

УДК 551.510+551.521.3

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА AERONET

А.В. Михалев, М.А. Тащилин

INTERDISCIPLINARY PROCESSES OF AERONET PROJECT

A.V. Mihalev, M.A. Tashchilin

В работе рассматриваются некоторые задачи междисциплинарного характера по тематике солнечно-земной физики в рамках проекта AERONET. В частности, обсуждаются задачи изучения астроклимата и оптической погоды в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (Тункинская долина), выделения в излучении верхней атмосферы составляющей, обусловленной рассеянием солнечного излучения, влияния атмосферного аэрозоля на вариации ультрафиолетовой радиации, проверки гипотезы изменения внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации, определения влияния гелиогеофизических возмущений различной природы на оптические характеристики атмосферы.

Some interdisciplinary tasks belonging to the area of solar terrestrial physics have been considered in the frame of the project. In particular, the following problems have been discussed: astroclimate characteristics at the location of the Institute of Solar-Terrestrial Physics geophysical observatory, obtaining of the scattering components from measured radiation of upper atmosphere, the influence of atmospheric aerosol on variations of ultraviolet radiation, the testing of hypotheses that reasons of solar radiation spectrum changing are outside the atmosphere and the determination of relations of optical atmosphere properties due to disturbances of the various helio- and- geophysics nature.

Введение

Проект «Аэронет», организатором которого является американское космическое агентство (NASA), представляет собой автоматизированную сеть аэрозольных наблюдений, насчитывающую более 120 станций, расположенных на всех континентах планеты. Основой работы станций является солнечный мультиспектральный фотометр CE 318, работающий в 8 спектральных каналах и измеряющий как прямое, так и рассеянное излучение Солнца.

Основными задачами проекта являются изучение воздействия аэрозоля на климат планеты, выявления особенностей пространственно-временных вариаций аэрозоля, а также подспутниковое обеспечение результатов космического зондирования природных ресурсов Земли. Основными параметрами, которые определяет солнечный фотометр, являются аэрозольная оптическая толщина (АОТ), измеряемая в 7 спектральных каналах (длины волн 340, 380, 440, 500, 670, 870, 1020 нм), а также влагосодержание атмосферы (940 нм). Погрешность определения АОТ атмосферы составляет $\pm 0.01 \div 0.02$. Благодаря применению современных методов решения обратных задач, кроме АОТ и влагосодержания атмосферы, восстанавливаются микроструктура аэрозоля, показатель преломления, индикатриса рассеяния, фактор асимметрии и альбеда однократного рассеяния аэрозоля.

В настоящее время в азиатской части территории России в рамках проекта «Аэронет» установлено 5 измерительных станций, охватывающих территорию от 43.7° до 61.7° с. ш. и от 59.6° до 132.2° в. д. На одной из этих станций, в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (Тункинская долина, с. Торы), измерения начали проводить в 2004 г. Данное место в отдельные периоды времени характеризуется высокой степенью прозрачности атмосферы.

Результаты наблюдений и обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены общий вид фотометра, установленного в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (с. Торы), и пример типичных дневных вариаций АОТ в 7 спектральных каналах за 18 ноября 2005 г. соответственно.



Рис. 1. Общий вид фотометра, установленного в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (с. Торы).

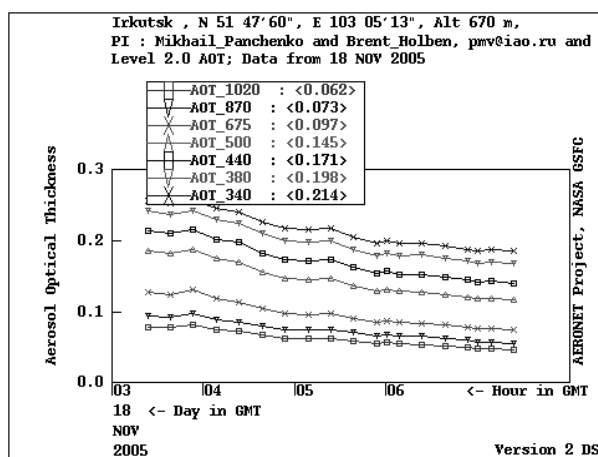


Рис. 2. Пример типичных дневных вариаций АОТ в 7 спектральных каналах за 18 ноября 2005 г.

