

Izmenchivost klimata Sredney Azii [Climate Variability in Central Asia] / Subbotina O.I., Chanysheva S.G. i dr. - Tashkent: SANIGMI. - 1995. - 216 s. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Calendar of types of synoptic processes in Central Asia]. Vyp. 5. – 2010-2022 gg., Tashkent, 2022. (in Russian)

Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam Vypusk 3. Chast 1. Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh. [Manual for hydrometeorological stations and posts Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. (in Russian)

Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR]. Seriya 3, Vyp.19, kniga 2– L.: Gidrometeoizdat, 1989. - 349 s. (in Russian)

Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Sredney Azii. Pod red. Dzhuraeva A.D. Chanyshevoy S.G., Subbotinoy O.I. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. - 336 s. (in Russian)

Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote dolgosrochnaya issledovatel'skaya programma monitoringa eolovoy pochvennoy erozii v Sredney Azii [Research Report Long-Term Research Program for Monitoring Aeolian Soil Erosion in Central Asia] (CALTER – Project №516721). - Tashkent, 2009 – 84 s. (in Russian)

Smirnova E.N., Chanysheva S.G. Opasnye meteorologicheskie yavleniya v Uzbekistane [Dangerous meteorological phenomena in Uzbekistan].- Tashkent: NIGMI.-2007. - 160 s. (in Russian)

Shardakova L.Yu., Akhmedova A.R., Rakhmatova N.I., Nishonov B.E. Prostranstvenno-vremennoy analiz pylnykh bur v Priaralye za 2010-2021 gody [Spatio-temporal analysis of dust storms in the Aral Sea region for 2010-2021]. //Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushchey sredy.- 2022.- № 4.- S. 90-99. (in Russian)

Chetvertoe Natsionalnoe Soobshchenie ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan [Fourth National Communication on Climate Change of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent. - 2024. – 275 s. (in Russian)

Electronic resources:

Reshenie 14-y sessii Konferentsii Storon KBO OON [Decision of the 15th session of the COP UNCCD] - ICCD/COP(14)/17. https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-07/ICCD_COP%2814%29_17-1910488R.pdf (in Russian)

Reshenie 15y sessii Konferentsii Storon KBO OON [Decision of the 15th session of the COP UNCCD]. - ICCD/COP(15)/21. https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/ICCD_COP%2815%29_21-2203197R.pdf (in Russian)

Sand and Dust Storms in Asia and the Pacific: Opportunities for Regional Cooperation and Action, ESCAP, 2018. URL: https://www.unescap.org/sites/default/files/UNESCAP%20SDS%20Report_1.pdf

УДК 551.510.5

ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРЕ ВАРИАЦИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

М.Л. АРУШАНОВ^{1*}, М. АЛАУТДИНОВ²

¹Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru

²Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Аннотация. Предпосылки возможного влияния вариаций солнечной активности на динамику концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосфере, имеющего максимум в спектре поглощения солнечного излучения в ультрафиолетовой области (190-220 нм), совпадающий с максимумом в спектре поглощения озона, стали предметом исследования гипотетической связи между концентрацией SO_2 и числами Вольфа (W). Действительно, результаты исследования

* Ответственный автор: mikl-arushanov@rambler.ru, тел. +998 90 9976146

показали наличие статистической связи между W и концентрацией SO_2 в атмосфере, полученной на основе корреляционного, вейвлет и спектрального анализов. Проведённый причинный анализ показал, что W и концентрация SO_2 связаны не только статистически, но и причинно-следственной зависимостью (функция причинности $\gamma(\Delta t) < 1$ в диапазоне временных сдвигов $\Delta t = -10 \div +15$ лет), т.е. динамика концентрации SO_2 физически обусловлена вариациями солнечной активности, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Поскольку основными поставщиками диоксида серы в атмосферу являются вулканическая деятельность и антропогенная составляющая, физический механизм влияния вариаций солнечной активности на содержание SO_2 в атмосфере остается открытым. Одна из рабочих гипотез причинной зависимости динамики концентрации SO_2 от вариаций солнечной активности может быть основана на взаимодействии в газовой фазе озона с сероводородом с образованием диоксида серы: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Ключевые слова: диоксид серы, озон, солнечная активность, числа Вольфа, корреляционный анализ, спектральный анализ, вейвлет анализ, причинный анализ.

