

7. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. Введен 1983-23-05. – 60 с.
8. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. Введен 1977-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 8 с.
9. Сергеев П.Н. Лесная таксация. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. – 311 с.
10. Справочник лесничего / под общ. ред. А.Н. Филипчака. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 640 с.
11. Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство. – М.: Изд-во МГУЛ, 1997. – 176 с.
12. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. – Калининград: Изд-во Калинингр. ун-т, 2000. – 59 с.



УДК 551.56/58+551.58

М.Ф. Андрейчик, Л.Д.-Н. Монгуш

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДЕКСА КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ НА ФОНЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В ХЕМЧИКСКОЙ КОТЛОВИНЕ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

*Изучена динамика и выявлена связь между индексом континентальности и среднегодовой температурой воздуха. В качестве критерия оценки континентальности климата предлагается новый параметр – показатель изменения климата.*

**Ключевые слова:** климат, потепление, индекс континентальности, показатель изменения климата.

M.F. Andreychik, L.D.-N. Mongush

### THE CONTINENTALITY INDEX RESEARCH ON THE CLIMATE WARMING BACKGROUND IN KHEMCHIKSKAYA HOLLOW OF THE TYVA REPUBLIC

*The dynamics is studied and connection between the continentality index and the average annual air temperature is revealed. The new parameter – the index of climate change – is suggested as a criterion for the climate continentality assessment.*

**Key words:** climate, warming, continentality index, climate change index.

---

**Введение.** Хемчикская котловина расположена в долине р. Хемчик на расстоянии 2400–3200 км от океанов (рис. 1).

Климат в котловине резко континентальный: абсолютный минимум температуры января составляет минус 48,6 °С (1969 г.), а абсолютный максимум самого теплого месяца (июля) плюс 39,9 °С (1995 г.). В зимний период котловина находится в зоне обширного и устойчивого антициклона, центр которого расположен над Монголией.

**Актуальность темы.** По теоретическим предпосылкам индекс континентальности должен выражаться обратной линейной связью, так как процесс потепления характеризуется постепенным повышением температуры воздуха. На самом же деле данный показатель графически изображается полиномами 4-6 степени, приближающимися к синусоидальной кривой, что противоречит закономерности динамики среднегодовой температуры воздуха.

**Цель исследования.** Изучить динамику и выявить связь между индексом континентальности и среднегодовой температурой воздуха.

