

Изменение климата в районе массива Ак-Шийрак и его влияние на ледники© 2017 г. Ю.А. Подрезова^{1*}, И.А. Павлова²¹Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Кыргызская Республика;²Кыргызско-Российский Славянский университет (КРСУ), Бишкек, Кыргызская Республика

*j.podrezova@caiaig.kg

Climate change in the Ak-Shiyrak massive area and its impact on glaciersYu.A. Podrezova^{1*}, I.A. Pavlova²¹Central-Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyzstan; ²Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan

*j.podrezova@caiaig.kg

Received September 30, 2016

Accepted March 3, 2017

Keywords: Ak-Shiyrak massive, climate change, impact on glaciers.**Summary**

The data from Tien Shan meteorological station (3614 m a.s.l.) were used to analyze the climate changes (the air temperature and precipitation) in the area of glaciation of the Ak-Shiyrak massive over the period of 1930–2015 years. In 1999, this station had been moved to a new position, and for the later years, data on the air temperature and precipitation were brought to homogeneous series by methods of differences and correlations. Coefficients of linear trends of annual/monthly values of temperatures and precipitation sums were calculated for the following three periods: 1930–1975 – stable global climate (b_1); 1976–2015 – global warming (b_2), and 1930–2015 – period of instrumental observations as a whole (b_3). In addition, for the practical use, we calculated climatic values of the temperature and precipitation for different standard time intervals within the period under investigation. It was revealed that the average annual temperatures in the region rose over the years at the rate of 0,188 °C/10 years, while in 1930–1975 years this rate was 3,5 times smaller ($b_1 = 0,110$ °C/10 years) than in 1976–2015 years ($b_2 = 0,375$ °C/10 years). The highest rates were recorded in February ($b_2 = 1,043$ °C/10 years) and March ($b_2 = 0,855$ °C/10 years). Precipitations are known to have significant inter-annual variability (especially in 1975–2000), so only the b_3 trend is used as the representative one, obtained over the whole period of observations. During this period, the annual sum of precipitation decreased at the rate of –7,88 mm/10 years, but during the seasons both, decreasing and increasing in precipitation, was observed within limits of changes of the trends: from –4,420 mm/10 years (July) to 0,743 mm/10 years (February). These climate changes were compared with decrease of the glaciation parameters in the Ak-Shiyrak massive for 1943–1976 and 1977–2003 periods, in particular, area (ΔS), height of the glacier surfaces (ΔH), and their volumes (ΔV). By the second period, the rate of decreasing of these parameters had grown by the factor 1.5–2, while the temperature changes according to the above trends increased, on the average for a year, by factor 2.7, and the change in precipitation decreased by 20%.

Citation: Podrezova Yu.A., Pavlova I.A. Climate change in the Ak-Shiyrak massive area and its impact on glaciers. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2017. 57 (2): 200–212. [In Russian]. doi:10.15356/2076-6734-2017-2-200-212.

Поступила 30 сентября 2016 г.

Принята к печати 3 марта 2017 г.

Ключевые слова: влияние климата на оледенение, изменения климата, массив Ак-Шийрак.

По многолетним наблюдениям (1930–2015 гг.) на метеорологической станции Тянь-Шань (3 610 м над ур. моря) проанализированы происходящие климатические изменения в районе высокогорного массива Ак-Шийрак во Внутреннем Тянь-Шане. Для трёх периодов (1930–1975, 1976–2015, 1930–2015 гг.) определены характеристики линейных трендов температуры воздуха и осадков, а также нормы их многолетних средних значений. Полученные результаты сопоставлены с данными об изменениях ледников в массиве Ак-Шийрак.

Введение

Территория Кыргызстана занимает основную часть Тянь-Шаня. В климатическом отношении она делится на четыре провинции, одна из которых – Внутренний Тянь-Шань – относится

к самой высокогорной и резко континентальной области Кыргызстана. Здесь находится наиболее оледенелый массив Ак-Шийрак; его средняя высота 4,7 км, а максимальная отметка – 5130 м (рис. 1). В его пределах сосредоточено 178 ледников общей площадью 371,6 км² [1, 2] – около 44%

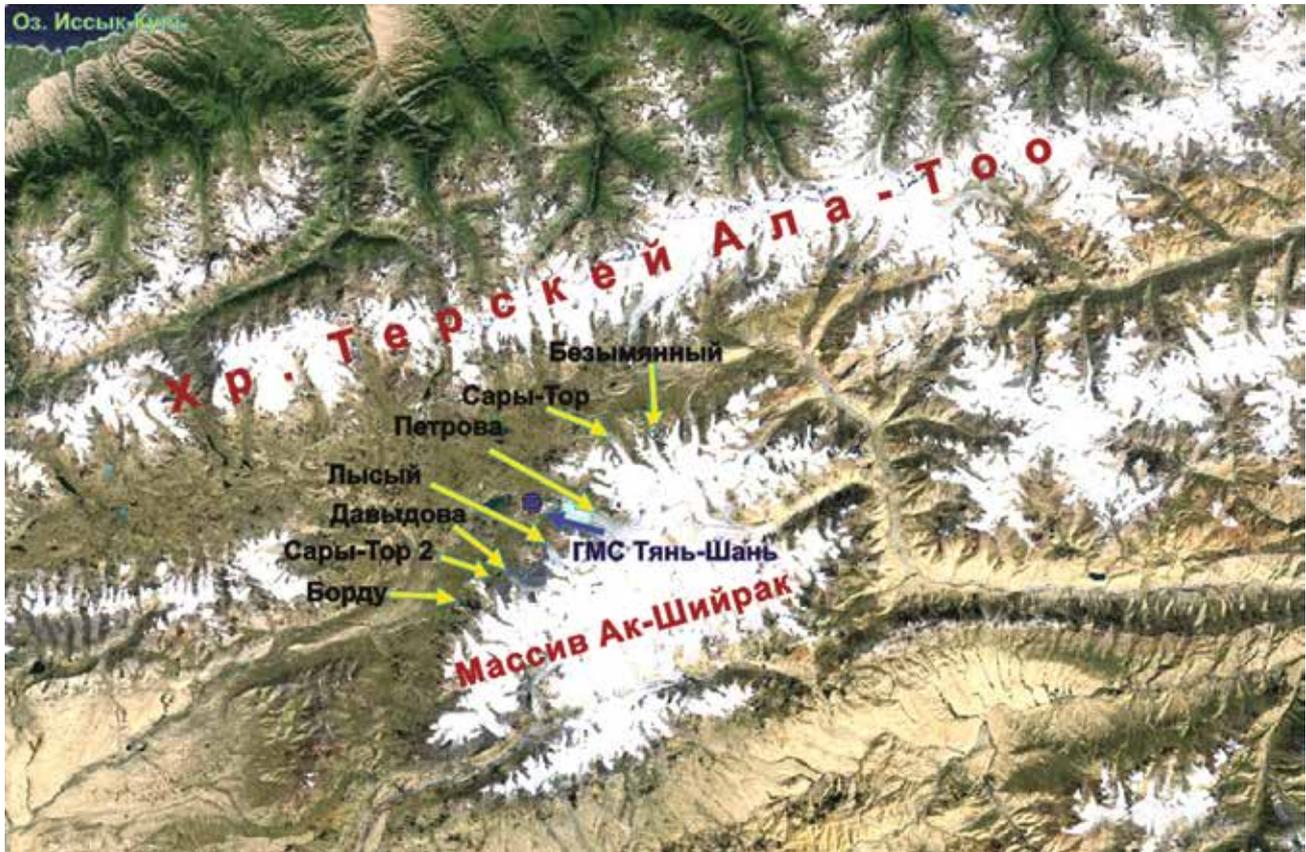


Рис. 1. Положение массива Ак-Шийрак и метеостанции Тянь-Шань во Внутреннем Тянь-Шане (жёлтыми стрелками показаны наиболее крупные ледники). <http://earth.google.com>