Введение. Диоксид серы SO_2 – это газ, загрязняющий атмосферный воздух, состоящая из двух элементов – серы и кислорода. Источником SO_2 в атмосфере является вулканическая деятельность и антропогенная составляющая (сжигание нефти, дизельного топлива, угля). Естественное загрязнение атмосферы серой в два раза меньше антропогенного. По сравнению с основными газовыми составляющими атмосферы (азот, кислород, аргон и углекислый газ) диоксид серы занимает несравненно меньший объём. Концентрация в атмосфере SO_2 из-за различных природных и антропогенных источников может повышаться, что приводит к серьезным последствиям для людей, растений и экосистемы в целом.

Диоксид серы имеет максимум в спектре поглощения солнечной радиации в ультрафиолетовой области (190-220 нм), т.е. совпадает с максимумом в спектре поглощения озона. Поэтому диоксид серы, помимо негативных функций, выполняет и положительные – ослабляет влияние парниковых газов (диоксид углерода, метан) на рост температуры атмосферы, а также предотвращает возникновение и развитие онкологических заболеваний кожи человека.

Несмотря на малую концентрацию диоксида серы в атмосфере, он оказывает большое влияние на окружающую среду. Так, SO_2 ограничивает рост растений, повреждает листья, а при высокой концентрации в атмосфере вступает в реакцию с атмосферной влагой, образуя кислотное соединение, ответственное за кислотные дожди, разрушающие свойства почвы. Поэтому, всестороннее изучение динамики концентрации оксида серы во взаимосвязи с воздействующими на него факторами, представляется актуальной проблемой.

Максимум в спектре поглощения солнечной радиации диоксидом серы, совпадающим с максимумом поглощения озоном в ультрафиолетовом диапазоне, с одной стороны, и взаимодействие в газовой фазе озона с сероводородом с образованием диоксида серы ($H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$), с другой стороны, приводит к гипотезе зависимости динамики концентрации SO_2 от вариаций солнечной активности.

В последние десятилетия научное сообщество всё дальше и дальше уходит от прямолинейного толкования антропогенного фактора (главным образом CO_2), как причины наблюдаемого глобального потепления, а приходит к пониманию того, что динамика климата планеты, прежде всего, определяется динамикой внешних (астрономических) факторов [Арушанов, 2023, 2023; Crutzen, 2006; Израэль, 2005; Kasatkina et al., 1996; Касаткина и др., 1999], а антропогенный фактор является сопутствующим. Такая перемена взгляда на причины наблюдаемого глобального

потепления прямо следует из анализа палеоклиматических реконструкций: концентрация «парниковых» газов, аналогичная современной эпохе, достигала максимальной величины в периоды межледниковья [Арушанов, 2023, 2010; Petit et al., 1999]; глобальное потепление с конца XX века не является экстремально аномальным в динамике климатической системы, т.к. она на планете Земля испытывала более высокие значения температуры около 1000 лет назад (900-1300 гг.) во время «средневекового климатического оптимума» [Арушанов, 2023; Soon, Baliu-nas, 2003; Клименко и др., 2001; Keigwin, 1996].

Материалы и методы исследования. Данные о содержании диоксида серы (мг/м^3) за период с 1990 по 2023 годы были взяты из базы данных Узгидромета, как среднемесячные для каждого месяца года по г. Ташкенту. За тот же период были выбраны данные о вариациях солнечной активности (числа Вольфа), представленные в свободном доступе на сайте Мирового Центра Данных по Солнечно-Земной Физике: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html>.

Для анализа обусловленности динамики концентрации SO_2 в атмосфере вариациями солнечной активности были применены следующие методы:

– аппарат корреляционного анализа – вычислялась кросскорреляционная функция, как функция временного сдвига [Дженкинс, Ваттс, 1972]:

$$R(k) = \frac{\sum_{t=k}^{N-k} X_t Y_{t+k} - \frac{\sum_{t=k}^{N-k} Y_t \sum_{t=k}^{N-k} X_{t+k} Y_{t+k}}{N-k}}{\sqrt{\left[\sum_{t=k}^{N-k} Y_t^2 - \frac{\sum_{t=k}^{N-k} Y_t^2}{N-k} \right] \left[\sum_{t=k+1}^N X_t^2 - \frac{\sum_{t=k+1}^N X_t^2}{N-k} \right]}}. \quad (1)$$

