

УДК 551.583(575.2-25)

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА БИШКЕКА ЗА СТОЛЕТИЕ 1930–2030 гг.

Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов

Анализируются линейные тренды различных характеристик температуры воздуха (средние годовые и средние месячные, минимальные и максимальные за каждый месяц), а также годовых и сезонных сумм осадков по метеостанции Бишкек за период наблюдений 1928–2020 гг. Делается статистический прогноз этих характеристик на период до 2030 г. Получено, что в поле средних годовых температур потепление за 100 лет составит 2,7 °С. Но небольшое потепление наблюдается в январе в поле абсолютных минимальных температур и составит 9,3 °С. Годовые суммы осадков за 100-летний период возрастут от 385 до 499 мм или на 30 %. При этом зимние, весенние и осенние осадки увеличатся соответственно на 87, 21 и 39 %, а летние осадки уменьшатся на 18%.

Ключевые слова: г. Бишкек; температура воздуха; осадки, их изменения за период 1930–2030 гг.

ЖУЗ ЖЫЛДА (1930–2030-ЖЫЛДАРЫ) БИШКЕК ШААРЫНДАГЫ КЛИМАТТЫН ӨЗГӨРҮШҮ

Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов

Макалада Бишкек шаарындагы метеорологиялык станциядагы 1928–2020-жылдардагы байкоо мезгилиндеги абанын температурасынын ар кандай мүнөздөмөлөрүнүн сызыктуу тенденциялары (орточо жылдык жана айлык орточо, ар бир ай үчүн минималдуу жана максимум), ошондой эле жаан-чачындын жылдык жана сезондук өлчөмдөрү талдоого алынган. Бул мүнөздөмөлөрдүн статистикалык болжолу 2030-жылга чейинки мезгилге түзүлөт. 100 жыл ичинде жылдык орточо температура 2,7°С ге жылыгандыгы аныкталган. Бирок абанын температурасынын эң чоң градуска жылышы январь айында абсолюттук минималдуу температура чөйрөсүндө байкалат жана 9,3°Сге чейин жетет. Жылдык жаан-чачындын көлөмү 100 жылдык мезгилде 385тен 499 ммге чейин же 30%га көбөйгөн. Ошол эле учурда,кышкы, жазгы жана күзгү жаан-чачындар тиешелүүлүгүнө жараша 87, 21 жана 39%га көбөйгөн, жайкы жаан-чачындар 18%га азайган.

Түйүндүү сөздөр: Бишкек шаары; абанын температурасы; жаан-чачындар, алардын 1930–2030-жылдардагы өзгөрүүлөрү.

CLIMATE CHANGES IN BISHKEK OVER THE CENTURY 1930-2030

Yu.A. Podrezova, A.O. Podrezova

Linear trends of various air temperature characteristics (average annual and monthly average, minimum and maximum for each month), as well as annual and seasonal precipitation amounts at the Bishkek meteorological station for the observation period 1928-2020 have been analyzed. A statistical forecast of these characteristics is made for the period up to 2030. It is found that in the field of average annual temperatures, the warming over 100 years will be 2.7° C. But the greatest warming is observed in January in the field of absolute minimum temperatures and will amount to 9.3° C. Annual precipitation amounts over a 100-year period will increase from 385 to 499 mm, or by 30 %. At the same time, winter, spring and autumn precipitation will increase by 87, 21 and 39 %, respectively, and summer precipitation will decrease by 18 %.

Keywords: Bishkek; air temperature; precipitation, their changes for the period 1930–2030.

Введение. Вопрос о происходящих изменениях климата земного шара, его крупных регионов и отдельных местностей, является одним из центральных в современной климатологии [1–3]. Бишкек представляет собой типичный крупный город-миллионник Центральной Азии, который расположен на подгорной равнине северного Тянь-Шаня. Для оценки изменения его современного климата были статистически обработаны следующие ряды наблюдений метеостанции Бишкек (высота 756 м) за период с начала ее работы с 1928 по 2020 г.: средних годовых и средних месячных температур воздуха,

абсолютных месячных максимальных и минимальных температур. Это позволило получить достаточно полное представление о происходящих изменениях режима температуры за последние 100 лет.

