

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 911.52 (575.2) (04)

О.А. Подрезов, А.О. Подрезов**СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ
СЕВЕРНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА**

На основании многолетних наблюдений 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 так же за 1930-2010 гг. в целом. Анализ выполнен для годовых и сезонных сумм осадков по той же методике, что и для температуры воздуха в работе [5].

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

1. Введение.

Осадки, наряду с температурой воздуха, являются двумя основной характеристикой климата любой территории [4]. Настоящая статья, посвящена изменению осадков на территории Северного и Северо-Западного Кыргызстана (ССЗК, рис. 1) за 1930-2010 гг. и представляет собой продолжение работы [5], где рассматривалось потепление климата этого горного региона за этот же период. При ее написании использован тот же методический подход и данные тех же 10 метеостанций (рис.1), что делает возможным однозначно сопоставить наблюдавшееся потепление климата и сопровождающее его изменение осадков за 1930-2010 гг. Одновременно это позволяет опустить здесь описание орографии территории, характеристику метеорологической сети, описание методики исследований – все это можно найти в [5]. В результате, полученные статистические результаты могут быть приведены в более полном виде так как вместо 5 различных температур воздуха, теперь рассматривается только одна характеристика осадков – их годовые и сезонные суммы. Это позволило в стандартном объеме статьи привести расчетные данные не только в среднем по территории ССЗК, но и по отдельным станциям, что не представлялось возможным в [5].

Задачи исследований изменения осадков на территории ССЗК включали следующее:

1. Установление и анализ структуры псевдоцикличности во временном ходе годовых и сезонных сумм осадков по данным их 11-летних скользящих средних за период имеющихся инструментальных наблюдений 1930-2010 гг.
2. Оценка и сравнительный анализ статистических характеристик параметров линейных трендов годовых и сезонных сумм осадков по данным их 11-летних скользящих средних за три периода: 1930-1975 (стабильный мировой климат), 1976-2010 (интенсивное потепление мирового климата) и 1930-2010 гг. (период инструментальных наблюдений в Кыргызстане).
3. Оценка и сравнительный анализ скоростей и величин роста/снижения годовых и сезонных сумм осадков по найденным уравнениям линейных трендов для трех заданных периодов: 1930-1975, 1976-2010 и 1930-2010 гг.

На рис 1 приведена физико-географическая карта ССЗК с описанием характеристик метеостанций, дающие наглядное представление об орографической сложности региона.

Следует только учесть, что из использованных 10 станций 6 условно отнесены нами к длиннорядным: Чуйская 1931-09 гг., Токмак 1929-09 гг., Бишкек 1927-09 гг., Байтык 1912-09 гг., Кировское 1943-09 гг. и Талас 1929-09 гг. Данные остальных 4 станций использовались как вспомогательные, они условно обозначены как короткорядные – Калининское 1957-09 гг., Ыссык-Ата 1957-09 гг., Альплагерь 1978-09 гг. и Тюя-Ашу юж. 1954-09 гг.

© Подрезов О.А., Подрезов А.О., 2015

Подрезов Олег Андреевич, доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды естественно-технического факультета Кыргызско- Российского Славянского университета; Кыргызская Республика 720000, г. Бишкек, ул. Киевская 44; meteokaf_krsu@mail.ru

Подрезов Андрей Олегович, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой метеорологии, экологии и охраны окружающей среды естественно-технического факультета Кыргызско- Российского Славянского университета; Кыргызская Республика 720000, г. Бишкек, ул. Киевская 44; meteokaf_krsu@mail.ru