– спектральный и взаимный спектральный анализ – вычислялись спектральные плотности $S(f)$ диоксида серы SO_2 и чисел Вольфа W , как разложение полной дисперсии временного ряда по различным частотным составляющим с оценкой косинус-преобразования Фурье выборочной автокорреляционной функции [Дженкинс, Ваттс, 1972]

$$S(f_j) = \frac{1}{\pi} \left[w_o r_o + 2 \sum_{k=1}^N w_k r_k \cos(f_j k) \right], \quad f_j = \frac{\pi j}{N}, \quad (2)$$

где: r_k – автокорреляционная функция, w_k – веса, f_j – частоты, и их спектр когерентности $K(f)$

$$K(f) = \frac{r_{XY}^2(f)}{S_X(f)S_Y(f)}. \quad (3)$$

В (3) $r_{XY}^2(f)$ – мера корреляции между $X(t)$ и $Y(t)$ на частоте f ;

– вейвлет анализ временных рядов X, Y – вычислялись амплитудные вейвлет функции (AWF)

$$W_A(a, b) = \frac{1}{n(a, B)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k(t) \times \mathcal{G}^* \left(\frac{t_k - b}{a} \right), \quad (4)$$

где: $\mathcal{G}^*\left(\frac{t_k - b}{a}\right)$ – материнская комплексно-сопряженная вейвлет функция (функция

Морле), $n(a, b) = \sum_{k=0}^{N-1} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t_k - b}{a}\right)^2}$, t_k – временные отсчеты реализаций временного ряда $f = f(t_k)$, заданного с шагом Δt :

$$f = f(t_k), t_k = \Delta t \cdot k, \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1, \quad (5)$$

a_i ($i=0, 1, \dots, N_a - 1$), b_j ($j=0, 1, \dots, N_{ab} - 1$) – дискретное множество значений аргументов функции (4): $a_{min} = \frac{2\Delta t}{\sqrt{2}}$, $a_{max} = \frac{(N-1)\Delta t}{\sqrt{2}}$, $\Delta a = \frac{a_{max} - a_{min}}{N_a - 1}$, $a_i = a_{min} + \Delta a$; параметр b :

$b_{min} \geq 0; b_{max} \leq (N-1)\Delta t$, $\Delta b = \frac{b_{max} - b_{min}}{N_b - 1}$, $b_j = b_{min} + \Delta b \cdot j$ и интегральный спектр энергии

$G(a_i)$ – скейлограмма:

$$G(a_i) = \frac{1}{N_b} \sum_{j=0}^{N_b-1} S(a_i, b_j). \quad (6)$$

В (6) $S(a_i, b_j) = |W_A(a_i, b_j)|^2$;

– аппарат причинного анализа [Арушанов, Коротаев, 1994] – вычислялась функция причинности $\gamma(k)$, как функция временного сдвига k , в предположении причинной обусловленности динамики SO_2 вариациями солнечной активности

$$\gamma(k) = \frac{H(X)_k H(Y|X)_k}{H(Y)_k H(X|Y)_k}, \quad 0 \leq \gamma \leq \infty. \quad (7)$$

где: $H(X)$, $H(Y)$, $H(Y|X)$, $H(X|Y)$ – условные и безусловные энтропии, построенные по временным рядам X и Y . Если $\gamma < 1$, то функция находится в области нормальной причинности (процесс X является причиной, а процесс Y – следствием); если $\gamma > 1$, то функция находится в области обращённой причинности (процесс Y – причина, процесс X – следствие); при $\gamma = 1$ – оба процесса причинно не связаны.

В вышеприведённых формулах переменная X обозначает числа Вольфа, а переменная Y – концентрацию SO_2 .

