

УДК 911.52 (575.2)

СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ

О.А. Подрезов, А.О. Подрезов

Проанализирована структура современного потепления климата Иссык-Кульской котловины на основании многолетних наблюдений метеостанций в полях различных температур воздуха.

Ключевые слова: Иссык-Кульская котловина; современное потепление климата; различные характеристики температуры.

Введение. Иссык-Кульская котловина (ИКК) занимает замкнутую со всех сторон обширную тектоническую среднегорную впадину Северо-Восточного Тянь-Шаня с одним из красивейших горных озер – Иссык-Кулем, уровень воды которого находится сейчас на отметке около 1607 м (рисунки 1). Площадь котловины, включая и площадь поверхности озера, составляет 22080 км², при этом площадь озера равна 6206 км² (28 % площади котловины), а предгорной равнины – 3092 км² (14 % площади котловины) [1]. Котловина в значительной мере изолирована окружающими ее со всех сторон высокими хребтами-барьерами – Кунгей Ала Тоо с севера и Терской Ала-Тоо с юга (средние высоты 4,2 км), которые служат местными климаторазделами, образуя естественные границы локализации ее своеобразного климата.



Рисунок 1 – Карта Иссык-Кульской котловины с расположением метеостанций.
(Максимальная длина, ширина и глубина озера равны 182 км, 58 км и 702 м)

Современное потепление климата ИКК, является откликом (следствием), наблюдающегося с 1976 г. глобального потепления климата Земли [2–4]. Однако есть все основания ожидать [5], что

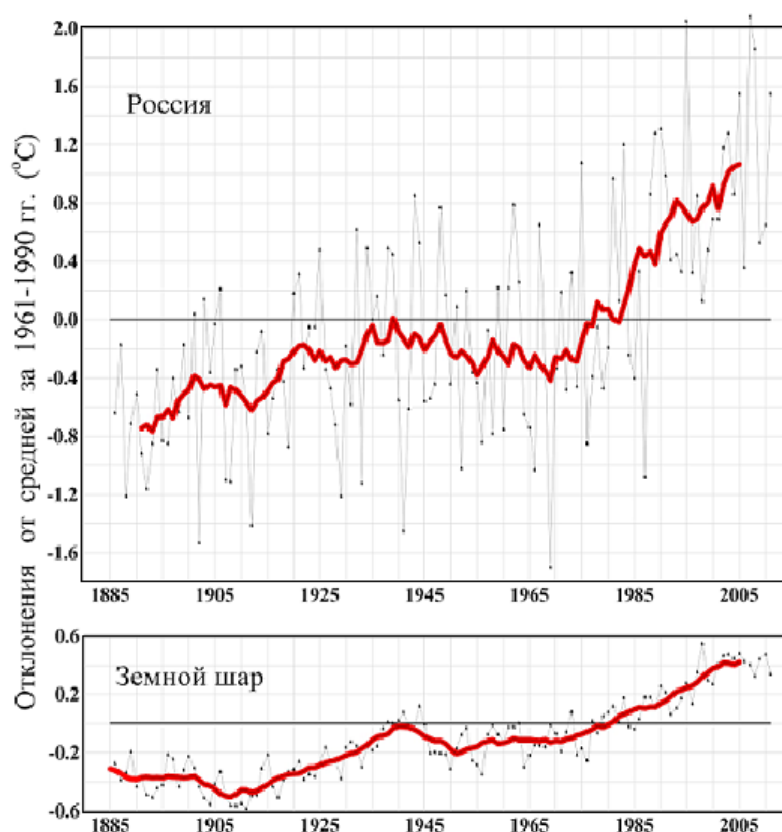
этот отклик во многом будет заметно отличаться от глобальной картины потепления для земного шара и России, приведенной на рисунке 2, имея свои сугубо индивидуальные особенности, обусловленные спецификой формирования местных климатов.

