

Г.И. КОРНИЕНКО, С.М. САКЕРИН

О возможном влиянии метеорных потоков на вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в районе Уссурийска (Приморский край)

Приведены результаты исследования сезонного хода аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в районе Уссурийска. Широкий максимум АОТ наблюдается в марте–июле и два минимума – в феврале и сентябре. Обсуждается вопрос о возможном влиянии метеорных потоков (пылевых следов комет) на измеряемую оптическую толщину атмосферы.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, сезонный ход, кометная пыль.

On the possible influence of meteor shower to the aerosol optical depth of the Earth atmosphere near Ussuriysk of Primorsky Krai. G.I. KORNIENKO (Ussuriysk Astrophysical Observatory, FEB RAS, Primorsky Krai, Gornotayezhnoye village), S.M. SAKERIN (Institute of Atmospheric Optics, SB RAS, Tomsk).

The results of study of the seasonal distribution of the aerosol optical depth (AOD) in the Earth atmosphere near Ussuriysk are given. The wide maximum of AOD is detected during March–July, whereas two minimums of AOD are found in February and September. A possible influence of the meteor shower (dusty traces of comets) on the measured AOD is discussed.

Key words: atmospheric aerosol, season distribution, comet dust.

Введение

В Уссурийской астрофизической обсерватории Дальневосточного отделения РАН с конца 2004 г. ведется мониторинг аэрозольной оптической толщи (АОТ) и влагосодержания земной атмосферы. Эти работы выполняются в рамках международной программы AERONET с использованием солнечного фотометра CE-318, установленного в точке с координатами 43°42'00'' с.ш. и 132°09'46'' в.д. на высоте 280 м над ур. м. Каждые 15 мин светового дня в восьми спектральных интервалах измеряется прямое и рассеянное солнечное излучение на различных угловых расстояниях от Солнца. На основе этих данных могут быть получены не только интегральные характеристики (АОТ и влагосодержание атмосферы), но и микрофизические характеристики частиц. Несомненным преимуществом таких наблюдений является наличие широкой мировой сети одинаковых фотометров (около 300 работающих станций, пять из которых установлены на территории Сибири и Дальнего Востока России). Все фотометры один раз в год отправляются на калибровку. Поэтому данные, полученные на них, однотипны и сравнимы между собой. Фотометры, установленные в России, калибруются в зимний период. Процесс их

*КОРНИЕНКО Геннадий Иванович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Приморский край, Уссурийский район, пос. Горнотаежное), САКЕРИН Сергей Михайлович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией (Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск). *E-mail: g_kornienko@mail.ru

калибровки вместе с транспортировкой и таможенным оформлением занимает около трех месяцев, поэтому наблюдения на российских станциях имеют значительные пробелы в зимний период.

В работе [4] выполнен анализ данных наблюдений фотометров, установленных в азиатской части России, за период до 2010 г. и исследованы региональные особенности характеристик аэрозолей. Цель настоящей работы – анализ сезонной и межсуточной изменчивости АОТ атмосферы в Приморском крае на более обширном материале наблюдений (2004–2016 гг.), а также оценка влияния на АОТ космической пыли от метеорных потоков.

Сезонный ход АОТ в Приморском крае

Методики получения наблюдательных данных на солнечных фотометрах и их обработки подробно описаны в работе [4]. На сайте AERONET (www.aeronet.gsfc.nasa.gov) представлены данные трех уровней обработки: Level 1 – первичные предварительные данные, Level 1.5 – данные, очищенные от влияния облачности, Level 2.0 – окончательные данные после повторной калибровки приборов. Погрешность определения АОТ атмосферы составляет 0,01–0,02.

Оптически активным считается аэрозоль с частицами размером более 0,05 мкм [6]. Спектральные наблюдения аэрозоля (с использованием набора светофильтров) позволяют разделить оптически активный аэрозоль на две фракции: мелкодисперсные частицы радиусом меньше 0,5–0,7 мкм и грубодисперсные частицы радиусом более 0,5–0,7 мкм. Для мелкодисперсного аэрозоля наблюдается спад оптического ослабления с увеличением длины волны, а ослабление грубодисперсного аэрозоля практически не зависит от длины волны.

Мы использовали данные о средних месячных величинах полной АОТ на длине волны 500 нм (τ), АОТ мелкодисперсной (τ_1) и грубодисперсной фракций аэрозоля (τ_2) за все годы наблюдений в пос. Горнотаежное Приморского края. По этим данным вычислялись средние многолетние значения за каждый месяц и средние квадратические отклонения АОТ. Отметим, что среднемесячные значения АОТ рассчитывались только для тех месяцев, в которые было более 15 дней наблюдений. Усреднение месячных значений по годам в разные сезоны года осуществлялось по разному количеству лет (от трех в зимние периоды до одиннадцати в летние), что обусловлено погодными условиями и перерывами на калибровку фотометров в зимнее время.