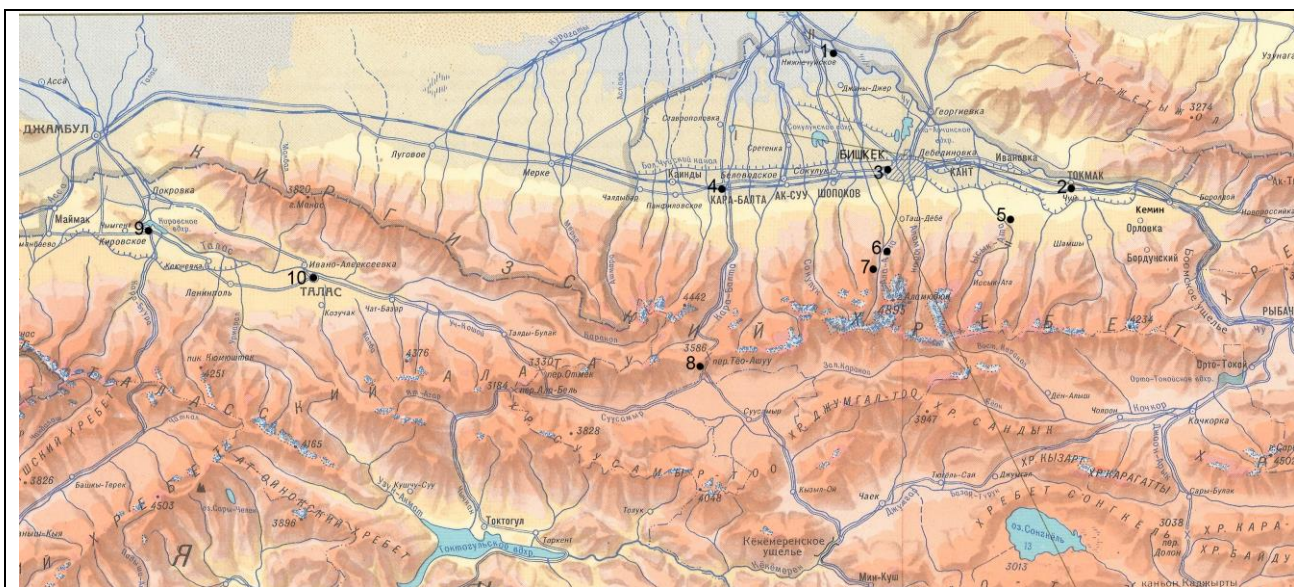


Рис. 1 Физико-географическая карта ССЗК с расположением использованных метеостанций.

Расположение, высота и период наблюдений станций:

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

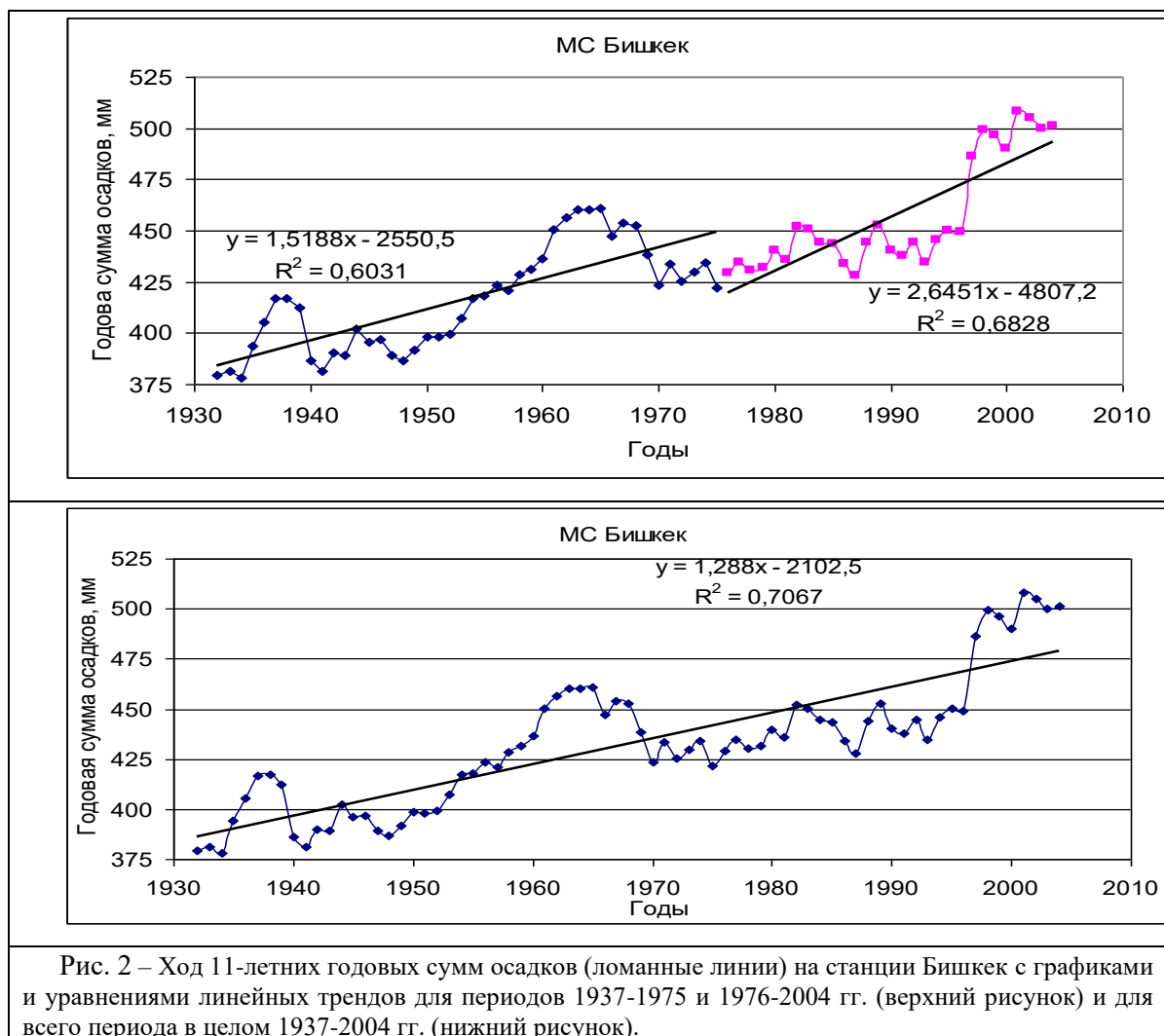
Уравнения всех трендов осадков записывались обобщенно в виде

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

где $y = r$, 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 рис 2. в качестве примера показан временной ход 11-летних средних (ломанные 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 четко выраженными максимумами и минимумами, что имело место и во всех других случаях. Из верхнего рисунка следует, что тренды для 1930-1975 и 1976-2010 гг. терпят граничный разрыв на стыке 1975/76 гг. из-за различий свободных членов уравнений b_0 (соответственно равны: -2550,5 мм и -4807,2 мм), что также является общим правилом. Одновременно линии трендов имеют различный *наклон* из-за разницы абсолютной величине угловых



коэффициентов: $b_1 = 1,5188$ мм/год и $b_2 = 2,6451$ мм/год. В этом примере угловые коэффициенты трендов b_1 и b_2 имеют одинаковые знаки, но во многих случаях они могут быть разные, когда по отношению к горизонтальной оси времени у одной линии тренда наклон вверх, а у другой вниз. Поэтому надо помнить, что для значений b и Δr в общем случае справедливо:

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

что вытекает из методики их расчета. Здесь Δr_{46} , Δr_{35} и Δr_{81} трендовые оценки изменений сумм осадков за периоды: 46 лет (1930-1975 гг.), 35 лет (1976-2010 гг.) и за 81 год (1930-2010 гг.).

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

2. Полученные результаты, их обсуждение и выводы

В табл. 1 приведены итоговые результаты 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 результаты и выводы.

В ходе 11-летних кривых годовых и сезонных сумм осадков для 10 станций ССЗК наблюдалась их случайная структура с хорошо выраженным чередованием фаз повышения и понижения температуры. 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 низкогорья до высот 1,5-2 км.

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 среднегорной 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-ти 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 приближенно 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 [1,2]. 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.

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 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 $b_1(\text{сред.}) = 7,43$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 34$ 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 так же 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 $b_2(\text{сред.}) = 3,85$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 14$ 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 $b_3(\text{сред.}) = 4,19$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{81}(\text{сред.}) = 34$ мм. Если приближенно принять зимнюю норму осадков в Таласской долине 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 случаях 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 так же во всех 5 случаях из 6.