Целью настоящей работы явилась оценка структуры современного потепления климата днища ИКК в году и по сезонам, которое фактически, по данным метеостанций, наблюдалось в течение последних 80 лет (1930–2010 гг.) в полях различных температур: обычных средних, средних минимальных (ночных), средних максимальных (дневных), а также средних из абсолютных минимальных и максимальных месячных значений, соответствующих экстремально холодным и теплым погодным сезонам.

Использованный материал и методика анализа. Для климатического анализа использованы многолетние данные всех 13 метеостанций (МС) днища и горного обрамления котловины за общий период их работы с 1929 по 2009 г. (МС Каракол за 1883–2009 гг.). Вследствие ограниченности объема статьи, в ней приводятся только самые основные из полученных результатов, иллюстрируемые в основном расчетными данными станций, работавших по 2009 г. Характеристика местоположения 7 станций днища ИКК приведена в таблице 1.

Исследовалась структура потепления климата в полях следующих пяти различных температур, которые определяются на метеостанциях:

- среднегодовые и среднемесячные значения, отражающие в целом средние годовые и средние месячные температурные условия;
- средние из минимальных суточных значений для каждого месяца, характеризующие в среднем выводе средние ночные температурные условия месяца;



Временные ряды пространственно осредненных аномалий средней годовой температуры у поверхности Земли для территории России и Земного шара** за 1886-2011 гг. Красным показан ход 11-летних средних*

В среднем по территории России самым теплым был 2007 год, за ним следуют 1995 и 2008 гг.

Для Земного шара в целом самым теплыми были годы: 1998, 2005 и 2010

* Данные ФГБУ "Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН"

** Данные Метеослужбы Великобритании <http://www.cru.uea.ac.uk>

Рисунок 2 – Изменения пространственно осредненной поверхностной температуры для территории России и Земного шара по [2]. (С этой глобальной картиной полезно сравнить аналогичным образом представленные климатические изменения, наблюдаемые в различных зонах ИКК (рисунки 4 и 5))

- средние из абсолютных минимальных месячных значений, т. е. полученные по ее самым низким отметкам в течение каждого месяца и характеризующие в среднем выводе экстремально холодные погоды, которые могут наблюдаться ежегодно в этом месяце;
- средние из максимальных суточных значений для каждого месяца, характеризующие в среднем выводе средние послеполуденные температурные условия месяца;
- средние из абсолютных максимальных месячных значений, т. е. полученные по ее самым высоким отметкам в течение каждого месяца и характеризующие в среднем выводе экстремально теплые погоды, которые могут ежегодно наблюдаться в этом месяце.

Использовались следующие общепринятые в климатологии научные методы анализа: 1) выделение в исходных рядах температуры основных тенденций их временных изменений в форме линейных трендов; 2) выделение в исходных рядах температуры ее случайных колебаний, имеющих

различные периодичности, знаки и амплитуды, с помощью цифровой фильтрации рядов методом скользящих средних; 3) определение норм температур и характеристик их межгодовой изменчивости (СКО – средних квадратических отклонений) для трех последовательных стандартных климатических периодов: 1931–1960 гг. – ближайший прошлый климат, 1961–1990 гг. – “базовый” климат только что истекшего тридцатилетия, 1991–2009 (2020) гг. – настоящий и ближайший будущий климат. Нами предполагается, что оценки температурных норм, полученные для текущего тридцатилетия 1991–2020 гг. по его начальному 19-летнему периоду (по которому уже получены исходные данные), являются показательными и к 2020 году существенно не изменятся. В пользу этого говорят все имеющиеся результаты по исследованиям колебаний климата.

Анализ результатов исследований

Общие сведения о режиме температуры.