Информация, получаемая солнечным фотометром, может использоваться и для решения других задач, прямо не предусмотренных проектом «Аэронет».

Одной из таких задач, решаемой с привлечением данных «Аэронет», может стать учет влияния аэро-

золя на приземную ультрафиолетовую радиацию (УФР). Наземные методы наблюдения УФР позволяют получить достоверные данные о потоке приземной УФР в локальных точках наблюдения. Фрагментарность получаемых данных вариаций УФ-излучения приводит к необходимости использования различных методов их интерполяции, что существенно снижает их достоверность.

В настоящее время широко используется методика восстановления потоков УФР на уровне земной поверхности по данным спутниковых наблюдений при помощи аппаратуры TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), что позволяет получать данные о пространственных вариациях УФР в различных участках земного шара. Существенным недостатком спутниковых данных TOMS можно считать неучет влияния тропосферного аэрозоля в алгоритме восстановления УФР. Так, в работах [1, 2] валидация спутниковых данных по УФР путем сравнения с результатами наземных наблюдений выявила систематическую завышенность спутниковых данных в средних широтах Северного полушария. В работе [3] делается вывод о том, что принятую оценку погрешности восстановления дневных доз УФР по данным TOMS ($\pm 12\%$) следует считать слишком оптимистической. В работе [4] отмечается высокая корреляция между результатами наземных и спутниковых (TOMS) измерений УФР на длинных интервалах – месяц, год. Тем не менее, существуют временные интервалы, когда в отдельные дни корреляция регистрируемых значений ЭР нарушается. Это может быть связано как с методическими различиями в определении приземных уровней УФР при наземных и спутниковых измерениях, так и с неучетом влияния атмосферного аэрозоля на уровень приземного УФР по спутниковым данным.

В этой же работе [4] была выделена асимметрия сезонного хода УФР относительно летнего солнцестояния, которая заключается в превышении значений УФР во втором полугодии по сравнению с первым при одинаковых угловых высотах Солнца. В работе предполагалось, что асимметрия обуславливается наличием выраженного сезонного хода общего содержания озона и метеорологическими особенностями региона. Если учесть тот факт, что наиболее чистой по содержанию аэрозоля является атмосфера в осенне-зимний период, что является типичным для большинства районов умеренных широт [5], можно предположить, что асимметрия, помимо приведенных факторов, обусловлена неучетом аэрозольной компоненты при восстановлении УФР.

В работе [6] обсуждается алгоритм определения потоков УФР в интервалах 320–400 нм и 290–320 нм при безоблачных условиях, в том числе оценки различных источников ошибок, который был применен к спутниковым данным TOMS, за период с ноября 1978 г. Установлено, что над определенными районами аэрозоли могут уменьшать приземные УФ потоки более чем на 50 %.

Использование данных «Аэронет» для учета влияния аэрозолей на приземную УФР может позволить скорректировать спутниковые данные УФР. Для этого необходимо разработать соответствующую

методику и обработать имеющийся архив спутниковых данных УФР.

В геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН один из видов регулярных наблюдений связан с исследованием собственного свечения верхней атмосферы, для которых в общем случае необходимо знание спектральной прозрачности атмосферы и других элементов астроклимата и оптической погоды. Учет рассеяния и поглощения собственного излучения верхней атмосферы в тропосфере Земли является достаточно трудной задачей. Так, в работе [9] теоретически решается задача о диффузном пропускании атмосферой излучения от сферического светящегося слоя и делается, в частности, вывод, что интенсивности свечения верхних слоев, полученные при различных прозрачностях, сильно отличаются друг от друга и что для правильного учета атмосферного ослабления необходимо параллельно с измерениями интенсивности свечения измерять и прозрачность атмосферы.