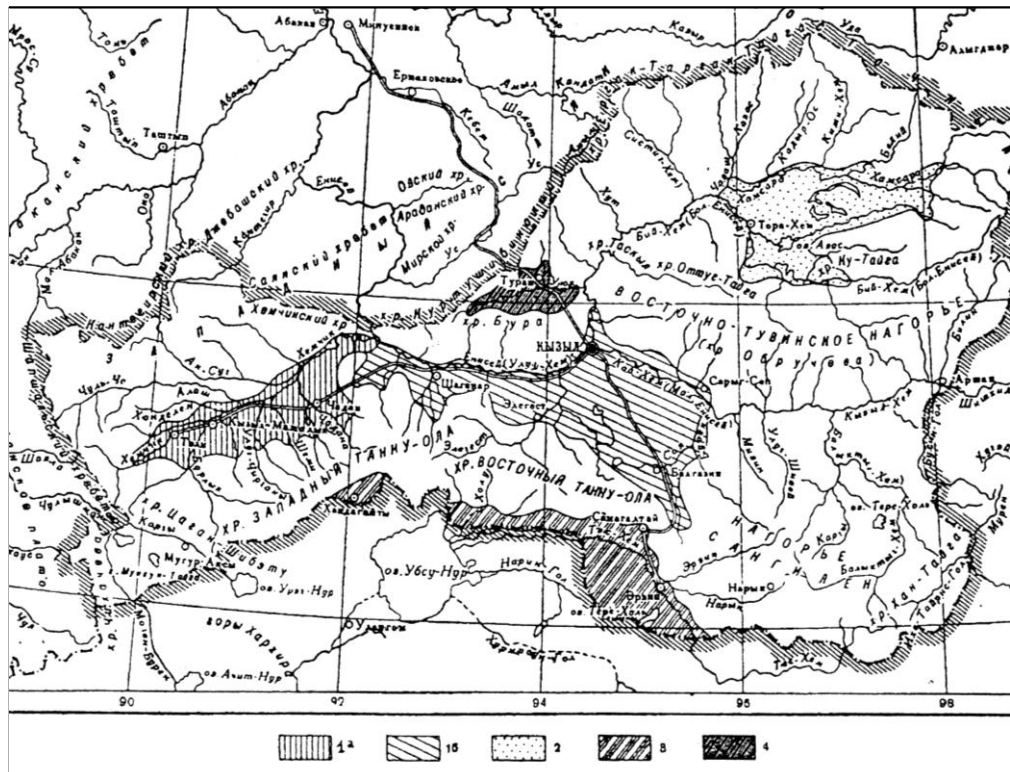


Рис. 1. Орографическая схема Республики Тыва: Котловины: 1 – Центрально-Тувинская (1а – Хемчикская, 1б – Улуг-Хемская); 2 – Тоджинская; 3 – Убсунурская; 4 – Турано-Уюкская

### Методика обработки статистических данных

1. Индекс континентальности (К) вычисляли по формуле Горчинского [4]

$$K = \frac{1,7A}{\sin\varphi} - 20,4,$$

где А – годовая амплитуда температуры воздуха; φ – географическая широта.

2. Для оценки изменения климата Всемирная метеорологическая организация рекомендует в качестве исходной характеристики использовать тридцатилетний период – 1961–1990 гг. [3]. Именно от этих средних значений метеорологических параметров данного периода и принято отсчитывать степень изменения климата. Для сравнения динамики изучаемого показателя нами выделены два периода: базовый (1961–1990 гг.) и исследуемый (1977–2010 гг.). Более подробно методика обработки метеорологических данных изложена в нашей работе [1].

### Подходы к определению индекса континентальности

Индекс континентальности (К) 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 января и июля месяцев. Из определения следует, что единицей измерения К является процент (%), а из формулы, приведенной в п.1, – °С, т.е. возникает противоречие между географической верностью и математической точностью. На всех нижеприведенных рисунках соблюдены одинаковые масштабы: 1 °С = 1% = 1 (безразмерная единица измерения для предлагаемого нового показателя изменения климата).

Об отсутствии единого мнения по определению К говорит тот факт, что в научной литературе предложено около 20 различных вариантов вычисления индекса континентальности, с помощью которых можно дать краткую и сравнимую оценку этого важного свойства климата. Почти все они основаны на учете годовой амплитуды температуры воздуха [2, 5].

В литературу введен даже показатель мористости, который выводится из формулы теплового баланса. В этом случае индекс континентальности обратно пропорционален затрате тепла на испарение [6]. Естественно, в этом случае значение такого индекса континентальности является усредненным и исключает дифференциацию его анализа на различных формах рельефа исследуемой территории.

В научной литературе нами впервые детально анализируются особенности динамики индекса континентальности на фоне потепления климата. На практике при оценке потепления климата, как правило, используют два показателя – индекс континентальности и годовую амплитуду температуры воздуха.

**Результаты исследований.** Получены следующие параметры статистической обработки индекса континентальности: среднее арифметическое – 76,4, абсолютная ошибка – 1,4, относительная ошибка – 1,8%, коэффициент вариации – 7,7%, область разброса индивидуальных значений –  $\pm 2,86$ , доверительные интервалы – 73,54–79,26.

Регрессионный анализ показывает, что между ними существует функциональная связь. Коэффициент корреляции равен единице, а коэффициент детерминации – 0,9992, т.е. 99,92%, величину индекса континентальности определяет годовая амплитуда температуры воздуха, а лишь 0,08% – географическая широта. В связи с этим мы предлагаем для определения индекса континентальности в Хемчикской котловине использовать следующую формулу:

$$K = 2,2085A - 20,5$$

Уменьшение рассматриваемых параметров указывает на потепление климата, а увеличение – на похолодание. Закономерность изменения двух анализируемых показателей, вычисленных по измеренной температуре воздуха, иллюстрирует рисунок 2.