Fig. 1. Location of Ak-Shyirak massive and Tien Shan meteorological station in the Inner Tien Shan (yellow arrows show the largest glaciers). <http://earth.google.com>

площади массива. Самый крупный из них — ледник Петрова (61,4 км²), дающий начало р. Кумтор (исток р. Нарын) [3]. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, [4]), начавшееся с 1900-х годов потепление глобального климата Земли с середины 1970-х годов происходит высокими темпами, сопровождается деградацией горного оледенения и другими существенными изменениями в климатической системе Земли. Согласно [5], в период 1976–2011 гг. угловой коэффициент тренда средней для земного шара температуры составил 0,16 °C за 10 лет, а для суши Северного полушария — 0,31 °C/10 лет. Для Кыргызстана [6] скорость роста среднегодовой температуры воздуха равна 0,18 °C/10 лет (1976–2014 гг.), что хорошо согласуется со скоростью потепления глобального климата. В обзоре [7] приводятся данные, свидетельствующие о более сильном потеплении в ряде горных массивов по сравнению с равнин-

ными регионами. Вместе с тем отмечаются районы, где потепление уменьшается или остаётся неизменным по высоте. Всё это говорит о неоднородности наблюдаемых процессов потепления в горных областях Земли.

Оледенение Ак-Шийрака и его изменения, которые оценивались в ряде работ [1–3, 8–10], определяются климатическими условиями Внутреннего Тянь-Шаня. Общее описание климата данной провинции на период до 1990 г. рассмотрено в исследованиях [1, 11]. Изменения температуры и осадков, которые наблюдались в разные периоды исследований, оценка деградации ледников Ак-Шийрака и соседнего хр. Терской Ала-Тоо даны в публикациях [1, 2, 8–10]. В работах [12–15] приводятся подробные данные о характере современного потепления климата для двух сопредельных с Внутренним Тянь-Шанем климатических провинций — Иссык-Кульской котловины, а также Северного и

Северо-Западного Кыргызстана. Они показывают, что ход потепления в этих областях, хотя и отражает глобальное потепление климата, но носит существенный региональный характер и сильно различается как по сезонам года, так и по характеристикам температур – средним, максимальным и минимальным. Поэтому не вызывает сомнений, что характер происходящих климатических изменений в районе массива Ак-Шийрак должен иметь значительные региональные черты исходя из значительных высот и центрального положения во Внутреннем Тянь-Шане. Для наблюдаемых изменений климата массива Ак-Шийрак наиболее показательны данные метеорологической станции (ГМС) Тянь-Шань, которая находится на северной периферии массива на высоте 3610 м и имеет ряд наблюдений с 1930 г. (см. рис. 1).

Задача данной статьи – оценить изменения температуры воздуха и осадков в районе массива Ак-Шийрак по данным ГМС Тянь-Шань за период наблюдений с 1930 по 2015 г. и сопоставить их с изменениями параметров оледенения массива. Исследования предусматривали:

1) сравнение хода наблюдаемого регионального потепления в районе массива Ак-Шийрак с потеплением глобального климата;

2) оценку скорости повышения температуры и изменения осадков в районе массива Ак-Шийрак на основании анализа трендов климатических рядов для трёх периодов: 1930–1975 гг. (стабильный глобальный климат); 1976–2015 гг. (интенсивное потепление глобального климата); 1930–2015 гг. (период наблюдений в целом);

3) сопоставление полученных климатических результатов с изменениями параметров оледенения массива Ак-Шийрак, заимствованных из литературных источников.

Использованный материал и методика исследований

В качестве основных исходных данных мы использовали ряды средних годовых и средних месячных температур воздуха, а также сумм осадков за 86-летний период наблюдений с 1930 по 2015 г. на ГМС Тянь-Шань, расположенной в зоне высокогорных сыртов у подножия ледника Петрова. В 1999 г. станция была перенесе-

на на 2,7 км ближе к леднику; при этом её высота увеличилась на 25 м (с 3614 до 3639 м), однако характер микроклиматических условий не изменился. Кроме того, станция стала автоматической, однако при переносе станции не были проведены параллельные наблюдения за осадками и температурой воздуха по разнотипным приборам. Авторы не располагают также дополнительной информацией по методике измерения осадков после переноса станции, поэтому очень важно устранить возникшие из-за смены приборов неоднородности в климатических рядах для периода с 1999 по 2015 г. С этой целью выполнен специальный корреляционный анализ рядов температуры и осадков действующих средне- и высокогорных станций с рядами ГМС Тянь-Шань. Установлено, что ряды годовых сумм осадков лучше всего коррелируют с данными ГМС Чон-Ашу ($r = 0,81$, период с 1970 по 1998 г.) и ГМС Суусамыр ($r = 0,58$, период с 1937 по 1998 г.). Это хорошо видно на рис. 2, где приведены ряды наблюдений по всем трём ГМС. С 1987 г. на всех трёх станциях наблюдалось резкое снижение количества выпадающих осадков, а в 1995–1997 гг. отмечались их минимумы за периоды наблюдения. В последующие годы количество осадков возросло.

Ряды температуры лучше всего коррелируют с данными ГМС Сары-Таш – коэффициент корреляции по средней годовой температуре равен 0,76. Для некоторых месячных рядов температуры и осадков хорошая связь установлена с ГМС Нарын. При этом для отдельных месяцев года данные по каждой из привлечённых станций имели низкую корреляцию с данными ГМС Тянь-Шань. С целью устранения неоднородностей использованы три работающих в настоящее время ГМС, которые располагаются примерно в аналогичных условиях: Сары-Таш (3160 м, днище Алайской котловины; 39°43' с.ш., 73°15' в.д.); Чон-Ашу (2800 м, пригребневая зона северного склона Терской Ала-Тоо; 42°26' с.ш., 79°02' в.д.); Нарын (2040 м, днище Нарынской котловины; 41°26' с.ш., 75°59' в.д.). Использование одновременно данных трёх станций за весь период 1999–2015 гг. с помощью методов разностей и отношений, применяемых в климатологии при переносе станций [16], позволило надёжно устранить неоднородность всех 26 рядов температуры и осадков на ГМС Тянь-Шань. Во

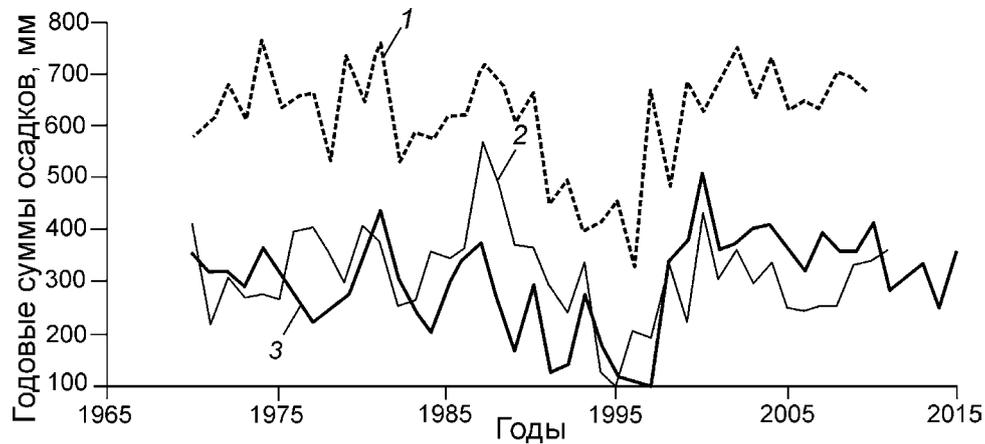


Рис. 2. Ход годовых сумм осадков за период совместных наблюдений 1970–2011 гг. по метеостанциям: 1 – Чон-Ашу (2800 м); 2 – Суусамыр (2090 м); 3 – Тянь-Шань (3610 м)