1. **Температура воздуха.** В таблице 1 приведены рассчитанные многолетние средние годовые и месячные значения температур для трех стандартных климатических периодов 1931–1960, 1961–1990 и 1991–2020 гг., из которых наглядно видно как менялись нормы этих температур от одного 30-летия к другому. Так, например, нормы средних годовых температур от первого 30-летия ко второму повысились на 0,5 °С, а от второго к третьему – на 1,1 °С, так что общее повышение составило 1,6 °С.

На рисунке 1 показаны результаты аппроксимации ряда средних годовых температур по станции Бишкек за 93-летний период 1928–2020 гг. линейным трендом и кривой 11-летних скользящих средних. На нем хорошо видна основная тенденция их изменения – рост температуры от начала к концу периода со средней скоростью $b_1 = 0,267$ °С/10 лет. Эту тенденцию можно приближенно выразить наклонной прямой тренда, уравнение которой приведено на поле рисунка.

На 11-летней кривой рисунка 1 хорошо видны фазы потепления и похолодания климата в изучаемый период. Кривая включает два основных, но, к сожалению, не полных периода колебаний годовой температуры в Бишкеке: первый период закончился 1954 г., но исходными данными не представлено начало фазы потепления, произошедшее до 1928 г.; второй период начался с 1955 г. и продолжается до сих пор, но точно так же исходными данными по 2020 г. пока не представлено его окончание.

Как известно, с 1976 г. наблюдается фаза интенсивного потепления мирового климата [1, 2]. Это хорошо отмечается и в изменении средних годовых температур для Бишкека. На рисунке 2 приведены графики и уравнения линейных трендов для средних годовых температур Бишкека, найденные отдельно для 1928–1975 и 1976–2020 гг. Как видно, угловой коэффициент тренда для второго периода $b_1 = 0,339$ °С/10 лет, тогда как для первого он в 2,3 раза меньше и равен $b_1 = 0,146$ °С/10 лет.

Аналогичным образом были проанализированы ряды средних месячных температур, а также ряды месячных максимумов и минимумов температуры. Можно отметить важный факт: графики хода температур по отдельным месяцам и различным характеристикам температуры, как правило, имеют индивидуальный вид, полностью или существенно не совпадая между собой и со средними годовыми кривыми.

Из полученных данных следует, что в поле средних месячных температур потепление в Бишкеке гораздо быстрее шло в холодный период года, например, тренд средних температур января составил $b_1 = 0,453$ °С/10 лет, в то время как тренд июля $b_1 = 0,115$ °С/10 лет, т. е. был в 4 раза ниже. При этом своеобразие изменения средних температур июля состояло в том, что с 1928 по 1972 г. наблюдалась фаза их снижения, а с 1973 по 2020 г. имела место фаза роста, что привело в итоге к малому общему росту средних июльских температур.

Но наиболее высокими были скорости потепления зимних абсолютных минимальных температур. Так, угловой коэффициент тренда в январе $b_1 = 0,927$ °С/10 лет, что в 3,5 раза больше, чем b_1 для средних годовых, и в два раза больше, чем b_1 для средних январских температур. В июле, напротив, значение углового коэффициента тренда было малым, $b_1 = 0,186$ °С/10 лет, что в 5 раз меньше, чем b_1 для января.

Скорости потепления зимних абсолютных максимальных температур также были высокими, но имели промежуточные значения по сравнению со средними и минимальными температурами. Так, для них в январе значение углового коэффициента тренда оказалось равным $b_1 = 0,581$ °С/10 лет. Но в июле для максимальных температур $b_1 = 0,169$ °С/10.

