

УДК 551.506 (575.2)

## СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА

О.А. Подрезов, А.О. Подрезов

На основании многолетних наблюдений 10 метеостанций дается сравнительная характеристика современного изменения осадков на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана для двух различных периодов: 1930–1975 гг. – стабильный мировой климат и 1976–2010 гг. – потепление мирового климата, а также за 1930–2010 гг. в целом. Анализ выполнен для годовых и сезонных сумм осадков с учетом высоты и орографии местности.

*Ключевые слова:* Северный и Северо-Западный Кыргызстан; современное изменение годовых и сезонных сумм осадков.

---

## MODERN PRECIPITATION CHANGES IN THE NORTHERN AND NORTH-WESTERN KYRGYZSTAN

О.А. Podrezov, А.О. Podrezov

According to the long-term data of 10 meteorological stations in the Northern and North-Western Kyrgyzstan it is given the comparative characteristic of the modern precipitation changes, corresponding to three time periods: 1930–1975 (stable world climate), 1976–2010 (global warming) and the entire analyzed period (1930–2010). The analysis is made for annual and seasonal precipitation considering altitude and orography of the territory.

*Keywords:* Northern and North-Western Kyrgyzstan; modern change of annual and seasonal precipitation.

**Введение.** Осадки, наряду с температурой воздуха, являются двумя основными характеристиками климата любой территории. Настоящая статья является второй в серии из 7 статей, предложенных в [1], в которой рассматривается вопрос изменения годовых и сезонных сумм осадков для территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана (ССЗК), включающего Чуйскую, Таласскую и Чон-Кеминскую долины с обрамляющими их горными хребтами (рисунок 1). Методика исследований поля осадков аналогична использованной для температуры воздуха и подробно описана в [1, 2]. Скорости временного изменения их годовых и сезонных сумм характеризуются ниже коэффициентами линейных трендов  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  соответственно в три различных периода: 1930–1975 гг., когда мировой климат был стабилен, 1976–2010 гг., когда шло его существенное потепление, и 1930–2010 гг. как периода инструментальных наблюдений метеостанций в целом. Другой характеристикой служат трендовые оценки изменения  $\Delta\gamma$  самих значений осадков –  $\Delta\gamma_{46}$ ,  $\Delta\gamma_{35}$  и  $\Delta\gamma_{81}$  – рассчитанные по значениям  $b$  соответственно за периоды 46, 35 и 81 год.

На рисунке 1 приведена физико-географическая карта ССЗК с описанием характеристик метеостанций, дающая наглядное представление об орографической сложности региона. Из 10 использованных станций 6 (для температуры воздуха в [1] их было только 5) условно отнесены нами к длиннорядным – Чуйская 1931–2009 гг., Токмак 1929–2009 гг., Бишкек 1927–2009 гг., Байтык 1912–2009 гг., Кировское 1943–2009 гг. и Талас 1929–2009 гг., – по которым полученные выводы наиболее полны и надежны. Первые три станции описывают осадки в днище Чуйской долины, Кировское и Талас – в днище Таласской, а станция Байтык характеризует низкогорную зону Киргизского хребта. Данные остальных 4 станций считались короткорядными (в таблице они отмечены звездочкой) и использовались в качестве вспомогательных. Они дополнительно характеризуют запад Чуйской долины (Калининское 1957–2009 гг.), подножье (Ыссык-Ата 1,03 км, 1957–2009 гг.), среднегорную (Альплагерь 2,13 км, 1978–2009 гг.) и высокогорную (Тюя-Ашу юж. 3,23 км, 1954–2009 гг.) зоны северного склона Киргизского хребта.

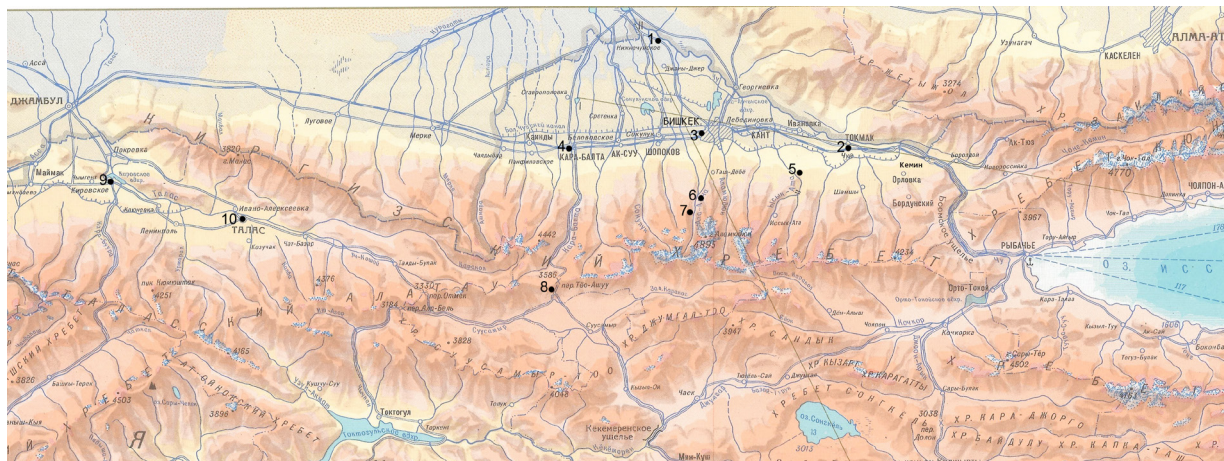


Рисунок 1 – Физико-географическая карта ССЗК с расположением использованных метеостанций.

