

## Некоторые результаты исследований аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси

Д.Д. Киркитадзе

Одной из важнейших компонент атмосферы, обуславливающей климатические и экологические эффекты, является атмосферный аэрозоль. Учитывая важность указанных выше проблем, исследованиям атмосферного аэрозоля в Грузии всегда придавалось важное значение. Особое внимание в этих работах уделялось исследованиям изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы AOD, являющейся одной из важнейших характеристик уровня аэрозольного загрязнения атмосферы в оптически активном диапазоне их размеров. В этом плане в нашей стране имеются многолетние традиции, основанные на разработанной в Институте географии АН Грузии проф. Таварткиладзе К.А. методики определения AOD по данным стандартных актинометрических измерений интенсивности прямой солнечной радиации у поверхности земли при ясном небе [1]. Данные о среднемесячных значениях AOD в Тбилиси имеются для периода с 1928 по 1991 гг. и с их использованием, особенно в последнее время, было опубликовано достаточно много работ [2-8].

В 2003 г. Институты геофизики и географии АН Грузии возобновили актинометрический мониторинг AOD в Тбилиси. В том же году с использованием методики [1] были рассчитаны дневные значения AOD в Тбилиси для периода 1980-1991 гг. и создана соответствующая компьютерная база данных. Ниже представлены некоторые результаты исследований вариаций дневных, средних месячных, сезонных, полугодовых и годовых значений AOD (для длины волны 1 мкм) в Тбилиси, проведенных в последние годы Институтами геофизики и географии АН Грузии.

Изучены статистические характеристики среднемесячных значений аэрозольной оптической толщи атмосферы для 9 различных периодов времени с 1931 по 1990 гг. (6 последующих периодов по 10 лет, 2 периода по 30 лет и 1 период за 60 лет). В частности получено, что за исключением периодов 1931-1940 и 1941-1950 гг. во всех последующих десятилетиях по сравнению с предыдущими происходило увеличение значений AOD. Минимальное значение AOD менялось от 0,018 в 1931-1950 гг. до 0,047 в 1981-1990 гг., максимальное – от 0,090 в 1941-1950 гг. до 0,325 в 1971-1980 гг.

Получены функции распределения среднемесячных значений AOD для указанных периодов времени, имеющие один и тот же вид – положительно асимметричный. В зависимости от периода времени эти функции можно представить в виде экспоненциальной с показателем экспоненты в виде полинома второй степени, измененной гамма-функции, полиномов шестой и седьмой степени.

Анализ рядов среднегодовых значений аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тбилиси различной длительности на наличие в них автокорреляции показал следующее. В период с 1931-1945 гг. в ряде среднегодовых значений AOD автокорреляция отсутствует. Затем, в ряде наблюдений 1931-1950 гг. автокорреляция появляется и присутствует во всех дальнейших рядах по мере возрастания годов (1931-1950 гг., 1931-1960 гг., ..., 1931-1990 гг.). Внутри двадцатилетних периодов наблюдений: 1931-1950, гг. 1951-1970 гг., 1971-1990 гг. – автокорреляция отсутствует только в последнем из них (1971-1990 гг.). Результаты анализа рядов наблюдений на автокоррелированность позволили внести поправки в значения доверительных

интервалов для среднегодовых величин AOD в Тбилиси в различные промежутки времени .

Внутригодовой ход среднемесячных значений аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тбилиси, осредненный по шести десятилетним периодам с 1931 по 1990 гг., двум тридцатилетним – 1931-1960 и 1961-1990, а также полного периода времени (1931-1990) вне зависимости от периодов времени вполне удовлетворительно описывается полиномом седьмой степени с максимумом в июле и минимумом в декабре-январе. Со временем происходит сдвиг кривых внутригодового хода AOD в сторону увеличения. Однако внутригодовой ход аэрозольной оптической толщи атмосферы нормированных на июльское значение величин AOD, в целом, достаточно устойчив и мало различим для всех указанных выше периодов времени. Математически этот ход, как и для ненормированных значений AOD, хорошо описывается полиномом седьмой степени. Нормирование на среднегодовые значения AOD практически дает аналогичные результаты - наблюдается полная устойчивость во времени соотношений между среднесезонными и среднегодовыми значениями AOD, несмотря на автокоррелированность в рядах наблюдений последних. Наличие устойчивости во внутригодовом ходе нормированных значений AOD оказывается весьма полезным при решении задач восстановления внутригодового хода AOD для случаев, если эти данные имеются лишь для некоторых месяцев или сезонов года.

Изучена временная устойчивость корреляционных связей между среднемесячными, сезонными и полугодовыми значениями аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тбилиси для двух периодов времени 1931-1990 и 1961-1990 гг. В частности получено, что в 1961-1990 гг по сравнению с 1931-1990 гг. в целом произошло снижение уровня корреляционных связей между указанными выше значениями аэрозольной оптической толщи атмосферы в разные месяцы и сезоны. Тем не менее уровень корреляционных связей среднемесячных и сезонных значений AOD с полугодовыми и годовыми его значениями в 1961-1990 гг остался достаточно высоким. Получены соответствующие уравнения линейной регрессии, связывающих среднегодовые значения аэрозольной оптической толщи атмосферы с их среднемесячными, сезонными и полугодовыми значениями. С использованием этих уравнений проведена оценка среднегодового значения AOD в Тбилиси в 2003 г. по данным измерений в июле указанного года, составившей с 95% уровнем достоверности величину  $0,119 \pm 0,058$ .

Исследованы статистические характеристики дневных значений аэрозольной оптической толщи атмосферы в Тбилиси в 1980-1990 гг. Среднее значение полуденных величин AOD для указанного периода времени составляет: зимой – 0,123, весной – 0,172, летом – 0,200, осенью – 0,146, в теплый период – 0,189, в холодный период – 0,128, за год – 0,164. Диапазон изменения дневных величин AOD от минимального до максимального значения составляет: зимой – от 0,025 до 0,342, весной – от 0,024 до 0,476, летом – от 0,048 до 0,488, осенью – от 0,019 до 0,334, в теплый период – от 0,024 до 0,488, в холодный период – от 0,019 до 0,450, за год – от 0,019 до 0,488.

Предложено два вида функций распределения дневных значений AOD в различные сезоны и периоды года: в виде полиномов и в виде измененной гамма-функции. Полиномиальное распределение несколько точнее описывает реальные функции распределения дневных значений аэрозольной оптической толщи атмосферы.

Оценка репрезентативности методики проф. Таварткиладзе К.А. для расчета среднемесячных значений аэрозольной оптической толщи атмосферы по данным стандартных актинометрических измерений интенсивности прямой солнечной радиации при ясном небе применительно и к расчету дневных значений AOD показала полную ее пригодность для этих целей. Эта репрезентативность также подтверждается удовлетворительным согласием данных измерений AOD в Тбилиси в 2003 г по

указанной методике с аналогичными данными для некоторых станций (Испра, Минск) мировой сети мониторинга аэрозольной оптической толщи атмосферы AERONET, использующей по сравнению с нами гораздо более современную и дорогую аппаратуру [10].

Изучена повторяемость дневных уровней загрязненности атмосферы в Тбилиси в соответствии с предложенной в Институте географии АН Грузии девятидиапазонной шкалой градаций аэрозольной оптической толщи атмосферы [8]. Наибольшая повторяемость загрязненности атмосферы в 1980-1990 гг во все сезоны и периоды года приходится на градацию № 9 ( очень замутненная атмосфера). При этом в среднем за год, теплое полугодие, весной и летом на эту градацию приходится более половины всех случаев измерения AOD (соответственно 50,7; 66,2; 54,9 и 71,5 %). В холодное полугодие и осенью больше половины случаев измерений AOD приходится на градации № 8 и 9 ( замутненная и очень замутненная атмосфера) – соответственно 50,1 и 61,5 %. Зимой больше половины случаев измерений AOD приходится на градации № 7 - 9 ( достаточно замутненная, замутненная и очень замутненная атмосфера) – 59,3 %. Что касается современных данных, в Тбилиси среднемесячное значение AOD в июле 2003 года составляло 0,157 (градация 9) , а среднегодовое значение AOD в том же году при 95% уровне достоверности оценено величиной  $0,119 \pm 0,058$  . Эти значения аэрозольной оптической толщи атмосферы охватывают с градации с 4 по 9 (в основном чистая, нормальная,немного замутненная, ( достаточно замутненная, замутненная и очень замутненная атмосфера). Таким образом, несмотря на то, что 2003 год был дождливым, что существенно влияет на очищение атмосферы от примесей, уровень загрязненности воздуха в Тбилиси остался достаточно высоким и соизмеримым с этим уровнем в 1980-1990 гг. Диапазон же изменений дневных величин AOD в Тбилиси с июля по октябрь 2003 г охватывает градации с 5 по 9 (соответственно 0,068 и 0,329).

Исследование дневного хода значений AOD в 9,30 , 12,30 и 15,30 час показало, что в среднем за год и в холодное полугодие значение аэрозольной оптической толщи атмосферы в 9,30 час несколько выше той же самой величины в 12,30 и 15,30 час. Для всех указанных периодов года средние значения AOD в 12,30 и 15,30 час статистически неразличимы. Для теплового полугодия в среднем дневной ход AOD отсутствует.

Анализ корреляционных соотношений между значениями аэрозольной оптической толщи атмосферы в разное время наблюдений показал, что в среднем за год коэффициенты корреляции  $R$  между дневными значениями AOD в 9,30 и 12,30 час, а также в 12,30 и 15,30 час выше  $R$  для AOD в 9,30 и 15,30 час ( соответственно 0,76; 0,74 и 0,67). В теплое полугодие коэффициенты корреляции между дневными значениями AOD в 9,30 и 12,30 час выше  $R$  для AOD в 9,30 и 15,30 , а также в 12,30 и 15,30 час (соответственно 0,78;0,71 и 0,66). Наконец в холодное полугодие все комбинации коэффициентов корреляции между дневными значениями AOD в 9,30; 12,30 и 15,30 час. статистически неразличимы с уровнем значимости  $\alpha$  не хуже 0,1.