Основные результаты и их обсуждение. Результаты расчётов функций согласно (1)-(7), характеризующих возможную обусловленность динамики концентрации диоксида серы в атмосфере вариациями солнечной активности, приведены на рис. 1. и рис. 2. Выдвинутая гипотеза указанной обусловленности, как следует из рис. 1, реализуется в процессах динамики SO_2 . Действительно, спектры колебаний обоих переменных очень близки (рис. 1б), во всём диапазоне временных сдвигов кросскорреляционная функция остаётся в области значимости с максимум корреляции $R=0,58$ для $k=-1$, т.е. реакция динамики SO_2 на вариации солнечной активности происходит с запаздыванием (рис. 1в), значимая когерентность ($K(0,091)=0,4$), имеющая смысл квадрата коэффициента корреляции, в взаимном спектре когерентности диоксида серы и чисел Вольфа приходится на основной цикл колебаний солнечной активности – 11 лет (рис. 1д). И наконец, один из самых информативных показателей причинной связи исследуемых

переменных – функция причинности, находится в области нормальной причинности ($\gamma < 1$) в диапазоне временных сдвигов $k = -11 \div +15$ лет, что однозначно показывает обусловленность динамики концентрации SO_2 в атмосфере вариациями чисел Вольфа (рис. 1г).

Кроме того, на частоте, соответствующей периоду 11 лет экстремальные колебания амплитудной вейвлет функции и чисел Вольфа и концентрации диоксида серы, остаются достаточно устойчивыми на всём временном масштабе. В интегральном спектре энергии вейвлет преобразования, помимо основного 11-ти летнего цикла, для обоих разложений присутствует обертоном 11-ти летнего цикла – 4-х летний (рис. 2).

Таким образом, выполненный анализ динамики временных рядов чисел Вольфа и концентрации диоксида серы с использованием современных методов исследования наличия (отсутствия) причинной зависимости одного процесса от другого на основе всех используемых в работе показателей однозначно подтвердил обусловленность динамики концентрации диоксида серы в атмосфере вариациями солнечной активности.

