

УДК 551.521.31 : 551.510.42

О ДИНАМИКЕ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ В КРЫМУ

Терез Э.И., Гуцин Г.К., Терез Г.А.

Исследование спектральной прозрачности атмосферы (СПА) является важнейшей задачей как с научной, так и с экологической точек зрения. Актуальность решения этой задачи обуславливается ростом уровня промышленной загрязненности атмосферы, а также необходимостью уточнения радиационного баланса земной поверхности. В последние десятилетия во многих регионах Земли созданы атмосферные станции, призванные осуществлять мониторинг СПА. В этом смысле Крым (Украина) является уникальным местом, ибо исследование оптических свойств атмосферы Крыма начались еще в 1924 г. Следовательно, имеется возможность проследить изменение СПА в течение длительного периода времени. Целью данной работы было сравнение всех наблюдательных данных по атмосферной прозрачности в Крыму.

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД АТМОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начало атмосферных исследований в Крыму было положено в начале 20-х годов XX века, когда при Крымском государственном университете было решено создать оптическую станцию. Выбор места наблюдений был сделан, исходя из следующих требований: 1. Атмосфера должна быть весьма чистой, т.е. поблизости не должно быть никаких промышленных объектов. 2) Высота Солнца в летние месяцы должна достигать достаточно больших значений (до $60^\circ - 70^\circ$). 3) Зимой должно иметься достаточно большое число дней, в которые снежный покров совершенно отсутствует. Таким условиям в СССР удовлетворяла южная часть Крымского полуострова [1].

Первые наблюдения оптической прозрачности атмосферы в Крыму были начаты в 1924 г. на базе Феодосийской центральной гидрометеорологической станции [2]. Для наблюдений использовался актинометр Михельсона [3,4], с помощью которого солнечная радиация измерялась до и после полудня при воздушной массе $X = 3$ и в истинный полдень. Далее вычислялись коэффициенты прозрачности атмосферы. В 1926 г. было закончено строительство оптической станции в г.Симферополе. Координаты станции: $\varphi = 44^\circ 56' 58''$ N, $\lambda = 34^\circ 05' 58''$ E, высота башни над поверхностью земли 12 м, над уровнем моря 285 м. Период отладки аппаратуры занял довольно длительное время, и систематические наблюдения прозрачности атмосферы в Симферополе были начаты только с 1.05.1928 г. Для наблюдений также использовался актинометр Михельсона. Однако было решено модернизировать методику измерений [5] и проводить наблюдения солнечной радиации не только в интегральном свете, но и с помощью двух стеклянных светофильтров Шотта: красного PG2 ($\lambda > 625$ нм) толщиной

2 мм и желтого OG1 ($\lambda > 520$ нм) толщиной 1 мм. Средние значения коэффициентов пропускания для красного и желтого фильтров были 0,872 и 0,903, соответственно. Комбинация измерений с двумя фильтрами и без фильтров позволяла определять интенсивность солнечной радиации в трех участках спектра: U ($\lambda < 520$ нм, когда от общей радиации отнималась радиация, измеренная с фильтром OG1), R ($\lambda > 625$ нм) и V ($\Delta\lambda = 520$ нм - 625 нм). Последний спектральный участок условно назывался "видимой" радиацией. Он соответствовал случаю, когда при наблюдениях из радиации, измеренной с желтым фильтром, вычиталась величина радиации, измеренная с красным фильтром. Наблюдения со светофильтрами проводились с 1.01.1930 г. по 31.12.1932 г.