Расположение, высота и период наблюдений станций:

1. Жаны-Жер/Чуйская (0,60 км) – север Чуйской долины, ее ось в нижней части (1973–2009 гг.)
2. Токмак (0,82 км) – восток Чуйской долины, ее ось в верхней части (1932–2009 гг.)
3. Бишкек (0,76 км) – центр Чуйской долины, подгорная равнина (1928–2009 гг.)
4. Карабалта/Калининское (0,77 км) – запад Чуйской долины, подгорная равнина (1980–2009 гг.)
5. Ыссык-Ата/Юрьевка (1,03 км) – подножье Киргизского хребта (1957–2009 гг.)
6. Байтык (1,58 км) – низкогорная зона северного склона Киргизского хребта (1915–2009 гг.)
7. Альплагерь (2,13 км) – долина р. Ала-Арча, среднегорная зона Киргизского хр. (1979–2009 гг.)
8. Тюя-Ашу юж. (3,23 км) – пригребневая зона южного склона Киргизского хребта
9. Кировское (0,86 км) – нижняя зона (ось) днища Таласской долины (1944–2009 гг.)
10. Талас (1,22 км) – средняя зона (ось) днища Таласской долины (1930–2009 гг.)

Уравнения всех трендов осадков записывались обобщенно в виде

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

где  $y = g$ ; мм – осадки;  $x$  – год (например, – 2005);  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  мм/год – угловые коэффициенты трендов соответственно за периоды 1930–1975, 1976–2010 и 1930–2010 гг.;  $b_0$  мм – свободный член уравнений (различный для каждого из периодов);  $\pm s$ , мм – средние квадратические ошибки уравнений тренда.

На рисунке 2 в качестве примера показан временной ход 11-летних средних (ломаные линии с точками) годовых сумм осадков для станции Бишкек с графиками и уравнениями линейных трендов. На верхнем рисунке даны две кривые и два тренда – раздельно для периодов 1930–1975 и 1976–2010 гг., а на нижнем – общий тренд за 1930–2010 гг.

Прежде всего, обратим внимание на хорошо выраженные фазы роста и понижения осадков, наблюдающиеся на этих кривых с четкими максимумами и минимумами, что имело место и во всех других случаях. На верхнем рисунке видно, что тренды для 1930–1975 и 1976–2010 гг. терпят *границный разрыв* на стыке 1975/76 гг. из-за различий свободных членов уравнений  $b_0$  (соответственно

равны: –2550,5 и –4807,2 мм), что также является общим правилом. Одновременно линии трендов имеют различный *наклон* из-за разницы абсолютной величины угловых коэффициентов трендов:  $b_1 = 1,5188$  мм/год и  $b_2 = 2,6451$  мм/год. В этом примере  $b_1$  и  $b_2$  имеют одинаковые знаки, но во многих случаях они были разные, когда по отношению к оси времени у одной линии тренда наклон вверх, а у другой – вниз. Поэтому надо помнить, что для значений  $b$  и  $\Delta g$  в общем случае справедливо:

$$b_3 \neq b_1, b_3 \neq b_2, b_3 \neq 0,5(b_1 + b_2) \text{ и } \Delta g_{81} \neq \Delta g_{46} + \Delta g_{35}, \quad (2)$$

что вытекает из методики их расчета.

Это означает, что трендовые оценки  $\Delta g$  и оценки самих значений осадков  $g$  следует находить только по соответствующим им коэффициентам трендов, т. е., например, определять  $\Delta g_{35}$ ,  $\Delta g_{46}$  и  $\Delta g_{81}$ , соответственно по  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$ .

#### Результаты, их обсуждение и выводы.

В таблице 1 приведены итоговые данные расчета статистических характеристик для годовых и сезонных сумм осадков по 10 метеостанциям ССЗК в периоды 1930–1975, 1976–2010 и 1930–2010 гг., на основании которых можно сформулировать следующие выводы.