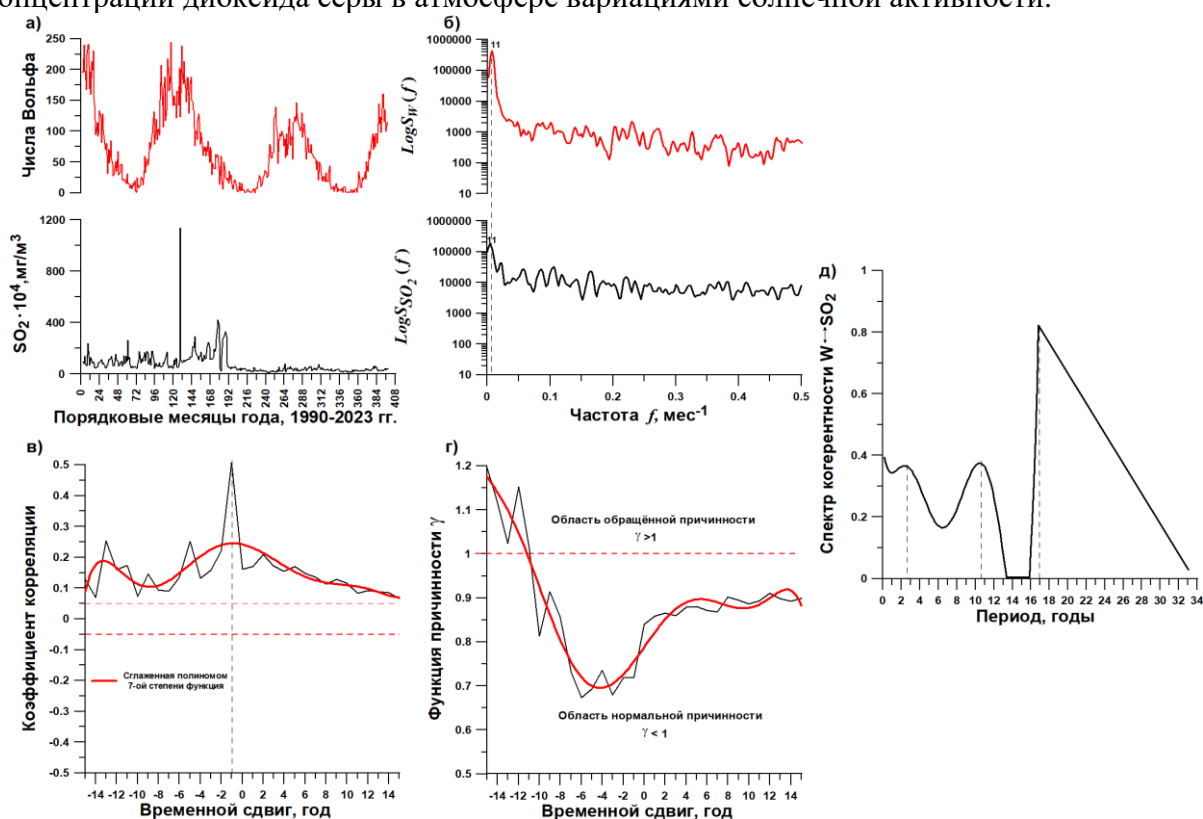


Рис. 1. Временной ход чисел Вольфа и концентрации диоксида серы на периоде времени 1990-2023 годы (а), их спектральные плотности (б), кросскорреляционная функция, как функция временного сдвига (в), аналогично – функция причинности (г) и спектр когерентности $W \leftrightarrow SO_2$ (д)

Fig 1. Time course of Wolf numbers and sulfur dioxide concentration over the time period 1990-2023 (a), their spectral densities (б), cross-correlation function as a function of time shift (в), similarly – causality function (г) and coherence spectrum $W \leftrightarrow SO_2$ (д)

Заключение. Диоксид серы – непрямой парниковый газ, в больших концентрациях очень токсичен и опасен для здоровья человека и негативно влияет на растения, обладает и положительными характеристиками, ослабляя воздействие ультрафиолетового

излучения на человека, предохраняет его от онкологических заболеваний кожи. В атмосфере ослабляет влияние парниковых газов (диоксид углерода, метан) на рост температуры атмосферы.

Указанные свойства диоксида серы ставят задачу глубокого исследования его динамики, в том числе, воздействующих на неё факторов. Как было показано в данной статье, одним из таких факторов является воздействие на концентрацию диоксида серы вариаций солнечной активности. Физико-химический механизм такого воздействия остаётся открытым, а те гипотезы, которые были выше изложены в связи с взаимодействием в газовой фазе озона с сероводородом в реальных условиях с образованием диоксида серы, требуют строгого обоснования.

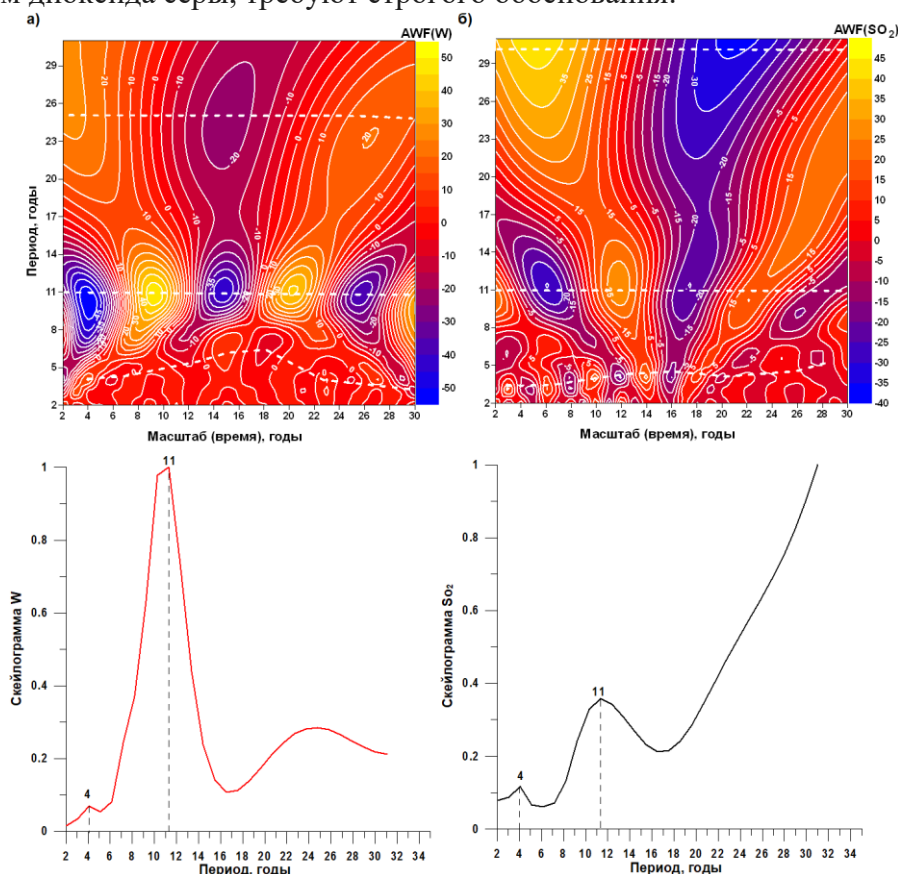


Рис. 2. Амплитудная вейвлет функция чисел Вольфа (а) и концентрации диоксида серы (б) и их интегральный спектр энергии – скейлограмма (внизу), соответственно.

