22,6°С, в России – 3–4°С, в то время как для земного шара он лишь несколько превосходит 1°С.

За период с 1977 по 2010 г. в котловине наблюдается четкая синхронность повышения температуры воздуха относительно базового 30-летнего периода (1961–1990 гг.) (рис. 3).

На рисунке 3 в динамике температуры воздуха четко прослеживаются три периода: 1954–1968 гг. – температура не изменяется, 1969–1976 гг. – температура понижается (на 0,8°С), 1977–2010 гг. – температура резко повышается. За период 1954–2010 гг. температура воздуха повышалась со скоростью 0,05°С в год, а общее приращение за 1961–2010 гг. составило 2,9°С. За период 1977–2010 гг. приращение температуры составило 3,2°С, что говорит об интенсификации потепления климата.

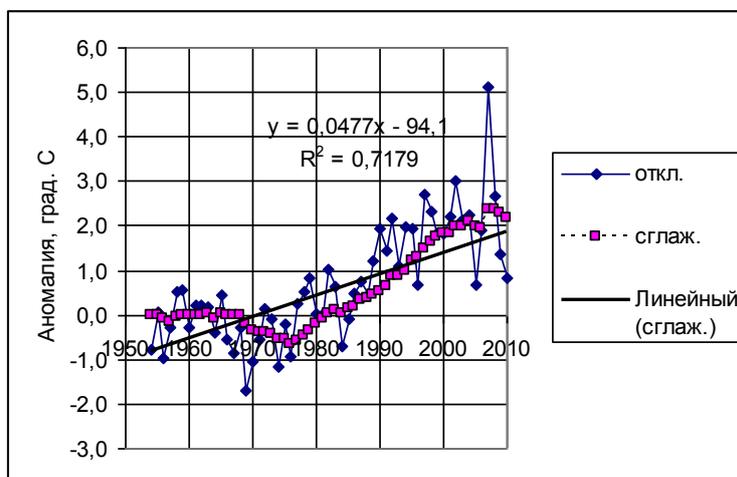


Рис. 3. Динамика аномалий температуры воздуха и их значений, сглаженных по 11-летним циклам за 1954–2010 гг. (метеостанция Тоора-Хем)

Комплексное изображение динамики температуры поверхности почвы и воздуха и их приращений за 1977–2010 гг. представлено на рис. 3.

Годовой ход температуры поверхности почвы и воздуха выражается полиномами 4-й степени:

- температура воздуха:  $y = 0,024x^4 - 0,681x^3 + 5,035x^2 - 4,242x - 27,06$ ;

- поверхность почвы:  $y = 0,0403x^4 - 1,114x^3 + 8,723x^2 - 14,164x - 22,34$ ,

где  $x$  – фактор времени.

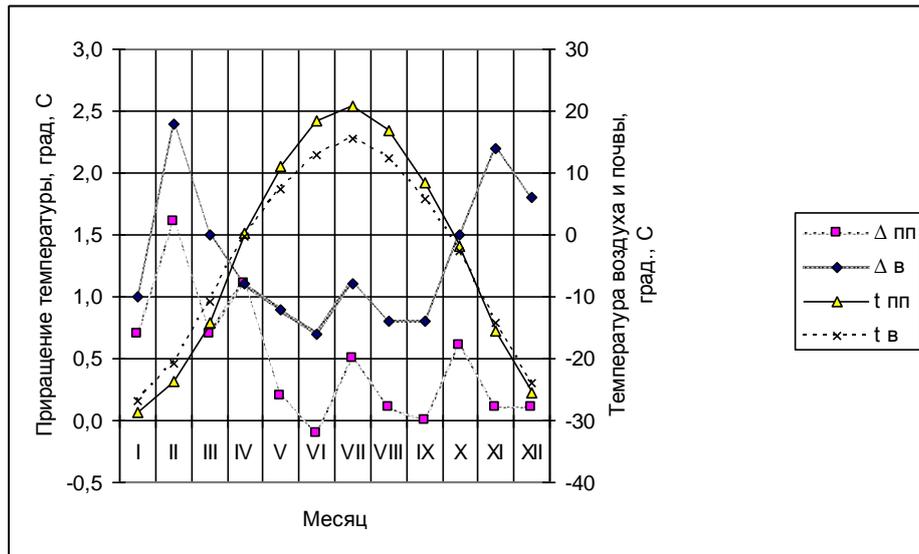


Рис. 4. Годовой ход средней температуры воздуха ( $t в$ ), поверхности почвы ( $t пп$ ) и их динамики приращения ( $\Delta t в$  и  $\Delta t пп$ ) за 1977–2010 гг. (метеостанция Тора-Хем)