Имея высоты в пределах 1,6–2 км днище ИКК характеризуется мягким умеренным климатом (таб-

Таблица 1 – Средние (за период наблюдений) температуры воздуха для года и центральных месяцев сезонов (январь – 1, апрель – 4, июль – 7 и октябрь – 10)

Станция (высота, км)	Расположение	Период наблюд.	Месяцы				Год
			1	4	7	10	
Балыкчи (1,66)	ЗРЧ	1931–09	-4,0	7,7	18,6	8,1	7,5
Чолпон-Ата (1,64)	ЦСП	1029–09	-2,7	7,5	17,8	8,3	7,7
Балбай (1,64)	ВСП	1933–98	-8,4	6,9	16,3	5,6	4,9
Каракол (1,77)	ВРЧ	1883–09	-6,0	7,7	17,4	6,4	6,3
Кызыл-Су (1,69)	ВЮП	1951–09	-4,8	7,5	17,3	7,5	6,8
Тамга (1,69)	ЦЮП	1938–86	-2,7	7,8	18,0	8,3	7,5
Бокомбаевское (1,8)	ЦЮП	1974–98	-4,6	7,4	17,2	7,0	6,4

Примечание: Освещаемая станциями территория днища котловины: западная равнинная часть (ЗРЧ) – МС Балыкчи; центральная зона северного побережья (ЦСП) – Чолпон-Ата; восточная зона северного побережья (ВСП) – МС Балбай; восточная равнинная часть (ВРЧ) – МС Каракол; восточная зона южного побережья (ВЮП) – МС Кызыл-Су; центральная зона южного побережья (ЦЮП) – МС Тамга и МС Бокомбаевское.

Таблица 2 – Скорости потепления различных температур – b_{10} (°C/10 лет) для года и центральных месяцев сезонов за период работы станций по 2009 г.

Температура	МС Балыкчи (ЗРЧ), 1931–2009					МС Чолпон-Ата (ЦСП), 1929–2009				
	1	4	7	10	год	1	4	7	10	год
Средняя	0,15	0,24	0,23	0,18	0,23	0,33	0,11	0,13	0,43	0,25
Сред. ночная	0,23	0,34	0,45	0,39	0,39	0,52	0,37	0,54	0,51	0,47
Сред. дневная	-0,04	0,21	-0,22	-0,03	0,14	0,17	0,03	0,11	0,04	0,14
Сред из абс. мин.	0,51	0,39	0,61	0,67	0,57	0,88	0,28	0,66	0,72	0,64
Сред из абс. макс.	0,05	0,17	0,16	0,13	0,12	0,17	0,05	0,22	-0,01	0,14
Температура	МС Каракол (ЗРЧ), 1883–2009					МС Кызыл-Су (ВЮП), 1951–2009				
	1	4	7	10	год	1	4	7	10	год
Средняя	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,29	0,08	0,24	0,21
Сред. ночная	-0,14	0,10	-0,05	-0,01	-0,01	0,30	0,24	0,31	0,28	0,28
Сред. дневная	0,00	0,15	0,16	-0,23	0,15	-0,17	0,15	0,22	0,07	0,11
Сред из абс. мин.	-0,19	0,05	-0,03	0,14	-0,00	0,34	0,07	0,32	0,52	0,32
Сред из абс. макс.	-0,09	0,16	0,19	0,13	0,21	-	-	-	-	-

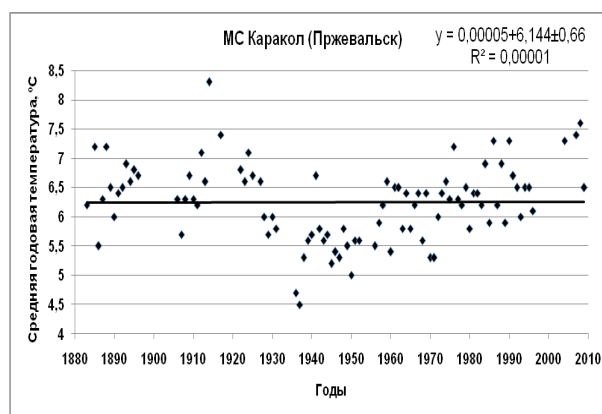
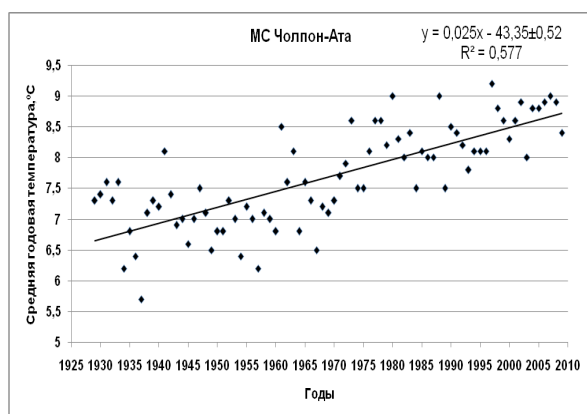


Рисунок 3 – Графики временного хода и линейных трендов годовых температур по станциям Чолпон-Ата и Каракол

лица 1). В западной (ЗРЧ) и центральной (ЦСП) ее зонах среднегодовые температуры составляют около $7,5^{\circ}\text{C}$, а средние января и июля соответственно около $-3(-4)^{\circ}\text{C}$ и $18-19^{\circ}\text{C}$ (для сравнения в Бишкеке – $0,76^{\circ}\text{C}$ – они равны: $10,1, -5,0, 24,4^{\circ}\text{C}$). Восточная зона котловины (ВСП, ВРЧ), включая и побережье (станции Балбай, Каракол, Кызыл-Су), более прохладна, имея средние годовые температуры около $5(6)^{\circ}\text{C}$, января от -5 до $-8,4$, июля $16,3-17,4^{\circ}\text{C}$, т. е. зимнее полугодие здесь примерно на 5°C холоднее, причем ядро холода находится в районе Тюпа (МС Балбай).

Максимальные зарегистрированные температуры в западной и центральной частях составляют $31-34^{\circ}\text{C}$, а минимальные – $-17(-21)^{\circ}\text{C}$, так что абсолютная амплитуда равна $50-55^{\circ}\text{C}$. В восточной части максимальные температуры такие же, как в западной и центральной, но минимальные примерно на $5-7^{\circ}\text{C}$ ниже, так что абсолютные амплитуды возрастают до 60°C . При этом самый низкий по всем станциям абсолютный минимум имел место в Балбае и равен -27°C .

Причинами более низких температур холодного периода года в восточной части ИКК являются развитие восточной боры “сан-таш”, а также сток холодного воздуха со склонов и его радиационное выхолаживание. Последний фактор играет существенную роль, о чем говорят температуры, наблюдающиеся в ЗРЧ (Балыкчи). Здесь также развита еще более сильная западная бора “улан”, но фон температур холодного полугодия хотя и несколько понижен (на $1-2^{\circ}\text{C}$), но меньше, чем на востоке.

Линейные тренды температур за период наблюдений. В таблице 2 приведены линейные тренды – средние скорости потепления, $b_{10} (^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет})$, для года и центральных месяцев сезонов по станциям Балыкчи, Чолпон-Ата, Каракол и Кызыл-Су, имеющих период работы по 2009 г. включительно. Жирным выделены статистически значимые тренды на уровне доверительной вероятности $p = 0,95$ (риск ошибки равен $0,05$ или 5%). На рисунке 3 в качестве примера показан хронологический ход годовых температур с нанесенными линиями трендов для Чолпон-Аты и Каракола.

Из этих данных следует, что на всех станциях, кроме Каракола, в 80-летний период 1930–2009 гг., наблюдалось существенное потепление климата как по сезонам, так и для года в целом в полях средних, средних ночных и абсолютных минимальных температур. Скорости потепления для года в среднем составляли: в поле средних температур – $0,21-0,25^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$, в поле средних ночных они были заметно больше – $0,28-0,47^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$, а абсолютных минимальных еще больше – $0,32-$

$0,64^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$. По сезонам скорости могли достигать значений до $0,88^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$. (Чолпон-Ата, январь, абсолютные минимальные температуры). Все это говорит о том, что ночи и, особенно зимы, за последние 80 лет значительно потеплели, т. е. экстремально холодные зимние погоды стали гораздо более мягкими.

В то же время повышение средних дневных температур и температур экстремально жарких погод было слабым, неустойчивым (тренды статистически не значимы) или даже отсутствовало, когда тренды имели отрицательный знак, что соответствовало похолоданиям.

Отметим также весьма характерный факт: сезонные скорости повышения/понижения как различных, так и одних и тех же характеристик температур даже на одной и той же станции, как правило, были различны, т. е. во всех случаях процессы изменения температуры на каждой станции носили индивидуальный характер, а не были чем-то монотонно одинаковым.

Отмеченные закономерности в полной мере присущи для всех 13 станций котловины и ее горного обрамления.

В Караколе, если внимательно посмотреть на рисунок 1, отчетливо видно, что в период с 1883 по 1945 г. на станции шло хорошо выраженное похолодание ($b_{10} = -0,16^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$), а в период с 1946 по 2009 г. отмечено выраженное потепление ($b_{10} = 0,24^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$). Сложение этих двух противоположных в разные годы тенденций и дало общий эффект, близкий к нулевому. В той или иной мере это выражено для Каракола и в остальных температурах. Такого яркого и четкого “индивидуализма” изменения температур не наблюдалось ни на одной из всех остальных 12 станций ИКК. Например, на расположенной в 40 км севернее МС Балбай в 1933–1998 гг. наблюдаемая скорость потепления годовых температур (без излома тренда) была значительной и составила $b_{10} = 0,19^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$.

В таблице 3 приведены, в качестве характерных, трендовые оценки всех 5 характеристик температур для января (зима) и июля (лето) по МС Чолпон-Ата, рассчитанные для кратных десятилетий 1930–2020 гг. (2020 г. – прогнозная оценка). Эти данные наглядно характеризуют все сказанное и дают конкретный ход значений потепления климата по сезонам в полях различных температур на этой станции, характеризующей ЦСП.

Фазы потеплений и похолоданий в полях различных температур в разные сезоны. Характеристику линейно сглаженной картины потепления весьма полезно дополнить выделением в исходных рядах временных фаз потеплений/похоло-

Таблица 3 – Рассчитанные трендовые значения различных характеристик температуры по десятилетиям 1930–2020 гг. для МС Чолпон-Ата (°C)

Год	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Абсолютные минимальные (экстремально низкие) температуры										
Январь	-14,6	-13,7	-12,9	-12,0	-11,1	-10,2	-9,3	-8,5	-7,6	-6,7
Июль	6,6	7,3	8,0	8,6	9,3	10,0	10,6	11,3	11,9	12,6
Средние минимальные (средние ночные) температуры										
Январь	-7,4	-6,9	-6,4	-5,8	-5,3	-4,8	-4,3	-3,8	-3,2	-2,7
Июль	10,6	11,1	11,7	12,2	12,7	13,3	13,8	14,4	14,9	15,4
Средние температуры										
Январь	-4,2	-3,7	-3,4	-3,0	-2,7	-2,4	-2,0	-1,7	-1,4	-1,1
Июль	17,1	17,2	17,4	17,5	17,6	17,7	17,9	18,0	18,1	18,3
Средние максимальные (средние дневные) температуры										
Январь	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4
Июль	21,8	21,9	22,0	22,1	22,2	22,4	22,5	22,6	22,7	22,8
Абсолютные максимальные (экстремально высокие) температуры										
Январь	4,2	4,4	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,8
Июль	26,2	26,4	26,6	26,8	27,0	27,3	27,5	27,7	27,9	28,1

даний различной интенсивности, аналогично тому, как это представлено на рисунке 2 для глобального климата Земли и России. На рисунке 4 приведены кривые 11-летних средних годовых температур (результат низкочастотной фильтрации исходных рядов) для станций северного и южного побережий – Балыкчи, Чолпон-Ата и Кызыл-Су, а на ри-

сунке 5 показаны аналогичные кривые для абсолютных минимальных температур по всем сезонам для МС Чолпон-Ата.

Из рисунка 4 наглядно видно, общим для годовых кривых всех трех станций является колебательный характер с примерно одинаковым ростом температуры от начала к концу периода. Однако

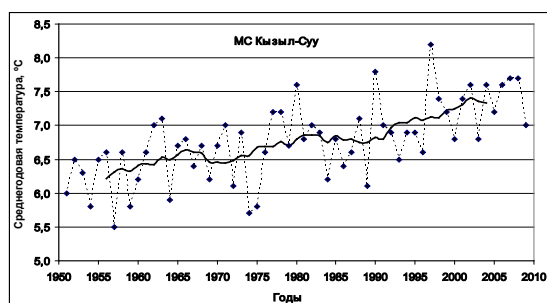
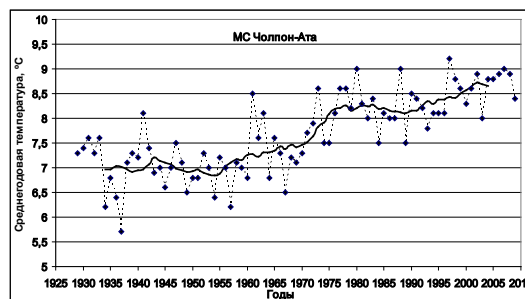
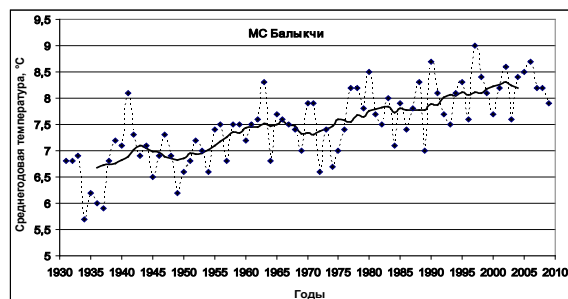


Рисунок 4 – Временные ряды средних годовых температур (точки) и скользящие 11-летние средние (низкочастотный фильтр) по станциям северного и южного побережий ИКК для периода наблюдений по 2009 г.

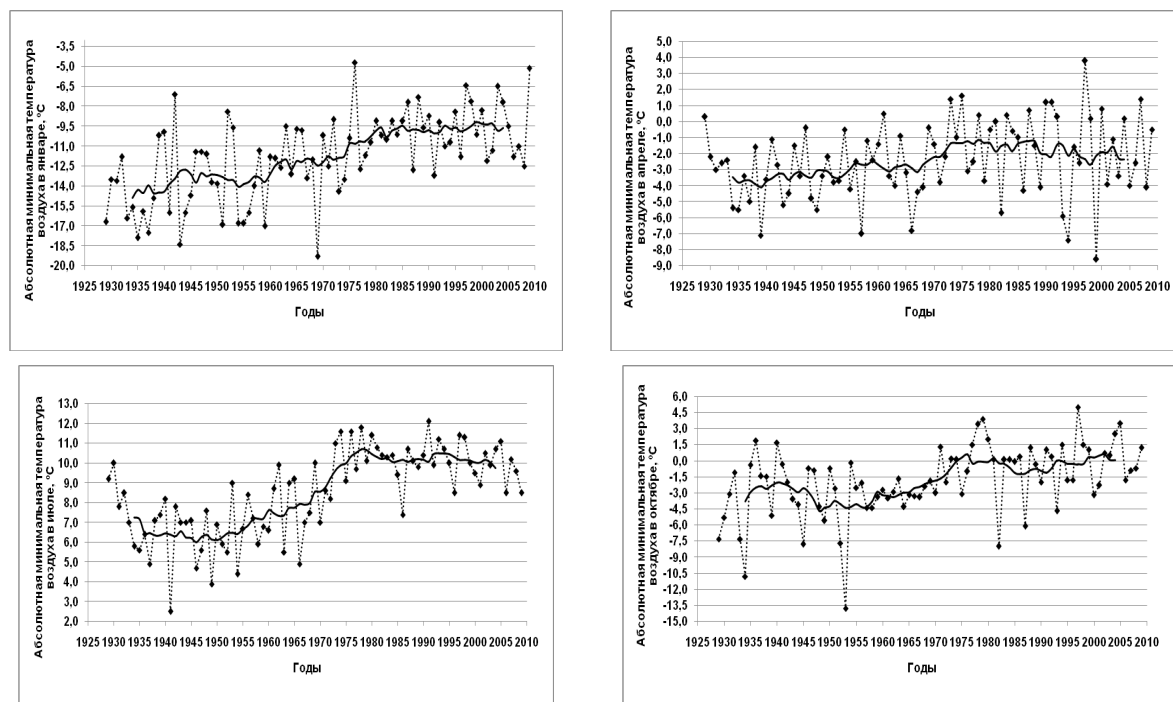


Рисунок 5 – Временные ряды абсолютных минимальных температур (точки) и кривые скользящих 11-летних средних по станции Чолпон-Ата для центральных месяцев сезонов и периода наблюдений по 2009 г.

в деталях по каждой станции наблюдаемые фазы возрастания, падения или ровного хода температуры различны: различно само число фаз, их временные границы и амплитуды. В лучшем случае, их совпадения только приблизительны.

Это еще нагляднее видно на рисунке 5, где приведены кривые для абсолютных минимальных температур (в которых потепление выражено сильнее всего) для одной и той же станции Чолпон-Ата, но по различным сезонам. Например, для зимы характерен слабоколебательный, но в целом значительный рост температуры от 1930 к 2009 г. Весной общий рост мал (примерно на 1 °C) и в колебательном ходе наблюдается широкий слабовыраженный максимум, приходящийся на 1973–87 гг., после чего кривая дает понижение температуры к 2009 г. На июльской кривой резко выделяется фаза сильного роста температуры в период 1950–78 гг., почти на 5 °C, с последующим слабым понижением. Осенняя кривая является переходной от летней июльской к зимней январской.

Получены детальные данные по таким характеристикам фаз для всех станций в полях различных температур, которые дают убедительную картину сложной и своеобразной структуры потепления на каждой из них, несомненно обусловленную мест-

ными климатообразующими факторами. Поэтому знание характеристик потепления местных климатов имеет первостепенную практическую важность, они обязательно должны использоваться совместно с глобальными характеристиками потепления.

Потепление в нормах температурных характеристик. В заключение приведем рассчитанные нормы температур для года, января (зима) и июля (лето) по станциям Балыкчи, Чолпон-Ата и Кызыл-Су для трех последовательных стандартных климатических периодов: 1931–1960 гг. – ближайший прошлый климат, 1961–1990 гг. – “базовый” климат только что истекшего тридцатилетия, 1991–2009 (2020) гг. – настоящий и ближайший будущий климат (таблица 4). Эти сравнительные данные о нормах, которые отсутствуют в климатических справочниках, могут использоваться для решения самых различных прикладных задач.

Как видно, от 1931–60 гг. к 1991–2009 гг. в ЗРЧ и ЦСП повышение норм средних годовых температур составило 1,3–1,6 °C.

В январе (зима) для ЗРЧ и ЦСП и этих тридцатилетий нормы средних месячных температур повысились на 0,7–1,7 °C, средних минимальных (ночных) на 1,0–2,6 °C, абсолютных минимальных – сильнее всего, на 2,6–4,5 °C, тогда как сред-

Таблица 4 – Нормы характеристик температуры по станциям за различные периоды (°C) для года, января и июля