**1. В ходе 11-летних кривых годовых и сезонных сумм осадков для 10 станций ССЗК наблюда-**

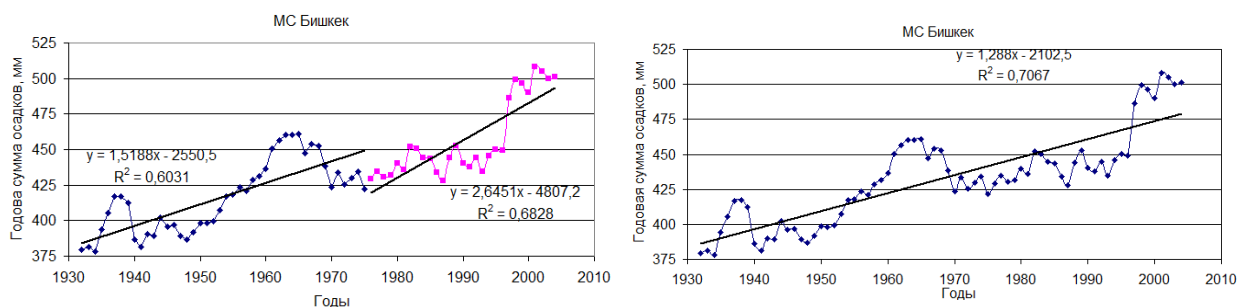


Рисунок 2 – Ход 11-летних годовых сумм осадков (ломаные линии) на станции Бишкек с графиками и уравнениями линейных трендов для периодов 1937–1975 и 1976–2004 гг. (верхний рисунок) и для всего периода в целом 1937–2004 гг. (нижний рисунок)

лась их случайная структура с хорошо выраженным чередованием фаз повышения и понижения осадков. При этом от станции к станции наиболее сильно менялись амплитуды фаз, обуславливая индивидуальность временных изменений осадков по станциям и сезонам года. Фазы повышения и понижения осадков с псевдоциклическостью от 2–5 до 10–15 лет были хорошо выражены во все сезоны и за год в целом. При этом наиболее резкие колебания амплитуд фаз наблюдались для весенних сумм осадков, а наиболее слабые – для зимних осадков. Все это существенно влияло на знак и величину угловых коэффициентов трендов, как по отдельным станциям, так и двум исследуемым периодам 1930–1975 и 1976–2010 гг.

Поэтому, как и для температуры воздуха, наиболее достоверными являются тренды изменения осадков  $b_3$ , полученные по 6 длиннорядным станциям за весь период их работы, которые освещают днища Чуйской и Таласской долин и зону низкогогорья до высот 1,5–2 км.

**2. В поле годовых сумм осадков** в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. по всем 6 длиннорядным станциям ССЗК наблюдалось очень сильное увеличение осадков со скоростями,  $b_1 = 15,19 \dots, 24,45$  мм/10 лет, что соответствовало диапазону  $\Delta\Gamma_{46} = 76 \dots, 113$  мм. В среднем это дало по территории  $b_1(\text{сред.}) = 20,65$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 95$  мм (округленно 100 мм). При этом по склоновой станции Байтык интенсивность увеличения осадков была близка к средней –  $b_1 = 20,40$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{46} = 94$  мм. В период потепления мирового климата 1976–2010 гг. на 5 длиннорядных долинных станциях ССЗК так же наблюдался очень сильный рост осадков с еще более высокими скоростями  $b_2 = 18,11 \dots, 28,67$  мм/10 лет, что соответствовало диапазону  $\Delta\Gamma_{35} = 63 \dots, 100$  мм. Однако низкогорная склоновая станция Байтык отмечала существенное уменьшение осадков с  $b_2 = -9,99$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{35} = -35$  мм. Показательно, что на средне-

горной станции Альплагерь тренд так же был отрицательным ( $b_2 = -18,17$  мм/10 лет, за 1983–2004 гг.), тогда как на высокогорной Тюя-Ашу юж. он был положительным ( $b_2 = 13,73$  мм/10 лет за период 1959–2004 гг.). В результате, по данным 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК это дало высокую скорость повышения осадков с  $b_2(\text{сред.}) = 18,90$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 66$  мм.

В целом для периода 1930–2010 гг. на всех 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось *существенное повышение сумм осадков*, однако со скоростями примерно в два раза более низкими, чем в каждый из двух периодов в отдельности –  $b_3 = 6,91 \dots, 15,82$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta\Gamma_{81} = 56 \dots, 128$  мм. Это дало в среднем по 6 станциям значительный рост годовых сумм осадков за 81 год с  $b_3(\text{сред.}) = 11,45$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{81}(\text{сред.}) = 93$  мм (округленно 100 мм). Если приблизительно принять годовую сумму осадков на равнинных и предгорных станциях 400 мм, среднегорных – 600 мм и высокогорных – 800 мм, то получим порядок их относительного увеличения в период 1930–2010 гг. соответственно на 25, 17 и 13 %. Эти выводы в корне противоречат данным МГЭИК, полученным по глобальным климатическим моделям, согласно которым для Центральной Азии к середине-концу текущего столетия получены сценарии изменений климата с существенным уменьшением осадков [3, 4]. Можно с уверенностью сказать, что, по крайней мере, пока этого не наблюдается.