Метеорология

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 (*коротко-рядная)	Статистические характеристики и оценки						
	$b_{1мм/10}$	$b_{2мм/10}$	$\Delta b_{мм/1г}$	$b_{3мм/10}$	$\Delta r_{46мм}$	$\Delta r_{35мм}$	$\Delta r_{81мм}$
Годовые суммы осадков							
Жаны-Жер	24,133	28,670	0,4536	15,815	111	100	128
Токмак	16,434	23,846	0,7412	7,864	76	84	64
Бишкек	15,188	26,451	1,1263	12,880	70	93	104
Кара-Балта*		12,132				43	
Ысык-Ата*		8,558				30	
Байтык	20,404	-9,987	-3,0390	12,676	94	-35	103
Альплагерь*		-18,168				-64	
Тюя-Ашу *		13,728				48	
Кировское	23,228	26,332	0,3104	6,910	107	92	56
Талас	24,4486	18,107	-0,6378	12,554	113	63	102
Среднее	20,645	18,900		11,450	95	66	93
Зимние суммы осадков							
Жаны-Жер	5,865	6,274	0,0410	5,088	27	22	41
Токмак	6,353	3,237	-0,3116	3,621	29	11	29
Бишкек	6,406	9,028	0,2622	5,327	29	32	43
Кара-Балта*		6,649				23	
Ысык-Ата*		4,192				15	
Байтык	3,752	-0,041	-0,3794	3,474	17	0	28
Альплагерь*		7,248				25	
Тюя-Ашу *		10,895				38	
Кировское	15,195	2,736	1,2459	3,395	70	10	28
Талас	7,063	1,866	-0,5198	3,925	32	7	32
Среднее	7,430	3,850		4,185	34	14	34
Весенние суммы осадков							
Жаны-Жер	16,932	-0,551	-1,4884	6,343	78	-2	51
Токмак	12,055	7,588	-0,4468	2,304	55	27	19
Бишкек	9,322	5,478	-0,3845	4,637	43	19	38
Кара-Балта*		-1,194				-4	
Ысык-Ата*		2,173				8	
Байтык	9,473	-14,293	-2,3767	3,330	44	-50	27
Альплагерь*		-15,435				-54	
Тюя-Ашу*юж		-1,506				-5	
Кировское	16,688	7,743	-0,8945	1,598	77	27	13
Талас	10,986	9,460	-0,1526	3,760	51	33	30
Среднее	12,58	2,57		3,66	58	9	30
Летние суммы осадков							
Жаны-Жер	2,104	12,708	1,0604	1,595	10	44	13
Токмак	-3,379	14,391	1,7771	-1,088	-16	50	-9
Бишкек	-2,331	6,658	0,8989	-0,295	-11	23	-2
Кара-Балта*		2,605				9	
Ысык-Ата*		-0,287				-1	
Байтык	6,891	1,778	-0,5113	3,323	32	6	27
Альплагерь*		-11,967				-42	
Тюя-Ашу*юж		3,196				11	
Кировское	-12,357	10,374	2,2730	-0,573	-57	36	-5
Талас	0,982	6,485	0,5503	1,564	5	23	13
Среднее	-1,35	8,73		0,75	-6	31	6
Осенние суммы осадков							
Жаны-Жер	-0,768	10,239	1,006	2,789	-4	36	23
Токмак	1,405	-1,370	-0,2775	3,027	6	-5	25
Бишкек	1,791	5,287	0,3496	3,212	8	19	26
Кара-Балта*		4,072				14	
Ысык-Ата*		2,479				9	
Байтык	0,288	2,570	0,2282	2,579	1	9	21
Альплагерь*		1,985				7	
Тюя-Ашу*юж		1,143				4	
Кировское	3,702	5,480	0,1778	2,491	17	19	20
Талас	5,454	0,296	-0,5158	3,306	25	1	27
Среднее	1,98	3,75		2,92	9	13	24