В табл. 1 приведены средние значения полной аэрозольной толщи за каждый месяц года, средние значения АОТ для мелко- и грубодисперсной фракций. На рис. 1 показан

Таблица 1
Средние месячные значения оптической толщи полной (τ), мелкодисперсной (τ_1) и грубодисперсной (τ_2) фракций аэрозоля

Месяц	τ	τ_1	τ_2
Январь	0,278 ± 0,018	0,228 ± 0,027	0,044 ± 0,006
Февраль	0,184 ± 0,013	0,135 ± 0,004	0,049 ± 0,009
Март	0,291 ± 0,026	0,209 ± 0,024	0,083 ± 0,006
Апрель	0,364 ± 0,029	0,252 ± 0,030	0,112 ± 0,022
Май	0,338 ± 0,024	0,212 ± 0,014	0,125 ± 0,022
Июнь	0,320 ± 0,023	0,258 ± 0,025	0,062 ± 0,007
Июль	0,318 ± 0,040	0,251 ± 0,043	0,036 ± 0,004
Август	0,246 ± 0,017	0,199 ± 0,016	0,047 ± 0,008
Сентябрь	0,178 ± 0,011	0,136 ± 0,012	0,044 ± 0,004
Октябрь	0,248 ± 0,039	0,203 ± 0,036	0,045 ± 0,006
Ноябрь	0,233 ± 0,016	0,179 ± 0,017	0,054 ± 0,011
Декабрь	0,257 ± 0,059	0,188 ± 0,039	0,069 ± 0,023

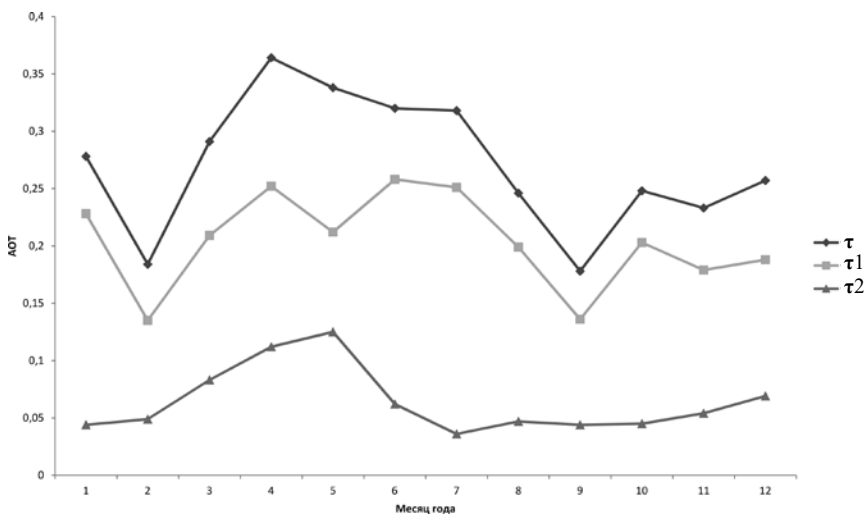


Рис. 1. Усредненный годовой ход аэрозольной оптической толщи атмосферы для Уссурийска

годовой ход полной АОТ и двух фракций (мелко- и грубодисперсной) по данным табл. 1. Общая тенденция годового хода АОТ в Приморском крае согласуется с данными, приведенными в работе [4] по результатам наблюдений до 2010 г., но есть и некоторые различия. Полная АОТ имеет повышенные на 30–40 % значения в весенне-летний период (максимум АОТ в апреле) и два локальных минимума в феврале и сентябре. В феврале и сентябре наблюдаются и наименьшие межсуточные вариации АОТ. Отметим, что относительный вклад мелко- и грубодисперсных фракций в полную АОТ в течение года изменяется. Грубодисперсная фракция имеет повышенные значения в период с февраля по июнь (максимум τ_2 в мае) и практически одинакова в остальные месяцы года. Поведение АОТ для мелкодисперсной фракции характеризуется февральским и сентябрьским минимумами и еще одним локальным минимумом в мае, который совпадает с максимумом АОТ для грубой фракции аэрозоля. Вклад грубодисперсного аэрозоля в полную АОТ имеет максимум в весенний период (март–май) и достигает 30 % полной АОТ.