Анализ наблюдательных данных за весь период с 1924 по 1932 гг. показал, что кривые сезонного хода атмосферной прозрачности для Симферополя и Феодосии идентичны. Максимально высокая прозрачность наблюдалась в зимний период, минимальная - в летний. По данным [6], среднес-годовая величина прозрачности для Феодосии при воздушной массе $X = 3$ равна $T_{Fint} = 0,79$. (В те годы в метеорологии было принято характеризовать интегральную прозрачность атмосферы коэффициентом прозрачности при воздушной массе $X = 3$). Для Симферополя [5,7] среднегодовое значение прозрачности при трех воздушных массах $T_{Sint} = 0,81$. Более низкий коэффициент прозрачности для Феодосии авторы работ [5,7] объяснили большим количеством водяного пара в атмосфере Феодосии, находящейся непосредственно на берегу Черного моря. В свете современных представлений эта разница в коэффициентах прозрачности возникает вследствие разной высоты наблюдательных станций над уровнем моря. Общая величина потерь солнечного излучения при прохождении атмосферы складывается из трех компонент: аэрозольного ослабления, истинного молекулярного поглощения и релеевского рассеяния. Последняя компонента - релеевское рассеяние - зависит от высоты места наблюдений над уровнем моря. Как отмечено выше, атмосферная станция в Симферополе находилась на высоте 285 м. Поэтому, согласно расчетам, величина релеевского рассеяния в интегральном свете в Симферополе на 2 % меньше, чем в Феодосии, т.е. прозрачность атмосферы в Симферополе должна быть выше, чем в Феодосии на 2%, что и было зарегистрировано при наблюдениях с актинометром Михельсона. При проведении исследований на Симферопольской оптической станции со светофильтрами были получены среднемесячные данные солнечной радиации в полосе 520 нм-625 нм при высоте Солнца $18,8^\circ$ ($X = 3$) и в местный полдень [5,7]. Эти данные позволили нам методом Бугера - Лэнгли определить среднемесячные коэффициенты спектральной прозрачности атмосферы (СПА) в области 520 нм - 625 нм. Среднегодовой коэффициент СПА за все время наблюдений $T_{S1} = 0,82$. Это значение оказалось примерно равным атмосферной прозрачности в интегральном свете, отнесенной к трем воздушным массам ($T_{Sint} = 0,81$) (При этом следует учесть, что погрешность измерений порядка 2%). В Феодосии наблюдения со светофильтрами не проводились. Однако по аналогии с Симферополем можно принять, что коэффициент СПА в спектральной области 520 нм - 625 нм тоже равен интегральной прозрачности при $X = 3$, т.е. $T_{F1} = T_{Fint} = 0,79$.

ВТОРОЙ ПЕРИОД АТМОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Новый период исследований СПА начался в 1969-1971 гг., когда в СССР была организована сеть атмосферных станций. Одна из таких станций была расположена в Крыму около г. Феодосия, в пос. Курортное. (Современное название станции – Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория). Координаты: $\varphi = 44^{\circ} 54' N$ и $\lambda = 35^{\circ} 12' E$, высота 42 м над уровнем моря. Данные СПА, полученные на этой станции и использованные в этой работе, ежегодно публиковались в официальных отчетах Госкомгидромета СССР до 1992 г., позже – в отчетах Роскомгидромета. Измерения СПА проводились на солнечном фотометре М-83 [8] сначала в шести участках спектра, а после 1989 г. - в пяти участках, с центральными длинами волн 347 нм, 368 нм, 530 нм, 574 нм, 638 нм и полуширинами 31 нм, 22 нм, 60 нм, 33 нм, 40 нм, соответственно. Главной отличительной особенностью фотометра М-83 является использование комбинации стеклянных светофильтров для выделения спектральных участков. Это обеспечивало высокую стабильность фотометрических характеристик аппаратуры. Кроме того, кривые спектрального пропускания фотометра периодически контролировались. Последнее измерение было выполнено в феврале 2002 г. в лаборатории кафедры астрономии ТНУ. Спектральные характеристики фотометра М-83 измерялись на стенде, использующем калиброванную галогенную лампу КГМ-150 и монохроматор ЗМР-3 с известными инструментальными параметрами.