В качестве наглядной картины потепления в Бишкеке в таблице 2 приведены рассчитанные по уравнениям трендов для кратных десятилетий значения всех рассмотренных характеристик температуры для года и центральных месяцев сезонов. Из этих данных наглядно видно, что от 1930 к 1920 г. трендовые оценки средних годовых температур возросли от 9,7 до 12,1 °С, средних температур января от –5,4 до –1,3 °С, а июля от 24,3 до 25,4 °С. В то же время повышение абсолютных минимальных температур января было наибольшим, от –23,5 до –15,2 °С, а июля всего лишь от 11,6 до 13,3 °С.

Таблица 1 – Нормы средних годовых и месячных температур для трех периодов 1931–1960, 1961–1990 и 1991–2020 гг., а также данные климатического справочника 1989 г. (КС 1989)

| Период | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|-----------|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1931–1960 | -4.3 | -2.2 | 3.9 | 11.8 | 16.9 | 21.4 | 24.4 | 23.1 | 17.7 | 11.0 | 1.8 | -3.2 | 10.2 |
| 1961–1990 | -3.2 | -2.3 | 4.5 | 12.1 | 16.8 | 21.6 | 24.3 | 22.8 | 17.6 | 10.7 | 4.2 | -0.5 | 10.7 |
| 1991–2020 | -2.2 | -0.1 | 6.3 | 12.9 | 17.8 | 22.9 | 25.4 | 24.2 | 18.7 | 11.8 | 4.8 | -0.5 | 11.8 |
| КС 1989 | -5,0 | -2,9 | 4,0 | 11,7 | 17,0 | 21,5 | 24,4 | 22,8 | 17,5 | 10,5 | 2,5 | -2,7 | 10,1 |

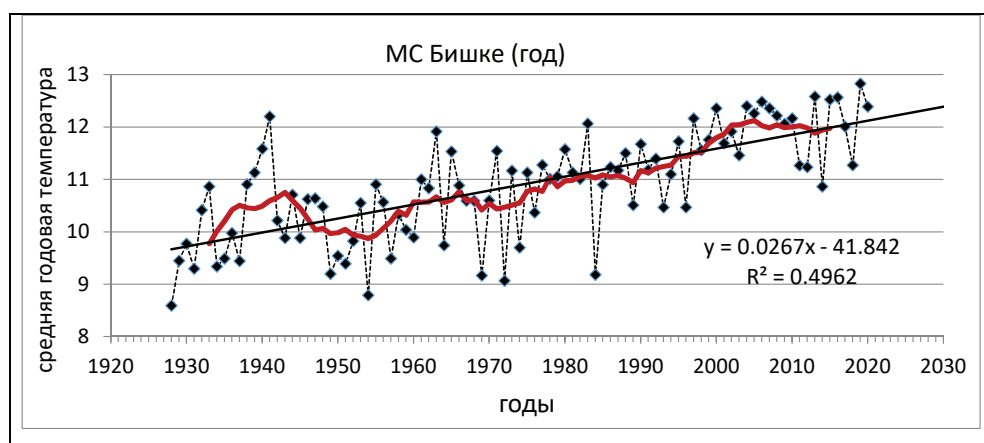


Рисунок 1 – Временной ход средних годовых температур воздуха (точки) на станции Бишкек за 1928–2020 гг. с линией и уравнением линейного тренда, а также кривой 11-летних скользящих средних (красная линия)

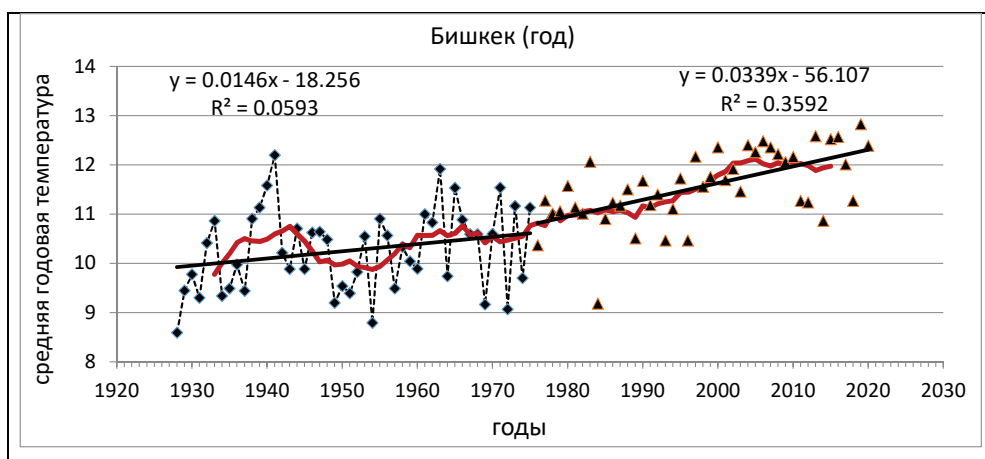


Рисунок 2 – Изменение средних годовых температур на станции Бишкек за периоды 1928–1975 гг. и 1976–2020 гг. с прямыми линейных трендов и их уравнениями, а также кривой 11-летних скользящих средних (красная линия)

Таблица 2 – Рассчитанные по трендам оценки температур (Т°С) в Бишкеке для кратных десятилетий

| Год, месяц | Годы десятилетий | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 | 1930 |
| Средние годовые и средние месячные температуры | | | | | | | | | | | |
| Год | 9.7 | 10.0 | 10.2 | 10.5 | 10.8 | 11.0 | 11.3 | 11.6 | 11.8 | 12.1 | 12.4 |
| Январь | -5.4 | -5.0 | -4.5 | -4.1 | -3.6 | -3.2 | -2.7 | -2.3 | -1.8 | -1.3 | -0.9 |
| Апрель | 11.5 | 11.7 | 11.9 | 12.0 | 12.2 | 12.3 | 12.5 | 12.6 | 12.8 | 13.0 | 13.1 |
| Июль | 24.3 | 24.4 | 24.6 | 24.7 | 24.8 | 24.9 | 25.0 | 25.1 | 25.2 | 25.4 | 25.5 |
| Октябрь | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 10.9 | 11.0 | 11.2 | 11.3 | 11.4 | 11.6 | 11.7 | 11.8 |
| Абсолютные минимальные температуры месяца | | | | | | | | | | | |
| Январь | -23.5 | -22.6 | -21.7 | -20.7 | -19.8 | -18.9 | -18.0 | -17.0 | -16.1 | -15.2 | -14.2 |
| Апрель | -2.6 | -2.4 | -2.2 | -2.0 | -1.8 | -1.6 | -1.3 | -1.1 | -0.9 | -0.7 | -0.5 |
| Июль | 11.6 | 11.8 | 12.0 | 12.1 | 12.3 | 12.5 | 12.7 | 12.9 | 13.1 | 13.3 | 13.4 |
| Октябрь | -4.1 | -3.8 | -3.6 | -3.3 | -3.0 | -2.8 | -2.5 | -2.3 | -2.0 | -1.7 | -1.5 |
| Абсолютные максимальные температуры месяца | | | | | | | | | | | |
| Январь | 9.5 | 10.1 | 10.6 | 11.2 | 11.8 | 12.4 | 13.0 | 13.6 | 14.1 | 14.7 | 15.3 |
| Апрель | 27.4 | 27.6 | 27.8 | 28.0 | 28.2 | 28.4 | 28.6 | 28.8 | 29.0 | 29.2 | 29.4 |
| Июль | 36.9 | 37.0 | 37.2 | 37.4 | 37.5 | 37.7 | 37.9 | 38.0 | 38.2 | 38.4 | 38.5 |
| Октябрь | 26.9 | 27.1 | 27.4 | 27.6 | 27.8 | 28.0 | 28.2 | 28.4 | 28.7 | 28.9 | 29.1 |

Абсолютные максимальные температуры в январе повысились от 9,6 до 14,7 °С, а в июле только от 36,9 до 38,4°С.

Такой ход потепления климата города – сильного зимой и слабого летом – экологически являлся очень благоприятным фактором, так как зимы стали в среднем существенно теплее, на 5–10 °С, а характерные для Бишкека высокие июльские температуры повысились всего лишь на 1 °С.

