

## 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

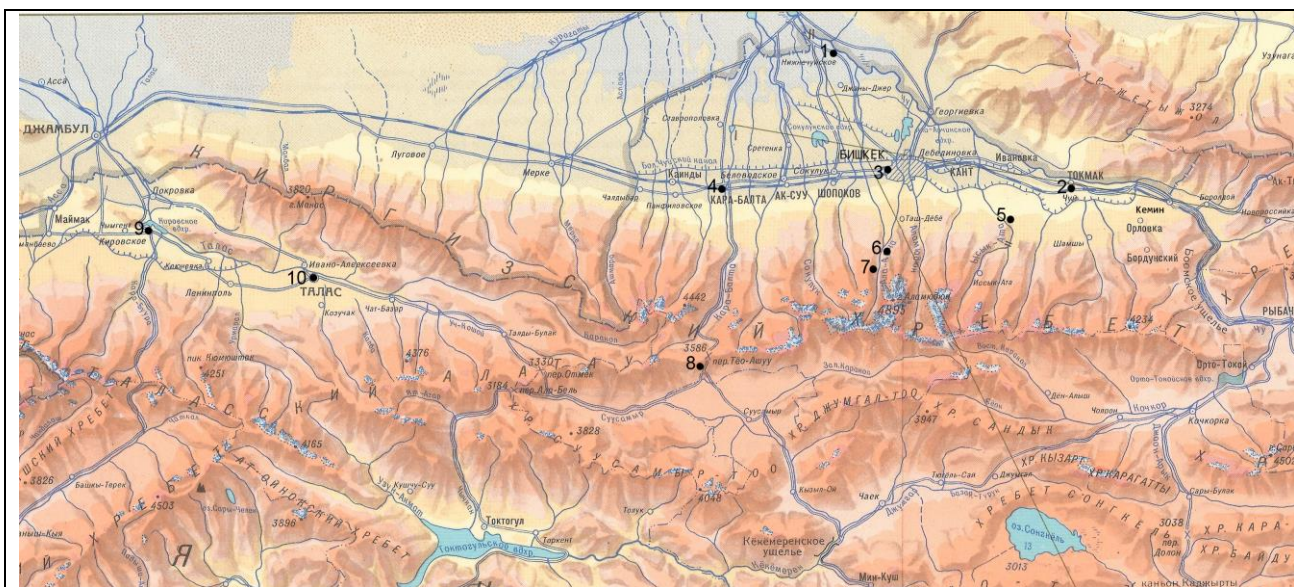


Рис. 1 Физико-географическая карта ССЗК с расположением использованных метеостанций.

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.)                 |

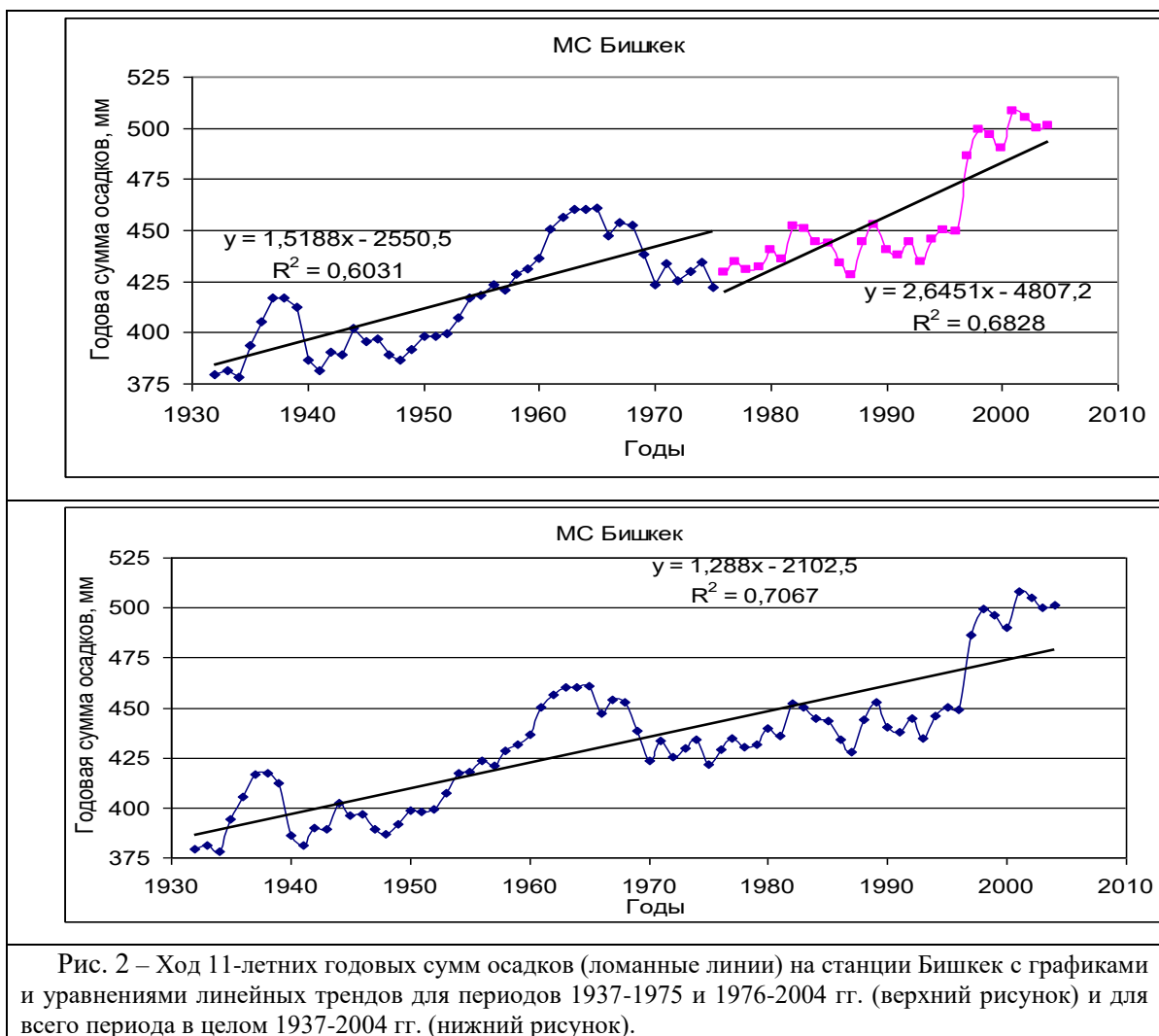
Уравнения всех трендов осадков записывались обобщенно в виде

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

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  $\Delta r$  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  $\Delta r_{46}$ ,  $\Delta r_{35}$  и  $\Delta r_{81}$  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  $\Delta r$  и оценки самих значений осадков  $r$  следует находить только по соответствующим им коэффициентам трендов, т.е., например, определять  $\Delta r_{35}$ ,  $\Delta r_{46}$  и  $\Delta r_{81}$ , 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 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 [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 приблизительно 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<br>(*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                          | <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          | <b>-0,5198</b>     | <b>3,925</b>  | 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                |                   |
| 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                |

**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  $b_1(\text{сред.}) = 12,58$  мм/10 лет и  $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 58$  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 ( $\Delta\Gamma_{35} = 19\dots, 33$  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 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  $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = -6$  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 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  $\Delta\Gamma_{46}(\text{сред.}) = 31$  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  $\Delta b$  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    |

**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 теплему – 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 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 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 |

**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  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:ogpensky@mail.ru)