Влияние прозрачности атмосферы на регистрируемые характеристики собственного свечения атмосферы как протяженного объекта, отличается от влияния на характеристики точечных астрономических объектов. Для астрономических инструментов основным параметром, ограничивающим возможности наблюдений, является энергетическое ослабление, которое может быть описано законом Бугера. В случае протяженных объектов суммарная энергетическая освещенность от таких объектов на поверхности Земли складывается из прямой и рассеянной освещенности. При этом доля рассеянной освещенности возрастает с уменьшением прозрачности атмосферы и может становиться преобладающей, например, в условиях сплошной облачности. При этом существенно, что, в отличие от астрономических наблюдений, сигнал от собственного свечения верхней атмосферы может регистрироваться практически при любой оптической погоде. В случае больших оптических толщ затухание оптического излучения следует определять из уравнения переноса излучения или из эмпирических соотношений. Так, в работе [8] регистрация среднеширотного сияния 30 октября 2003 г. в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН проводилась в условиях сплошной облачности. Это среднеширотное сияние было вызвано одной из самых мощных магнитных бурь за весь период инструментальных наблюдений в геофизической обсерватории (1988–2006 гг.) и в связи с этим представляло особый интерес. Реальный учет поглощения облачностью от протяженного источника атмосферного излучения представляет собой довольно сложную задачу, зависящую от многих факторов. Поэтому на предварительном этапе для оценки величины поглощения облачностью и возможности приведения зарегистрированных интенсивностей свечения атмосферных эмиссий к условиям ясного неба и последующего их сопоставления с другими среднеширотными сияниями была проведена оценка типичного поглощения облачностью из экспериментальных наблюдений с использованием архива данных наблюдений. Были выбраны ночи, соответствующие этому же сезону, с быстрой сменной метеорологической обстановки (ясно–облачно).

Для этих ночей были сопоставлены регистрируемые интенсивности в атмосферных эмиссиях для ясных и облачных интервалов наблюдений и соответственно определены коэффициенты поглощения облачностью. Полученные таким образом коэффициенты поглощения использовались далее для приведения зарегистрированных значений интенсивностей в условиях облачности к условиям, соответствующим ясному небу.

В связи с описанным случаем существует задача регистрации собственного излучения верхней атмосферы в условиях любой оптической погоды, для решения которой необходима как можно большая информация о состоянии, составе атмосферы и пропускании атмосферой излучения верхних слоев. Частично эта задача может решаться с привлечением данных солнечного фотометра системы «Аэронет».

Существование аэрозольных образований на разных высотах атмосферы может влиять на спектральное распределение сумеречного и ночного свечения атмосферы за счет составляющей непрерывного фона, зависящего от состояния атмосферы и образующегося в результате многократно рассеянного солнечного света [10]. В случае выделения сплошного спектра собственного излучения верхней атмосферы учет составляющей непрерывного фона целесообразно проводить с учетом динамики аэрозольных образований и оптических характеристик нижней атмосферы. Особенно существенно многократно рассеянное излучение проявляется в синей и УФ-областях спектра.

Кроме того, собственно в возбуждение и вариации некоторых эмиссий верхней атмосферы в сумеречные периоды может вносить вклад прямое и рассеянное солнечное излучение (флуоресценция Na, фотодиссоциация молекул кислорода $O_2 + h\nu \rightarrow O(^3P) + O(^1D)$), на которое в ряде случаев влияет наличие или отсутствие аэрозольных составляющих в сумеречном секторе атмосферы. В этой связи интерпретация сумеречных вариаций эмиссий верхней атмосферы представляет достаточно трудную задачу.

В ряде работ отмечается и обсуждается связь прозрачности атмосферы с солнечной и авроральной активностью (см., например, [11, 12]). Физические механизмы таких связей в настоящее время до конца не ясны, требуют проверки и совместно с систематическими данными о прозрачности атмосферы в различных регионах планеты представляют большой научный интерес в связи с поиском возможных причин изменения погоды и климата. Так, на рис. 3, заимствованном из работы [12], показано ухудшение прозрачности атмосферы после возрастания авроральной активности. Один из предлагаемых механизмов авторы связывают с изменением температурного режима тропосферы, конденсацией паров воды и, как следствие, уменьшением прозрачности атмосферы. Данные солнечного фотометра системы «Аэронет», осуществляющего одновременно измерение прозрачности и влагосодержания атмосферы, вероятно, могут позволить на большом статистическом материале проверить указанный механизм изменения прозрачности атмосферы в периоды усиления геомагнитной активности.