Fig. 2. Annual precipitation sum for the period of joint observations in 1970–2011 on meteorological stations: 1 – Chon-Ashu (2800 m); 2 – Suusamyр (2090 m); 3 – Tien Shan (3610 m)

Таблица 1. Коэффициенты корреляции рядов температуры и осадков между данными ГМС Тянь-Шань и данными ГМС Нарын, Сары-Таш, Чон-Ашу (жирным шрифтом выделены использованные для приведения коэффициенты корреляции)

Гидрометеостанции	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>Температура воздуха</i>													
Нарын	0,66	0,58	0,45	0,83	0,79	0,53	0,71	0	0,81	0,78	0,51	0,69	0,68
Сары-Таш	0,79	0,85	0,69	0,79	0,66	0,51	0,72	0,13	0,76	0,77	0,47	0,77	0,76
Чон-Ашу	0,74	0,41	0,74	0,73	0,19	0,76	–0,02	0,63	0,67	0,36	0,82	0,66	0,42
<i>Осадки</i>													
Нарын	0,37	0,62	0,66	0,44	0,39	0,14	0,38	0,46	0,43	0,58	0,52	0,64	0,35
Чон-Ашу	0,64	0,66	0,78	0,71	0,63	0,56	0,67	0,60	0,46	0,25	0,28	0,61	0,81

всех случаях коэффициенты корреляции равны 0,5–0,8 (табл. 1). Это позволило обоснованно использовать для анализа полные ряды её наблюдений, включая важный последний интервал 1999–2015 гг. Подобная коррекция рядов на перенос и смену оборудования по ГМС Тянь-Шань выполнена впервые.

При расчётах статистических характеристик полученных однородных рядов за 1930–2015 гг. применялись стандартные методы и программы. Дополнительно, для выявления низкочастотных составляющих климатических колебаний в рядах температуры и осадков, применялся метод 11-летнего скользящего сглаживания, как это сделано, например, в работах [5, 13–15]. При этом ряды температуры воздуха переведены в ряды аномалий, установленных относительно климатических норм 1961–1990 гг., а для осадков использованы их исходные ряды. По дан-

ным температуры и осадков сделаны также оценки линейных трендов, соответствующих трём периодам: 1930–1975, 1976–2015, а также всему периоду в целом – 1930–2015 гг. Уравнения линейных трендов рассчитывались по формуле

$$y = b_0 + b_{1,2,3}x \pm s, \quad (1)$$

где y (°C или мм) – температура или осадки; x – год (например, 2005 г.); b_1 , b_2 и b_3 (°C/год или мм/год) – угловые коэффициенты трендов соответственно за периоды 1930–1975, 1976–2015 и 1930–2015 гг.; b_0 (°C или мм) – свободный член уравнений (различный для каждого из периодов); $\pm s$ (°C или мм) – среднеквадратические ошибки уравнений тренда.

По формуле (1) рассчитаны изменения температуры воздуха для каждого из трёх периодов длительностью 46, 40 и 86 лет (ΔT_{46} , ΔT_{40} и ΔT_{86}) и изменения сумм осадков за 86 лет (ΔR_{86}).

Отметим, что, согласно методу наименьших квадратов, по которому определялись b_1 – b_3 , в общем случае будут справедливы следующие неравенства:

$$b_3 \neq b_1 + b_2 \text{ и } \Delta y_{86} \neq \Delta y_{46} + \Delta y_{40}.$$

Это означает, что найденные угловые коэффициенты трендов b_1 – b_3 и соответствующие им изменения Δy следует использовать строго индивидуально в пределах тех интервалов, для которых они рассчитаны. Статистическая достоверность коэффициентов b_1 – b_3 определялась на уровне значимости 0,05. Кроме того, рассчитаны климатические нормы для различных периодов внутри интервала 1930–2015 гг., в том числе для рекомендованных Всемирной метеорологической организацией (ВМО) базового периода 1961–1990 гг. и периода 1981–2010 гг.; последний следует использовать для характеристики современного климата. Всё это позволило всесторонне описать картину происходящих изменений климата в районе массива Ак-Шийрак за весь период инструментальных наблюдений.

Результаты исследований

Сравнение хода глобальных климатических изменений с региональными для массива Ак-Шийрак.

На рис. 3 приведено изменение температуры для Северного полушария Земли за 1885–2011 гг. по данным работы [5], а на рис. 4 – аналогичные данные по ГМС Тянь-Шань за период 1930–

2015 гг., а также ход осадков по этой станции. На этих рисунках показаны также скользящие 11-летние средние, позволяющие видеть в исходных рядах низкочастотные компоненты колебаний климата. Хорошо видно, что изменение климатических условий в районе массива Ак-Шийрак в целом следует за изменениями глобального климата, но имеет значительные региональные особенности. Так, до 1940 г. в Северном полушарии произошло заметное потепление – примерно на $0,5^\circ\text{C}$, которое в период 1940–1975 гг. сменилось слабым похолоданием (на $-0,2^\circ\text{C}$); после этого к 2011 г. температура увеличивалась на $0,9^\circ\text{C}$. Именно такой ход температуры по низкочастотным колебаниям позволяет выделять 1930–1975 и 1976–2015 гг. соответственно как периоды стабильного мирового климата и периоды его потепления.

На ГМС Тянь-Шань, характеризующей климат массива Ак-Шийрак, величина потепления в период 1930–2011 гг. составила по 11-летней кривой около $1,4^\circ\text{C}$ ($1,6^\circ\text{C}$ за 1930–2015 гг.), тогда как в Северном полушарии – только $0,9^\circ\text{C}$. Хотя общая тенденция хода аномалий средней годовой температуры в 1930–2011 гг. в обоих случаях достаточно хорошо совпадала, в деталях на ГМС Тянь-Шань она заметно отличалась: в 1975 г. имел место не минимум, а максимум температуры, после которого происходило её слабое падение до 1990 г., и только затем произошёл рост температуры вплоть до 2015 г. Самыми тёплыми для ГМС Тянь-Шань оказались 2015 и 2007 гг. (аномалия $+1,8^\circ\text{C}$).

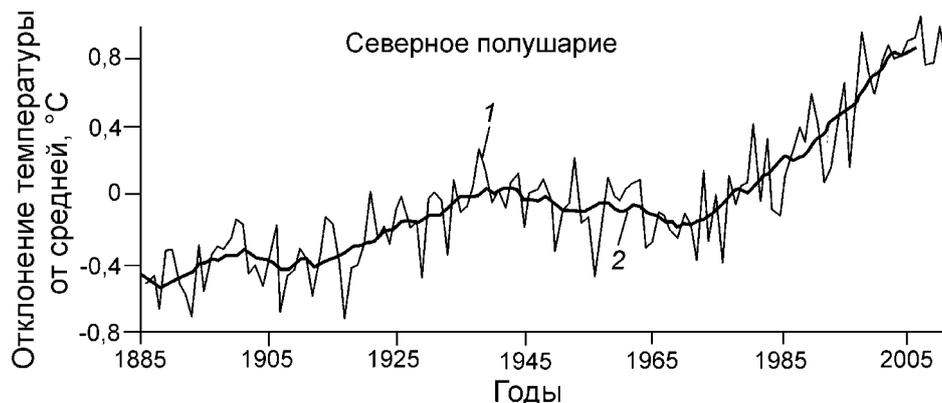


Рис. 3. Временной ход отклонений среднегодовой температуры для Северного полушария [5] за период 1885–2011 гг. относительно нормы 1961–1990 гг. (1) и кривая 11-летних скользящих средних (2)

Fig. 3. Time series of the deviations of average annual temperature for Northern Hemisphere [5] for the 1885–2011 relative to the norm of 1961–1990 (1) and curve of their 11-years flexible averages (2)