Данные наблюдений с фотометром М-83 обрабатывались стандартным способом, т.е. для каждого спектрального участка сначала методом Бугера-Лэнгли определялись средние значения величины оптической плотности атмосферы, а затем уже вычислялись значения СПА. На Рис.1 представлены кривые СПА для Феодосии (Карадага) для спектрального участка с $\lambda = 530$ нм. Кривые построены по среднемесячным данным.

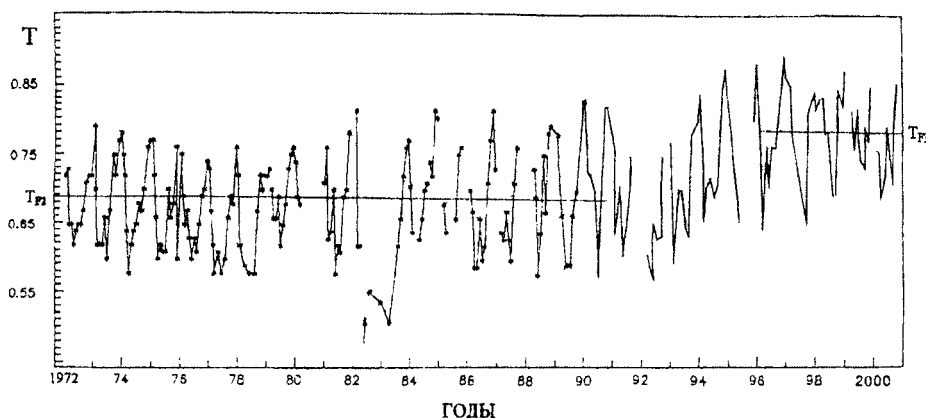


Рис.1. Изменение СПА для станции Феодосия (Карадаг) за период с 1972 г. по 2001 г.г. при $\lambda = 530$ нм. T_{F2} - среднее значение СПА за период с 1972 по 1990 гг., T_{F3} – за период с 1996 по 2001 г.г. наблюдений. Стрелкой обозначен момент извержения вулкана Эль Чичон.

Следует отметить, что спектральный интервал с $\lambda = 530$ нм был выбран не совсем

удачно. Он находится в полосе Шапюи и колебания общего содержания озона вносили дополнительные ошибки. Поэтому погрешности измерений были весьма высоки, порядка 3-5%, к тому же имелись пропуски в рядах наблюдений. Тем не менее, можно достаточно уверенно утверждать, что среднее значение СПА за период 1972-1990 гг. ($T_{F2} = 0,69$) заметно меньше, чем это было в 1924-1932 гг. ($T_{F1} = 0,79$), когда в Крыму не было той мощной индустрии, которая (была создана после 2-й мировой войны). Эффект ухудшения прозрачности атмосферы вследствие увеличения выбросов аэрозоля антропогенного происхождения отмечен в 60-80-тых годах и на других станциях бывшего СССР. Так, Руссак [9] зарегистрировал снижение прозрачности атмосферы в Тыравере (Эстония) в среднем на 2,6% за период с 1955 по 1984 гг. В работе [10] отмечается общее снижение СПА для атмосферных станций, расположенных в городах. На Рис.1 хорошо видно резкое падение коэффициента СПА в 1982-1983, вызванное извержением вулкана Эль Чичон (Мексика) весной 1982 г. Следует отметить, что в период 1972-1989 гг. было большое количество вулканических извержений, внесших свой вклад в увеличение количества атмосферных аэрозолей. Но извержение Эль Чичона имело особое значение в силу богатых серой вулканических выбросов, достигших больших высот в стратосфере и распространившихся по всему земному шару. Поэтому уменьшение коэффициента прозрачности атмосферы в 1982-1983 гг. было отмечено практически на всех наблюдательных станциях мира [11, 12]. На Рис. 2 показано резкое снижение коэффициента атмосферной прозрачности в астрономической системе V ($\lambda_{\max} = 550$ нм), зарегистрированное на высокогорной астрономической станции ГАИШ в горах Тянь-Шаня (3000 м над уровнем моря) [12]. Характерно, что при значительных

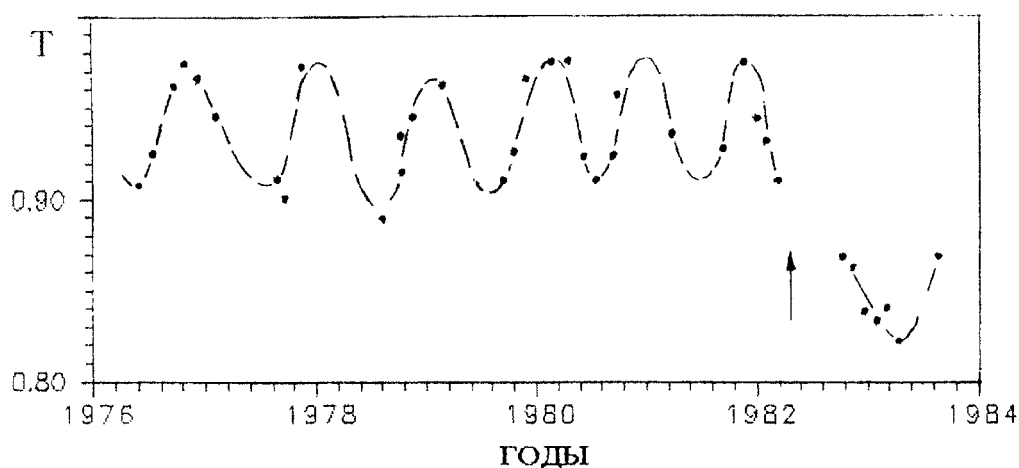


Рис.2. СПА в полосе V ($\lambda_{\max} = 550$ нм) на высокогорной базе ГАИШ (Тянь-Шань, высота 3000 м) за период с 1976 г. по 1984 г. Стрелкой обозначен момент извержения вулкана Эль Чичон [12].

количества аэрозолей в атмосфере нарушается сезонный ход прозрачности.

ТРЕТИЙ (ПОСЛЕДНИЙ) ПЕРИОД АТМОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последнее десятилетие XX века в связи с быстрым ростом глобального потепления вопросы мониторинга параметров земной атмосферы приобрели особую актуальность. По всему миру начали создаваться новые атмосферные станции. На Карадагской станции наблюдения продолжались по прежней программе с фотометром М-83. Результаты этих наблюдений представлены на Рис.1. Как видно из Рис.1. в период 1992 – 1994 гг., когда промышленность в Крыму была практически остановлена, атмосферная прозрачность быстро возрастала и к 1996 г. величина СПА при $\lambda = 530$ нм достигла величины $T_{F3} = 0,78$. Для пересчета этого значения СПА к $\lambda = 572,5$ нм воспользуемся графиком зависимости СПА от длины волны (см. Рис. 3), полученным по многолетним исследованиям, сделанным в Крымской астрофизической обсерватории. [13]. Согласно кривым 1 и 2 на Рис.3 значение $T_{F3} = 0,78$ при $\lambda = 530$ нм соответствует $T_{F3} = 0,80$ при $\lambda = 572,5$ нм, т.е. прозрачность атмосферы вернулась к своему «фоновому» значению в 1924-1932 гг. С 1996 г. было решено возобновить наблюдения в Симферополе. Для наблюдений был разработан и изготовлен солнечный

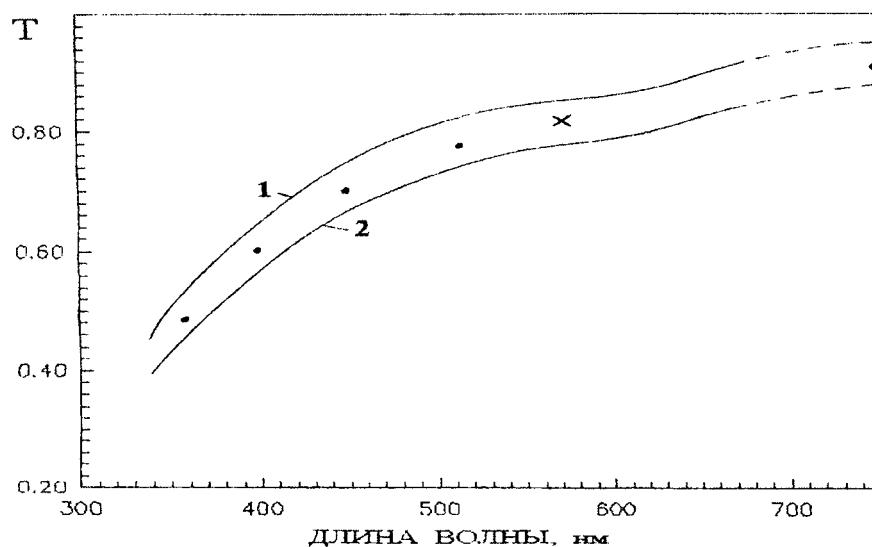


Рис.3. Возможные изменения СПА от длины волны для Крыма. Кривые 1 и 2 для Крымской астрофизической обсерватории по данным [13]. Кружки - усредненные значения СПА по наблюдениям в 1996-2001 гг. в Симферополе, крестик - СПА по наблюдениям в Симферополе в 1930-1932 гг.

фотометр [14]. Этот прибор позволяет регистрировать прямое солнечное излучение в пяти участках спектра, выделяемых с помощью интерференционных светофильтров: ($\lambda = 357$ нм, 401 нм, 448 нм, 512 нм и 750 нм). Полуширина всех используемых интерференционных светофильтров равна 10 нм. В качестве приемника света используется фотодиод ФДУК-1. Для подавления рассеянного света в участках спектра

448 нм и 512 нм вместе с интерференционными фильтрами установлены стеклянные светофильтры СЗС-21, для участка спектра с $\lambda = 401$ нм фильтр СС-15, а для участка с $\lambda = 357$ нм фильтр УФС-2. Набор светофильтров смонтирован на турели, которая при вращении последовательно устанавливает в световой пучок требуемый интерференционный светофильтр. Одно из окон турели закрыто непрозрачной пластинкой, на внутренней стороне которой установлен калиброванный светодиод, позволяющий получать контрольные отсчеты с целью проверки стабильности чувствительности фотометра. Безлинзовый входной коллиматор позволяет получить поле зрения прибора $\cong 2^\circ$. Фотометр имеет отдельный канал часового ведения и слежения за Солнцем с точностью не хуже одной угловой минуты. Все процессы регистрации сигналов и управление фотометром автоматизированы и находятся под управлением компьютера.

Солнечный фотометр был установлен на башне на высоте 12 м над землей в парковой зоне г.Симферополя. (Координаты $\varphi = 44^\circ 56' 40''$ N и $\lambda = 34^\circ 7' 56''$ E, высота 253 м над уровнем моря). Исследования прозрачности атмосферы были начаты в 1996 г. и проводятся по настоящее время. Обработка данных наблюдений выполнялась классическим методом Бугера-Лэнгли. Для отобранных дней с ясной, безоблачной погодой определялись значения оптической плотности атмосферы, а затем рассчитывались величины СПА для всех участков спектра. По среднедневным величинам СПА были определены среднемесячные, в свою очередь по которым были рассчитаны среднегодовые за весь период наблюдений (1996-2001). На Рис. 3 кружками показаны среднегодовые значения СПА по измерениям в Симферополе в 1996-2001 гг. Крестиком обозначена величина СПА в спектральном интервале 520 нм -625 нм ($\lambda_{\text{max}} = 572,5$ нм), полученная по наблюдениям в Симферополе в 1928-1932 гг. Как видно из Рис.3, величины СПА, измеренные в настоящее время, хорошо согласуются со значениям СПА, измеренным в "допромышленном" Крыму. Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время после остановки промышленного производства в ходе перестройки атмосферная прозрачность в Симферополе также восстановила свои прежние фоновые значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ всех исследований, выполненных в Крыму по атмосферной прозрачности, позволяет сделать следующие выводы:

1. В первый период наблюдений в 1924-1932 гг. после гражданской войны в Крыму практически не было промышленности. Поэтому данные по спектральной прозрачности атмосферы (СПА) за этот период могут быть приняты за фоновые. Во 2-ой промышленный период наблюдений (1972-1990) антропогенная нагрузка на среду была максимальной. В этот период наблюдалось заметное снижение СПА. И, наконец, в 3-ий, «перестроечный период» (с 1996 г.) СПА снова вернулась к прежним фоновым значениям.

2. Во все периоды сезонный ход СПА сохранялся неизменным, что говорит о том, что естественные процессы в атмосфере преобладают над антропогенными.

3. В 1982-1983 гг. отмечено резкое снижение СПА , вызванное извержением вулкана Эль-Чичон (Мексика) весной 1982 г. Это подтверждает тезис о том, что естественные процессы в природе влияют пока на состояние атмосферы значительно сильнее, чем антропогенные.

Список литературы

1. Тихановский И.И. Оптическая станция в Симферополе//Труды Крымского научно- исследовательского института.- 1928.- Т.2.- Вып.1. - С.1-5.
2. Калигин Н.П. О прозрачности земной атмосферы для Феодосии//Декадный бюлл. – 1926.- № 5.- С. 9-16.
3. Михельсон В.А. Новый актинометр//Метеорологический вестник.-1908.- №4.
4. Янишевский Ю.Д. Биметаллический актинометр Михельсона, С.179-202. В кн. Актинометрические приборы и методы наблюдений.- Ленинград: Гидрометеоролог. изд-во, 1957.-415с.
5. Аллик Р.А., Тихановская В.Н. Наблюдения оптической станции Крымского научно-исслед. института в 1930 году//Труды Крым. научно-исслед. института. – 1932.-Т.2.- С.19-28.
6. Тихановский И.И., Эйдельсон Б.М. К вопросу о прозрачности атмосферы в Феодосии// Декадный бюлл.- 1926.- №13.- С. 9-10.
7. Тихановская В.Н., Павленко А.К. Бюллетень оптической станции Крымского НИИ в г.Симферополе за 1931- 1932 гг.//Труды Крымского НИИ национально-культурного строительства и краеведения.- 1934.- Т.4.- С. 79-83.
8. Гущин Г.П. Методы, приборы и результаты измерений спектральной прозрачности атмосферы.- Ленинград: Гидрометеиздат, 1988.- 200 с.
9. Руссак В.К. О современных изменениях прозрачности атмосферы// Метеорология и гидрология. - 1987.- №3.- С.53-57.
10. Gorbarenko E.V. Spatial and temporal variability of the atmospheric aerosol optical thicknees on the territory of former USSR//International radiation symposium. Fairbanks, Alaska, 19-24 August 1996: Proceedings, USA, 1997.- P. 774-777.
11. WMO Scientific Assessment of Stratospheric Ozone. Report N 20. V.1.- 1989.- p.228.
12. Мошкалев В.Г. Резкое увеличение непрозрачности атмосферы в 1982 г.// Астрономический циркуляр.- 1984.- № 1309.- С. 4-6.
13. Терез Э.И. К вопросу об атмосферной экстинкции в Крыму// Астрон. Цирк.-1978.- № 1001.-С.6.
14. Kozak A.V., Panteleev S.K., Sosnovsky V.K., Terez G.A., Terez E.I. Automatic solar photometer for spectral atmospheric transparency measurement.// Proceedings of SPIE (USA). – 1997.- V.3237.- P.162-165.

Поступила в редакцию 23.09.2002 г.