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, среднем по территории это так же дало высокую скорость увеличения зимних осадков с $b_1(\text{сред.}) = 12,58$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 58$ мм. При этом по склоновой станции Байтык и долининной 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 долининных станциях Токмак, Бишкек, Кировское и Талас наблюдались существенные положительные скорости с $b_2 = 5,48\dots, 10,46$ мм/10 лет ($\Delta\Gamma_{35} = 19\dots, 33$ мм), тогда как на Жаны – Жер имело места очень слабое, близкое к нулевому, уменьшение осадков, $b_2 = -0,55$ мм/10 лет ($\Delta\Gamma_{35} = -2$ мм). Но склоновая станция Байтык характеризуется очень сильным уменьшением осадков с $b_2 = -14,29$ мм/10 лет ($\Delta\Gamma_{35} = -44$ 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 $\Delta\Gamma_{35} = -5\dots,+8$ 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 $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 9$ 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 $\Delta\Gamma_{81} = 13\dots, 51$ 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 $\Delta\Gamma_{81}(\text{сред.}) = 30$ мм. Если приближенно 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 случаях 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.

В поле летних сумм осадков в период стабильного мирового климата 1930-1975 гг. на 6 длиннорядных станциях ССЗК наблюдалось разнонаправленная тенденция их изменения с изменением скоростей в широком диапазоне $b_1 = -12,36\dots,+6,89$ мм/10 лет, что соответствовало $\Delta\Gamma_{46} = -58\dots,+32$ мм. При этом нижней границе диапазона соответствует долининная 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 $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = -6$ мм. Здесь так же 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 $\Delta\Gamma_{35} = 6\dots, 50$ мм. При этом минимальное увеличение осадков соответствовало склоновой станции Байтык, а максимальное долининной 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 $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 31$ 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 $\Delta\Gamma_{35} = -42\dots,+11$ 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 $\Delta\Gamma_{81} = -9\dots,+27$ 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 $\Delta\Gamma_{81}(\text{сред.}) = 6$ 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.

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 $\Delta\Gamma_{46} = 1\dots, 25$ 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 $\Delta\Gamma_{46} = -4$ мм. В результате, среднем по территории это дало малую скорость увеличения осенних осадков с $b_1(\text{сред.}) = 1,38$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 9$ 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 $\Delta\Gamma_{35} = 1\dots, 36$ мм. При этом на склоновой станции Байтык она составляла 2,57 мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{35} = 9$ мм. Напротив, на станции Токмак скорость была отрицательной, но очень малой по величине, $b_2 = -0,28$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{35} = -5$ мм. В результате, для периода 1976-2010 гг. по данным всех 6 длиннорядных станций в среднем по территории ССЗК так же получена малая скорость роста осенних осадков с $b_2(\text{сред.}) = 3,75$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 13$ 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 $\Delta\Gamma_{81} = 20\dots, 27$ мм. При этом склоновая станция Байтык отмечала $b_3 = 2,58$ мм/10 лет и $\Delta\Gamma_{81} = 21$ 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 $\Delta\Gamma_{81}(\text{сред.}) = 24$ 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 так же только в 3 случаях.

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 табл. 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 так же в 77%, а незначимость в 23%.

Таблица 2

Итоговые результаты повторяемости (%) различных «качеств» b_1 , b_2 , b_3 и Δb по 6 длиннорядным станциям совместно для года и его сезонов.

Показатель качества	Тренды по различным периодам и разность Δb			
	b_1	b_2	Δb	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

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.

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 случаев (21%). Повышение соответствовало холодному времени года, а понижение теплоту – конец весны и лето.

В табл. 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.

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 д
Бишкек – 0,76 км (строки: 1930-1975; 1976-2009 гг.)												
23	27	48	67	62	40	20	13	16	36	37	25	41 3
27	33	51	78	68	35	20	13	18	42	44	34	46 4
Талас - 1,22 км (строки: 1930-1975 гг.; 1976-2009 гг.)												
12	19	32	50	48	32	18	11	10	20	26	16	29 5
16	19	36	51	51	33	17	12	12	27	29	24	32 7
Байтык – 1,58 км (строки: 1930-1975; 1976-2009 гг.)												
17	23	47	74	88	75	53	30	26	37	35	20	52 6
22	27	50	76	96	75	55	24	29	41	36	25	55 7

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 в целом осталась без существенных изменений в период 1930-2010 гг.