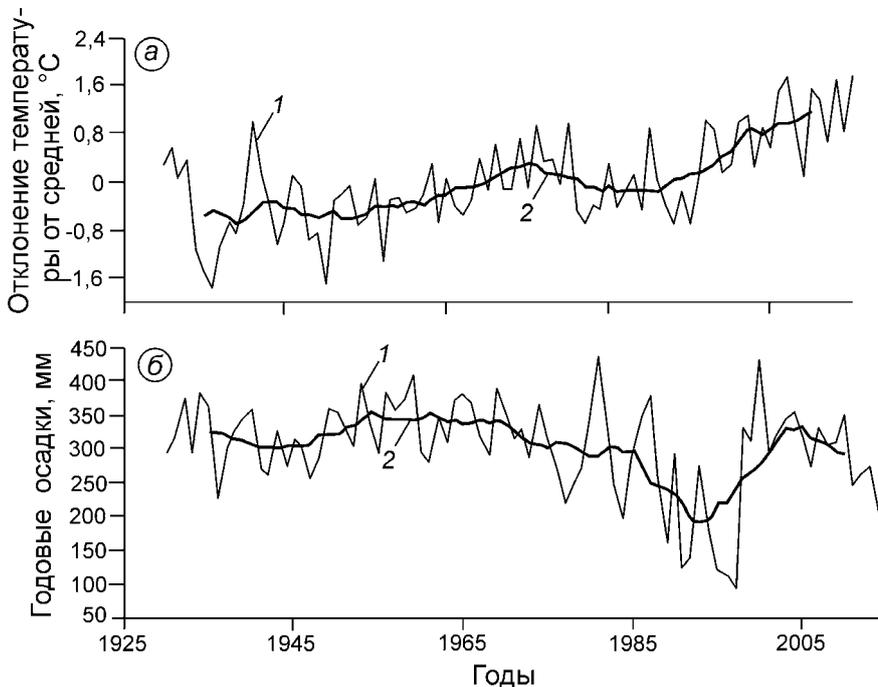


Рис. 4. Временной ход отклонений среднегодовой температуры (а) относительно нормы 1961–1990 гг. (1) и годовых сумм осадков (б) по метеостанции Тянь-Шань за 1930–2015 гг. (1); кривые их 11-летних скользящих средних (2)

Fig. 4. Time series of the deviations of average annual temperature (a) in comparison with the norm of 1961–1990 (1) and annual precipitation (b) on Tien Shan meteorological station for the period of 1930–2015 (1); curves of their 11-years flexible averages (2)

Согласно [5], для Северного полушария и России самым тёплым был также 2007 г. (аномалия $+1,04$ и $+2,1$ °C соответственно), а в среднем для Кыргызстана [6] – 1997 г. (аномалия $+1,23$ °C). Таким образом, установлены чёткие заметные региональные и местные особенности для района массива Ак-Шийрак как в величине потепления, так и в ходе аномалий температур.

Временной ход осадков на ГМС Тянь-Шань показывает, что они изменяются не в фазе и не в противофазе по сравнению с ходом температуры – во всех случаях наблюдался их колебательный характер. Так, в годовых суммах осадков (см. рис. 4, б) отмечается относительно ровный ход до 1980 г., после чего сначала последовало их сильное падение к 1995 г., затем – ещё более сильный рост к 2005 г. с последующей тенденцией к снижению. Отметим, что такой же характер изменения осадков наблюдался на среднегорной ГМС Суусамыр и на высокогорной ГМС Чон-Ашу (см. рис. 2).

Изменение температуры по данным анализа трендов. На рис. 5 показан временной ход средней годовой температуры на ГМС Тянь-Шань с нанесёнными линиями трендов за весь период наблюдений 1930–2015 гг. (см. рис. 5, а) и отдельно за 1930–1975 и 1976–2015 гг. (см. рис. 5, б). Хорошо видно, что ход температуры имеет колебательный характер: слабую тенден-

цию повышения вплоть до 1980 г., затем период понижения, а с 1995 г. значительный рост. В табл. 2 приведены значения угловых коэффициентов линейных трендов средней годовой температуры b_1 , b_2 и b_3 и рассчитанные по трендам изменения температуры ΔT_{46} , ΔT_{40} и ΔT_{86} . Согласно этим данным, за весь 86-летний период наблюдений 1930–2015 гг. в среднем для года наблюдалось потепление (ΔT_{86}) на $1,6$ °C со скоростью $0,188$ °C/10 лет, которое было сравнительно равномерно во всех сезонах. Однако по отдельным месяцам колебания потеплений ΔT_{86} были более значительны и изменялись от $0,8$ °C ($b_3 = 0,093$ °C/10 лет) до $2,4$ °C ($b_3 = 0,268$ °C/10 лет). Потепление статистически значимо для года, лета, осени и отдельных месяцев зимы и весны. Наиболее близкая среднегорная ГМС Нарын также показала рост средних годовых температур на $2,7$ °C за этот же период. Потепление отмечалось и по другим длиннорядным ГМС Кыргызстана: $2,1$ °C для ГМС Суусамыр [17]; $1,7$ °C для ГМС Сары-Таш [18]; $0,4$ – $2,4$ °C для пяти станций Северного и Северо-Западного Кыргызстана [14]; $1,8$ и $2,0$ °C для ГМС Балыкчи и Чолпон-Ата [15].

За 46-летний период 1930–1975 гг. потепление в поле средних годовых температур ΔT_{46} было малым и составило всего $0,5$ °C, а зимой имело место даже похолодание на $-0,6$ °C, ко-

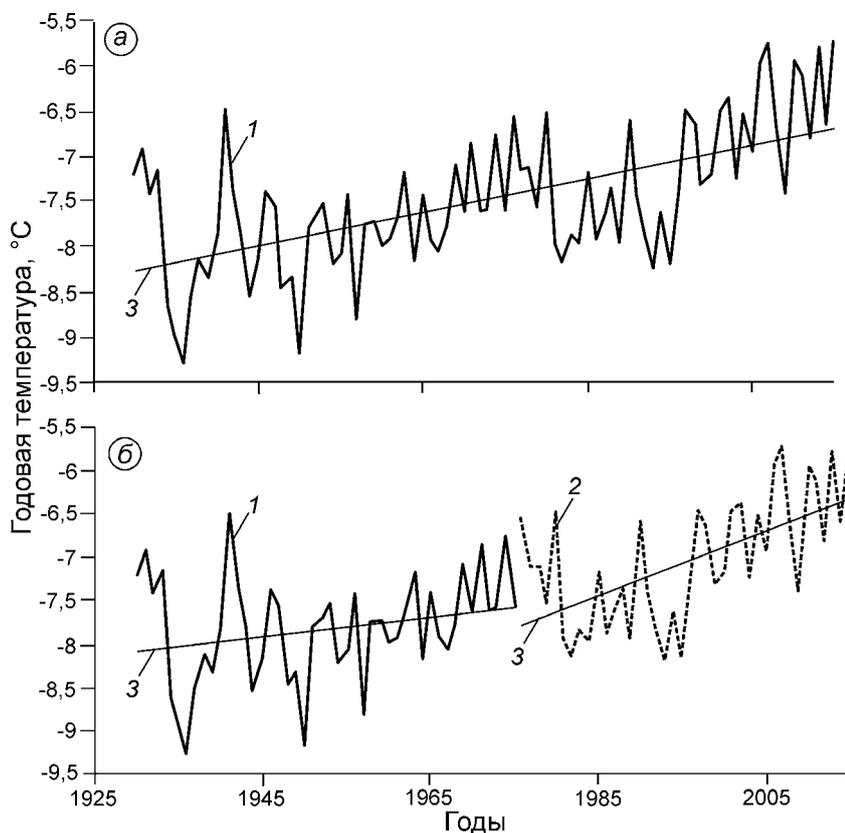


Рис. 5. Ход годовых температур по метеостанции Тянь-Шань за весь период наблюдений 1930–2015 гг. (1) (а) и за периоды 1930–1975 (1) и 1976–2015 гг. (2) (б) с линиями линейных трендов (3)

Fig. 5. Series of annual temperatures on Tien Shan meteorological station for the whole period of observations 1930–2015 (1) (a) and for the periods 1930–1975 (1) and 1976–2015 (2) (b) with lines of linear trends (3)

торое по трём зимним месяцам было в пределах от $-0,2$ до $-0,8$ °C. В остальные сезоны отмечалось потепление от $0,4$ до $1,1$ °C, причём в мае и июле наблюдалось похолодание на $-0,5$ °C. Во всех случаях изменения температуры были статистически незначимы. Этим изменениям соответствовали угловые коэффициенты трендов b_1 , равные для года $0,110$ °C/10 лет, а по месяцам находящиеся в следующих пределах: зима $-0,041 \div -0,170$ °C/10 лет; весна $-0,111 \div +0,410$ °C/10 лет; лето $-0,105 \div +0,279$ °C/10 лет; осень $0,227 \div 0,275$ °C/10 лет.