Особенности межсуточных вариаций АОТ

Известно, что АОТ атмосферы может значительно изменяться как на протяжении дня, так и день ото дня [4]. Такие вариации могут быть обусловлены целым рядом причин. Считается, что основными источниками атмосферного аэрозоля являются почвенный и морской аэрозоль, горение растительности, пылевые бури, техногенные выбросы, вулканические извержения. Все эти факторы могут вызывать вариации АОТ в региональном масштабе. Исключение составляют аномально сильные вулканические извержения, способные вызвать существенное замутнение атмосферы в глобальном масштабе на временных промежутках от нескольких месяцев до нескольких лет.

Для анализа межсуточной изменчивости АОТ были использованы усредненные за день значения АОТ для длины волны 500 нм. В течение месяца наблюдаются значительные вариации АОТ продолжительностью от одного до нескольких дней. Особенно велики вариации в теплые сезоны года. В феврале и сентябре каждого года, на которые приходятся минимумы средних значений АОТ, эти колебания незначительны.

Обращает на себя внимание тот факт, что некоторые всплески АОТ повторяются в одно и то же время если не ежегодно, то на протяжении нескольких лет. Локализация всплесков по дням месяца может изменяться от года к году в пределах нескольких дней.

Повторяемость месячных всплесков АОТ в разные годы означает, что некоторые всплески имеют периодичность 1 год.

Подобная годовая периодичность всплесков АОТ наблюдается и на других аэронетовских станциях. Для сравнения были взяты данные измерений АОТ в Якутске, где мала техногенная засоренность атмосферы и имеется длительный ряд наблюдений. На рис. 2 приведен ход АОТ (среднесуточные величины) для Усурийска и Якутска в августе 2013 г. Для двух станций здесь хорошо выделяется всплеск АОТ с максимумом 13 августа.

На рис. 3 и 4 приведены усредненные за 6 лет значения АОТ для Усурийска и Якутска за июль и август соответственно. В июле выделяется всплеск АОТ с 22 по 29 июля, в августе – с 4 по 13 августа. Эти всплески имеют сложную (двухвершинную) форму. Такая форма объясняется тем обстоятельством, что в разные годы всплески приходятся на разные дни месяца. Например, в августе в одни годы максимум всплеска АОТ наблюдается 7 августа, в другие – 12 августа.

Несомненный интерес представляет то обстоятельство, что все указанные выше всплески АОТ совпадают по времени с действием метеорных потоков: июль – это Аквариды, август – Персеиды. Если метеорные потоки действительно оказывают влияние на АОТ атмосферы, то их действие должно проявляться в глобальном масштабе. В частности, синхронные всплески АОТ, обусловленные космическими факторами, могут фиксироваться на территориально удаленных станциях.

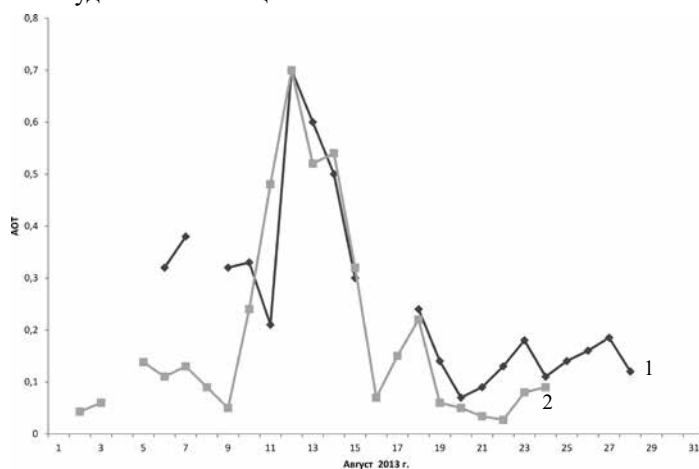


Рис. 2. Межуточные вариации АОТ в августе 2013 г. для Усурийска (1) и Якутска (2)