По всем 10 станциям значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  колебались в диапазоне от  $-18,17$  до  $28,67$  мм/10 лет. Во всех 22 случаях значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  являлись статистически значимыми. Разность  $\Delta b = b_2 - b_1$  была положительной в 4 случаях из 6 и оказалась значимой в 3 случаях из 6.

**3. В поле зимних сумм осадков** в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. на всех 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось их увеличение с очень высокими, относительно норм

Таблица 1 – Итоговые результаты статистических характеристик для годовых и сезонных сумм осадков по станциям ССЗК (средние значения получены по данным длиннорядных станций, жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды)

Метеостанция (*короткорядная)	Статистические характеристики и оценки						
	$b_{1,мм/10}$	$b_{2,мм/10}$	$\Delta b_{мм/1г}$	$b_{3,мм/10}$	$\Delta \Gamma_{46,мм}$	$\Delta \Gamma_{35,мм}$	$\Delta \Gamma_{81,мм}$
Годовые суммы осадков							
Жаны-Жер	<b>24,133</b>	<b>28,670</b>	0,4536	<b>15,815</b>	111	100	128
Токмак	<b>16,434</b>	<b>23,846</b>	0,7412	<b>7,864</b>	76	84	64
Бишкек	<b>15,188</b>	<b>26,451</b>	<b>1,1263</b>	<b>12,880</b>	70	93	104
Кара-Балта*		<b>12,132</b>				43	
Ысык-Ата*		<b>8,558</b>				30	
Байтык	<b>20,404</b>	<b>-9,987</b>	<b>-3,0390</b>	<b>12,676</b>	94	-35	103
Альплагерь*		<b>-18,168</b>				-64	
Тюя-Ашу *		<b>13,728</b>				48	
Кировское	<b>23,228</b>	<b>26,332</b>	0,3104	<b>6,910</b>	107	92	56
Талас	<b>24,4486</b>	<b>18,107</b>	<b>-0,6378</b>	<b>12,554</b>	113	63	102
<b>Среднее</b>	20,645	18,900		11,450	95	66	93
Зимние суммы осадков							
Жаны-Жер	<b>5,865</b>	<b>6,274</b>	0,0410	<b>5,088</b>	27	22	41
Токмак	<b>6,353</b>	<b>3,237</b>	<b>-0,3116</b>	<b>3,621</b>	29	11	29
Бишкек	<b>6,406</b>	<b>9,028</b>	<b>0,2622</b>	<b>5,327</b>	29	32	43
Кара-Балта*		<b>6,649</b>				23	
Ысык-Ата*		<b>4,192</b>				15	
Байтык	<b>3,752</b>	-0,041	<b>-0,3794</b>	<b>3,474</b>	17	0	28
Альплагерь*		<b>7,248</b>				25	
Тюя-Ашу *		<b>10,895</b>				38	
Кировское	<b>15,195</b>	<b>2,736</b>	<b>1,2459</b>	<b>3,395</b>	70	10	28
Талас	<b>7,063</b>	1,866	-0,5198	3,925	32	7	32
<b>Среднее</b>	7,430	3,850		4,185	34	14	34
Весенние суммы осадков							
Жаны-Жер	<b>16,932</b>	-0,551	<b>-1,4884</b>	<b>6,343</b>	78	-2	51
Токмак	<b>12,055</b>	<b>7,588</b>	<b>-0,4468</b>	2,304	55	27	19
Бишкек	<b>9,322</b>	<b>5,478</b>	<b>-0,3845</b>	<b>4,637</b>	43	19	38
Кара-Балта*		-1,194				-4	
Ысык-Ата*		2,173				8	
Байтык	<b>9,473</b>	<b>-14,293</b>	<b>-2,3767</b>	<b>3,330</b>	44	-50	27
Альплагерь*		<b>-15,435</b>				-54	
Тюя-Ашу*юж		-1,506				-5	
Кировское	<b>16,688</b>	<b>7,743</b>	<b>-0,8945</b>	1,598	77	27	13
Талас	<b>10,986</b>	<b>9,460</b>	-0,1526	<b>3,760</b>	51	33	30
<b>Среднее</b>	12,58	2,57		3,66	58	9	30
Летние суммы осадков							
Жаны-Жер	<b>2,104</b>	<b>12,708</b>	<b>1,0604</b>	1,595	10	44	13
Токмак	<b>-3,379</b>	<b>14,391</b>	<b>1,7771</b>	-1,088	-16	50	-9
Бишкек	-2,331	<b>6,658</b>	<b>0,8989</b>	-0,295	-11	23	-2
Кара-Балта*		<b>2,605</b>				9	
Ысык-Ата*		-0,287				-1	