Примечание: штриховая белая линия – степень устойчивости колебаний AWF во времени на фиксированной частоте; числа над пиками – периоды в годах.

Fig. 2. Amplitude wavelet function of the Wolf numbers (a) and sulfur dioxide concentration (b) and their integral energy spectrum - scalogram (below), respectively

Note: dashed white line – degree of stability of AWF oscillations over time at a fixed frequency; the numbers above the peaks are periods in years.

Вклад авторов: М.Л. Арушанов: методы анализа причинной обусловленности процессов, редакция статьи. М. Алаутдинов: постановка задачи, формирование базы данных, написание текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Арушанов М. Л. Динамика климата. Космические факторы. – Hamburg: Lambert Academic Publishing (LAP). – 2023. – 152 с.
- Арушанов М. Л. Причины изменения климата Земли, как результат космического воздействия, развевающие миф об антропогенном глобальном потеплении // German International Journal of Modern Science №53. – 2023. – Р. 4-14.
- Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере // Метеорология и гидрология, №6. –1994. – С. 15-22.
- Арушанов М. Л. Климатический спектр планеты Земля. – Ташкент: НИГМИ, 2010. – 160 с.
- Дженкинс Г, Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Т2. – М.: Мир, 1972. – 287 с.
- Израэль Ю.А. Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы. – Метеорология и гидрология, № 10. – 2005. – С. 5-9.
- Касаткина Е. А., Шумилов О. И., Ващенко Э. В. Корпускулярная активность Солнца как источник аэрозолей в стратосфере // Космические исследования, Т. 37, № 2. – 1999. – С. 163-167.
- Клименко В. В., Климанов В. А., Сирин А. А., Слепцов А. М. Изменение климата на западе европейской части России в позднем Голоцене // ДАН. География, т. 376. – 2001. – С. 679-683.
- Crutzen P. J. Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma? – Climatic Change, V. 77. – 2006. – Р. 211-219.
- Keigwin L. D. The little ice age and medieval warm period in the Sargasso Sea. – Science, V. 274. –1996. – Р. 1504-1508.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I. et. al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. – Nature, V. 399. 1999. – Р. 429-436.
- Shumilov O.I., Kasatkina E.A., Raspopov O.M., Hansen T., Frank-Kamenetsky A.V. SC-triggered pulsations at high latitudes and their sources in the magnetosphere // Journal of Geophysical Research, V. 101, No A8. – 1996. – Р. 17355-17363.
- Soon W., Baliunas S. Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years. – Climate Research, V. 23. – 2003. – Р. 89-100.

**ОЛТИНГУГУРТ ДИОКСИДИНИНГ АТМОСФЕРАДАГИ КОНЦЕНТРАЦИЯСИ
ЎЗГАРИШ ДИНАМИКАСИНИНГ ҚУЁШ ФАОЛЛИГИ ЎЗГАРИШИГА
БОҒЛИҚЛИГИ**

М.Л. АРУШАНОВ¹, М. АЛАУТДИНОВ²

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети.

Аннотация. Қуёш фаоллиги (Вольф сонлари W) тебранишларининг олтингугурт диоксида (SO_2) концентрацияси ўзгариш динамикасига мумкин бўлган таъсирларини ўрганиш (атмосферада қуёш радиация спектрида SO_2 нинг ультрабинафша диапазонга (190-220 нм) тўғри келадиган ютиш максимуми озонни ютиш максимумига тўғри келади) ушбу ишнинг мақсадидир. Корреляцион, вейвлет ва спектрал усуллар асосида бажарилган тадқиқотлар, ҳақиқатдан ҳам, Вольф сонлари W ва SO_2 концентрацияси ўзгариш динамикасида статистик боғланиш мавжудлигини кўрсатди. Ўтказилган сабабий таҳлил шуни кўрсатдики, W ва SO_2 концентрацияси орасида нафақат статистик, балки сабаб-оқибат боғланиш ҳам мавжуд (вақт силжиишлари $\Delta t = -10 \div +15$ йил ораллигида сабаб-оқибатий функцияси $\chi(\Delta t) < 1$), яъни SO_2 концентрацияси ўзгариш динамикаси Қуёш фаоллиги (W) ўзгариши билан белгиланади.