Анализ недельного хода аэрозольной оптической толщи атмосферы показал, что в среднем за год и в теплое полугодие уровень аэрозольного загрязнения атмосферы в выходные дни несколько ниже, чем в будние . Разница составляет около 4% с уровнем значимости по критерию Стьюдента соответственно  $\alpha = 0,25$  и  $\alpha = 0,20$ . В холодное полугодие значимой разницы между величинами AOD в будние и выходные дни не наблюдается.

Изучены связи счетной концентрации приземного аэрозоля с аэрозольной оптической толщиной атмосферы в Тбилиси. Получено, что с увеличением размера аэрозолей корреляция AOD с их счетной и весовой концентрацией в приземном слое воздуха быстро ослабевает (соответственно  $R= 0,60; 0,45$  и  $0,39$  для размеров частиц 0,4-0,5 мкм, 0,5-0,6 мкм и 0,6-0,7 мкм). Сходная картина наблюдается и для связи AOD с интегральными значениями счетной и весовой концентрации аэрозолей в различных

диапазонах размеров. Однако здесь ослабление корреляционных связей между указанными параметрами происходит медленнее, чем в предыдущем случае (соответственно  $R = 0,60; 0,59; 0,57$  и  $0,52$  для аэрозолей размерами  $0,4-0,5$  мкм,  $0,4-0,6$  мкм,  $0,4-0,7$  мкм и  $0,4-0,8$  мкм). Незначимой величина  $R$  становится для диапазона размеров аэрозолей  $0,4-0,9$  мкм ( $R=0,49$ ) и выше. Таким образом, аэрозольная оптическая толща атмосферы является достаточно репрезентативной характеристикой загрязненности приземного воздуха аэрозолями малых размеров (по крайней мере до диаметра  $0,8$  мкм).

#### Литература

1. Таваркиладзе К.А. – Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы, Тбилиси, Мецниереба, 1989, 1-203.
2. ამირანაშვილი ა., ამირანაშვილი ვ., თავართქილაძე კ., ლაულაინენი ნ. ატმოსფეროს აეროზოლური დატვირთვის მონიტორინგი საქართველოში, პირობებზე დასაყრდენი ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-0902, ტომი 108, 2002, 19-23.
3. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D, Tavartkiladze K.A. -Some results of investigation of variations of the atmospheric aerosol optical depth in Tbilisi , Proc. 16<sup>th</sup> International Conference on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004,416-419.
4. Amiranashvili A., Amiranashvili V.,Tavartkiladze K. – Dynamics of the aerosol pollution of the atmosphere in Georgia in 1956-1990, J.Aerosol Sci, Pergamon, vol.30, Suppl.1, 1999, S667-S668.
5. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K.- Aerosol Pollution of the Atmosphere and Its Influence on Direct Solar Radiation in Some Regions of Georgia,Proc.15th Int.Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11,AIP, Conference Proc.,vol.535,Melville,New York,2000,605-607.
6. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A.- Influence of cloudiness and aerosol pollution trends on the total solar radiation in some non industrial regions of Georgia , Proc. 14<sup>th</sup>International Conference on Clouds and Precipitation , Bologna , Italy ,18-23 July2004, 3\_1\_217, 1-2.
7. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A.- Effect of the variability of atmospheric aerosols on the short-wave solar radiation fluxes , Proc. 16<sup>th</sup> International Conference on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004,706-709.
8. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K., Sajaia E. – Some peculiarities of atmospheric pollution in Georgia, Bull. of the National Climate Res. Centre, Tbilisi, No 5(E), 1997, 41-47.
9. Tavartkiladze K, Shengelia I.,Amiranashvili A., Amiranashvili V. – The influence of relative humidity on the optical properties of atmospheric aerosols, J.Aerosol Sci, Pergamon, vol.30, Suppl.1, 1999, S639-S640.
10. Aerosol Robotic Network (AERONET), <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.

ატმოსფეროს აეროზოლური გაჭუჭყიანების გამოკვლევის

ზოგიერთი შედეგები

დ. კირკიტაძე

რეზიუმე

წარმოდგენილია ქ. თბილისში ატმოსფეროს აეროზოლური გაჭუჭყიანების კვლევის ზოგიერთი შედეგი. გამოკვლევები ჩატარებულია უკანასკნელ წლებში გეოფიზიკის ინსტიტუტში.

## **Some results of studies of the aerosol pollution of the atmosphere in Tbilisi**

**D.D. Kirkitadze**

### **Abstract**

Some results of studies of the aerosol pollution of the atmosphere in Tbilisi, which were carried out by the Institutes of Geophysics and Geography of GAS in recent years are represented.