Метеостанция (*короткорядная)	Статистические характеристики и оценки						
	$b_1$ , мм/10	$b_2$ , мм/10	$\Delta b$ , мм/1г	$b_3$ , мм/10	$\Delta \Gamma_{46}$ , мм	$\Delta \Gamma_{35}$ , мм	$\Delta \Gamma_{81}$ , мм
Байтык	<b>6,891</b>	1,778	<b>-0,5113</b>	<b>3,323</b>	32	6	27
Альплагерь*		<b>-11,967</b>				-42	
Тюя-Ашу*юж		3,196				11	
Кировское	<b>-12,357</b>	<b>10,374</b>	<b>2,2730</b>	-0,573	-57	36	-5
Талас	0,982	<b>6,485</b>	<b>0,5503</b>	1,564	5	23	13
<b>Среднее</b>	-1,35	8,73		0,75	-6	31	6
Осенние суммы осадков							
Жаны-Жер	-0,768	<b>10,239</b>	<b>1,006</b>	<b>2,789</b>	-4	36	23
Токмак	1,405	-1,370	-0,2775	<b>3,027</b>	6	-5	25
Бишкек	1,791	<b>5,287</b>	<b>0,3496</b>	<b>3,212</b>	8	19	26
Кара-Балта*		<b>4,072</b>				14	
Ысык-Ата*		2,479				9	
Байтык	0,288	2,570	0,2282	<b>2,579</b>	1	9	21
Альплагерь*		1,985				7	
Тюя-Ашу*юж		1,143				4	
Кировское	<b>3,702</b>	<b>5,480</b>	0,1778	<b>2,491</b>	17	19	20
Талас	<b>5,454</b>	0,296	<b>-0,5158</b>	<b>3,306</b>	25	1	27
<b>Среднее</b>	1,98	3,75		2,92	9	13	24

для зимнего периода, скоростями в диапазоне  $b_1 = 3,75 \dots, 15,20$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta \Gamma_{46} = 17 \dots, 70$  мм. В среднем по территории это дало высокую скорость увеличения зимних осадков с  $b_1$  (сред.) = 7,43 мм/10 лет и  $\Delta \Gamma_{46}$  (сред.) = 34 мм. При этом по склоновой станции Байтык интенсивность увеличения осадков была самой низкой, а самой высокой она была на станции Кировское.

В период потепления мирового климата 1976–2010 гг. на 5 долинных станциях ССЗК также наблюдалось увеличение зимних осадков с умеренными и высокими скоростями (относительно норм зимних осадков) с  $b_2 = 1,87 \dots, 9,03$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta \Gamma_{35} = 7 \dots, 32$  мм. На склоновой станции Байтык, напротив, осадки уменьшались, но с очень малой, практически нулевой, скоростью –  $b_2 = -0,041$  мм/10 лет и  $\Delta \Gamma_{35} = 0$  мм. В результате, по данным всех 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК это дало существенную скорость относительного повышения зимних осадков с  $b_2$  (сред.) = 3,85 мм/10 лет и  $\Delta \Gamma_{46}$  (сред.) = 14 мм.

В целом для периода 1930–2010 гг. на всех 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось повышение зимних сумм осадков с весьма высокими относительными скоростями,  $b_3 = 3,74 \dots, 5,09$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta \Gamma_{81} = 28 \dots, 41$  мм. Это дало в среднем по 6 станциям существенный рост зимних осадков за 81 год с  $b_3$  (сред.) = 4,19 мм/10 лет и  $\Delta \Gamma_{81}$  (сред.) = 34 мм. Если приблизительно принять зимнюю норму осадков в Таласской до-

лине порядка 65 мм, Чуйской долине – 90 мм, а на склонах хребтов – 130 мм, то получим высокий порядок их относительного увеличения в зимний период 1930–2010 гг. соответственно на 50, 40 и 25 %, что является важным положительным показателем повышения снегонакопления в долинных и склоновых районах.

По всем 10 станциям значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  колебались в самом широком из всех рассмотренных случаев диапазоне, от –0,041 до +15,20 мм/10 лет. В 20 случаях из 22 эти коэффициенты являлись статистически значимыми. Разность  $\Delta b = b_2 - b_1$  была положительной в 3 случаях из 6 и оказалась значимой также во всех 5 случаях из 6.

**4. В поле весенних сумм осадков** в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. на всех 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось их увеличение с высокими (относительно норм для весеннего периода) скоростями в диапазоне  $b_1 = 9,32 \dots, 16,93$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta \Gamma_{46} = 43 \dots, 78$  мм. В результате, в среднем по территории это так же дало высокую скорость увеличения зимних осадков с  $b_1$  (сред.) = 12,58 мм/10 лет и  $\Delta \Gamma_{46}$  (сред.) = 58 мм. При этом по склоновой станции Байтык и долинной станции Бишкек интенсивности увеличения осадков были самыми низкими, а самой высокой она была на станции Жаны-Жер и Кировское. Все это очень наглядно подчеркивает возможную сильную пятнистость во временном изменении осадков по территории.