Атмосферага олтингугурт диоксидининг асосий ажратувчилари вулқон фаоллиги ва антропоген таъсир бўлганлиги сабабли, Қуёш фаоллиги ўзгаришининг атмосферадаги SO_2 миқдорига таъсирининг физик механизми ноаниқлигича қолмоқда. SO_2 концентрацияси ўзгариш

динамикасининг қуёш фаоллигининг ўзгаришига сабабий боғлиқлигининг ишчи гипотезаларидан бири - бу газ фазасида озоннинг водород сульфид билан реакцияси натижасида олтингурут диоксиди ҳосил бўлишидир: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Калит сўзлар: олтингурут диоксиди, қуёш фаоллиги, Вольф сонлари, корреляцион таҳлил, спектрал таҳлил, вейвлет таҳлил, сабаб-оқибат таҳлили.

THE DEPENDENCE OF SULFUR DIOXIDE CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERE ON VARIATIONS OF SOLAR ACTIVITY

M.L. ARUSHANOV¹, M. ALAUDINOV²

¹ Hydrometeorological Research Institute

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

Abstract. *The prerequisites for the possible influence of solar activity variations on the dynamics of sulfur dioxide (SO₂) concentration in the atmosphere, which has a maximum in the solar radiation absorption spectrum in the ultraviolet range (190-220 nm), coinciding with the maximum in the ozone absorption spectrum, were the subject of the study of the hypothetical relationship between concentration of SO₂ in atmosphere and Wolf numbers (W) in this paper. Indeed, the results of the study showed the presence of a statistical relationship between W and concentration of SO₂ in atmosphere, obtained on the basis of correlation, wavelet and spectral analyses. The performed causal analysis showed that W and SO₂ concentration are related not only statistically, but also by a causal dependence (causality function $\gamma(\Delta t) < 1$ in the range of time shifts $\Delta t = -10 \div +15$ years), i.e. the dynamics of SO₂ concentration are physically determined by solar activity variations, which confirms the hypothesis put forward.*

Since the main emitters of sulfur dioxide to the atmosphere is volcanic activity and anthropogenic component, the physical mechanism of influence of solar activity variations on SO₂ content in the atmosphere remains unclear. One of the working hypotheses of causal dependence of SO₂ concentration dynamics on solar activity variations may be based on interaction in the gas phase of ozone with hydrogen sulfide with formation of sulfur dioxide: $H_2S + O_3 = SO_2 + H_2O$.

Keywords: *sulfur dioxide, solar activity, Wolf numbers, correlation analysis, spectral analysis, wavelet analysis, causal analysis.*

REFERENCE

- Arushanov M. L. Dinamika klimata. Kosmisheskie faktory [Climate dynamics. Space factors]. – Hamburg: Lambert Academic Publishing (LAP). – 2023. – 152 s. (in Russian)
- Arushanov M. L. Prichiny izmeneniya klimata Zemli, kak rezultat kosmicheskogo vozdeistviya, razvevayushie mif ob antropogennom globalnom potepnenii [Causes of climate change on the Earth, as a result of cosmic impact, dispelling the myth of anthropogenic global warming] // German International Journal of Modern Science, No. 53. – 2023. – S. 4-14. (in Russian)
- Arushanov M. L., Korotaev S. M. Prichinnyi analiz I ego primeneniye dlya izlucheniya fizicheskikh processov v atmosfere [Causal analysis and its application for studying physical processes in the atmosphere] // Meteorologiya i gidrologiya, No. 6. – 1994. – S. 15-22. (in Russian)
- Arushanov M. L. Klimatichesky spektr planety Zemlya [Climatic spectrum of planet Earth]. – Tashkent: NIGMI, 2010. – 160 s. (in Russian)
- Jenkins G, Watts D. Spektralnyi analiz i ego prilozheniya. T2 [Spectral analysis and its applications. T.2]. – M.: Mir, 1972. – 287 s. (in Russian)
- Israel Yu. A. Effektivnyi put sohraneniya klimata na sovremennom urovne – osnovnaya cel resheniya klimaticheskoy problemy [An effective way to preserve the climate at the modern level is the main goal of solving the climate problem] // Meteorologiya i gidrologiya, No. 10. – 2005. – S. 5-9. (in Russian)