Год, месяц	Период	Характеристика температуры				
		средняя	сред. мин.	абс. мин.	сред. макс.	абс. макс.
МС Балыкчи – западная равнинная часть котловины						
Год	1931–60	6,89	1,78	-4,51	12,44	18,02
	1961–90	7,61	3,21	-2,70	12,79	18,32
	1991–09	8,15	3,76	-1,62	13,18	18,66
Январь	1931–60	-4,28	-8,69	-15,83	1,59	5,45
	1961–90	-3,99	-8,01	-13,80	0,97	5,05
	1991–09	-3,58	-7,67	-13,22	1,40	5,29
Июль	1931–60	17,99	12,44	7,58	23,00	28,72
	1961–90	18,86	14,21	9,74	24,12	29,32
	1991–09	19,18	14,74	10,77	24,17	29,63
МС Чолпон-Ата – центральная зона северного побережья						
Год	1931–60	6,96	2,11	-3,55	11,77	16,52
	1961–90	7,90	3,88	-1,31	12,05	16,72
	1991–09	8,52	4,67	-0,03	12,61	17,40
Январь	1931–60	-3,37	-7,10	-14,04	0,96	4,46
	1961–90	-2,53	-5,50	-10,84	1,26	4,57
	1991–09	-1,69	-4,53	-9,51	1,91	5,69
Июль	1931–60	17,37	10,88	6,60	22,03	26,47
	1961–90	17,83	13,15	9,38	22,40	26,98
	1991–09	18,20	13,69	10,34	22,64	27,74
МС Кызыл-Су – восточная зона южного побережья						
Год	1961–90	6,69	2,05	-2,95	12,18	-
	1991–09	7,21	2,76	-2,29	12,72	-
Январь	1961–90	-4,99	-8,39	-14,04	0,90	-
	1991–09	-4,43	-7,74	-10,84	0,52	-
Июль	1961–90	17,22	11,69	7,92	22,31	-
	1991–09	17,53	12,31	8,46	23,66	-

них максимальных (дневных) только на 0,2–1,0 °C и абсолютных максимальных также на 0,2–1,2 °C.

В июле (лето) средние месячные температуры повысились на 0,8–1,2 °C, средние минимальные – на 2,3–2,8 °C, абсолютные минимальные повысились сильнее всего – на 3,2–3,7 °C. Наконец, в июле средние максимальные и абсолютные максимальные повысились мало, соответственно на 0,6–1,2 и 0,9–1,3 °C.

Для южного побережья такие оценки легко получить из таблицы 4 для МС Кызыл-Су, но только для смежных периодов 1961–90 и 1991–2009 гг.

Таким образом, как и следовало ожидать, наибольшее потепление в нормах температур прежде всего отражает факт снижения частоты и интенсивности холодных погод как для зимы, так и для лета.

В целом весьма схожие результаты получены нами в [6] при рассмотрении характера потепления климата Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта.

Выводы. Даже в условиях наблюдаемой ортографической однородности днища ИКК, обусловленной высокой степенью замкнутости котловины и ее относительно небольшими размерами, на станциях, которые удалены друг от друга всего на 30–40 км и находятся, казалось бы, в одинаковых физико-географических условиях, имеют место хорошо выраженные индивидуальные климатические особенности величины и хода потепления. Одновременно на каждой отдельной станции они различны по сезонам и могут не совпадать в пределах одного сезона в полях различных тем-

ператур. Поэтому знание характеристик изменения местных климатов имеет первостепенную практическую важность, и в этом плане они обязательно должны использоваться как приоритетные при их совместном рассмотрении с глобальными характеристиками изменения климата Земли и ее крупных регионов.

Полученные количественные данные по структуре потепления современного климата днища Иссык-Кульской котловины в 80-летний период 1930–2020 гг. рекомендуются к практическому использованию для решения различных прикладных задач.

Литература

1. Аламанов С.К. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии / С.К. Аламанов, В.М. Лелевкин, О.А. Подрезов и др. // ЮНЕП и WWF России. Москва – Бишкек, 2006. 188 с.
2. Атлас Киргизской ССР. Т. 1. Природные условия и ресурсы. М.: ГУГК СССР, 1987. 157 с.
3. Груза Г.В. Динамические климатические нормы температуры воздуха / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. 2012. № 12. С. 5–18.
4. Израэль Ю.А. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад рабочей группы II / Ю.А. Израэль, С.М. Семёнов, О.А. Анисимов и др. // Метеорология и гидрология. 2007. № 9. С. 5–14.
5. Катцов В.М. Предсказуемость климата: достижения, проблемы, перспективы / В.М. Катцов // Метеорология и гидрология. 2010. № 1. С. 18–22.
6. Подрезов О.А. Современный климат Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 221 с.