В период потепления мирового климата 1976–2010 гг. скорости изменения осадков по 6 длиннорядным станциям сильно менялись по абсолютной величине и были разных знаков. Так, на 4 долинных станциях Токмак, Бишкек, Кировское и Талас наблюдались существенные положительные скорости с  $b_2 = 5,48\dots, 10,46$  мм/10 лет ( $\Delta r_{35} = 19\dots, 33$  мм), тогда как на Жаны-Жер имело место очень слабое, близкое к нулевому, уменьшение осадков,  $b_2 = -0,55$  мм/10 лет ( $\Delta r_{35} = -2$  мм). Но склоновая станция Байтык характеризуется очень сильным уменьшением осадков с  $b_2 = -14,29$  мм/10 лет ( $\Delta r_{35} = -44$  мм). На 4 короткорядных станциях значения  $b_2$  также были разных знаков, но малыми по абсолютной величине,  $b_2 = -1,51\dots, 2,17$  мм/10 лет и  $\Delta r_{35} = -5\dots, +8$  мм. Все это точно так же подчеркивает наблюдаемую весной сильную пятнистость во временном изменении осадков по территории ССЗК.

В результате, для периода 1976–2010 гг. по данным всех 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК получена очень малая скорость повышения весенних осадков с  $b_2(\text{сред.}) = 2,87$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46}(\text{сред.}) = 9$  мм.

Однако в целом для периода 1930–2010 гг. на всех 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось повышение весенних сумм осадков со скоростями от слабых до высоких,  $b_3 = 1,60\dots, 6,34$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{81} = 13\dots, 51$  мм. Это дало в среднем по 6 станциям достаточно сильный рост весенних осадков за 81 год с  $b_3(\text{сред.}) = 3,66$  мм/10 лет и  $\Delta r_{81}(\text{сред.}) = 30$  мм. Если приблизительно принять весеннюю норму осадков в Таласской долине порядка 135 мм, Чуйской долине – 180 мм, а на склонах хребтов – 240 мм, то по средним данным получим существенное их относительное увеличение в весенний период 1930–2010 гг. – соответственно на 20–22, 15–17 и 10–12 %. При этом надо помнить, что абсолютный вклад весенних осадков в их годовую сумму является самым высоким, а по отдельным станциям их изменения были весьма различными, от 13 до 51 мм.

По всем 10 станциям ССЗК значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  колебались в самом широком из всех рассмотренных случаев диапазоне, от  $-15,44$  до  $+16,93$  мм/10 лет. В 16 случаях из 22 эти коэффициенты являлись статистически значимыми. Разность  $\Delta b = b_2 - b_1$  была отрицательной во всех 6 случаях и оказалась значимой в 5 случаях из 6.

**5. В поле летних сумм осадков** в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. на 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалась разнонаправленная тенденция их изменения с изменением скоростей в широком диапазоне  $b_1 = -12,36\dots, +6,89$  мм/10 лет, что соответство-

вало  $\Delta r_{46} = -58\dots, +32$  мм. При этом нижней границе диапазона соответствует долинная станция Кировское, а верхней – склоновая Байтык. В результате, в среднем по территории это дало очень малую скорость уменьшения летних осадков с  $b_1(\text{сред.}) = -1,35$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46}(\text{сред.}) = -6$  мм. Здесь также наглядно видна возможная сильная пятнистость во временном изменении летних осадков по территории.

В период потепления мирового климата 1976–2010 гг. скорости изменения летних осадков на всех 6 длиннорядных станциях были положительными, но очень сильно менялись по абсолютной величине,  $b_2 = 1,78\dots, 14,39$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{35} = 6\dots, 50$  мм. При этом минимальное увеличение осадков соответствовало склоновой станции Байтык, а максимальное – долинной станции Токмак. В результате, для периода 1976–2010 гг. по данным всех 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК получена очень существенная скорость повышения летних осадков с  $b_2(\text{сред.}) = 8,73$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46}(\text{сред.}) = 31$  мм.

На 4 короткорядных станциях на интервалах их наблюдений получены положительные и отрицательные скорости в диапазоне  $b_2 = -11,97\dots, +3,20$  мм/10 лет и  $\Delta r_{35} = -42\dots, +11$  мм.

Однако в целом для периода 1930–2010 гг. по 6 длиннорядным станциям ССЗК наблюдалось изменение летних сумм осадков от их незначительного понижения до заметного повышения с  $b_3 = -1,09\dots, +3,23$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{81} = -9, +27$  мм. При этом склоновая станция Байтык отмечала самый высокий их рост. Это дало в среднем по 6 станциям практически нулевой рост летних осадков за 81 год с  $b_3(\text{сред.}) = 0,75$  мм/10 лет и  $\Delta r_{81}(\text{сред.}) = 6$  мм.

По всем 10 станциям ССЗК значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  колебались в очень широком диапазоне, от  $-12,36$  до  $+14,39$  мм/10 лет. В 12 случаях из 22 эти коэффициенты являлись статистически значимыми. Разность  $\Delta b = b_2 - b_1$  была положительной в 5 случаях из 6 и оказалась значимой во всех 6 случаях.