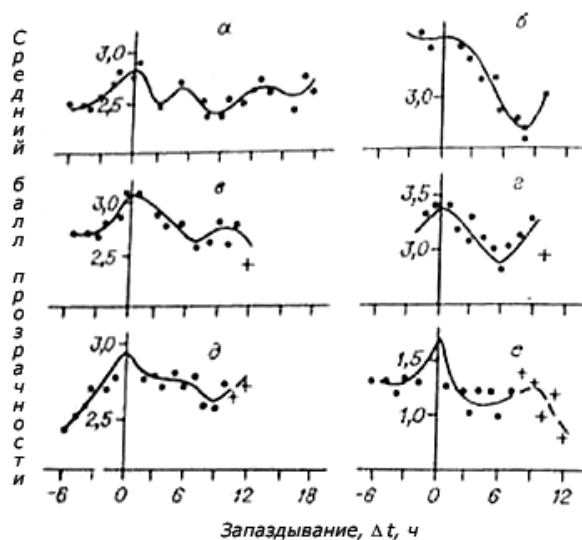


Рис. 3. Изменение среднего балла прозрачности атмосферы после авроральной вспышки для различных станций наблюдения.

Также можно отметить задачу проверки гипотезы изменения внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации во время солнечных вспышек, высказанную в работе [13] и основанную на наблюдении «аномальных» значений оптических толщ в некоторых спектральных диапазонах. Иное объяснение нарушения оптических параметров толщи атмосферы во время солнечных событий дается в [14] и связывается с изменением состава атмосферы. В любом случае задача об «аномальных» значениях оптических толщ (информация о которых периодически появляется в отдельных работах) и спектральной прозрачности атмосферы требует своего решения и, в частности, может решаться с привлечением данных системы «Аэронет».

Выводы

Таким образом, предварительное рассмотрение отдельных задач показывает возможность использования данных наблюдений системы «Аэронет» для обеспечения некоторых видов наблюдений, проверки механизмов и гипотез наблюдаемых явлений по тематике солнечно-земной физики.

Работа выполнялась при поддержке комплексного интеграционного проекта СО РАН № 3.23.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DeLuisi J., Theisen D., Augustine J., et al. On the correspondence between surface UV observations and TOMS determinations of surface UV: a potential method for quality evaluating world surface UV observations // *Ann. Geophys.* 2003. V. 46, N 2. P. 295–308.
2. Fioletov V.E., Kerr J.B., Wardle D.I., et al. Comparison of Brewer UV irradiance measurements with TOMS satellite retrievals. SPIE Conference on Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects. San Diego, 30 July – 1 August, 2001. (Meteorological Service of Canada, Toronto, Canada). *Proc. SPIE.* 2001. V. 4482. P. 47–55
3. McKenzie R.L., Seckmeyer G., Bais A.F., et al. Satellite retrievals of erythemal UV dose compared with ground-based measurements at northern and southern midlatitudes // *Geophys.*

Res. D. 2001. V. 106, N 20. P. 24051–24062.

4. Михалев А.В., Тащилин М.А., Черниговская М.А., Шалин А.Ю. Эритемная ультрафиолетовая радиация по данным наземных и спутниковых измерений // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16, № 1. С. 63–67.

5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В. и др. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе Aerosolnet в 2004 г. // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 11. С. 968–975.

6. Krotkov N., Bhartia P., Herman J. Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of tropospheric aerosols 1. Cloud-free case // J. Geophys. Res. D. 1998. V. 103, N 8. P. 8779–8793.

7. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, 1990. 192 с.

8. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Среднеширотные сияния на юге Восточной Сибири во время больших геомагнитных бурь 29–31 октября и 20–21 ноября 2003 г. // Космические исследования. 2004. Т. 42, № 6. С. 616–621.

9. Гаврилова Л.А. О диффузном пропускании атмосферой ночного излучения верхних слоев // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1987. Т. 23, № 10, С. 1098–1101.

10. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли // Тбилиси: Мецниереба, 1983. 272 с.

11. Ролдугин В.К., Старков Г.В. Изменение прозрачности атмосферы в 11-летнем цикле солнечной активности // ДАН. 2000. Т. 370, № 5. С. 676–677.

12. Горелький К.И., Надубович Ю.А. Связь прозрачности атмосферы с авроральной активностью // Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. Вып. 70. М.: Наука, 1984. С. 61–65.

13. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Солнечная активность и климат. 2. Прямое воздействие изменений внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации // Исследование Земли из космоса. 1995. № 6. С. 3–17.

14. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука, 1991. 400 с.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск