

УДК 551 (510.53:590.21:510.4)

РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

К.А. Каримов, Р.Д. Гайнутдинова

*Институт физико-технических проблем и материаловедения
Национальной академии наук Кыргызской Республики,
Кыргызская Республика, Бишкек
karkaz@rambler.ru, epfk@rambler.ru*

Представлен анализ долгопериодных климатических изменений приземной температуры в Центральноазиатском регионе. Показано, что процесс похолодания в регионе начался в 2005 году. Полученная эмпирическая модель регионального изменения температурного режима нижней атмосферы в Центральной Азии свидетельствует о процессе похолодания в приземном слое атмосферы, обусловленном влиянием солнечной активности, определяющей температурный режим всего земного шара.

Ключевые слова: атмосфера, температура, солнечная активность, климат.

Введение

Вопросам регионального климата и причинам его изменения в последние годы специалистами стало уделяться особое внимание. Эта проблема была одной из основных тем обсуждения на Международной научной конференции «Региональные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды», организованной Росгидрометом [11]. До этого вопрос о региональных проблемах изменения климата так широко практически не поднимался, обсуждались только вопросы, связанные с глобальным изменением климата и причинами его изменения [6].

В [4] показано, что в регионе Центральной Азии в последние 10 лет происходит медленный процесс похолодания. По европейской территории отмечается процесс небольшого потепления и даже его стабилизации после 2005 г. По данным [12], вклад парниковых газов в процесс потепления составляет 20–25 % и не является доминирующим фактором. Эта же идея была высказана еще в 2000 году, и было показано, что техногенный фактор не является доминирующим в изменении климата [5]. На этот факт также указывал академик РАН В.М. Котляков, который подчеркнул, что основную роль в изменении климата Земли играют изменения притока солнечной радиации на Землю, которая зависит от уровня солнечной активности и вариаций солнечной постоянной [3].

1. Влияние солнечной радиации, уровня солнечной активности и интенсивности космических лучей на изменения климата

Основные доминирующие факторы, ответственные за естественные колебания температуры атмосферы, в первую очередь связаны с падающей на земную поверхность прямой солнечной радиацией, прозрачностью атмосферы, альbedo подстилающей поверхности Земли. Радиационный баланс R на земной поверхности [2] состоит из поглощающей части прямой солнечной радиации F и рассеянной радиации J , а также излучения земной атмосферы B_0 :

$$R = F(1-r) + J(1-r) - B_0, \quad (1)$$

где r – альbedo.

К этим трем основным членам уравнения радиационного баланса можно добавить и другие немаловажные члены, учитывающие действия других факторов, такие как $A_{азр}$ (атмосферный аэрозоль); $A_{кл}$ (космические лучи); A_{adv} (адвективный фактор); $A_{астр}$ (астрономический фактор); A_{oa} (взаимодействие океана с атмосферой); A_{CO_2} (антропогенный фактор, связанный с выбросами в атмосферу углекислого газа CO_2).

Сгруппировав эти члены по характеристикам нагревания и охлаждения атмосферы, выражение (1) можно записать в виде:

$$R = F(1-r) + J(1-r) - B_0 - A_{азр} - A_{кл} \pm A_{adv} \pm A_{астр} + A_{oa} + A_{CO_2}. \quad (2)$$

Из полного уравнения радиационного баланса видно, что в первую очередь он связан с прямой солнечной радиацией F и рассеянной радиацией J . При выявлении причин долгопериодных изменений температурного режима нижней атмосферы необходимо проводить скользящее сглаживание с 11-летним интервалом осреднения. Соответственно, фактически полная величина F_n должна определяться интегрированием за 11-летний и последующие временные периоды измерений:

$$F'_n = k \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt. \quad (3)$$

Здесь t_1 и t_2 – временные интервалы осреднения.

На рис. 1 приведена зависимость полного интеграла прямой солнечной радиации F_n от 11-летних циклов, рассчитанного через радиоизлучение Солнца на длине волны 10,7 см. Площади, очерченные кривой линией, соответствуют вариациям солнечного параметра $F_{10,7}$. Эта величина определяется интегрированием на временном интервале $(t_1 - t_2)$ между максимумами и минимумами 11-летней солнечной активности.

Уменьшение величины F_n происходит не только за счет уменьшения амплитуды солнечных циклов, но и за счет их длительности Δt .

Вычисления величины F_n проводились с 1985 по 2012 г. для 22, 23 и еще не завершеного 24-го цикла солнечной активности и вероятный прогноз F_n до 2025 года.

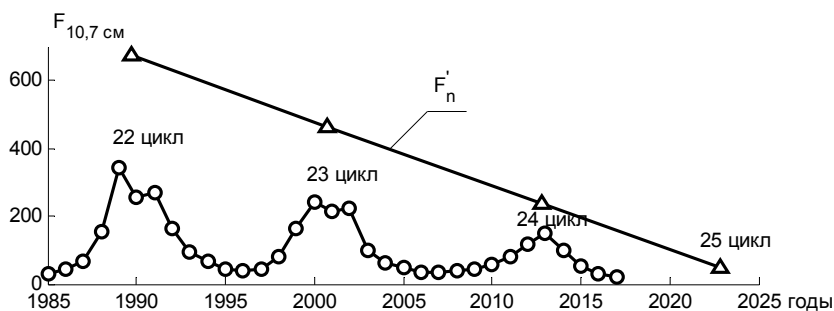


Рис. 1. Изменения прямой солнечной радиации и параметра $F_{10,7}$.

Рассмотрим, каким образом будет происходить ответ климатических изменений на снижение уровня солнечной активности. На этот вопрос ответили климатологи из Великобритании [16]. Поток солнечной энергии на верхней границе атмосферы определяется солнечной константой S с допустимыми пределами $\pm 0,25\%$. В этих пределах может варьировать полный поток солнечной энергии, поступающий на Землю. Электромагнитный спектр Солнца близок к абсолютно черному телу. В этом смысле излучаемая Солнцем энергия описывается законом Стефана – Больцмана. Полное излучение Солнца определяется выражением

$$J_s \approx \sigma T_s^4 \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^2, \tag{4}$$

где $T_s = 5770$ К (6043 °С); $J_s = (36061$ Вт/м²); R_0 – радиус Солнца; R_1 – расстояние от Земли до Солнца. Величина R_0 изменяется до $0,02\%$ за 10 лет, изменения магнитного поля Солнца также влияют на изменение R_0 . На R_1 влияют крупные планеты в Солнечной системе.

Мощность солнечной энергии, поступающей на единицу земной поверхности, определяется из уравнения баланса радиационной энергии выражением:

$$P = \sigma T_s^4 - G + \gamma, \tag{5}$$

где G – отраженное, излучаемое Землей инфракрасное (тепловое) излучение; γ – часть энергии, поглощенная Землей.

Преобразуя посредством дифференцирования уравнение баланса солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, можно получить выражение:

$$P_s = 4\sigma T_s^3 \Delta T_s + \Delta \gamma. \tag{6}$$

В величину ΔT_S входят все изменения в солнечной активности – это изменения величин R_0 , R_1 , магнитного поля Солнца, количества пятен на Солнце. Изменение солнечной активности является определяющим фактором в изменении климата. Эту идею разделяют многие ученые, занимающиеся проблемой изменения климата.

Космические лучи (КЛ), проходя через тропосферу, способствуют формированию облачности в тропосфере. В [10] были проведены оценки вклада КЛ в изменения температурного режима приземной атмосферы. Было показано, что за отдельные периоды, характеризующиеся аномально высокими значениями энергии КЛ (осенью 2011 года), величина их вклада в понижение температуры приземной атмосферы составляла 15–20 %. В 2008 г. наблюдался аномально высокий всплеск интенсивности потока космических лучей с энергией выше 7×10^{-4} Mev/nuc. При этом произошло резкое падение приземной температуры в среднем на 3 °С, что в процентном соотношении составляет 30 % [10]. В этот период было отмечено увеличение доли облаков вертикального развития и верхнего яруса. Таким образом, космические лучи могут оказывать управляющее действие на образование облачности, а через нее – и на температурный режим приземной атмосферы.

2. Роль адвективного фактора и атмосферного аэрозоля в изменениях приземной температуры

Оценка вклада адвективного фактора в изменения температурного режима приземной атмосферы была проведена на примере анализа развития циркуляционных процессов в атмосфере Центральной Азии (ЦА) [6, 7]. В 2011 году в регионе Кыргызстана было аномально холодное лето, понижение приземных температур от $+(25-30)$ °С до $+(5-10)$ °С, выпадение снега, связанные с северными холодными вторжениями. Похолодания отмечались от Западной Сибири до Таджикистана и Афганистана, охватывая практически всю территорию ЦА. Подобные процессы с выносом холодных арктических масс воздуха на средние широты региона ЦА через Западную Сибирь отмечались и в осенне-зимний период 2012 г., что также привело к резкому падению температуры в регионе ЦА. Анализ данных метеонаблюдений и карт погоды в периоды северных холодных вторжений над регионом ЦА в теплый период года показал, что эти процессы развивались по ультраполярной траектории, что и обусловило распространение холода на всю территорию ЦА. При этом вынос холодных арктических масс воздуха осуществлялся напрямую с Карского моря через Западно-Сибирскую низменность на регион ЦА. Столь резкое похолодание неоднократно приводило к выпадению снега на обширной территории от Казахстана до Афганистана.

Таким образом, вынос холода из арктических широт в регион Центральной Азии в весенне-летний и осенне-летний периоды может приводить к понижению приземной температуры примерно в два раза. Эти процессы показывают влияние адвективного атмосферного фактора на

изменение радиационного баланса приземной атмосферы [6, 7, 17]. В данном случае величина его вклада в изменения радиационного баланса достигала 40–50 % и была доминирующей по сравнению с другими факторами.

В нижней атмосфере на высотах 1–3 км находится максимум концентрации незаряженных аэрозолей, которые под действием КЛ способны конденсировать на себе водяные пары и образовывать нижний ярус облачности. Известно, что нижняя облачность составляет примерно 40 % от общей облачности и обладает самым высоким альбедо, соизмеримым и даже больше общей отражательной способности парниковых газов. По данным таджикских ученых, в периоды повышенного загрязнения атмосферы над Таджикистаном происходит понижение приземной температуры на 2 °С относительно среднего значения 13,8 °С, что составляет около 15 % [1]. Эти данные хорошо согласуются с данными лидарных измерений аэрозоля в Кыргызстане на ст. Теплоключенка [9].

Таким образом, можно говорить о среднем вкладе аэрозольного фактора в величину похолодания приземной атмосферы. При этом если вклад аэрозольного фактора в радиационный баланс R оценивается в 15–17 %, то вклад других факторов, к примеру CO_2 , оценивается на уровне 20 %, а средний вклад космических лучей за короткий период времени оценивается в 12–15 %. Таким образом, в различные периоды времени разные факторы могут вносить свой определенный вклад в радиационный баланс земной атмосферы. Но при этом изменения солнечного фактора являются постоянно действующими, медленно изменяющимися во времени.

Значительный вклад в изменения температурного режима приземного слоя атмосферы вносит альбедо подстилающей поверхности, коэффициент которого в некоторых случаях может изменяться от 0,3 до 0,9 единиц. Этот параметр также меняется во времени. Так, к примеру, вырубка лесов, кустарников, опустынивание, изменение высоты и площади снежного покрова, загрязнение океана и т. д. влияют на этот параметр. Фактическое нагревание земной поверхности экспериментально определяется актинометрическими измерениями или величиной инсоляции. Эти измерения показывают, что по всему Северному полушарию процесс изменения климата имеет далеко не однородную структуру. Это указывает на то, что есть регионы, отличающиеся по уровню потепления, как с повышенным, так и с низким его значением.

Российские специалисты представили карты распределения падающей солнечной радиации по территории Северного полушария, включая детальную карту для Российской Федерации и стран СНГ за 2012 год [11]. По этим картам видно четкое отличие количества притока тепла, падающего на европейскую территорию до Уральского хребта (положительные значения) и на территорию за Уральскими горами (нулевые и даже отрицательные температуры). Из этого следует, что на европейской территории в 2012 г. отмечался процесс потепления, а на азиатской территории от Уральских гор до Тихого океана отмечался процесс похолодания.

По нашим данным [6, 7], подобная ситуация наблюдалась на азиатской части территории летом 2011 г. В августе 2011 г. по Центральноазиатскому региону от Западной Сибири до Таджикистана отмечалось резкое похолодание, не характерное для летнего периода. При этом «язык холода» охватил регион всей Центральной Азии вплоть до Афганистана.

В регионе Поволжья после 2008 года отмечается спад скорости потепления до нулевых значений. Это также указывает на то, что в Среднем Поволжье после 2008 года происходит медленный процесс похолодания [11].

3. Управляющая роль солнечной активности в региональных и глобальных изменениях температуры

Сравнение вариаций солнечной активности и приземной температуры после исключения из них составляющих с периодами менее 11 лет убедительно показывает высокий уровень зависимости долгопериодных колебаний приземной температуры от изменений солнечной активности. В период с 1920 г. по 2000–2005 гг., по данным сети метеостанций Кыргызстана, в вариациях приземной температуры наблюдался медленный процесс потепления со скоростью от +0,008 до +0,01 °C/год, т. е. среднепериодная температура за 100 лет повысилась на 0,8–1,0 °C. Отмечался медленный процесс потепления, хотя вполне вероятно, что эта величина укладывается в статистические флуктуации измеряемой величины. Самые теплые годы в прошлом столетии пришлись на 1995–1998 гг.

По нашим результатам исследований и данным, полученным в Великобритании [13], с 2002–2005 гг. по настоящее время в Северном полушарии идет медленный процесс охлаждения атмосферы. По данным исследований в Великобритании, начиная с 2002 г. идет процесс похолодания со скоростью 0,0085 °C/год. Как видно, процесс похолодания идет с той же скоростью, что и потепление за предшествующие годы.

На рис. 2 приведены три кривые изменений приземной температуры: среднегодовой (рис. 2 а) и за холодное полугодие (XI, XII, I, II месяцы) по МС Бишкек (рис. 2 б) и вариации глобальной среднегодовой температуры (рис. 2 в) по данным Центра по изучению климата в Лондоне [13].

На рис. 2 а приведены изменения сглаженной по 11 годам приземной среднегодовой температуры воздуха по ст. Бишкек за период с 1980 по 2011 г. Отмечается медленный спад среднегодовой температуры и небольшие ее флуктуации. На рис. 2 б приводятся данные за холодное полугодие, где виден более резкий спад температуры. На рис. 2 в в вариациях глобальной температуры видно, что после 2002 г. начался процесс похолодания.

Общим для всех трех рисунков является то, что начиная с 2002–2003 гг. отмечается понижение приземной температуры. Так, по данным МС Бишкек скорость потепления до 2003 г. составляла +0,4 °C/10 лет, а после 2003 г. охлаждение атмосферы составило

-0,5 °C/10 лет. По данным вариаций глобальной среднегодовой температуры, полученным в Центре по изучению климата в Лондоне, скорость потепления составляла +0,2°C/10 лет, а после 2002 года скорость охлаждения составила -0,085 °C/10 лет. Как видно, скорость регионального похолодания по ст. Бишкек на порядок ниже средней скорости глобально-го похолодания. Данные, приведенные на рис. 2 б, указывают на то, что процесс похолодания в холодное полугодие по данным МС Бишкек начинается с 2003 г. и происходит значительно быстрее среднегодового охлаждения, протекая со скоростью от -1,5 °C/10 лет до -2,5 °C/10 лет.

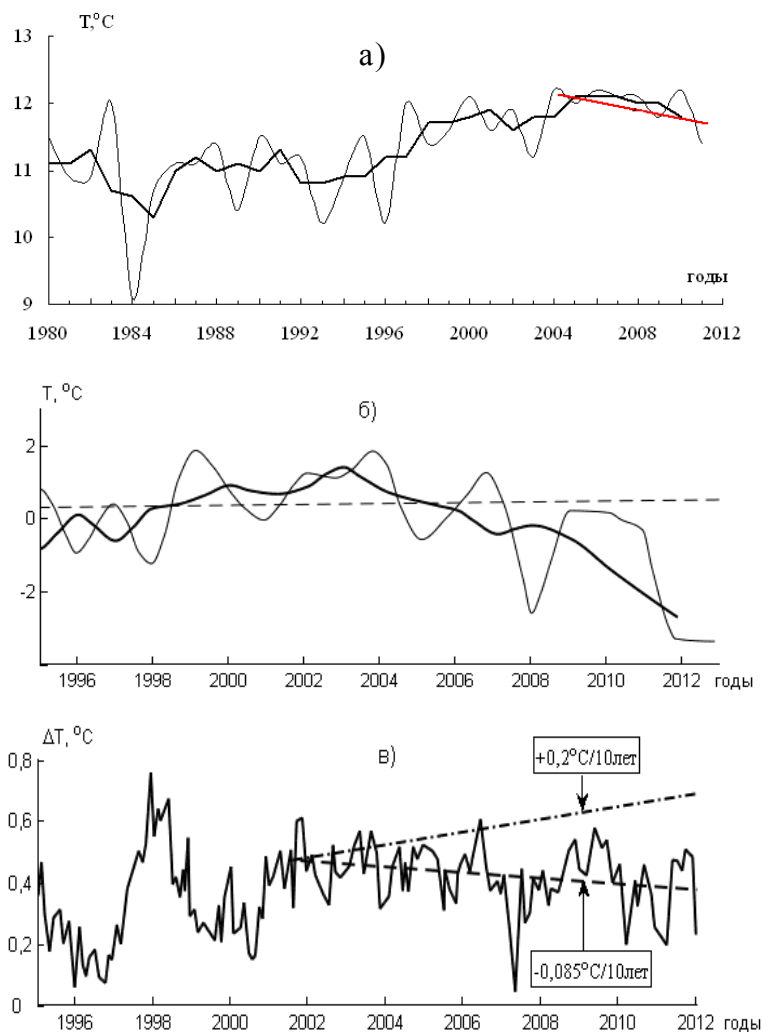


Рис. 2. Многолетние вариации среднегодовой приземной температуры воздуха (а); аномалий температуры за холодное полугодие по МС Бишкек (б); глобальной среднегодовой температуры по данным Центра исследования климата в Лондоне (в).

Известно, что в настоящий период времени в вариациях температуры приземной атмосферы доминирует 60-летняя периодическая составляющая. По нашим расчетным данным, амплитуда 60-летней периодичности составляет около $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ с максимумом амплитуды, приходящимся на 1995 г. [7]. К 2025 г. только за счет амплитуды 60-летней составляющей произойдет снижение среднегодовой приземной температуры на $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом антропогенный фактор, связанный с ростом CO_2 , повысит температуру на $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2), при этом произойдет повышение температуры за счет влияния поверхностной температуры вод океанов приблизительно на $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Итак, в целом повышение температуры за счет антропогенного фактора произойдет примерно на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то же время за счет влияния 60-летней составляющей произойдет ее понижение на $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В целом только за счет этих двух факторов произойдет понижение температуры. По нашим данным, как в вариациях солнечной активности, так и приземной температуры существует вековая составляющая с периодом 95 лет и максимумом, приходящимся на 1993–1995 гг. Амплитуда вековой составляющей приблизительно равна $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а следующий ее минимум ожидается в 2040 г. Это еще более усугубит процесс похолодания приземной атмосферы в период с 2025 по 2040 г. Фактически солнечная активность в 24-летнем цикле и далее пойдет на спад. Ожидается, что в течение последующих 200 лет она начнет медленно и заметно снижаться, соответственно будет понижаться и приземная температура. К 2025–2040 гг. солнечная активность будет минимальна, а амплитуды 60 и 95-летней составляющих будут находиться в минимуме.

Подтверждение наших фактов мы находим в исследованиях рабочей группы австралийских ученых [13], которые показали, что в 24 и 25-летнем циклах солнечной активности произойдет долгопериодное понижение температуры, которое продлится 200 лет. По их данным, понижение глобальной температуры произойдет в среднем на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ от 2007 к 2025 году. По нашим данным понижение температуры за аналогичный период может составить $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Разница между падающей солнечной радиацией от ближайшего солнечного максимума в 1970 г. до минимума в 2013 г. составила 80–90 ед. чисел Вольфа W . В пересчете на мощность поток солнечного излучения, полученный с 2002–2003 гг. по настоящее время, уменьшился на $0,16\text{ Вт/м}^2$. А к 2025–2030 гг. мощность солнечного излучения уменьшится на $0,18\text{ Вт/м}^2$. Известно, что до Земли доходит 60–65 % солнечной радиации, 35–40 % отражается обратно в космос. В пересчете на мощность излучения поглощенная часть ориентировочно составит $3,35\text{ Вт/м}^2$, а отраженная часть – $1,17\text{ Вт/м}^2$.

С учетом этих фактов можно ожидать, что к 2025–2030 гг. произойдет снижение мощности солнечного излучения на $0,18\text{ Вт/м}^2$. Полная величина падающего на Землю потока солнечной радиации снизится до $3,17\text{ Вт/м}^2$.

4. Роль океана в изменении приземной температуры воздуха

Доминирующую роль в формировании тенденции понижения приземной температуры (изменения климата) играет не только понижение солнечной активности, но и динамика нагревания или охлаждения океана на $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. На первом этапе понижение солнечной активности и океан будут играть доминирующую роль, поскольку $2/3$ земной поверхности покрыто океаном, а его теплоемкость во много раз больше теплоемкости суши. В течение десятка лет на поверхность океана будет поступать меньше солнечного тепла, и в какой-то период времени поверхностная температура океана значительно снизится. Это в свою очередь приведет к повышенному поглощению океаном CO_2 и, соответственно, к уменьшению парникового эффекта.

Известно, что поверхностная температура океана зависит от солнечной активности [15]. Так, в периоды максимума солнечной активности рост поверхностной температуры океана достигает $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в периоды минимальной активности он опускается до нулевых и даже отрицательных отметок. Из этих данных можно определить среднюю скорость нагревания или охлаждения океана, которая, согласно вышеприведенным данным, составляет $\pm 0,017\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Суммарное воздействие всех парниковых газов на радиационный режим атмосферы, по данным английских ученых, меньше $1,17\text{ Вт}/\text{м}^2$ [13]. Эта величина потепления может компенсироваться понижением температуры за счет аэрозольного загрязнения и космических лучей, вклад которых оценивается величинами от $-0,6$ до $-1,3\text{ Вт}/\text{м}^2$.

5. Оценка степени вклада различных факторов в изменения приземной температуры воздуха

В ряду факторов, оказывающих определенное влияние на радиационный баланс поступающей на Землю тепловой энергии, можно выделить два класса факторов. Первый – это фактор, имеющий долгопериодные периодические составляющие с периодами более 10–15 лет. Второй фактор – это короткопериодные составляющие, действующие в течение периодов от месяца до года. К короткопериодным факторам можно отнести воздействие космических лучей, адвективный атмосферный и астрономический факторы.

К долгопериодным факторам относятся: солнечное воздействие, взаимодействие океан-атмосфера, антропогенный фактор. Оценка степени вклада всех вышеуказанных факторов в изменение температурного режима приземной атмосферы приведена в таблице.

Суммарный эффект воздействия долгопериодных факторов, связанных со снижением уровня солнечной активности, интегрируется за рассматриваемый период времени и приводит к существенным долгопериодным изменениям температурного режима приземной атмосферы [18].

Таблица. Результаты оценок степени вклада различных факторов в изменения приземной температуры воздуха

Факторы	Степень вклада
Поглощенная солнечная радиация	50–60 %
Рассеянная солнечная радиация	40 %
Излучение земной атмосферы	10–15 %
Альбедо	20–80 %
Взаимодействие океан-атмосфера	$\pm 0,017$ °C/год
Солнечные циклы	0,25 % – перепад солнечного излучения от max до min в 11 и 22-летние циклы
Атмосферный аэрозоль	15–17 %
Адвективный фактор	40–50 % – периодически в зависимости от времени года и региона
Антропогенный фактор	20–25 % – в зависимости от сезона года
Космические лучи	15–20 % – периодически
Космические факторы	наклон земной оси, планеты Солнечной системы и др.

Вклад аэрозольной и космической компонент может достигать 15–20 %, т. е. практически компенсировать приток тепла от парниковых газов, а в отдельных случаях и превзойти его. Так, к примеру, космические лучи могут опосредованно влиять на образование нижней облачности на высотах ниже 3 км. Нижняя облачность составляет примерно 40 % от общей облачности и обладает самым высоким альбедо. Отражательная способность облаков порядка 15–20 Вт/м² и соизмерима с вкладом парниковых газов в нагревание приземной атмосферы. Таким образом, космические лучи могут оказывать управляющее действие на облачность, а через нее – и на температурный режим приземной атмосферы [10].

Другим и, пожалуй, самым существенным фактором является адвективный фактор, связанный с переносом холода с арктических широт на средние широты. В зимний и летний периоды 2011 г. он достигал 50 % и тем самым практически в два раза перекрывал влияние вышеперечисленных факторов.

Существенное влияние на климат оказывают океаны и океанические теплые течения типа Гольфстрим, а также периодически появляющиеся течения Эль-Ниньо и Ла-Ниньо [11]. Есть еще и астрономические факторы, влияющие на долгопериодные изменения климата. К ним относятся общеизвестные циклы Миланковича, прецессия земной оси, влияние на земную атмосферу крупных планет солнечной системы Юпитера и Сатурна. Астрономические факторы, как правило, имеют большие периодичности – более 100 лет [3].

Разложение Фурье сглаженных по 3 и 11 годам температурных рядов по ст. Каракол (Пржевальск) длительностью 120 лет и по ст. Бишкек (Фрунзе) длительностью 80 лет позволило нам выделить в них долгопериодные составляющие с периодами 12, 35, 50–55 и 90–95 лет. Наиболее

значимыми по амплитуде оказались периодичности в 22 года, 50–55 лет и 90–95 лет, с амплитудами 0,6–0,8 °С. Для каждой амплитуды была определена своя начальная фаза колебания. Максимум амплитуды (50–55)-летней составляющей пришелся примерно на 2002–2005 гг. В настоящее время идет спад этой амплитуды, и очередной минимум температуры ожидается в 2027–2030 годах.

Из этих данных можно заключить, что в настоящий период происходит процесс медленного похолодания. Какие факторы приводят к изменению приземной температуры с периодичностью около 50–55 лет – этот вопрос пока остается открытым. Высказываются мнения о влиянии возмущающей силы крупных планет в Солнечной системе, таких как Юпитер и Сатурн.

Другое мнение, противоположное точке зрения о влиянии астрономического фактора, сводится к влиянию происходящих в мантии Земли глубинных процессов [11]. В мантии происходят активные процессы, приводящие к возмущениям с периодичностью 50–55 лет, которые, распространяясь через глубины океана, достигают поверхности Земли. Эти возмущения в последующем приводят к появлению сейсмоактивных зон на дне океана, активизация которых может порождать мощные цунами, приводящие к катастрофическим последствиям на побережье. Подобные аномалии происходят примерно 1 раз в 50 лет. Как было отмечено выше, природа происхождения возмущений в земной мантии с периодами около 50 лет пока остается открытой.

6. Связь долгопериодных вариаций приземной температуры с солнечной активностью

Рассмотрим связь долгопериодных вариаций приземной температуры с вековыми колебаниями солнечной активности. На рис. 3 приведены вариации выделенной вековой составляющей солнечной активности в числах Вольфа и аномалий приземной температуры за холодное полугодие по МС Бишкек за период с 1935 по 2011 г. после исключения из них составляющих с периодами менее 11 лет. Коэффициент корреляции между ΔW и ΔT равен 0,82. Максимумы амплитуд в вариациях солнечной активности опережают максимумы в периодических составляющих температуры на 2,5–3 года.

Анализ данных роста концентрации CO_2 в атмосфере (по данным станции Иссык-Куль) и изменений среднегодовой приземной температуры (по МС Бишкек) показывает, что среднегодовая температура начиная с 2005 г. стабилизировалась на уровне 12,1 °С. Аналогичное, но более выраженное изменение отмечается и для холодного полугодия, когда средняя температура в 2011–2012 гг. составляла 0,5–1,0 °С, и дальнейшего роста температуры до 2010 г. не отмечается. За этот же период отмечен непрерывный рост концентрации CO_2 в атмосфере [8]. Эти же результаты в виде отрицательной корреляции $r = -0,5$ между изменениями концентрации CO_2

и приземной температуры T ($^{\circ}\text{C}$) отмечены и по результатам анализа измерений температуры в г. Душанбе [1]. Данные изменений концентрации CO_2 (ст. Иссык-Куль) и температуры по ст. Бишкек приведены на рис. 4.

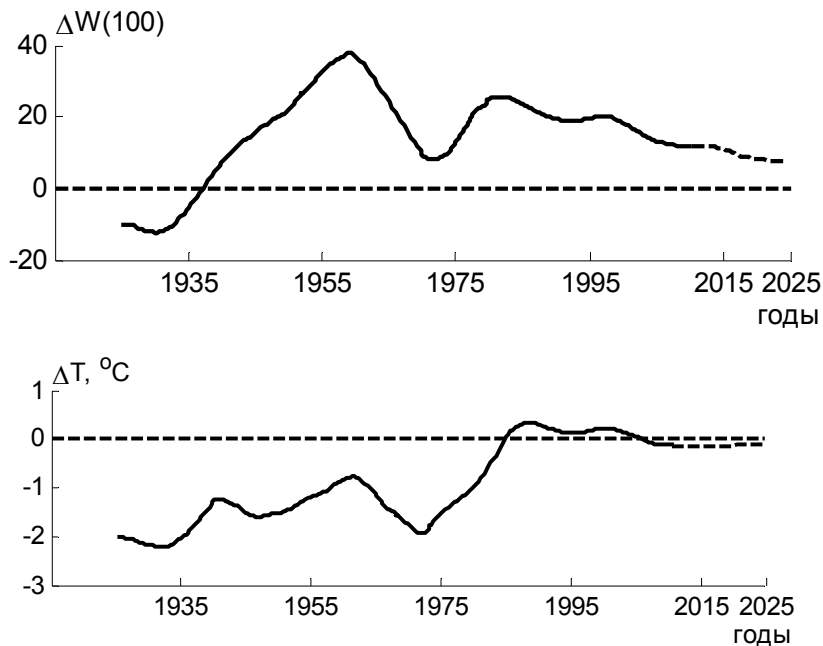


Рис. 3. Вариации вековой составляющей солнечной активности и аномалий приземной температуры за холодное полугодие по ст. Бишкек с 1935 по 2011 г.

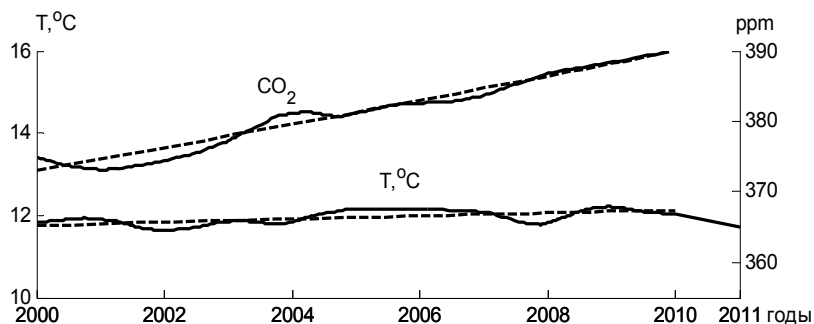


Рис. 4. Изменения концентрации CO_2 в атмосфере по ст. Иссык-Куль и приземной среднегодовой температуры по ст. Бишкек.

Рассмотрим влияние солнечной активности на температурный режим нижней атмосферы. Хорошо известно, что период малого ледникового периода на Земле с 1650 по 1750 г. совпал с известным Маундеровским

минимумом в солнечной активности. После этого начался рост солнечной активности, максимум векового цикла отмечался с 1985 по 1995 г. В солнечных циклах доминируют цикличности с периодами 11–13, 21–23, 35–42, 55–60 и 85–100 лет. Эти же периодичности синхронно выделяются и в климатических вариациях параметров нижней атмосферы, что указывает на реально существующую связь изменений приземной температуры с солнечной активностью, о чем отмечено в [8]. Здесь же было показано, что до 70 % антропогенных загрязняющих веществ находятся в слое атмосферы 1,2 км. Можно считать, что основное нагревание атмосферы сосредоточено в нижних слоях, преимущественно в приземном слое, что согласуется с последними работами океанологов.

Очередная фаза потепления в естественном фоновом цикле глобальных изменений температуры, наблюдаемая с 1985 по 2005 г., повторяется через каждые 55–60 и 90–95 лет. Причины последних 60-летних колебаний температуры связывают с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца. Период с 2000 по 2005 г. характеризовался беспрецедентно высоким уровнем солнечной активности за последние 400 лет. Максимум потепления в нижней атмосфере совпал с максимумом солнечной активности. При этом коэффициент корреляции r между приземной температурой и солнечной активностью был равен 0,82.

После этого периода солнечная активность начинает спадать. По прогнозам специалистов, в 2025–2030 гг. ожидается ближайший минимум векового цикла солнечной активности со спадом активности до уровня, отмечавшегося в 17 веке (минимум Маундера). Как было показано, скорость изменения величины потепления после 2005 года начала спадать, и с учетом только природного солнечного фактора величина изменения приземной температуры будет снижаться, т. е. будет происходить постепенное похолодание.

7. Эмпирическое моделирование климатических изменений приземной температуры

Проведем эмпирическое моделирование региональных климатических изменений приземной температуры над Центральной Азией. Рассмотрим на основе эмпирического моделирования одновременное действие на изменение климата этих двух факторов, влияющих в различной степени на температуру приземной атмосферы на разных временных интервалах. В основу эмпирического моделирования положены долгопериодные составляющие в вариациях температуры приземной атмосферы и параметра солнечной активности с периодами более 11 лет, выделенные методом вейвлет-преобразования [6].

Проведем суммирование амплитуд долгопериодных колебаний температуры с учетом фазы колебаний соответствующей составляющей. На рис. 5 приведена сглаженная составляющая, равная сумме амплитуд вышеперечисленных гармоник:

$$\Sigma \{A_{22}(\varphi) + A_{35}(\varphi) + A_{55}(\varphi) + A_{90}(\varphi)\}$$

с учетом начальной фазы колебаний (кривая с индексом 3) за период с 2010 до 2030 г. Эта результирующая линия «3» в большей степени отражает учет природного фактора солнечного происхождения. Данные результаты отражают тот факт, что уровень солнечной активности после 2000–2005 гг. резко пошел на спад.

В то же время не исключается действие антропогенного фактора. На рис. 5 линия с индексом «1» отражает долгопериодные изменения температуры, обусловленные антропогенным фактором. Суммарное действие природного (линия «3») и антропогенного (линия «1») факторов представлено на рис. 5 пунктирной линией с индексом «2». Как было отмечено ранее (рис. 4), температура по данным МС Бишкек с 2005 по 2010 г. стабилизировалась с тенденцией к небольшому похолоданию в дальнейшем.

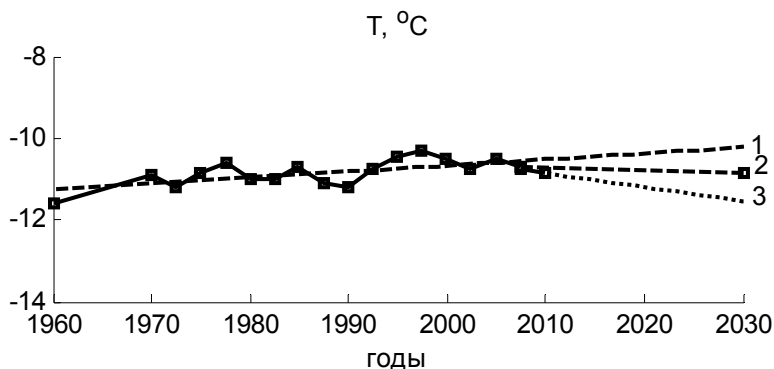


Рис. 5. Вариации приземной температуры с 1960 по 2010 г. по ст. Бишкек (зима). Пунктиром дан прогноз до 2030 г.

Результирующая кривая «2» является продолжением дальнейших изменений температуры после 2010 г., при этом отмечается тенденция к дальнейшему похолоданию до 2030 года. Подобные результаты были получены в [14], где проанализированы аналогичные данные с учетом парниковых газов и других факторов.

Заключение

Показано, что параметры климатических характеристик Центрально-азиатского региона существенно разнятся от аналогичных характеристик в Европейском регионе. В Западно-Сибирском и Центральноазиатском регионах в последние 10–15 лет идет медленный процесс похолодания. Существенную роль в нем играют меридиональный (адвективный) вынос холодных масс воздуха с арктических широт.

В настоящее время в научных кругах идет активная дискуссия по поводу глобального потепления, поскольку современные модели климата

несовершенны и не учитывают ряд факторов. В последние 10–15 лет среднеглобальная температура приземной атмосферы стабилизировалась, и далее отмечена тенденция к ее понижению. Ранее аналогичные результаты получены нами по Центральноазиатскому региону в 2005 году.

Действие на климатическую систему внешних астрономических и геофизических факторов сводится к изучению изменчивости светимости Солнца, положения орбиты Земли и других планет в солнечной системе и т. д., что в конечном счете сводится к изучению радиационного баланса на земной поверхности. Одним из астрономических факторов являются космические лучи. Известно, что при минимуме солнечной активности интенсивность космических лучей максимальна. Космические лучи в нижней атмосфере служат центрами конденсации водяных паров, приводящих к дополнительному возрастанию облачности среднего яруса.

Показано, что 60-летняя периодичность в вариациях температуры приземной атмосферы обусловлена положением Юпитера в солнечной системе. В настоящем столетии доминирует 60-летняя составляющая, минимум амплитуды которой придется на 2025–2030 гг., при этом ее средняя амплитуда колеблется на уровне 0,5–0,6 °С.

К другой группе факторов, влияющих на формирование температурного режима приземной атмосферы, относятся внутренние и геофизические факторы. Одним из них является адвективный фактор, связанный с меридиональным выносом воздушных масс с арктических широт в средние широты. Вынос холода с арктических широт в Центральноазиатский регион может изменить температуру приземной атмосферы на 50 %. Это свидетельствует о существенном вкладе адвективного фактора в радиационный баланс приземной атмосферы, которым никак нельзя пренебрегать.

Полученная эмпирическая модель регионального изменения температурного режима нижней атмосферы в Центральной Азии свидетельствует о процессе похолодания в приземном слое атмосферы, обусловленном влиянием солнечной активности, определяющей температурный режим всего земного шара.

Поступила в редакцию 21.09.2017 г.

Список использованных источников

1. *Абдуллаев С.Ф. и др.* Исследования аэрозольности загрязнения атмосферы и результаты пылевых бурь и его влияние на изменение климата. // Труды. Междунар. конф. «Влияние глобального изменения климата на экосистемы средней и высокогорной зоны Центральной Азии». Душанбе, 2012. С. 214–217.
2. *Будыко М.И.* Климат конца двадцатого века: // Метеорология и гидрология. 1988. № 10. С. 5–24.
3. *Изменение* окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том 3. Часть 2. Природные процессы в полярных областях Земли I // под ред. акад. В.М. Котлякова. М.: ИГЕМ РАН, 2012.
4. *Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д.* Вариации солнечной постоянной и температурный режим нижней атмосферы // Доклады НАН КР. 2014. № 1. С. 38–43.

5. Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д. Изменения регионального климата, обусловленные природными и антропогенными факторами // Экология Кыргызстана: проблемы, прогнозы, рекомендации / под ред. проф. К.А. Каримова. Илим; Бишкек, 2000. С. 66-81.
6. Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д. Основные факторы изменения регионального климата в Центральной Азии // Труды Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. С. 12-16.
7. Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д. Роль природных и антропогенных факторов в изменение температурного режима нижней атмосферы и солнечная активность. // Известия НАН. 2012. № 2. С. 62-69.
8. Каримов К.А., Жунушова Г.Ш. Характеристики нижней атмосферы над Кыргызстаном и их связь с солнечной активностью. Бишкек, 2011. 158 с.
9. Каримов К.А., Чен Б.Б. Вклад солнечного излучения, аэрозоля и космических лучей в региональные изменения климата // Физика, Бишкек. 2013. № 2. С. 33-43.
10. Каримов К.А., Гайнутдинова Р.Д., Крылов С.В. Связь температурного режима нижней атмосферы с вариациями солнечной активности и интенсивностью космических лучей // Вестник КГУСТА. 2011. № 3(33). С. 168-172.
11. Тезисы докладов Международной научной конференции по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. 363 с.
12. Шерстюков Б.Г. Факторы изменений и колебаний климата // Тезисы докладов Международной научной конференции по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Казань, 2012. С. 231.
13. Gregory K. Climate Change Science. Calgary, Alberta, Canada, 2013. 114 p.
14. Hansen J., Sato M. Greenhouse gas growth rates // Proc. Natl. Acad. Sci. 2004. Vol. 101. P. 16109-16114; doi:10.1073/pnas.040698101.
15. Living with a Star: New Opportunities in Sun-Climate Research // Report of the NASA LWS Sun-Climate Task Group. NASA 2003. 52 p.
16. Lockwood M. Solar change and climate: an update in the light of the current exceptional solar minimum // Proc. R. Soc. A. 2010. Vol. 466. P. 303-329. doi:10.1098/rspa.2009.0519.
17. Karimov K.A. Atmospheric mechanisms of admixters transfer above Central Asia region: methods of control and results of monitoring // Proceedings of SPIE/International Conference on Lasers, Applications and Technologies, USA. 2006. Vol. 6284. P.628403.
18. Karimov, K.A., Gainutdinova, R.D. Regional atmospheric changes caused by natural and anthropogeneous factors // Proceedings of NATO ARW «Global Atmospheric Change and its Impact on Regional Air Quality», Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, NATO Science Series: IV. Earth and Environmental Sciences. 2003. Vol. 16. P. 209-213.

SUMMARIES

Role of different physical factors in long-term changes of surface temperature / Karimov K.A., Gainutdinova R.D. // Proceedings of Hydrometcentre of Russia. 2017. Vol. 366. P. 121-136.

The analysis of long-term changes of surface air temperature in the Central Asia region is presented. It is shown that cooling process in this region began in 2005. The obtained empirical model of the regional change of lower atmosphere temperature regime in the Central Asia is indicative of the process of cooling in the surface air layer caused by the influence of solar activity, which determines the temperature regime of the globe as a whole.

Keywords: atmosphere, temperature, solar activity, climate change.