**6. В поле осенних сумм осадков** в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. на 5 длиннорядных станциях ССЗК (кроме Жаны-Жер) наблюдался их рост с изменением скоростей от очень слабых до умеренных в диапазоне  $b_1 = 0,288\dots, 5,48$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{46} = 1\dots, 25$  мм. При этом нижней границе диапазона соответствовала склоновая станция Байтык, а верхней – долинная Кировское. На станции Жаны-Жер, напротив, скорость была отрицательной, хотя и практически нулевой  $b_1 = -0,77$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46} = -4$  мм. В результате, в среднем по территории это дало малую скорость увеличения осенних

осадков с  $b_1(\text{сред.}) = 1,38$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46}(\text{сред.}) = 9$  мм. Обе эти оценки следует принять одинаковыми как для долинных, так и склоновых районов.

В период потепления мирового климата 1976–2010 гг. скорости изменения осенних осадков на длиннорядных станциях ССЗК в целом несколько увеличились по абсолютной величине и так же на 5 станциях (кроме Токмака) были положительными,  $b_2 = 0,30 \dots, 10,24$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{35} = 1 \dots, 36$  мм. При этом на склоновой станции Байтык она составляла 2,57 мм/10 лет и  $\Delta r_{35} = 9$  мм. Напротив, на станции Токмак скорость была отрицательной, но очень малой по величине,  $b_2 = -0,28$  мм/10 лет и  $\Delta r_{35} = -5$  мм. В результате, для периода 1976–2010 гг. по данным всех 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК также получена малая скорость роста осенних осадков с  $b_2(\text{сред.}) = 3,75$  мм/10 лет и  $\Delta r_{46}(\text{сред.}) = 13$  мм. Эти две оценки следует принять одинаковыми как для долинных, так и склоновых районов.

Однако в целом для периода 1930–2010 гг. по всем 6 длиннорядным станциям ССЗК наблюдалось умеренное повышение осенних осадков с близкими значениями скоростей,  $b_3 = 2,58 \dots, 3, 31$  мм/10 лет, что соответствовало  $\Delta r_{81} = 20 \dots, 27$  мм. При этом склоновая станция Байтык отмечала  $b_3 = 2,58$  мм/10 лет и  $\Delta r_{81} = 21$  мм. Это дало в среднем по 6 станциям так же умеренную скорость роста осенних осадков за 81 год с  $b_3(\text{сред.}) = 2,92$  мм/10 лет и  $\Delta r_{81}(\text{сред.}) = 24$  мм.

По всем 10 станциям ССЗК значения  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  колебались в достаточно широком диапазоне, от  $-1,37$  до  $+10,24$  мм/10 лет. В 12 случаях из 22 эти коэффициенты являлись статистически значимыми. Разность  $\Delta b = b_2 - b_1$  была положительной в 3 случаях из 6 и оказалась значимой также только в 3 случаях.

**7. Повторяемости статистических качеств коэффициентов трендов  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и разности  $\Delta b = b_2 - b_1$**  в поле годовых и сезонных сумм осадков по 6 длиннорядным станциям приведены в таблице 2. Как видно, повторяемость  $b_1$  со знаком + и – была равна соответственно 87 и 13 %, а повторяемость  $b_2 - 83$  и 17 %. Значения  $b_3$  со знаком + абсолютно преобладали (90 %), имея знаки минус всего в 10 % случаев. Разности  $\Delta b = b_2 - b_1$  в 53 % случаев были положительны, а в 47 % – отрицательны, значимы они были в 73 % случаев, а в 27 % нет. Статистически значимые  $b_1$  наблюдались в 80 %, а незначимые в 20 %, для  $b_2$  эти цифры были соответственно равны 77 и 23 %. Для  $b_3$  значимость наблюдалась также в 77 %, а незначимость в 23 %.

**8. Нормы осадков, полученные по различным периодам** для 6 длиннорядных станций, характеризуются следующим. В среднем по ССЗК годовые

суммы осадков заметно увеличились, на 33 мм, от 1930–1975 к 1976–2010 гг., т. е. за 40 лет, если считать от центров периодов. При этом максимальное увеличение норм наблюдалось на станциях Байтык и Жаны-Жер (50 и 49 мм), а минимальное в Кировском и Токмаке (14 и 19 мм). На склоновой станции Байтык повышение было близким к среднему – 31 мм. Если отнести это увеличение к нормам на станциях за 1930–1975 гг., то оно составляет от 4 до 14 %. Относительно данных Климатического справочника [3] среднее повышение норм в 1976–2010 гг. составило: в Бишкеке – 42 мм, Байтыке – 19 мм и Таласе – 14 мм, т. е. имело тот же порядок.