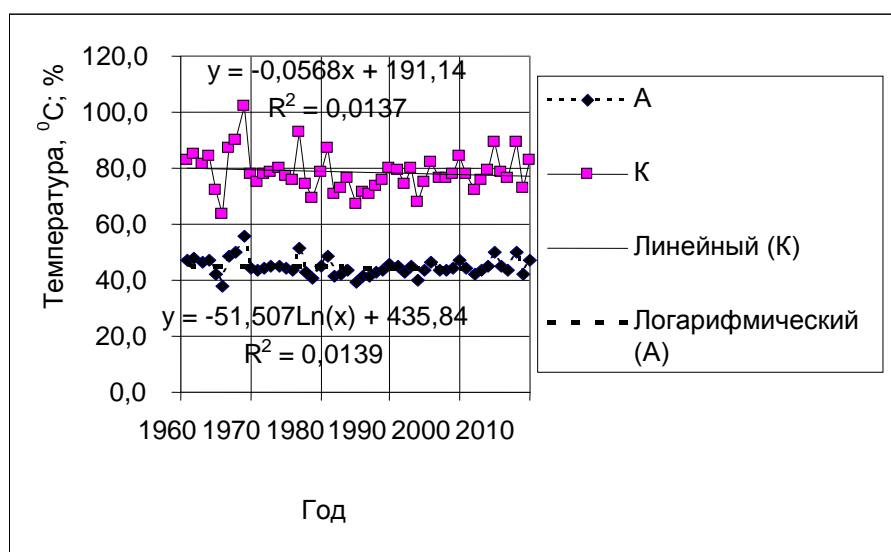


Рис. 2. Динамика индекса континентальности (K) и годовой амплитуды температуры воздуха (A), вычисленных по измеренным значениям июля и января месяцев

Коэффициенты корреляции, вычисленные по коэффициентам детерминации, указывают на отсутствие достоверной связи между исследуемыми параметрами и фактором времени. Это дает основание утверждать лишь о тенденции потепления климата и необходимости для объективной оценки изменения климата использовать методику, рекомендованную Всемирной метеорологической организацией.

Удовлетворительные результаты получены при вычислении аномалий (отклонений) и сглаживании их по 11-летним циклам за 50-летний период (рис. 3).

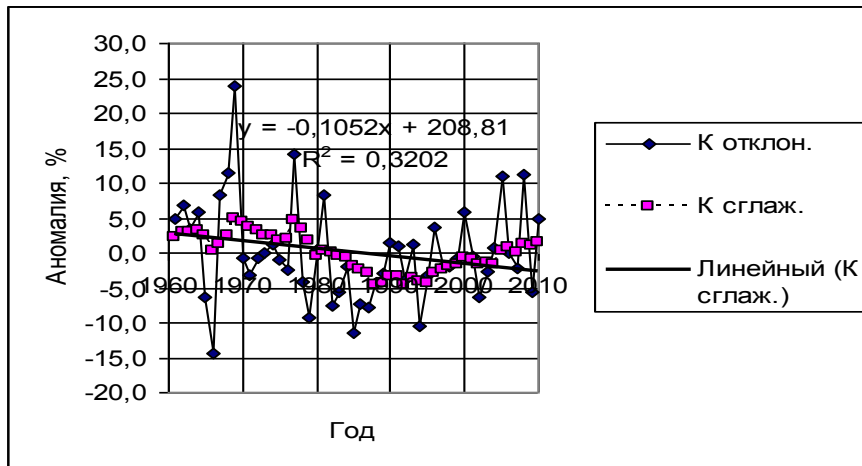


Рис. 3. Динамика аномалий (К отклон) и аномалий индекса континентальности (К), сглаженных по 11-летним циклам (К сглаж), за период 1961–2010 гг.

Коэффициент линейного тренда показывает, что индекс континентальности уменьшался ежегодно на 0,11, а за 50 лет – на 5,3%.

Однако при уменьшении временного ряда с 50 до 34 лет несинхронность динамики трендов аномалий среднегодовой температуры воздуха и индекса континентальности, сглаженных 11-летним циклом, проявляется более рельефно (рис. 4). Противоречивость заключается в том, что однозначная направленность трендов носит противоположный смысл для сравниваемых климатических показателей. Общим для них является принятое восприятие информации на графике: понижение кривой указывает на уменьшение данного признака, а подъем кривой – на возрастание величины. Однако в нашем случае повышение температуры говорит о потеплении, а повышение индекса континентальности – о тенденции к «похолоданию», об увеличении континентальности климата.

В динамике аномалий среднегодовой температуры воздуха просматриваются циклы солнечной активности со слабой пульсацией максимумов чисел Вольфа. Прогиб криволинейного тренд К в 1992 году указывает экстремум наиболее интенсивного потепления, что не согласуется с динамикой температуры воздуха. По нашему мнению, индекс континентальности является надежным показателем при климатическом районировании Земли, но не совсем приемлем при оценке потепления климата.

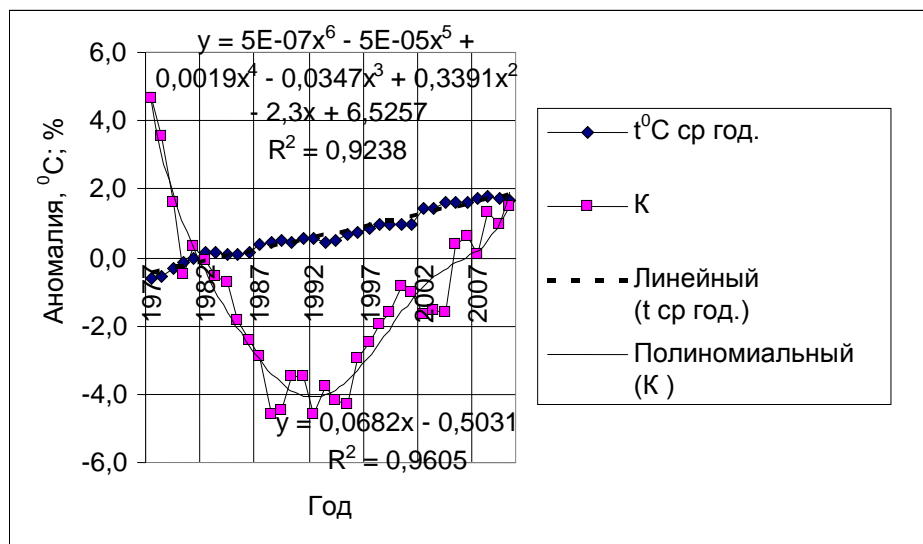


Рис.4. Динамика аномалий среднегодовой температуры воздуха ( $t^0C$  ср год) и индекса континентальности, сглаженных по 11-летним циклам за 1977–2010 гг.

Примечание. E – число 10; -07 – степень E. Читается:  $10^{-7}$

Изложенные противоречия обуславливают необходимость введения в климатическую систему нового параметра – показателя изменения климата (ПИК).

Предлагаемый новый параметр 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 теплового периодов.

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

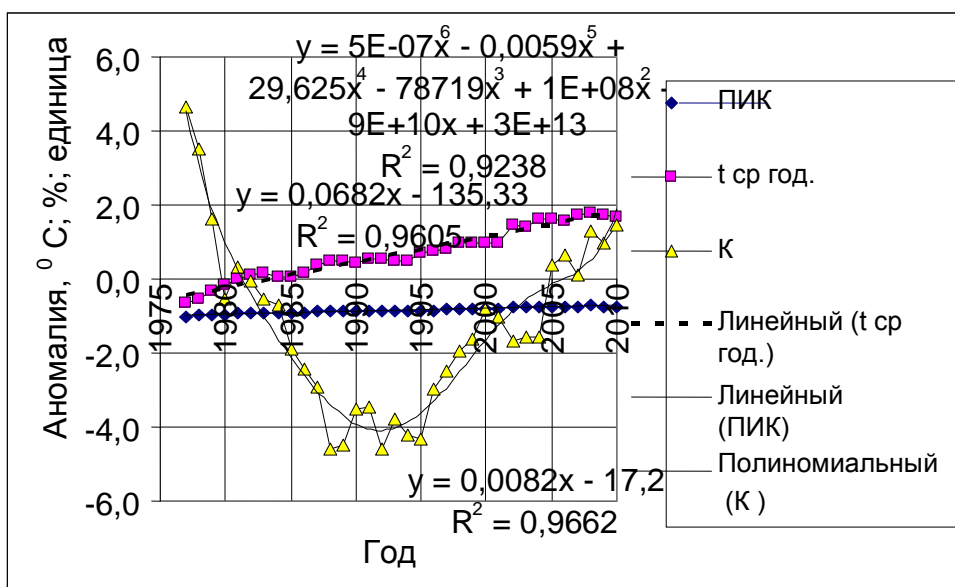


Рис. 5. Динамика аномалий среднегодовой температуры воздуха ( $t_{\text{ср год}}$ ), индекса континентальности (К) и показателя изменения климата (ПИК), сглаженных по 11-летним циклам за 1977–2010 гг.

На рисунке четко прослеживается возрастающая стабильная направленность ПИК. В отличие от индекса континентальности все его значения имеют отрицательные величины. Сущность технологии вычисления ПИК представлена в таблице.

**Технология вычисления показателя изменения климата (ПИК) за 1977–2010 гг. Метеостанция Тээли**

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
1	2	3	4	5	6	7	8
1977	-93,3	92,3	-1,0	1994	-82,7	94,7	-0,9
1978	-92,6	92,7	-1,0	1995	-81,0	95,5	-0,8

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
1979	-90,8	93,2	-1,0	1996	-80,4	95,7	-0,8
1980	-89,7	93,9	-1,0	1997	-80,1	96,4	-0,8
1981	-88,7	94,7	-0,9	1998	-79,6	97,5	-0,8
1982	-88,2	95,8	-0,9	1999	-79,7	98,1	-0,8
1983	-87,6	95,5	-0,9	2000	-80,0	98,3	-0,8
1984	-88,1	95,0	-0,9	2001	-80,5	99,4	-0,8
1985	-87,4	94,0	-0,9	2002	-75,7	100,2	-0,8
1986	-87,0	94,5	-0,9	2003	-76,1	100,1	-0,8
1987	-84,7	95,2	-0,9	2004	-74,6	101,1	-0,7
1988	-84,1	95,3	-0,9	2005	-75,9	102,0	-0,7
1989	-83,9	95,6	-0,9	2006	-75,7	101,3	-0,7
1990	-84,0	95,3	-0,9	2007	-75,3	102,8	-0,7
1991	-83,3	95,4	-0,9	2008	-74,6	103,0	-0,7
1992	-82,5	95,3	-0,9	2009	-75,4	102,6	-0,7
1993	-82,7	94,5	-0,9	2010	-75,4	101,8	-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, величины аномалий теплых месяцев всегда будут иметь только положительный знак, так как среднегодовая температура базового периода, как правило, не превышает минус 4 °С. При делении значений аномалий графы второй на третью мы получаем отрицательные числа.

При оценке потепления климата главным является не знаки ПИК, а качественная сторона процесса динамики: увеличиваются или уменьшаются величины ПИК. Анализ таблицы (графа 4) показывает, что значения ПИК закономерно увеличиваются от минус единицы (1977–1980 гг.) до минус 0,7 в 2004–2010 гг.

Данный метод оценки изменения климата исключает влияние на ПИК непредсказуемых погодных аномалий, поскольку в нем задействованы два качественных фактора – огромный банк статистических данных и широкий диапазон осреднения вычисляемых аномалий температуры воздуха.

**Выводы.** Несинхронность динамики трендов аномалий среднегодовой температуры воздуха и индекса континентальности обуславливает целесообразность введения в качестве критерия оценки континентальности климата 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. Башалханова Л.Б., Буфал В.В., Русанов В.И. Климатические условия освоения котловин Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1989. – 159 с.
3. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: техн. резюме. – М., 2008. – 89 с.
4. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 499 с.
5. Klimatologia.ru.
6. Pochemucha.ru.