За последний 40-летний период 1976–2015 гг. потепление ΔT_{40} в поле средних годовых температур было высоким ($b_2 = 0,375$ °C/10 лет) и составило для года $1,5$ °C. Оно значительно различалось по сезонам, имея наибольшее значение зимой $2,3$ °C и наименьшее – осенью $0,8$ °C. По отдельным месяцам сезонов потепление колебалось ещё в более широких пределах: зима $-0,3$ – $4,2$ °C, весна $-0,9$ – $3,4$ °C, лето $-0,8$ – $1,2$ °C, осень $-0,1$ – $1,5$ °C. По данным [6], на всех действующих ГМС Кыргызгидромета (около 30, ГМС Тянь-Шань не использовалась в расчётах) за период 1976–2014 гг. отмечались по-

ложительные тенденции изменения средних годовых температур. На 20% станций коэффициент линейного тренда составил $0,3$ – $0,4$ °C/10 лет ($\Delta T_{40} = 1,2 \div 1,6$ °C), на остальных он был меньше. Наибольшие скорости пришлись на весну ($0,42$ °C/10 лет) и осень ($0,24$ °C/10 лет), в летний и зимний периоды скорости были небольшие: соответственно $0,05$ и $0,10$ °C/10 лет. Таким образом, потепление в районе массива Ак-Шийрак в период 1930–1975 гг. было незначительно, а в период 1976–2015 гг. шло очень высокими темпами, но сильно менялось не только по сезонам, но и по отдельным месяцам.

Изменение осадков по данным анализа трендов. На рис. 6 показан временной ход годовых сумм осадков на ГМС Тянь-Шань с нанесёнными линиями трендов за весь период наблюдений 1930–2015 гг. (см. рис. 6, а) и отдельно за 1930–1975 и 1976–2015 гг. (см. рис. 6, б). По сравнению с температурой воздуха для осадков наблюдается иная картина: общий тренд осадков за период 1930–2015 гг. отрицателен и соответствует их уменьшению на 68 мм. Однако оба частных тренда для периодов 1930–1975 и 1976–2015 гг. положительны и дают примерно одинаковую

Таблица 2. Угловые коэффициенты трендов средней годовой температуры b и трендовые оценки её изменений ΔT за различные периоды по данным ГМС Тянь-Шань (жирным шрифтом выделены статистически значимые значения)

Период	Угловые коэффициенты, °С /10 лет			Изменение температуры, °С		
	b_1 1930–1975	b_2 1976–2015	b_3 1930–2015	ΔT_{46} 1930–1975	ΔT_{40} 1976–2015	ΔT_{86} 1930–2015
Год	0,110	0,375	0,188	0,5	1,5	1,6
<i>Зима</i>						
Декабрь	-0,041	0,068	0,093	-0,2	0,3	0,8
Январь	-0,157	0,625	0,165	-0,7	2,5	1,4
Февраль	-0,170	1,043	0,268	-0,8	4,2	2,4
<i>Среднее</i>				-0,6	2,3	1,5
<i>Весна</i>						
Март	0,364	0,855	0,162	1,7	3,4	1,4
Апрель	0,410	0,367	0,223	1,9	1,5	1,9
Май	-0,111	0,217	0,118	-0,5	0,9	1,0
<i>Среднее</i>				1,0	1,9	1,4
<i>Лето</i>						
Июнь	0,279	0,312	0,198	1,3	1,2	1,7
Июль	-0,105	0,222	0,112	-0,5	0,9	1,0
Август	0,107	0,198	0,216	0,5	0,8	1,9
<i>Среднее</i>				0,4	1,0	1,5
<i>Осень</i>						
Сентябрь	0,275	0,372	0,274	1,3	1,5	2,4
Октябрь	0,243	0,186	0,198	1,1	0,7	1,7
Ноябрь	0,227	0,033	0,229	1,0	0,1	2,0
<i>Среднее</i>				1,1	0,8	2,0

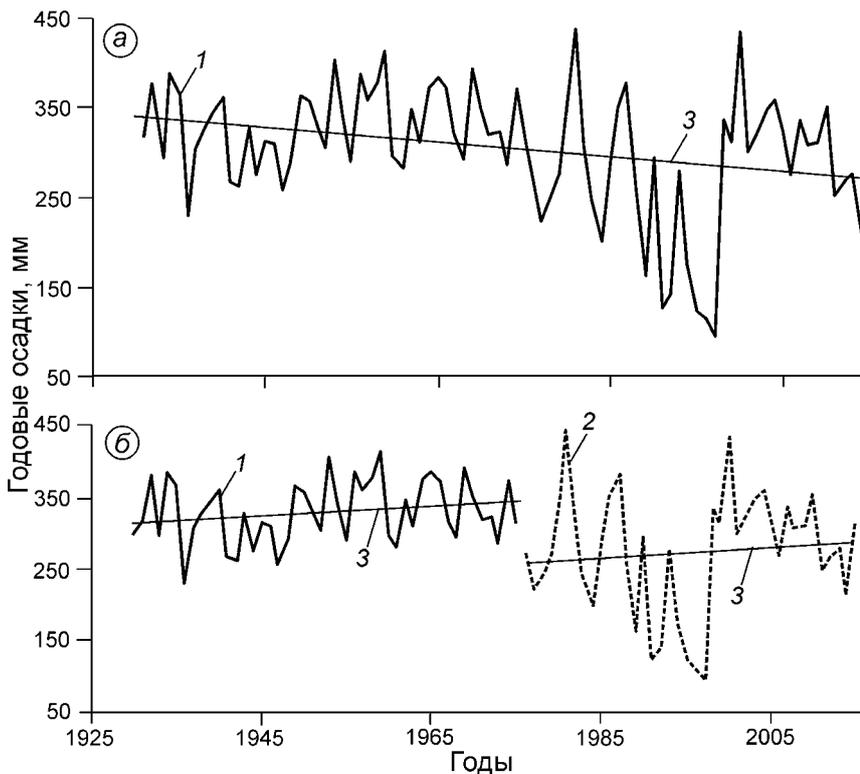


Рис. 6. Ход годовых осадков по метеостанции Тянь-Шань за весь период наблюдений 1930–2015 гг. (1) (а) и за периоды 1930–1975 (1) и 1976–2015 гг. (2) (б) с линиями линейных трендов (3)

Fig. 6. Series of annual precipitation on Tien Shan meteorological station for the whole period of observations 1930–2015 (1) (a) and for the periods of 1930–1975 (1) and 1976–2015 (2) (b) with lines of linear trends

Таблица 3. Угловые коэффициенты трендов осадков b_3 и трендовые оценки изменений осадков ΔR_{86} за 1930–2015 гг. по данным ГМС Тянь-Шань (жирным шрифтом выделены статистически значимые величины)