Kasatkina E. A., Shumilov O. I., Vashenyuk E. V. Solnce kak istoshnik aerizolei v atmosfere [Corpuscular activity of the Sun as a source of aerosols in the stratosphere] // Kosmicheskie issledovaniya, T. 37, No. 2. – 1999. – P. 163-167. (in Russian)

Klimenko V.V., Klimanov V.A., Sirin A.A., Sleptsov A.M. Izmenenie klimata na zapadnoi chasti Rossii v pozdnem golocene [Climate change in the west of the European part of Russia in the late Holocene] // DAN. Geografiya, T. 376. – 2001. – P. 679-683. (in Russian)

УДК 551.510.42

КОНЦЕНТРАЦИЯ, ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И ИСТОЧНИКИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА ТАШКЕНТ

М.О. АМОНОВ^{2*}, Б.Э. НИШОНОВ², О.М. ОЧИЛОВ³

¹ Научно-исследовательский университет “ТИИИМСХ”, m.amonov@tiiame.uz

² Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bnishonov@mail.ru

³ Национальный офис по внедрению инноваций и трансферу технологий

Аннотация. В статье приведены результаты анализа фильтров от пробоотборников атмосферного воздуха, установленных на метеостанции Ташкент-Обсерватория г. Ташкента. Сбор проб были проведены в так называемом сезоне пыльных бурь в течение трех лет в начале лета и осени. Анализы показывают, что концентрация мелкодисперсных частиц составили летом для $PM_{2.5}=19,2-38,1$ мкг/м³, для $PM_{10}=45,8-86,8$ мкг/м³ и осенью для $PM_{2.5}=27,1-33,1$ мкг/м³, $PM_{10}=65,8-86,8$ мкг/м³. Самая высокая концентрация мелкодисперсных частиц наблюдалась в 2008 году, самая низкая для летнее время 2010 году и для осеннее время в 2009 году. Соотношение $PM_{2.5}/PM_{10}$ в среднем за время проведения экспериментальных исследований изменялось в пределах 0,38-0,46. В статье также приведены результаты микроэлементного анализа фильтров $PM_{2.5}$ в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре (ED-XRF). Расчеты, выполненные после микроэлементного анализа, показали, что концентрация минеральной пыли составила 31% в 2008 г., 20% в 2009 г. и 24% в 2010 г. от общей массы мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$. Необходимо указать на наличие в составе мелкодисперсных взвешенных частиц атмосферного воздуха таких элементов как Al, Si, Ca, Se, As, Cr, Pb, Zn, Mn, Ti, Cu и K. Используя эти элементы, определены предполагаемые источники загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами. В статье также изучена траектория воздушных масс в день пылевой бури, отмеченное 28 июня 2008 года. Результаты исследования в статье являются первыми в Узбекистане данными по изучению состава мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе республики.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение воздуха, сезон пылевых бурь, мелкодисперсные взвешенные частицы, $PM_{2.5}$, PM_{10} , концентрация частиц и минеральной пыли, микроэлементный состав, источники РМ, анализ траекторий HYSPLIT, Ташкент.

Введение. Ташкент, являясь столицей Узбекистана и одним из крупных городов Центральной Азии, в последнее время все больше сталкивается с проблемами загрязнения атмосферного воздуха. При оценке загрязнения атмосферного воздуха указывается на повышенные концентрации в атмосферном воздухе мелкодисперсных взвешенных частиц с диаметром менее 2,5 микрон – $PM_{2.5}$ и менее 10 микрон – PM_{10} (мелкодисперсные частицы от английского particulate matter – РМ вошедшее в широкое употребление

* Ответственный автор: m.amonov@tiiame.uz, тел.: +998 90 321-34-37