

УДК 551.584.5; 551.582

Канд. техн. наук К.К. Дускаев¹
С.Т. Ахметова¹
А.Р. Сулейменова¹
Г.О. Оракова¹

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В ГОРОДЕ АЛМАТЫ

Ключевые слова: осадки, температура воздуха, аномалии, среднее квадратическое отклонение, дефицит осадков, норма

В данной работе рассмотрены особенности временного распределения основных климатических параметров (температуры воздуха и атмосферных осадков) в городе Алматы за период 1915...2014 годы. Одной из серьезных проблем человечества на сегодняшний день является глобальное изменение климата. Поэтому исследование временного хода температуры и осадков в настоящее время является одной из актуальных задач. Колебания температуры и количества осадков напрямую влияют на сток рек и, в общем, на гидрологический режим. В работе анализируются временной ход температуры воздуха и атмосферных осадков. Сопоставлены средние месячные значения температуры и осадков по десятилетиям. Рассчитаны средние квадратические отклонения температуры воздуха и определены крупные аномалии (величиной $1,5\sigma$). За рассматриваемые сезоны найдены годы с дефицитом осадков и с обильными осадками. Определено, что в последние десятилетия число положительных аномалий температуры увеличилось.

В последние десятилетия отмечается потепление климата, которое проявляется как в глобальном масштабе, так и на всей территории Казахстана. Повышение приземной температуры воздуха происходит также и в Алматы. Изменение климата оказывает влияние на многие природные процессы, в том числе на гидрологический режим рек. Поэтому важно выявить эти изменения и оценить, насколько они обусловлены такими характеристиками климата как температура воздуха и атмосферные осадки [2].

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

На территории Казахстана неравномерное распределение осадков и изменчивость температуры обусловлены большой широтной протяженностью и физико-географической неоднородностью. Местные резко континентальные условия определяют неустойчивость метеорологических величин, что влияет на многие отрасли экономики, особенно на сельское хозяйство, строительство, нефтегазовую промышленность. Знание тенденций их изменения позволяют выбрать оптимальную стратегию оперативной работы и уменьшить убытки, связанные с опасными перепадами температуры и с дефицитом или переизбытком осадков, а в некоторых случаях иметь ощутимую прибыль. За последнее десятилетие в мировой научной литературе широко обсуждается проблема изменения климата, как для отдельных районов, так и для всего земного шара.

Рельеф земной поверхности играет важную роль в распределении осадков. Характер изменения количества выпадающих осадков с высотой местности, как известно, имеет определенные закономерности, зависящие от экспозиции горных склонов относительно проходящих фронтальных разделов, крутизны склонов, высоты гор и т.д. [3, 5]. Основными факторами, определяющими температурный режим, тип и движение воздушных масс, развитие фронтальных процессов и атмосферных осадков для формирования любого земного климата, являются радиационные и циркуляционные условия. В то же время важно влияние атмосферной циркуляции, проявляющееся в сложном чередовании холодных и теплых воздушных масс, и их взаимодействии в разных сезонах.

Как известно, тепловая энергия лежит в основе всех атмосферных процессов и поэтому температура воздуха является одним из важнейших элементов погоды и климата. Термический режим воздуха формируется под влиянием как макромасштабных, так и местных факторов. К макромасштабным факторам относят атмосферную циркуляцию, радиационный режим и характер подстилающей поверхности, определяемые широтой местности, степенью континентальности и макрорельефом. Кроме них на термический режим оказывают влияние и местные условия: мезо- и микрорельеф, характер растительности и почв, близость водоемов и т. д., что приводит к сложной картине пространственно-временного распределения температуры. Эти факторы приводят к большому разнообразию температурных условий в Казахстане [12].

Город Алматы расположен в центре Евразийского континента, на юго-востоке Республики Казахстан, в предгорьях Илейского (Заилийско-

го) Алатау. Географические координаты: 77° в.д. и 43° с.ш. Алматы находится на одной параллели с такими известными городами как Гагры и Владивосток. Это такой же предгорный город как Душанбе или Ереван. Общая площадь города около 702 км². Он расположен в долине рек Большая и Малая Алматинка и их притоков, стекающих с ледников. Горные реки и озера – главный источник водоснабжения Алматы. Климат в городе резко-континентальный со значительными колебаниями температуры не только между сезонами, но и в течение суток [4].

Изучением аномалий температуры и осадков на территории Казахстана занимались такие ученые, как Чичасов Г.Н., Турулина Г.К., Боголюбова Е.В. [1, 9, 11]. В данной работе рассмотрен временной ход температуры и атмосферных осадков в г. Алматы за 100 лет. Для исследования взяты среднемесячные значения температуры воздуха и количество осадков для М Алматы за период 1915...2014 гг.

Изменчивость температуры воздуха и осадков является важным фактором. Она характеризуется следующими статистическими параметрами: аномалия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса. Статистические характеристики среднемесячных температур исследовались Чичасовым Г.Н. и другими учеными [6, 8]. Одна из основных характеристик изменчивости температуры и осадков – среднее квадратическое отклонение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n-1}}. \quad (1)$$

Этот показатель более удобен, чем дисперсия, поскольку он определяется средним отклонением. Среднее квадратическое отклонение показывает отклонение от среднеарифметического значения в вариационном ряду [7].

Для определения месяцев с дефицитом и избытком осадков используется общепринятая классификация. Дефицит осадков – (менее 80 %), нормальные условия осадков – (от 80 до 120 %), избыточное увлажнение (выше 120 %). Одной характеристики R_i недостаточно, также нужно знать вероятность события P :

$$P = \frac{R_i}{R} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где R_i – количество выпавших осадков за данный месяц, мм; R – среднее многолетнее количество осадков за данный месяц, мм.

Казахстан расположен в центре материка. Поэтому распределение осадков и температуры имеет свои особенности. Согласно исследованиям Утешева А.С., вынос теплых и холодных воздушных масс и циркуляция атмосферы при их взаимодействии в разных климатических условиях способствуют формированию осадков. Все это приводит к их большому разнообразию. Интенсивность сезонных и межгодовых колебаний температуры и осадков в Казахстане отличается большими суточными и годовыми амплитудами. Орографическое расположение города влияет на интенсивность и продолжительность осадков [10]. В настоящее время вследствие глобального потепления наблюдается изменение количества осадков.

Важным является исследование временного хода температуры. В табл. 1 даны средние значения сезонной температуры воздуха по десятилетиям за 1915...2014 гг.

Таблица 1

Средние значения температуры воздуха и атмосферных осадков по десятилетиям

Период	Зима		Весна		Лето		Осень	
	t , °С	R , мм	t , °С	R , мм	t , °С	R , мм	t , °С	R , мм
1915...1924	-5,7	29,2	9,7	83,5	22,1	37,3	10,2	36,8
1925...1934	-6,7	29,4	9,7	77,3	22,1	38,9	9,0	40,0
1935...1944	-5,5	31,0	9,9	80,7	22,6	33,2	9,1	46,3
1945...1954	-5,9	30,8	9,7	89,8	21,7	48,9	8,7	46,0
1955...1964	-4,8	34,0	9,5	104,2	22,1	47,2	9,3	39,8
1965...1974	-5,9	30,9	9,6	96,1	22,0	40,6	9,2	44,6
1975...1984	-4,7	34,9	10,2	91,1	22,6	38,0	9,2	50,4
1985...1994	-3,3	41,6	9,3	95,8	22,2	42,0	9,4	44,7
1995...2004	-2,9	42,1	10,4	93,9	22,8	50,7	10,4	47,9
2005...2014	-4,1	39,8	11,8	93,7	23,7	38,9	11,2	46,3

Согласно табл. 1, в последние десятилетия наблюдалось небольшое повышение температуры, особенно зимой. Например, если средняя температура в период 1925...1934 гг. год была -6,7 °С, то за последнее десятилетие она менялась от -2,9 °С до -4,1 °С. Такая же тенденция наблюдается и во временном ходе осадков.

Временной ход средней температуры воздуха и атмосферных осадков в г. Алматы за зимний сезон приведены на рис. 1. Средняя температура воздуха в зимнее время в течение 100 лет колебалась от -2,9 °С до -6,7 °С. В результате рассмотрения по десятилетиям мы видим, что в последние годы температура уменьшилась по сравнению с предыдущим десятилетием. Минимальные значения средней температуры воздуха в зим-

ний сезон наблюдались в 1925...1934 годах, а наибольшее значение в 1995...2004 годах. Количество атмосферных осадков менялось аналогично ходу температуры. Повышенным значениям температуры соответствует увеличение количества осадков. Атмосферные осадки колебались в пределах 29,2 и 42,1 мм. На рис. 1 видим, что в последние годы температура воздуха и атмосферные осадки уменьшились.

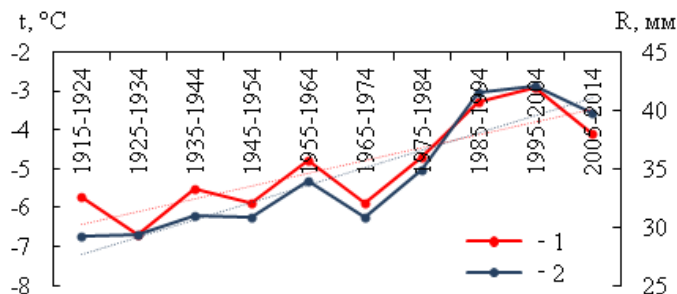


Рис. 1. Средние значения температуры воздуха (1) и атмосферных осадков (2) в зимний период по М Алматы.

На рис. 2 можно увидеть ход средней температуры и атмосферных осадков в г. Алматы за весенний период.

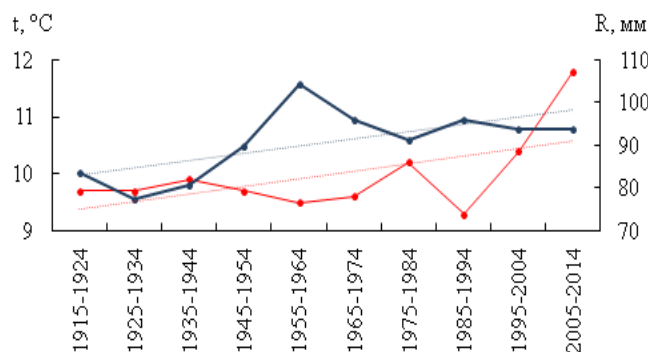


Рис. 2. Средние значения температуры воздуха и атмосферных осадков в весенний период по М Алматы. Усл. обозн. см рис. 1.

Согласно рис. 2, в весеннее время наблюдается увеличение температуры. Средняя температура воздуха весной была равномерно распределена до 6-го десятилетия (9,5...9,9 °С), затем несколько увеличилась в 7-м десятилетии (10,2 °С). Максимальные значения составляли 11,8 °С в 2005...2014 годах, а минимальное значение составляло 9,3 °С в период 1985...1994 годов. В этом десятилетии наблюдалась низкая средняя температура в марте, апреле и мае. Максимальное значение осадков в весеннее время составляло 104,2 мм (1955...1964 гг.). Минимальные значения –

77,3 мм в 1925...1934 гг. В последние 20 лет наблюдается незначительное уменьшение количества осадков.

В результате сравнения средних значений первого десятилетия с результатами последнего, наблюдается значительное повышение температуры.

На рис. 3 показан ход средней температуры и осадков в г. Алматы в летний период.

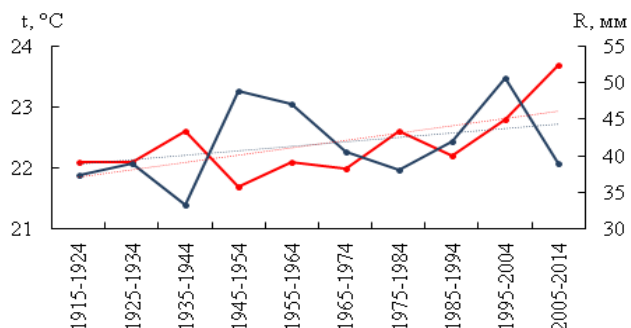


Рис. 3. Средние значения температуры воздуха и атмосферных осадков в летний период по М Алматы. Усл. обозн. см рис. 1.

Судя по средним значениям летнего сезона, температура повысилась, а количество осадков за последнее десятилетие резко сократилось.

Летом средняя температура воздуха изменилась за десятилетия в интервале 21,7...22,8 °С, в последнее десятилетие (2005...2014 гг.) наблюдалась максимальная средняя температура, которая составила 23,7 °С. Среднее минимальное значение температуры воздуха летом отмечалось в период 1945...1954 гг. и составило 21,7 °С. Количество атмосферных осадков выпадало неравномерно. В 1915...1924 гг. наблюдалось минимальное значение, которое составляло 37,3 мм, а максимальное значение в 1995...2004 гг. составляло 50,7 мм. Вероятнее всего, на фоне повышенной температуры воздуха в 2005...2014 гг. количество атмосферных осадков уменьшилось. В 1945...1954 и 1955...1964 годах соотношение между температурой и осадками было противоположным.

В осенний период значительных отклонений во временном ходе средних значений температуры воздуха и атмосферных осадков нет (рис. 4). Средняя температура воздуха изменялась с 8,7 °С (в 4-м десятилетии) до 11,2 °С (за последнее десятилетие). Наблюдается устойчивая тенденция повышения температуры с 1975...1984 гг. Средние значения осадков колеблются в интервале 36,8...50,4 мм. После 1975...1984 годов количество осадков уменьшилось, затем снова наблюдается рост и в последнее десятилетие снова идет спад.

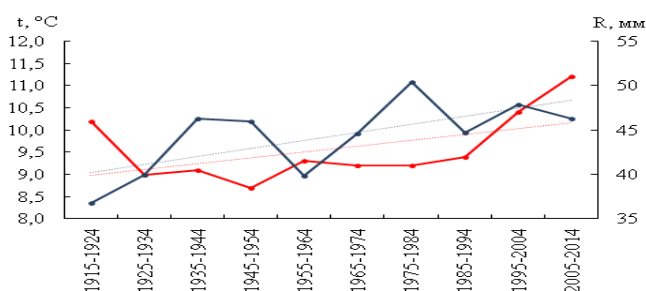


Рис. 4. Средние значения температуры воздуха и атмосферных осадков в осенний период по М Алматы. Усл. обозн. см рис. 1.

Долгосрочное прогнозирование аномалий осадков и температуры является одной из важнейших и сложных задач метеорологии. Аномалиям посвящены многие работы, в которых в основном исследуют синоптические методы долгосрочного прогнозирования.

В табл. 2 приведена повторяемость (число случаев) крупных положительных (N+) и отрицательных (N-) аномалий температуры воздуха для М Алматы.

Таблица 2

Число случаев с крупными положительными (N+) и отрицательными (N-) аномалиями температуры воздуха на М Алматы

Сезон															
зима				весна				лето				осень			
$ A_1 \geq \sigma$		$ A_1 \geq 1,5\sigma$		$ A_1 \geq \sigma$		$ A_1 \geq 1,5\sigma$		$ A_1 \geq \sigma$		$ A_1 \geq 1,5\sigma$		$ A_1 \geq \sigma$		$ A_1 \geq 1,5\sigma$	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
45	46	12	24	44	46	25	21	27	25	8	10	42	37	20	18

Крупные аномалии температуры воздуха распределены неравномерно. Самые высокие значения аномалий наблюдаются зимой и весной. Летом число аномалий выше среднеквадратического отклонения составляет 25...27. Если рассматривать по десятилетиям, то в первые десятилетия преобладало количество отрицательных аномалий (1915...1924, 1925...1934, 1935...1944, 1945...1954, 1955...1964), а положительные аномалии преобладали в течение последних десятилетий.

За исследуемый период были рассчитаны статистические характеристики температуры воздуха и осадков. В табл. 3 показаны значения

среднего квадратического отклонения температуры и осадков за исследуемый период, рассчитанные по формуле (1).

Таблица 3

Среднее квадратическое отклонение температуры воздуха и осадков

Месяц	σ_T	σ_R
Январь	2,9	14,1
Февраль	3,5	15,9
Март	2,7	30,8
Апрель	1,9	47,2
Май	1,6	43,9
Июнь	1,4	33,2
Июль	1,2	24,9
Август	1,3	19,5
Сентябрь	1,5	20,1
Октябрь	2,0	34,1
Ноябрь	2,8	24,5
Декабрь	3,5	18,9

Согласно табл. 3, максимальное значение среднего квадратического отклонения температуры в феврале и декабре составило 3,5, а минимальное значение в июле составляло 1,2. Среднее квадратическое отклонение уменьшается от холодного периода к теплomu, что указывает на снижение изменчивости температуры. Максимальное среднее квадратическое отклонение осадков в апреле составляло 47,2, а минимальное значение в январе – 14,1.

Для всех сезонов года по формуле (2) было определено общее количество случаев с дефицитом и избытком осадков (табл. 4).

Таблица 4

Количество избыточно увлажненных и засушливых случаев по сезонам года

Сезон	Дефицит	Избыточное увлажнение
зима	119	69
весна	110	87
лето	119	97
осень	130	89

Из данных табл. 4 видно, что дефицит осадков наблюдается во все сезоны года, особенно осенью. Значение избыточного увлажнения самое высокое летом.

Опираясь на анализ средних многолетних значений температуры и осадков, можно дать достоверный прогноз погоды в будущем.

Температура и осадки являются теми климатическими параметрами, от которых напрямую зависит речной сток. В горных районах за счет

увеличения зимних осадков увеличиваются снегозапасы, что приводит, в условиях повышения температуры воздуха, к увеличению стока в весенний период. Повышение температуры воздуха не столь существенно, чтобы привести к значительно более раннему оттаиванию почвогрунтов и, как следствие, к увеличению потерь стока в период весеннего половодья. В целом можно сказать, что при увеличении осадков и температуры сток рек увеличивается и наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголюбова Е.В., Балтабаева Д.Б. Пространственно-временная статистическая структура поля месячных сумм осадков на территории Казахстана летом // Гидрометеорология и экология. – 2003. – №4. – С. 43-50.
2. Вердиев Р.Г. Водные ресурсы рек Восточного Кавказа в условиях изменения климата. – Баку: 2002. – С. 46-50.
3. Жексенбаева А.К. Статистические характеристики осадков в Северном Казахстане // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2016. – №5. – С. 80-84.
4. Климат Казахстана / под ред. Утешева А.С. – Л.: Гидрометиздат, 1959. – С. 189-289.
5. Кожаметова Э.П. О точности воспроизведения температуры и осадков глобальным климатическим архивом CRU TS 2.1 на территории Казахстана // Вестн. КазНУ. Серия эколог. – 2013. – Т. 1, №2. – С. 78-84.
6. Крышнякова О.С., Малинин В.Н. Анализ трендов температуры воздуха и осадков на Европейской территории России // География: наука и образование в системе «общество – школа – университет»: Матер. междунар. науч.-прак. конф., Санкт-Петербург, Россия, 2007 – Санкт-Петербург, 2007. – С. 240-243.
7. Садоков В.П., Дмитриева Л.Р., Кузнецова Н. Н., Акимов И.В. Анализ временной и пространственной структуры среднего квадратического отклонения количества осадков в Республике Казахстан и прилегающих районах // Тр. Гидрометцентра России. – 2001. – № 336. – С. 94-106.
8. Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н., Федунова Т.М. Многолетние данные по осадкам и атмосферной засушливости для территории Северного Казахстана // Тр. Гидрометцентра России. – 2001. – №336. – С. 107-115.
9. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Изменчивость экстремальных температур воздуха на территории Казахстана // Современные тенденции и закономерности в развитии географической науки в

Республике Казахстан: Матер. междунар. науч.-прак. конф., Алматы, Казахстан, 2010. – Алматы, 2010. – С. 106-112.

10. Чередниченко А.В. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ. – Алматы, 2013. – С. 36-37
11. Чичасов Г.Н. О пространственно-временной структуре крупных аномалий термического режима в Казахстане // Тр. КазНИИ. – 1987. – №96. – С.47-63
12. Cherednichenko A.V. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years // Quaternary International journal. [Электрон. ресурс]. – 2015. – URL: <http://www.elsevier.com/locate/quaint> (дата обращения 20.08.2018).

Поступила 12.07.2018

Техн. ғылымд. канд. К.К. Дускаев
 С.Т. Ахметова
 А.Р. Сулейменова
 Г.О. Оракова

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫ БОЙЫНША АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ

Түйін сөздер: қарқынды жауын-шашындар, ауа температурасы, ірі аномалия, орташа квадраттық ауытқу, жауын-шашынның тапшылығы, норма

Мақалада Алматы станциясы бойынша ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның 1915...2014 жылға дейінгі уақыттық таралу ерекшеліктері қарастырылған. Бүгінде адамзаттың негізгі проблемаларының бірі климаттың жаһандық өзгеруі болып табылады. Сонғы жылдарда бүкіл әлемде байқалған катаклизмдердің динамикасының өсуі ғалымдар, саясаткерлер, кәсіпкерлердің алаңдаушылығын тудырады. Соңдықтан, ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның уақыттық жүрісін зерттеу қазіргі таңда жаһандық өзекті міндеттерінің бірі болып табылады. Температураның және жауын-шашынның ауытқуы өзендердің ағыны мен жалпы гидрологиялық режимге тікелей әсер етеді. Бұл жұмыста сонымен қатар, ауа температурасы мен жауын-шашындардың уақыттық жүрістері қарастырылды. Оңжылдықтар бойынша температура мен жауын-шашынның орташа айлық мәндері салыстырылды. Ауа температурасының орташа квадраттық ауытқуы есептелініп, ірі аномалиялары (1,5 σ шамасымен) анықталды. Барлық берілген жыл

мезгілдері бойынша атмосфералық жауын-шашынның тапшы, аса ылғалды жылдары табылды. Соңғы онжылдықтарда ауа температурасының оң таңбалы аномалия жағдайлар саны көбейгені анықталды.

Duskaev K.K., Akhmetova S.T., Suleymenova A.R., Orakova G.O.

DYNAMICS OF CHANGING AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE ALMATY CITY

Keywords: precipitation, air temperature, anomalies, standard deviation, precipitation deficit, normal

The article considers the features of the temporal distribution of main climatic characteristics (air temperature and atmospheric precipitation) in the city of Almaty for 1915...2014. Today, one of the major problems of mankind is global climate change. The growth of the dynamics of cataclysms, which has been observed recently in the whole world, causes serious concern of scientists, politicians, businessmen. Therefore, the study of the time course of temperature and precipitation is currently one of the urgent problems. Fluctuations in temperature and precipitation directly affect river flow and, in general, the hydrological regime. Also, the work considers the time course of air and precipitation temperature. Mean monthly values of temperature and precipitation are compared for decades. The mean square deviations of the air temperature are calculated and large anomalies ($1,5 \sigma$) are determined. For all the seasons in question, years have been found with a deficit of rainfall and abundant rainfall. It is determined that in recent decades the number of positive temperature anomalies has increased.