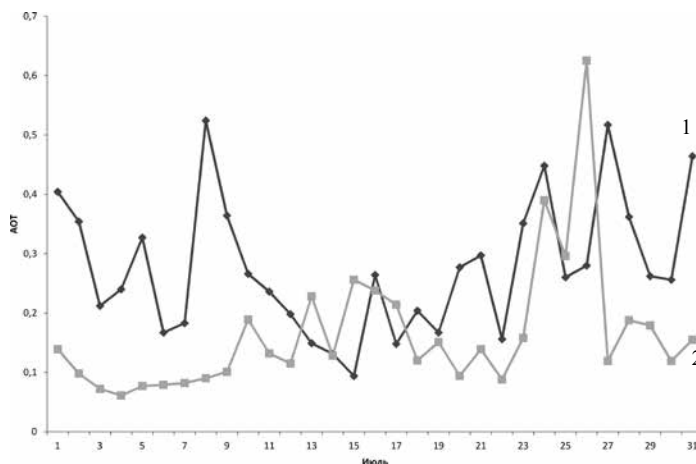


Рис. 3. Усредненные межуточные вариации АОТ июля для Усурийска (1) и Якутска (2)

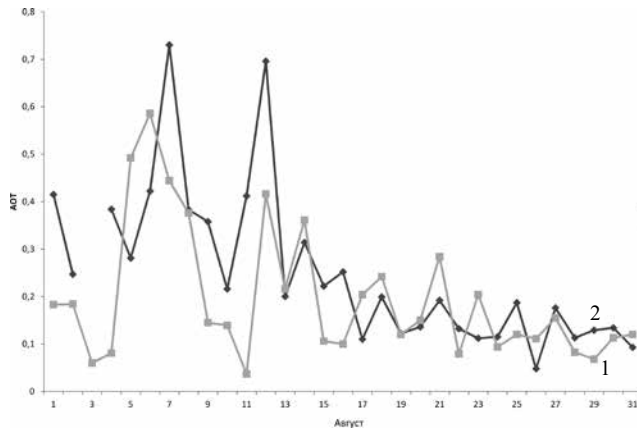


Рис. 4. Усредненные межсуточные вариации АОТ августа для Уссурийска (1) и Якутска (2)

Давно известно, что астероиды и кометы являются основными поставщиками космического вещества на Землю. Массы космических частиц, порождающих явление метеоров в земной атмосфере, лежат в широких пределах – от нескольких граммов до 10^{-11} г. Более мелкие частицы «выметаются» из межпланетной среды под действием светового давления [2]. Сравнительно крупные частицы, массой больше 10^{-9} г, при вторжении в верхние слои земной атмосферы порождают явления метеоров (яркий след на ночном небе), которые можно наблюдать как визуально (наиболее яркие явления), так и при помощи телескопов. Наиболее мелкие частицы, массой до 10^{-11} г (микрометеориты), не сопровождаются видимыми эффектами при входе в атмосферу и регистрируются на ракетах и спутниках.

Метеоры делятся на два типа: спорадические метеоры и метеорные потоки. Считается, что основную долю космического вещества в атмосферу Земли вносят спорадические метеоры ($1,5 \cdot 10^4$ т/год), а вклад метеорных потоков составляет только около 1 % этой массы. В настоящее время известно более десяти регулярно повторяющихся больших метеорных потоков. Данные о метеорных потоках приведены в табл. 2. Количественными характеристиками метеорных потоков служат их геоцентрическая скорость (от 26 до 72 км/с) и часовое число, регистрируемое одним наблюдателем в максимуме. Яркость видимого метеора сильно зависит от массы вызвавших его частиц и скорости входа метеора в атмосферу. Часовое число для всех потоков в среднем около 10 шт., но для некоторых потоков в отдельные годы оно может увеличиться на несколько порядков.

Таблица 2

Регулярные метеорные потоки [1, 5]

Поток	Дата максимума	Период видимости
Квадриатиды	3 января	28 декабря – 7 января
Лириды	22 апреля	19 – 25 апреля
h-Аквариды	4 мая	24 апреля – 20 мая
d-Аквариды	29 июля	15 июля – 20 августа
Персеиды	12 августа	29 июля – 18 августа
Дракониды	10 октября	8 – 10 октября
Ориониды	21 октября	17 – 24 октября
Тауриды	2 ноября	26 октября – 22 ноября
Леониды	18 ноября	14 – 19 ноября
Андромедиды	20 ноября	15 ноября – 6 декабря
Геминиды	13 декабря	5 – 18 декабря

Метеорные потоки связаны с орбитами комет, и наблюдаемые потоки являются следствием контакта пылевого следа кометы с атмосферой Земли. Ядра комет – это конгломерат льдов различного химического состава и тугоплавких материалов. Ядро кометы при каждом приближении к Солнцу нагревается, часть льдов ядра испаряется, образуя под действием светового давления и солнечного ветра хвост кометы. При определенном количестве оборотов вокруг Солнца ядро кометы

разрушается полностью, и на ее орбите остается пылевой след. Когда Земля в своем орбитальном движении вокруг Солнца пересекает такой след, то наблюдается метеорный поток на границе контакта земной атмосферы с пылевым следом кометы. Плотность пыли в этом следе неравномерная, особенно для сравнительно молодых следов. Этим объясняются сильные вариации часовых чисел метеоров некоторых потоков. Так, например, метеорный поток Леониды с типичным часовым числом метеоров около 10 в 1966 г. породил метеорный дождь с часовым числом метеоров 140 000!