Период	Значения	
	b_3 , мм/10 лет	ΔR_{86} , мм
Год	-7,884	-67,8
Зима:		7,1
декабрь	0,339	2,9
январь	-0,234	-2,0
февраль	0,743	6,2
Весна:		-11,3
март	-0,348	-3,0
апрель	-0,170	-1,5
май	-0,787	-6,8
Лето:		-84,9
июнь	-2,680	-23,0
июль	-4,420	-38,0
август	-2,784	-23,9
Осень:		21,3
сентябрь	1,069	9,2
октябрь	1,028	8,8
ноябрь	0,378	3,3

скорость роста осадков. В таком «парадоксе» нет ничего удивительного – это известная типичная картина: когда изменчивость временного ряда значительна, то в результате знак и величина тренда в сильной степени зависят от задаваемых границ периода. Нижний график (см. рис. 6, б) приведён специально, чтобы наглядно показать данный факт. Поэтому для ГМС Тянь-Шань, где этот факт для осадков выражен очень резко, для климатического анализа данных в качестве репрезентативных следует использовать только тренды осадков b_3 и соответствующие значения ΔR_{86} по всему периоду 1930–2015 гг. Тренды b_1 и b_2 по периодам 1930–1975 и 1976–2015 гг. можно использовать лишь в качестве вспомогательных данных сугубо в интервалах своих периодов.

Из табл. 3 видно, что в среднем для года за весь исследуемый период наблюдалось существенное уменьшение осадков на 68 мм, которое происходило очень неравномерно и разнонаправленно по отдельным сезонам: зимой отмечался рост на 7 мм, весной – уменьшение на 11 мм, летом – уменьшение на 85 мм, а осенью – увеличение на 21 мм. По отдельным месяцам колебания были ещё значительнее. Изменения

осадков статистически значимы для года, лета, а также февраля и октября. Таким изменениям осадков соответствовали угловые коэффициенты трендов b_3 , равные для года $-7,88$ мм/10 лет и меняющиеся для различных месяцев как по величине, так и по знаку: от $-4,42$ мм/10 лет (июль) до $1,07$ мм/10 лет (сентябрь).

По данным ГМС Суусамыр также установлено значимое уменьшение годовых осадков за период 1936–2011 гг. (76 лет), составившее 119 мм [17]. Снижение осадков здесь отмечалось практически во все месяцы года. В то же время наиболее близкая среднегорная ГМС Нарын (2,04 км) показала увеличение годовых сумм осадков за 85 лет на 31 мм. На высокогорной ГМС Сары-Таш (3,16 км, Памиро-Алай) основной тенденцией также был рост годовых сумм осадков, которые, по материалам [18], увеличились на 66 мм с 1935 по 2005 г. В работе [13] показано, что на шести длиннорядных низкогорных станциях Северного и Северо-Западного Кыргызстана отмечалась тенденция роста годовых осадков в среднем по территории со скоростью 11,45 мм/10 лет; за 81 год они увеличились на 93 мм. Таким образом, в 1930–2015 гг. на ГМС Тянь-Шань количество осадков существенно изменялось при общей тенденции их уменьшения. Меньше всего осадков выпало в 1997 г. (96 мм), а больше всего в 1981 г. (439 мм).

Нормы температуры воздуха и осадков за разные периоды. В табл. 4 приведены нормы температуры воздуха для пяти периодов: 1930–1975, 1976–2015, 1930–2015, 1961–1990 и 1981–2010 гг. Норма 1961–1990 гг. рекомендована ВМО в качестве базовой, а норма 1981–2010 гг. – для характеристики современного климата. Заметим, что именно нормы, т.е. средние многолетние значения, в наилучшей степени отражают фактическое изменение климатических условий и служат их интегральной показательной мерой. Такой набор норм мы привели специально как справочный материал. Он весьма важен для любого потребителя, который анализирует вариативность каких-либо природных процессов, связанных с изменением климата в данном регионе. Здесь мы рассмотрим изменения годовых и сезонных норм температуры и осадков от периода 1930–1975 гг. к периоду 1976–2015 гг.

Для средней годовой температуры от 1930–1975 к 1976–2015 гг. её норма повысилась на

Таблица 4. Нормы температуры и осадков по данным ГМС Тянь-Шань за различные периоды, годы

Период	Нормы температуры (°С) по периодам					Нормы осадков (мм) по периодам				
	1930–1975	1976–2015	1930–2015	1961–1990	1981–2010	1930–1975	1976–2015	1930–2015	1961–1990	1981–2010
Год	-7,8	-7,1	-7,5	-7,5	-7,2	330	275	304	311	277
Зима:	-20,2	-19,4	-19,8	-20,1	-19,5	19,1	20,7	19,9	19,6	20,2
декабрь	-19,5	-19,0	-19,3	-19,2	-19,1	6,7	7,9	7,3	7,3	8,1
январь	-21,5	-20,8	-21,1	-21,4	-20,9	6,5	4,5	5,6	5,9	4,8
февраль	-19,5	-18,4	-19,0	-19,7	-18,6	5,9	8,3	7,0	6,4	7,3
Весна:	-7,2	-6,7	-7,0	-6,9	-6,9	81,5	71,1	76,7	77,2	72,8
март	-13,3	-13,2	-13,2	-13,3	-13,2	14,3	11,4	13,0	14,6	12,2
апрель	-7,0	-6,3	-6,7	-6,3	-6,6	22,5	20,4	21,5	20,5	20,5
май	-1,4	-0,7	-1,1	-1,0	-0,9	44,7	39,3	42,2	42,1	40,2
Лето:	3,5	4,2	3,8	3,8	4,1	180,1	126,8	155,4	164,5	126,0
июнь	2,3	3,0	2,6	2,7	2,8	60,9	45,0	53,5	57,5	45,6
июль	4,3	4,9	4,6	4,4	4,8	64,4	44,1	55,0	57,9	43,4
август	3,8	4,8	4,2	4,2	4,7	54,8	37,7	46,9	49,1	37,2
Осень:	-7,3	-6,3	-6,9	-6,8	-6,5	49,1	56,1	52,4	49,8	57,3
сентябрь	-0,6	0,5	-0,1	-0,2	0,6	28,5	30,2	29,3	29,3	29,4
октябрь	-6,7	-5,9	-6,3	-6,2	-6,2	12,1	16,6	14,2	12,5	18,1
ноябрь	-14,7	-13,6	-14,2	-14,0	-14,0	8,5	9,3	8,9	8,0	9,8

0,7 °С. При этом повышение летних норм было самым низким и составило 0,5 °С, а осенних норм – самым высоким (1,0 °С). Напомним, что общий тренд повышения средних годовых температур в интервале 1930–2015 гг. составил 1,6 °С, поэтому повышение отмеченной нормы можно считать существенным. Современная годовая норма (1981–2010 гг.) температуры составляет -7,2 °С.

Норма годовых сумм осадков от 1930–1975 к 1976–2015 гг. уменьшилась на 55 мм, главным образом за счёт понижения летней величины (на 53 мм). При этом на 10 мм уменьшилась и весенняя норма. Вместе с тем зимняя и осенняя нормы возросли соответственно на 2 и 7 мм. Такое изменение норм хорошо согласуется с результатами трендового анализа за 1930–2015 гг., согласно которому $\Delta R_{86} = -68$ мм. Современная годовая норма осадков (1981–2010 гг.) – 277 мм.

Сопоставление наблюдаемых климатических изменений со скоростью сокращения параметров оледенения Ак-Шийрака. Наиболее полное состояние оледенения горного массива Ак-Шийрак на период до 1990-х годов представлено в фундаментальной работе [1], где на основе сравнения аэрофотосъёмки 1943 и 1976–1977 гг. приводятся данные об изменении площади ΔS , высоты поверхности ΔH и объёма ΔV каждого из лед-

ников и массива Ак-Шийрак в целом. В работе [2] дана оценка изменения оледенения массива с 1943 по 2003 г. по тем же показателям с учётом данных изображений ASTER за 2000–2003 гг. Изменение площади оледенения массива Ак-Шийрак на 2001 г. по данным изображений ASTER исследовалось в работе [9], а за период с 2003 по 2013 г. – в работе [3]. В исследовании [10] приведены ежегодные данные об изменениях баланса массы ледника № 354 этого массива, полученные для 2003–2014 гг. и свидетельствующие об устойчивом отрицательном балансе массы в эти годы.