2. **Осадки.** Осадки, наряду с температурой воздуха, служат одной из самых важных характеристик климата. В силу большой изменчивости осадков в течение года, для них целесообразно рассматривать не их изменения по месяцам, а изменение по сезонам, как более устойчивой характеристики годовой динамики. В таблице 3 приведены средние многолетние годовые суммы осадков (климатические нормы) для года и его сезонов, полученные для трех стандартных 30-летий: 1931–1990, 1961–1990 и 1991–2020 гг. Как видно из этих данных, годовая норма осадков по периодам увеличивалась, составляя соответственно 404, 441 и 470 мм. От первого периода к последнему она возросла на 66 мм или 16 %. Но относительное распределение осадков по сезонам осталось практически неизменным. Так, например, в период 1991–2020 гг. их выпадало: зимой 22 %, весной 41 %, летом 15 % и осенью 22 %.

На рисунке 3 показан ход годовых сумм осадков по станции Бишкек за 1927–2020 гг. с линией и уравнением линейного тренда, а также 11-летней скользящей средней. Хорошо видно, что годовые суммы осадков в этот 94-летний период колебались в очень широких пределах, от 273 мм (1932 г.) до 742 мм (2002 г.), имея среднее значение за эти годы $R = 435$ мм и среднее квадратическое отклонение (СКО), равное 95 мм.

Хорошо видна основная тенденция изменения годовых осадков – их закономерный рост от начала к концу периода 1927–2020 гг., представленный прямой и уравнением линейного тренда. Средняя скорость роста осадков составила $b_1 = 11,403$ мм/10 лет. В результате трендовые оценки годовых сумм от 1930 к 2020 г. увеличились от 385 до 487 мм или на 26 %.

Интересно посмотреть, как это было сделано выше для температуры воздуха, как изменилась скорость роста годовых осадков в Бишкеке при переходе от периода 1927–1975 гг. к периоду 1976–2020 гг., когда стали наблюдаться повышенные скорости потепления климата. Это можно увидеть на рисунке 4, который повторяет рисунок 3 (без 11-летней кривой), но тренды на нем рассчитаны отдельно для этих двух периодов. Хорошо видно, что прямые трендов осадков в оба периода имеют различный

Таблица 3 – Многолетние средние (нормы) годовых и сезонных сумм осадков (мм) в Бишкеке для трех периодов 1931–1960, 1961–1990 и 1991–2020 гг.

| Период, гг. | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|-------------|------|-------|------|-------|-----|
| 1931–1960 | 72 | 174 | 73 | 85 | 404 |
| 1961–1990 | 83 | 189 | 65 | 103 | 441 |
| 1991–2020 | 104 | 191 | 70 | 104 | 470 |

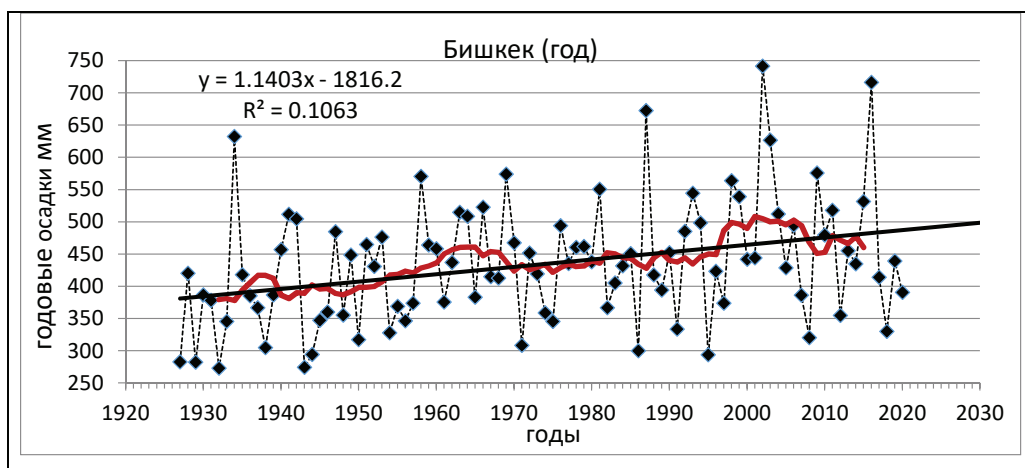


Рисунок 3 – Временной ход годовых сумм осадков (точки) на станции Бишкек за 1927–2020 гг. с линией и уравнением линейного тренда, а также кривая 11-летних скользящих средних (красная линия)

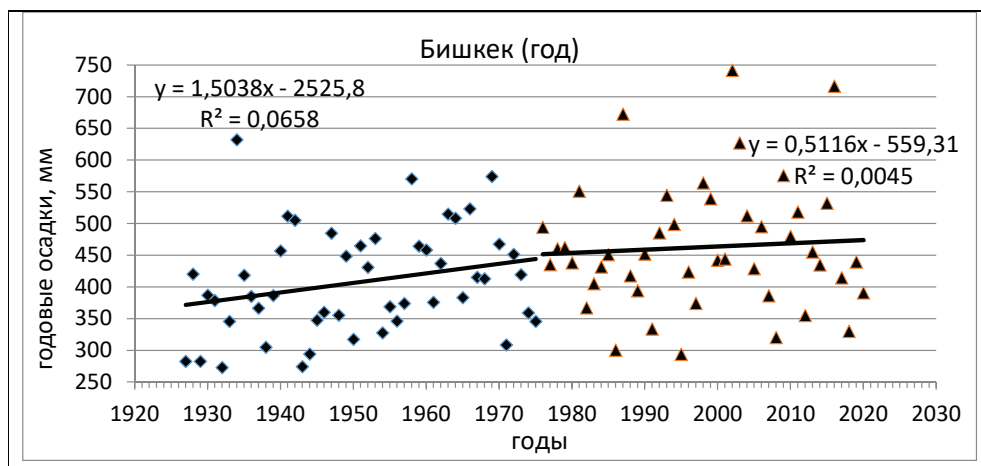


Рисунок 4 – Изменение годовых сумм осадков на станции Бишкек за периоды 1927–1975 гг. и 1976–2020 гг. с прямыми линейных трендов и их уравнениями

Таблица 4 – Рассчитанные по уравнениям линейных трендов для Бишкека сезонные суммы осадков (мм) для кратных десятилетий для периода 1930–2030 гг.

| Год и сезоны | Десятилетия | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 |
| Год | 385 | 396 | 407 | 419 | 430 | 442 | 453 | 464 | 476 | 487 | 499 |
| Зима | 62 | 67 | 73 | 78 | 83 | 89 | 94 | 100 | 105 | 111 | 116 |
| Весна | 168 | 172 | 175 | 179 | 182 | 186 | 189 | 193 | 197 | 200 | 204 |
| Лето | 74 | 73 | 72 | 70 | 69 | 68 | 66 | 65 | 64 | 63 | 61 |
| Осень | 82 | 85 | 88 | 92 | 95 | 98 | 101 | 105 | 108 | 111 | 114 |

наклон. Для первого периода 1927–2075 гг. значение углового коэффициента тренда $b_1 = 15,04$ мм/10 лет. Во втором периоде 1976–2020 гг. $b_1 = 5,12$ мм/10 лет, и здесь осадки росли со скоростью в три раза меньшей, чем в первом. Кроме того, наглядно видно, что во втором периоде увеличилась изменчивость осадков от года к году. Так, если в первом значении СКО составляло 84 мм, то во втором оно возросло до 100 мм. Одновременно среднее многолетнее значение осадков увеличилось от первого периода ко второму на 55 мм (от 408 мм до 463 мм) или 13 %.