На рисунке 4 четко прослеживаются следующие закономерности:

- кривые температур воздуха ( $t в$ ), поверхности почвы ( $t пп$ ) и их приращения ( $\Delta t в$  и  $\Delta t пп$ ) в годовом ходе имеют зеркальное отображение, указывающее на противоположные процессы нагревания атмосферы и подстилающей поверхности;
- температура воздуха в теплый период года ниже температуры поверхности почвы, а в холодный период, наоборот, выше;
- скорость приращения температуры воздуха по измеренным данным в течение календарного года в 3,3 раза, а по коэффициенту линейного тренда в 8 раз превышает приращение температуры поверхности почвы и имеет положительный знак в течение года.

Приращения измеренной температуры поверхности почвы в течение календарного года за период 1977–2010 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Средние значения приращения измеренной температуры воздуха в течение календарного года за период 1977–2010 гг.**

Месяц	Приращение температуры, °C	Вклад в потепление, %	Месяц	Приращение температуры, °C	Вклад в потепление, %
I	1,0	5,9	VII	1,1	6,5
II	2,4	14,3	VIII	0,8	4,8
III	1,5	8,9	IX	0,8	4,8
IV	1,1	6,5	X	1,5	8,9
V	0,9	5,4	XI	2,2	13,1
VI	0,7	4,2	XII	2,8	16,7

Наибольшее повышение среднемесячной температуры воздуха наблюдалось в холодный период – 2,0°C (вклад в потепление 58,9%), что в 2,3 раза выше теплого.

Введение в климатическую систему нового параметра – показателя изменения климата (ПИК). Введение в климатическую систему ПИК при оценке потепления климата объясняется несинхронностью динамики трендов аномалий среднегодовой температуры воздуха и индекса континентальности, сглаженных по 11-летним циклам. Индекс континентальности отражает значение доли годовой амплитуды температуры воздуха за счет суши, или величину континентального вклада в годовую амплитуду температуры. Он 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 температуры воздуха на фоне потепления климата. В отличие от динамики среднегодовой температуры воздуха, которая графически изображается в виде полинома третьей степени,  $K$  описывается синусоидальной кривой (рис. 5).

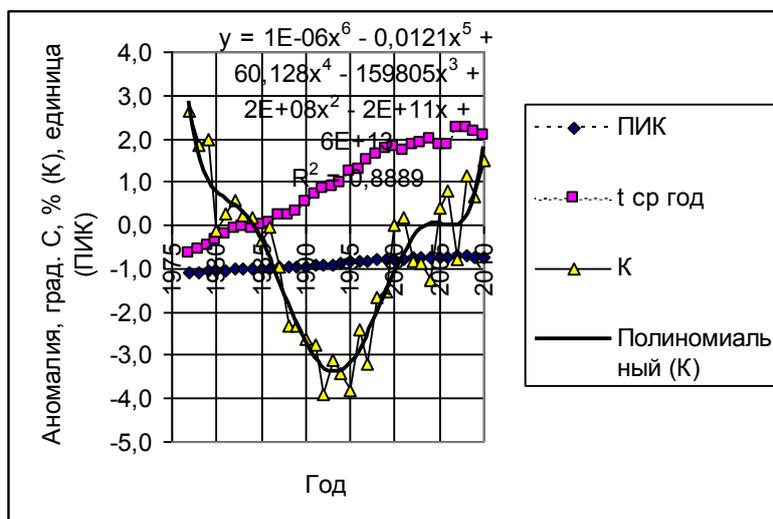


Рис. 5. Динамика аномалий среднегодовой температуры воздуха, индекса континентальности ( $K$ ) и показателя изменения климата (ПИК), сглаженных по 11-летним циклам за 1977–2010 гг. ( $E$  – число 10,  $-06$  – степень числа  $E$  – читается как  $10^{-6}$ )

ПИК определяется по одной и 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.

На рисунке 5 хорошо прослеживается согласованность тренда среднегодовой температуры воздуха с линейным трендом ПИК, подтверждающим процесс потепления.

В отличие от индекса континентальности, все его значения имеют отрицательные величины. Фрагмент методики вычисления ПИК в 1977–1980 и 2007–2010 гг. изложен в табл. 3.

Таблица 3

**Фрагмент технологии вычисления показателя изменения климата (ПИК) в 1977–1980 и 2007–2010 гг. (метеостанция Тоора-Хем)**

Год	Сумма аномалий температуры воздуха за холодный период (I-III, XI, XII)	Сумма аномалий температуры воздуха за теплый период (IV-X)	ПИК	Год	Сумма аномалий температуры воздуха за холодный период (I-III, XI, XII)	Сумма аномалий температуры воздуха за теплый период (IV-X)	ПИК
1977	-85,4	77,3	-1,1	2007	-67,4	90,2	-0,7
1978	-84,2	77,5	-1,1	2008	-65,5	91,2	-0,7
1979	-83,5	78,0	-1,1	2009	-65,7	91,4	-0,7
1980	-82,1	78,0	-1,1	2010	-66,5	91,2	-0,7

Аномалии (отклонения) температуры воздуха определяются как разность конкретного года и среднегодовой величины базового периода (1961–1990 гг.). Отрицательные значения аномалий за холодный период указывают на то, что температура зимних месяцев была ниже среднегодовой базового периода. Естественно, что величины аномалий теплых месяцев всегда будут иметь только положительный знак, так как среднегодовая температура базового периода котловины, как правило, не превышает минус 6,8°C. При делении значений аномалий графы второй на третью мы получаем отрицательные числа.

При оценке потепления климата с учетом знаков ПИК важна качественная сторона процесса динамики: увеличиваются или уменьшаются величины ПИК. Анализ табл. 3 показывает, что значения ПИК закономерно увеличиваются от минус 1,1 в 1977 г. до минус 0,7 в 2010 г.

Данный метод оценки изменения климата исключает влияние на ПИК непредсказуемых погодных аномалий, поскольку в нем задействованы два основополагающих фактора – огромный банк данных статистического материала и 11-летний диапазон осреднения вычисленных аномалий температуры воздуха.

### Выводы

1. Наибольшее повышение температуры поверхности почвы и воздуха наблюдается в холодный период года.
2. Размах аномалий среднегодовых температур воздуха в котловине достигает 22,6°C, в России – 3–4°C, а на земном шаре чуть больше 1°C.
3. Скорость потепления климата за 1977–2010 гг. в 2,5 раза выше средних показателей по Российской Федерации и в 12 раз выше аналогичного периода глобальных изменений XX в.
4. В климатическую систему предлагается ввести новый параметр – показатель изменения климата, принципиально отличающийся от индекса континентальности.

### Литература

1. Андрейчик М.Ф., Чульдун А.Ф. Изменение климата в Улуг-Хемской котловине Тувинской горной области // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 7. – С. 192–196.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. – М., 2008. – 89 с.



УДК 631.4

Г.А. Демиденко, Е.И. Склярова

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ ОКРЕСТНОСТЕЙ г. КРАСНОЯРСКА

*В статье рассмотрены вопросы экологического мониторинга состояния пойменных почв окрестностей г. Красноярска, которые определяют специфику пойменных экосистем и эколого-генетические особенности аллювиальных почв.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, пойменные экосистемы, экологические факторы природной среды, пойменные почвы, почвенное плодородие.

G.A. Demidenko, E.I. Sklyarova

### ENVIRONMENTAL MONITORING OF FLOODPLAIN SOIL CONDITION IN THE KRASNOYARSK VICINITY AREA

*The environmental monitoring issues of the floodplain soil condition in the Krasnoyarsk vicinity area, which determine the specificity of floodplain ecosystems and the ecological and genetic characteristics of alluvial soils, are considered in the article.*

**Key words:** environmental monitoring, floodplain ecosystems, ecological factors of the environment, floodplain soils, soil fertility.

**Введение.** Поймы рек представляют собой весьма разнообразные и сложные образования вследствие совокупного воздействия, с одной стороны, материковых (зональных) условий на водосборной площади рек, с другой – поемно-аллювиальной и эрозионно-аккумулятивной деятельности самой реки. Пойменные