Согласно [1, 2], деградация оледенения массива Ак-Шийрак в период 1943–1976 гг. по разным параметрам составила: -3,5% для изменения площади ΔS ; -8,3 м для высоты поверхности ΔH ; -3,6 км³ для объёма ΔV , тогда как для периода 1943–2003 (2000) гг. получено соответственно -12,5%, -23,4 м и -9,7 км³. Видно, что в более поздний период оледенение сокращалось гораздо интенсивнее. Так, скорости изменения параметров за 1943–1976 и 1977–2003 гг. составили соответственно: -1,0 и -3,2%/10 лет для ΔS ; -2,4 и -5,6 м/10 лет для ΔH ; -1,0 и -2,3 км³/10 лет для ΔV . Во втором периоде параметры увеличились примерно в 1,5–2 раза. Однако самая высокая скорость

Таблица 5. Рассчитанные по трендам оценки изменений температуры и осадков для разных периодов, а также их нормы по этим периодам

Период, годы	Температура воздуха					Осадки				
	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень
<i>Изменения температуры и осадков по трендам (ΔT, °C и ΔR, мм)</i>										
1943–2003	1,15	1,07	1,02	1,07	1,43	–48,1	5,2	–8,0	–60,3	15,1
1943–1976	0,37	–0,38	0,75	0,32	0,84	–26,8	2,9	–4,4	–33,6	8,4
1977–2003	1,01	1,56	1,30	0,66	0,53	–21,1	2,3	–3,5	–26,7	6,7
2003–2013	0,41	0,64	0,53	0,27	0,22	–8,7	0,9	–1,4	–10,9	2,7
<i>Климатические нормы температуры воздуха и осадков (T, °C и R, мм)</i>										
1943–2003	–7,6	–20,7	–7,2	3,7	–6,8	302	19,2	77,8	154,2	50,9
1943–1976	–7,8	–20,3	–7,1	3,5	–7,2	332	20,2	84,1	176,9	51,1
1977–2003	–7,4	–19,9	–7,2	4,0	–6,5	264	17,9	70,1	125,5	50,8
2003–2013	–6,5	–18,5	–5,8	4,5	–6,1	309	27,5	79,4	132,2	70,0

деградации, по-видимому, отмечалась в 2003–2013 гг.: в эти годы ΔS составило $-5,4\%/10$ лет.

По результатам выполненного климатического анализа и параметрам изменений оледенения в разные периоды сопоставим значения изменений температуры и осадков ΔT и ΔR , рассчитанные по трендам, и нормы температуры воздуха и осадков. При этом для периодов 1943–1976, 1977–2003 и 1943–2003 гг. изменения температуры следует оценивать соответственно по трендам b_1 , b_2 , и b_3 , а изменение осадков ввиду большой изменчивости их режима – по общему тренду b_3 , полученному для периода 1930–2015 гг. Все эти данные приведены в табл. 5, при их использовании необходимо учитывать, что значения ΔT и ΔR зависят одновременно и от коэффициентов b , и от продолжительности периода.

Анализ данных табл. 5 показывает, что в 1943–1976 гг. (период стабильного глобального климата) в районе массива Ак-Шийрак отмечалось слабое повышение годовых температур (на $0,4$ °C), сопровождавшееся слабым похолоданием зимой ($-0,4$ °C) и относительно слабым потеплением в другие сезоны (от $0,3$ до $0,8$ °C). Годовые осадки уменьшились на 27 мм за счёт значительного снижения количества летних осадков (на 34 мм).

Период 1977–2003 гг. (интенсивное потепление глобального климата) для массива Ак-Шийрака характеризовался существенным потеплением, которое для средних годовых температур составило $1,0$ °C, при этом больше всего повысились зимние и весенние температуры – соответственно на $1,6$ и $1,3$ °C, а летние и

осенние температуры повысились на $0,7$ и $0,5$ °C соответственно. Годовые осадки снизились на -21 мм, опять же за счёт уменьшения летних осадков на -27 мм.

В последний 11-летний период 2003–2013 гг. продолжалось интенсивное потепление: годовая температура повысилась на $0,4$ °C, при этом, как и в прошлый период, больше всего зимой и весной ($0,6$ и $0,5$ °C) и гораздо меньше летом и осенью ($0,3$ и $0,2$ °C). Годовые осадки уменьшились на 9 мм за счёт значительного снижения летних осадков (на 11 мм). В целом за 1943–2003 гг. потепление составило около $1,2$ °C. Оно было одинаковым для зимы, весны и лета ($1,0$ – $1,1$ °C) и только осенью несколько больше ($1,4$ °C). Одновременно годовые осадки уменьшились на 48 мм, что произошло за счёт сильного уменьшения летних осадков (на 60 мм).

В нижней части табл. 5 приведены нормы температур для года и по сезонам за рассмотренные периоды. Это – средние значения, интегрально и показательно характеризующие климатические условия каждого из периодов, но изменяются они в меньшей степени от одного периода к другому по сравнению с приведёнными ранее оценками по трендам. В нормах потепление сильнее всего выражается в последний период 2003–2013 гг., возможно, в определённой мере это объясняется и малой длиной периода. Полученные результаты указывают на тесную связь параметров оледенения массива Ак-Шийрак и характера изменений климатических условий; всё это хорошо согласуется с данными, опубликованными работами [1–3, 8–10, 12, 18].

Выводы

Анализ средних годовых и месячных рядов температуры и осадков на ГМС Тянь-Шань за весь период наблюдений в 1930–2015 гг. (после их коррекции на однородность из-за переноса и смены оборудования в 1999 г.) позволил получить климатические результаты, значительно расширяющие и уточняющие имевшиеся к настоящему времени оценки потепления климата в районе массива Ак-Шийрак. Потепление здесь имеет существенные местные особенности, связанные с большой его высотой и внутренним по отношению к горной стране расположением. Общая скорость потепления для годовых температур, полученная по линейному тренду за 1930–2015 гг., составила 0,188 °C/10 лет, при этом потепление было слабым в 1930–1975 гг. (на 0,5 °C) и более высоким – в 1976–2015 гг. (на 1,5 °C). В первый 46-летний период тренды средних месячных температур были разнонаправлены по знаку, тогда как во второй 40-летний период они были только положительными. Потепление в 1930–

2015 гг. сопровождалось статистически значимым снижением годовых сумм осадков со скоростью –7,88 мм/10 лет, в целом на 68 мм, что составило 22% нормы 1961–1990 гг. Сокращение осадков происходило главным образом за счёт их летних сумм, которые уменьшились на 85 мм, или на 52% от нормы 1961–1990 гг. Опубликованные к настоящему времени данные о сокращении площади оледенения массива Ак-Шийрак хорошо согласуются с полученными климатическими оценками.

Благодарность. Авторы приносят благодарность профессору кафедры метеорологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского Славянского университета, доктору географических наук О.А. Подрезову за ценные консультации, оказанные при подготовке и написании статьи.

Acknowledgement. Authors express gratitude to Professor of the Department of Meteorology and Environmental Protection of the KRSU O.A. Podrezov for valuable consultation provided during preparation and writing of the paper.