Аналогичные построения и анализ были выполнены и для отдельных сезонов. Анализ полученных данных показывает, что осадки по сезонам изменялись неодинаково, зимой весной и осенью они возрастали с различными скоростями, а летом, напротив, уменьшились, хотя и на малую абсолютную величину. В качестве основного вывода по изменению количества осадков в течение 1930–2030 гг. в таблице 4 приведены, рассчитанные по уравнениям линейных трендов, оценки значений осадков для кратных десятилетий этого 100-летнего периода. При этом данные за 2030 г. следует рассматривать как статистический прогноз. Как видно, от 1930 к 2030 г. осадки изменятся следующим образом: годовые возрастут от 385 до 499 мм (на 30 %), зимние возрастут от 62 до 116 мм (на 87 %), весенние возрастут от 168 до 204 мм (21 %), но летние уменьшатся от 74 до 61 мм (на 18 %) и осенние возрастут от 82 до 114 мм (на 39 %).

Резюме по изменению климата Бишкека

Температура воздуха. В период 1930–2030 гг. в Бишкеке наблюдается закономерное повышение средних годовых, средних месячных, абсолютных минимальных и максимальных температур воздуха. За эти 100 лет, согласно расчетам по линейным трендам, средняя годовая температура повысится на 2,7 °С (от 9,7 до 12,4 °С), средняя температура января повысится на 4,5 °С (от –5,4 до –0,9 °С), а средняя температура июля повысится только на 1,2 °С (от 24,3 до 25,5 °С). Это значит, что потепление, в основном, обусловлено сильным повышением температур в холодную половину года при слабом повышении в теплую половину года.

Как оказалось, основной вклад в сильное потепление средних температур воздуха в холодную половину года вносит повышение температур, наблюдающихся при экстремально холодных зимних погодных условиях и одновременное повышение температур, наблюдающихся при экстремально теплых зимних погодных условиях. Так, в январе абсолютные минимальные температуры повысятся на 9,3 °С (от –23,5 до –14,2 °С), а абсолютные максимальные температуры повысятся на 5,8 °С (от 9,5 до 15,3 °С).

Летние абсолютные минимальные и максимальные температуры также повысятся, но их повышение будет гораздо слабее, чем зимнее. Так, в июле абсолютные минимальные температуры повысятся на 1,8 °С (от 11,6 до 13,4 °С), а абсолютные максимальные температуры повысятся на 1,6 °С (от 36,9 до 38,5 °С). Такое гораздо менее значительное повышение максимальных летних температур, по сравнению с их зимними есть весьма благоприятный экологический фактор наблюдаемого потепления климата.

Таким образом, наблюдаемое в Бишкеке потепление климата происходит в основном в холодное время года и обусловлено, прежде всего, снижением суровости экстремально холодных погод этого периода года при одновременном повышении температур экстремально теплых погод этого периода.

Осадки. В течение 1930–2030 гг. в Бишкеке наблюдается закономерное повышение годовых сумм осадков. За эти 100 лет, согласно расчетам по линейному тренду, годовая сумма осадков увеличилась на 114 мм, от 385 мм в 1930 г. до 499 мм в 2030 г. или на 30 %. При этом основной рост осадков произошел в период стабильного мирового климата 1930–1975 гг. Такой заметный рост осадков на фоне наблюдавшегося повышения температуры воздуха явился положительным климатическим фактором, так как в значительной мере компенсировал происходящее повышение засушливости климата Бишкека.

По сезонам года, в период 1930–2030 гг., осадки наиболее интенсивно увеличивались зимой (на 54 мм от 62 до 116 мм), менее интенсивно весной (на 36 мм от 168 до 204 мм) и осенью (на 32 мм от 82 до 114 мм), при этом слабо уменьшались летом (на 13 мм от 74 до 61 мм).

Однако после 2000–2005 гг. наметилась хорошо выраженная тенденция к снижению годовых осадков, прежде всего, за счет снижения их весенних сумм. Это очень тревожный факт, так как, если эта тенденция продолжится и, тем более, усилится, то она быстро сведет на нет весь положительный эффект, полученный от предыдущего роста осадков.

Литература

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М: 2020. 97 с.
2. МГЭИК. 2014. Изменения климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп 1, 2 и 3 в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, Женева, Швейцария. 163 с.
3. *Подрезов О.А.* Изменение современного климата Северного, Северо-Западного Кыргызстана (температура и осадки 1930–2010 гг.) / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. 324 с.