Еще более наглядно междугодовая колеблемость осадков может быть представлена коэффициентами вариации $S(r)$. В период 1976-2010 гг. годовые нормы $S(r)$ были малы и по всем 10 станциям лежали в узком диапазоне 0,14...0,24 при среднем значении 0,21. Месячные нормы $S(r)$ 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 $S(r)$ 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.

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 д
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

В табл. 4 приведены полученные месячные и годовые нормы $S(r)$ для 1930-1975 и 1976-2010 гг. для основных долинных станций Бишкек и Талас и склоновой станции Байтык.

Библиографический список

1. *Израэль Ю.А., Семёнов С.М., Анисимов О.А. и др.* Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад рабочей группы II // Метеорология и гидрология. 2007. №9. С. 5–14.
2. *Кокорин А.О.* Изменение климата на планете/Всемирный фонд дикой природы (WWF) – WWW. [Электронный ресурс] URL: <http://WWF.ru/climate> (дата обращения 3.09.2015).
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 32. Киргизская ССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 375 с.
4. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. Казань: Изд.-во Казан. гос. ун-та, 2009. 503 с.
5. *Подрезов О.А., Подрезов А.О.* Современное потепление климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана // Географический Вестник. 2015. № 3(34). С.56-66.

О.А. Podrezov, A.O. Podrezov
MODERN PRECIPITATION CHANGES
IN NORTH AND NORTH-WEST KYRGYZSTAN

Based on the long-term observations of weather stations the comparative characteristics of modern precipitation changes in North and North-West Kyrgyzstan are given for two different periods: 1930-1975 years - the stable global climate and 1976-2010 years - the global warming, as well as for the 1930-2010 years in general. The analysis is executed for the annual and seasonal precipitation totals in the same way as for the temperature [5].

Key words: North and North-West Kyrgyzstan; modern precipitation changes.

Oleg A. Podrezov, Doctor of Geography, Professor of the Department of meteorology, ecology and environmental protection of natural-technical faculty of the Kyrgyz-Russian Slavic University; 44 Kyivskaya, Bishkek, Kyrgyz Republic 720000; meteokaf_krsu@mail.ru

Andrey O. Podrezov, Candidate of Geographical Science, Head of the Department of meteorology, ecology and environmental protection of natural-technical faculty of the Kyrgyz-Russian Slavic University; 44 Kyivskaya, Bishkek, Kyrgyz Republic 720000; meteokaf_krsu@mail.ru

УДК 551.515.8 (632.152)

Т.В. Костарева, О.Г. Пенский

**СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО И ЭКСТРЕМАЛЬНО
ВЫСОКОГО УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПЕРМСКОМ КРАЕ**

Предложена классификация синоптических процессов, способствующих формированию высокого и экстремально высокого уровня загрязнения воздуха в городах Пермского края. Сделан вывод о том, что не всегда при синоптических ситуациях, благоприятных для накопления вредных примесей, в городах создается высокий уровень загрязнения воздуха.

Ключевые слова: экстремально высокий уровень загрязнения воздуха, синоптическая ситуация, типизация синоптических процессов, параметр Р, термическое поле.

На загрязнение воздуха в городах оказывает сложное влияние ряд метеорологических факторов. Синоптическая ситуация характеризуется в общем виде сложным комплексом метеорологических параметров и отражает многообразие процессов, происходящих в атмосфере. Анализ материалов наблюдений в ряде городов показал, что к неблагоприятным синоптическим ситуациям относятся центральная область стационарного антициклона и ось малоподвижного гребня [1; 3; 5]. Известно,

© Костарева Т.В., Пенский О.Г., 2015

Костарева Татьяна Викторовна, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета, Россия, 614990. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: nmu2@meteorperm.ru

Пенский Олег Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры процессов управления и информационной безопасности Пермского государственного национального исследовательского университета, Россия, 614990. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: ogpensky@mail.ru