Литература

1. Оледенение Тянь-Шаня / Ред. М.Б. Дюргеров, Лю Шаохай, Се Зичу. М.: изд. Ин-та географии РАН, 1995. 237 с.
2. Aizen V.B., Kuzmichenok V.A., Surazakov A.B., Aizen E.M. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. 2006. V. 43. P. 202–213.
3. Петраков Д.А., Шпунтова А.М., Алейников А.А., Усубалиев Р.А. Изменения площади оледенения массива Ак-Шийрак (Внутренний Тянь-Шань) в 2003–2013 гг. // *Материалы междунар. конф. «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии»*. Бишкек: изд. ЦАИИЗ, 2014. С. 352–358.
4. МГЭИК 2014. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп 1, 2 и 3 в «Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата». Женева, 2014. 163 с.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: изд. ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
6. Ежегодный бюллетень текущего состояния и изменения климата в Кыргызстане за 2014 год. Бишкек: изд. Кыргызгидромета, 2015. 35 с.

References

1. *Oledeniye Tian-Shanya*. Glaciation of Tien Shan. Ed. by M.B. Dyurgerov, Lu Shaohai, Se Zichu. Moscow, 1995: 237 p. [In Russian].
2. Aizen V.B., Kuzmichenok V.A., Surazakov A.B., Aizen E.M. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data. *Annals of Glaciology*. 2006, 43: 202–213.
3. Petrakov D.A., Shpuntova A.M., Aleynikov A.A., Usubaliev R.A. Changes in the area of glaciation of Ak-Shiyarak massif (Internal Tien Shan) in 2003–2013. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Distantzionnye i nazemnye issledovaniya Zemli v Tsentralnoy Azii»*. Proc. of the intern. conf. «Remote Earth exploration and land in Central Asia». Bishkek, 2014: 352–358. [In Russian].
4. MGEIK 2014. *Izmeneniye klimata, 2014 g.: Obobshchayushchiy doklad. Vklad Rabochikh grupp 1, 2 i 3 v «Pyatyy ocenochnyy doklad Mezhpriavitel'stvennoy gruppy ehkspertov po izmeneniyu klimata»*. Geneva, 2014: 163 p.
5. Gruzha G.V., Ran'kova E.Y. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha*. Observed and waited climate changes in Russia: air temperature. Obninsk, 2012: 194 p. [In Russian].
6. *Ezhegodnyy byulleten tekushchego sostoyaniya i izmeneniya klimata v Kyrgyzstane za 2014 god*. Annual Bulletin

7. Pepin N., Bradley R.S., Diaz H.F., Baraer M., Caceres E.B., Forsythe N., Fowler H., Greenwood G., Hashmi M.Z., Liu X.D., Miller J.R., Ning L., Ohmura A., Palazzi E., Rangwala I., Schöner W., Severskiy I., Shahgedanova M., Wang M.B., Williamson S.N., Yang D.Q. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world // *Nature Climate Change*. 2015. V. 5. P. 424–430. doi:10.1038/NCIMATE2563.
8. Кутузов С.С. Изменение ледников Внутреннего Тянь-Шаня за последние 150 лет: Дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: Ин-т географии РАН, 2009. 170 с.
9. Khromova T.E., Dyurgerov M.B., Barry R.G. Late-twentieth century changes in glacier extent in the Ak-Shirak Range, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery // *Geophys. Research Letters*. 2003. V. 30. № 16. P. 21–25. doi:10.1029/2003GL017233.
10. Kronenberg M., Barandun M., Hoelzle M., Huss M., Farinotti D., Azisov E., Usabaliev R., Gafurov A., Petrakov D., Kaab A. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014 // *Annals of Glaciology*. 2016. V. 57. № 71. P. 92–102. doi:10.3189/2016AoG71A032.
11. Атлас Киргизской ССР: Т. 1. Природные условия и ресурсы. М.: изд. ГУГК СССР, 1987. 157 с.
12. Кутузов С.С. Изменение площади и объёма ледников хребта Терской Ала-Тоо во второй половине XX в. // *Лёд и Снег*. 2012. № 1 (117). С. 5–14.
13. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Современное изменение осадков на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана // *Географич. вестник*. 2015. № 4 (35). С. 26–33.
14. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Современное потепление климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана // *Географич. вестник*. 2015. № 3 (34). С. 55–66.
15. Подрезов О.А., Подрезов А.О. Структура современного потепления климата Иссык-Кульской котловины // *Географич. вестник*. 2013. № 3 (26). С. 78–87.
16. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Снекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 567 с.
17. Павлова И.А., Кретова З.А. Современные изменения температуры и осадков в Суусамырской долине // *Материалы междунар. конф. «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии»*. Бишкек: изд. ЦАИИЗ, 2014. С. 345–352.
18. Усубалиев Р.А., Дудашвили А.С., Элеманов О.И. Оледенение северных склонов Туркестанского и Алайского хребтов и его современная динамика // *Лёд и Снег*. 2012. № 1 (117). С. 24–28.
- tin of current state and climate change in Kyrgyzstan in 2014. Bishkek, 2015: 35 p. [In Russian].
7. Pepin N., Bradley R.S., Diaz H.F., Baraer M., Caceres E.B., Forsythe N., Fowler H., Greenwood G., Hashmi M.Z., Liu X.D., Miller J.R., Ning L., Ohmura A., Palazzi E., Rangwala I., Schöner W., Severskiy I., Shahgedanova M., Wang M.B., Williamson S.N., Yang D.Q. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*. 2015, 5: 424–430. doi:10.1038/NCIMATE2563.
8. Kutuzov S.S. *Izmenenie lednikov Vnutrennego Tyan'-Shanya za poslednie 150 let*. Changes of glaciers in the Internal Tien Shan for the last 150 years. PhD Thesis: Institute of Geography, RAS, 2009: 170 p. [In Russian].
9. Khromova T.E., Dyurgerov M.B., Barry R.G. Late-twentieth century changes in glacier extent in the Ak-shirak Range, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery. *Geophysical Research Letters*. 2003. V. 30 (16): 21–25. doi:10.1029/2003GL017233.
10. Kronenberg M., Barandun M., Hoelzle M., Huss M., Farinotti D., Azisov E., Usabaliev R., Gafurov A., Petrakov D., Kaab A. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. *Annals of Glaciology*. 2016, V. 57 (71): 92–102. doi:10.3189/2016AoG71A032.
11. *Atlas Kirgizskoy SSR*. Atlas of the Kyrgyz SSR. V. 1. Natural conditions and resources. Moscow, 1987: 157 p. [In Russian].
12. Kutuzov S.S. Changing of area and volume of the Terskey Ala-Too Range glaciers in the second half of XX century. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2012, 1 (117): 5–14. [In Russian].
13. Podrezov O.A., Podrezov A.O. Modern changes of precipitation in the Northern and North-West of Kyrgyzstan. *Geograficheskiy vestnik*. Geographical Bulletin. 2015, 4 (35): 26–33. [In Russian].
14. Podrezov O.A., Podrezov A.O. The current warming of the North and North-West of Kyrgyzstan. *Geograficheskiy vestnik*. Geographical Bulletin. 2015, 3 (34): 55–66. [In Russian].
15. Podrezov O.A., Podrezov A.O. The structure of the modern warming of Issyk-Kul. *Geograficheskiy vestnik*. Geographical Bulletin. 2013, 3 (26): 78–87. [In Russian].
16. Drozdov O.A., Vasil'ev V.A., Kobysheva N.V., Raevskiy A.N., Snekalova L.K., Shkol'nyi V.P. *Klimatologiya*. Climatology. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989: 567 p. [In Russian].
17. Pavlova I.A., Kretova Z.A. Modern changes in temperature and precipitation in the Susamyr valley. *Materialy mezhdunar. konf. «Distancionnye i nazemnye issledovaniya Zemli v Central'noy Azii»*. Proc. of the internat. conf. «Remote Earth exploration and land in Central Asia». Bishkek, 2014: 345–352. [In Russian].
18. Usabaliev R.A., Dudashvili A.S., Elemanov O.I. Glaciation of the northern slopes of the Turkestan and Alai ranges and its preseny-day dynamics. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2012, 1 (117): 24–28. [In Russian].