Таблица 2 – Итоговые результаты повторяемости (%) различных “качеств”  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и  $\Delta b$  по 6 длиннорядным станциям совместно для года и его сезонов

Показатель качества	Тренды по различным периодам и разность $\Delta b$			
	$b_1$	$b_2$	$\Delta b$	$b_3$
Число случаев	30	30	30	30
Со знаком + (%)	87	83	53	90
Со знаком – (%)	13	17	47	10
Значимых (%)	80	77	73	77
Незначимых (%)	20	23	27	23

Из 72 случаев месячных данных в 57 случаях (79 %) от 1930–1975 к 1976–2010 гг. наблюдалось повышение или неизменность месячных норм осадков (диапазон 0–11 мм), а понижение (диапазон 1... –7 мм) в 15 случаях (21 %). Повышение соответствовало холодному времени года, а понижение теплоте – конец весны и лето.

В таблице 3 приведены полученные месячные и годовые нормы осадков (мм) для 1930–1975 и 1976–2010 гг. для основных долинных станций Бишкек и Талас и склоновой станции Байтык.

**9. Нормы СКО и коэффициентов вариации  $S(r)$ , полученные по различным периодам** для 6 длиннорядных станций, характеризуются следующим. Значения новых норм СКО за 1976–2010 гг., которые характеризуют междугодовую изменчивость осадков, для года находятся в пределах от 68 мм (Талас) до 103 мм (Токмак и Байтык). Месячные значения имеют диапазон 7...42 мм, причем минимальные СКО имеют место зимой или летом, а максимальные по всем станциям – в апреле. По различным периодам годовые и месячные нормы СКО имеют один и тот же порядок, т. е. междугодовая колеблемость осадков по месяцам и для года осталась без существенных изменений в период 1930–2010 гг.

Таблица 3 – Нормы осадков по месяцам и за год по станциям (мм) за различные периоды

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Бишкек – 0,76 км (строки: 1930–1975; 1976–2009 гг.)												
23	27	48	67	62	40	20	13	16	36	37	25	413
27	33	51	78	68	35	20	13	18	42	44	34	464
Талас – 1,22 км (строки: 1930–1975 гг.; 1976–2009 гг.)												
12	19	32	50	48	32	18	11	10	20	26	16	295
16	19	36	51	51	33	17	12	12	27	29	24	327
Байтык – 1,58 км (строки: 1930–1975; 1976–2009 гг.)												
17	23	47	74	88	75	53	30	26	37	35	20	526
22	27	50	76	96	75	55	24	29	41	36	25	557

Таблица 4 – Нормы коэффициентов вариации осадков по месяцам и за год за различные периоды

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Бишкек – 0,76 км (строки: 1930–1975; 1976–2009 гг.)												
0,50	0,60	0,50	0,43	0,53	0,60	1,01	1,09	0,94	0,72	0,52	0,64	0,20
0,43	0,36	0,45	0,50	0,48	0,74	1,06	0,99	0,96	0,60	0,53	0,46	0,22
Талас – 1,22 км (строки: 1930–1975 гг.; 1976–2009 гг.)												
0,72	0,66	0,52	0,49	0,57	0,64	0,99	1,15	0,92	0,70	0,50	0,74	0,23
0,44	0,48	0,46	0,53	0,46	0,83	1,08	1,36	0,89	0,69	0,64	0,54	0,24
Байтык – 1,58 км (строки: 1930–1975; 1976–2009 гг.)												
0,54	0,49	0,45	0,37	0,44	0,44	0,65	0,67	0,94	0,62	0,48	0,60	0,18
0,38	0,37	0,40	0,44	0,32	0,43	0,63	0,76	0,93	0,62	0,39	0,53	0,18

Еще более наглядно междугодовая колеблемость осадков может быть представлена коэффициентами вариации  $C(r)$ . В период 1976–2010 гг. годовые нормы  $C(r)$  были малы и по всем 10 станциям лежали в узком диапазоне 0,14...0,24 при среднем значении 0,21. Месячные нормы  $C(r)$  значительно выше и соответствуют диапазону 0,27...1,69. При этом наименьшие значения на всех станциях имеют место в январе-марте (0,27–0,45, среднее значение 0,37), а наибольшие – в июле-августе (0,62–1,69, среднее значение 1,0). Как и следовало ожидать, порядок величин  $C(r)$  по различным периодам для одних и тех же станций не меняется, т. е. междугодовая изменчивость осадков в исследуемый период 1930–2010 гг. оставалась практически неизменной.

В таблице 4 приведены полученные месячные и годовые нормы  $C(r)$  для 1930–1975 и 1976–2010 гг.

для основных долинных станций Бишкек и Талас и склоновой станции Байтык.

#### Литература

1. *Подрезов О.А.* Интегральное по территории изменение современного климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 8.
2. *Подрезов О.А.* Изменение современного климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана (температура воздуха и осадки) / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016. № 9.
3. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. М.: Изд. ГУГК СССР, 1987. 157 с.
4. *Закс Л.* Статистическое оценивание / Л. Закс. М.: Статистика, 1976. 598 с.