Из табл. 2 видно, что период видимости метеорных потоков может быть весьма значительным (до 25 дней). Это означает, что ширина пылевого следа кометы также весьма значительна. Необходимо учитывать, что Земля в своем орбитальном движении входит в пылевой след кометы под разными углами к локальному направлению орбиты кометы, что объясняет большой разброс периодов видимости метеорных потоков. Можно считать, что минимальное время прохождения Землей пылевого кометного следа составляет 1 сут. Орбитальная скорость Земли 30 км/с, значит минимальная ширина потока составляет $2,6 \cdot 10^6$ км.

Как отмечалось выше, астероиды и кометы являются поставщиками космического вещества в земную атмосферу, но количественные оценки вклада космических факторов в запыленность земной атмосферы очень противоречивы [3, 7]. Ракетные и спутниковые внеатмосферные измерения плотности пыли в окрестностях Земли также сильно различаются. Типичное значение плотности около $4 \cdot 10^{-16}$ г/см³ со временем может сильно варьироваться [3].

Метод измерения аэрозольной оптической толщи основан на регистрации прямой и рассеянной солнечной радиации. При этом предполагается, что поглощение и рассеяние излучения Солнца происходит только в земной атмосфере (на высотах от 0 до примерно 100 км), а за пределами атмосферы каких-либо частиц нет. При пересечении Землей кометного следа на пути луча оказывается не только атмосферный аэрозоль, но и пыль кометного следа далеко за границами атмосферы. При достаточно высокой плотности кометного следа и большой его протяженности в пространстве между Землей и Солнцем АОТ кометного следа может стать сравнимой с АОТ самой атмосферы.

В работе [8] приведена зависимость, связывающая аэрозольную оптическую толщину с суммарной массой аэрозоля (M , г/м²) в столбе атмосферы единичного поперечного сечения: $M = 0,42 \cdot \tau$.

В предположении, что оптически активная атмосфера имеет толщину 100 км, для формирования аэрозольной оптической толщи 0,3 (типичное среднее значение АОТ для Уссурийска в летнее время) необходима средняя плотность аэрозоля $1,3 \cdot 10^{-12}$ г/см³. Такая же оптическая толщина будет обеспечена при прохождении солнечного излучения через кометный пылевой след на пути в $0,5 \cdot 10^6$ км при полученной выше оценке плотности $4 \cdot 10^{-16}$ г/см³. Отметим, что вклад космических факторов в измеряемую АОТ должен проявляться в глобальном масштабе, на всех территориально удаленных станциях.

Заключение

Сезонный ход полной аэрозольной оптической толщи атмосферы в районе Уссурийска характеризуется широким максимумом в марте–июле и двумя минимумами в феврале и сентябре. Вклад грубодисперсной фракции аэрозоля в полную АОТ максимален с марта по июнь – 30 %.

Выявлены повторяющиеся из года в год всплески АОТ (особенно в весенние и летние месяцы), которые одновременно наблюдаются в территориально удаленных пунктах (Уссурийск и Якутск). Предполагается, что эти всплески обусловлены прохождением Земли через пылевые следы комет и их источник расположен за пределами земной атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллен К.У. Астрофизические величины: справочник. М.: Мир, 1977. 279 с.
2. Астапович И.С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Физматгиз, 1958. 634 с.
3. Иванова Г.М., Львов Ю.А., Васильев Н.В., Антонов И.В. Выпадение космического вещества на поверхность Земли. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1975. 120 с.
4. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / под общ. ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2012. 484 с.
5. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: Наука, 1971. 632 с..
6. Розенберг Г.В. Оптические исследования атмосферного аэрозоля // Успехи физ. наук. 1968. Т. 95, № 1. С. 159–208.
7. Busemann H. et al. Ultra-primitive interplanetary dust particles from the comet 26P/Grigg-Skjellerup dust stream collection // Earth Planet. Sci. Lett. 2009. Vol. 288, N 1/2. P. 44–57.
8. Griggs M. Relationship of optical observations to aerosol mass loading // J. Air Poll. Control Assoc. 1972. Vol. 22, N 5. P. 356–358.