

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ю.Я. Матющенко, В.В. Пашнев

В последнее время значительно вырос интерес к проблемам изменения климата, в частности, к процессам, происходящим в атмосфере Земли. Вследствие этого в современной климатологии стало актуальным построение региональных и глобальных аэрозольных моделей атмосферы с использованием данных наблюдений наземного мониторинга. Наиболее часто измерительные станции сетей по исследованию атмосферы строят на базе солнечных фотометров.

В работе описаны особенности измерительных процедур фотометров Cimel глобальной сети AERONET, недостатки обработки наблюдательных данных, проводимой специалистами NASA. Проанализированы особенности исходных файлов яркости, возможные источники ошибок, влияющие на корректность и точность представления данных. Обоснована необходимость дополнительной обработки информации, приведены критерии отбора безоблачных ситуаций. Представлены блок-схема алгоритма обработки данных основной программы информационной системы и ее функциональные возможности.

Ключевые слова: наземный мониторинг атмосферы, сеть AERONET, солнечный фотометр, измерительные процедуры, достоверность информации, альмукантарат Солнца, погрешность измерений.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на фоне всеобщего глобального потепления возникает множество региональных климатических катаклизмов, выражающихся в наводнениях, в учащении ураганов, цунами и т.д. В условиях меняющегося климата организация мониторинга параметров атмосферы составляет одну из главных задач современной геофизики.

Актуальность ее подтверждается регулярным увеличением числа наземных станций по измерениям оптических характеристик атмосферы, использованием с этой целью космических наблюдений яркости, развертыванием различных международных, национальных, региональных программ по исследованию и прогнозированию изменений природной среды.

Одной из наиболее распространенных сетей автоматизированного наземного мониторинга атмосферы является глобальная сеть AERONET (AErosol RObotics NETwork) [1, 2]. В настоящее время в ее состав входят более трехсот станций наблюдений, расположенных по всему миру.

Следует отметить, что порядка десяти лет назад число станций было немногим более ста, что свидетельствует о значительно возросшем интересе к проблемам изменения климата.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ФОТОМЕТРА CIMEL

На станциях сети AERONET установлены солнечные фотометры CE-318 компании Cimel Electronique, Франция [3, 4]. Приборы функционируют в автоматическом режиме в диапазоне температур от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$, обеспечивая поступление информации об аэрозольных оптических толщах, общем содержании водяного пара и яркости дневного неба в альмукантарате и вертикале Солнца.

Фотометр CIMEL имеет восемь интерференционных фильтров на длины волн 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940, 1020 нм. Измерения яркости в солнечном альмукантарате и в плоскости солнечного вертикала выполняются в четырех длинах волн: 440, 670, 870 и 1020 нм с абсолютной погрешностью не более 5% [2, 5].

Порядок измерений яркости в альмукантарате Солнца вкратце может быть представлен следующим образом: вначале фотометр сканирует положительную полуплоскость неба на длине волны 1020 нм в интервале азимутов $\Psi = -6^{\circ} \div 160^{\circ}$, при этом с увеличением азимута шаг возрастает от $0,5^{\circ}$ до 20° . Далее выполняется сканирование отрицательной полуплоскости при $\Psi = -160^{\circ} \div 6^{\circ}$. Таким образом, фотометр дважды проходит область оре-

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

ола ($-6^\circ < \Psi < 6^\circ$). Аналогичные действия выполняются на оставшихся трех длинах волн. После окончания измерений в альмукантарате таким же образом небосвод сканируется в области солнечного вертикала, однако здесь значения яркости являются функцией углов рассеяния с диапазоном изменения $\varphi \equiv -6^\circ \div 150^\circ$.

Общая продолжительность серии измерений яркости не превышает пяти минут, при этом зенитный угол изменяется не более, чем на $0,5^\circ$.

Корректность использования результатов измерений, полученных в разных точках наблюдений и в разное время, обеспечивается стандартными процедурами калибровки фотометров и последующей обработкой данных специалистами NASA.

ОСОБЕННОСТИ ФАЙЛОВ СЕТИ AERONET

Измерительная информация с фотометров сети AERONET поступает в NASA GSFC (Центр космических полетов NASA), где по измеренным данным определяются оптические параметры аэрозолей (распределение аэрозольных частиц по размерам, альbedo однократного рассеяния, комплексный показатель преломления и др.) [6]. Вместе с данными по яркости, оптической толщине, содержанию водяного пара указанные характеристики доступны на официальном сайте программы AERONET [1] для каждой географической точки наблюдений.

Специалисты NASA проводят предварительный отбор данных для исключения влияния облачности на поток прямой солнечной радиации, т.е. в направлении на Солнце [7-9]. Данные по яркости неба, успешно прошедшие указанную обработку, выставляются на сайте AERONET с уровнем достоверности 1.5, а скорректированные после дополнительной калибровки фотометров – с уровнем 2.0.

В работах [10, 11] приводится детальный анализ файлов сети AERONET, прошедших предварительную обработку в NASA. Файл альмукантарата либо вертикала представляет собой текстовый архив, содержащий от нескольких сот до десятков тысяч угловых распределений (кривых) яркости. Для каждой кривой приведены параметры измерений: дата и время измерения, длина волны и зенитный угол Солнца. Для визуального анализа предварительно информация была преобразована в табличную форму. Рассмотрены характерные ошибки измерений, вызванные, в первую очередь, попаданием прямого солнечного из-

лучения (бликов) в оптический канал фотометра и маркируемых значением «-100», а также, как оказалось, наличием облачности на небосводе.

Следует отметить, что в течение достаточно длительного времени функционирования программы AERONET структура представленных на ее сайте данных претерпевала неоднократные изменения. Для подтверждения этого было исследовано несколько десятков исходных файлов альмукантарата за разные годы для различных местностей, таких, как пустыни, острова в океане, континентальные точки, покрытые лесами, некоторые городские мегаполисы.

Основные изменения форматов исходных файлов:

- добавление в диапазон азимутов угла -180° ;
- практически полное совпадение данных в области ореола в отрицательных полуплоскостях первого и второго проходов фотометра;
- наличие значений «-100» (явных ошибок) для положительной полуплоскости второго прохода фотометра.

Наличие указанных особенностей, а также ошибок необходимо было учесть при обработке данных конкретного массива яркостей.

КРИТЕРИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ В АЛЬМУКАНТАРАТЕ И ВЕРТИКАЛЕ СОЛНЦА

В работах [10-13] приведены обоснования необходимости дополнительной обработки информации, выставляемой на сайте AERONET. В первую очередь, это исключение всплесков яркостей, свидетельствующих о наличии облачных образований на линиях визирования фотометров.

Ранее авторами были предложены критерии отбора безоблачных ситуаций, базирующиеся на анализе данных яркости абсолютно безоблачной атмосферы [10, 11, 14] и расчетах яркости неба из уравнения переноса излучения [15-17]:

1. Для яркости безоблачного неба $B(\varphi)$ должно выполняться условие:

$$B(\varphi) > B(\varphi + \Delta\varphi) \text{ при } 2^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ;$$

$$B(\varphi) < B(\varphi + \Delta\varphi) \text{ при } \varphi > 120^\circ.$$

Здесь φ - угол рассеяния в точке наблюдений, вычисляемый из выражения для солнечного альмукантарата

$$\cos\varphi = \cos^2 Z_0 + \sin^2 Z_0 \cos\Psi,$$

где Z_0 и Z – зенитный угол Солнца и точки наблюдений соответственно, Ψ - угол азимута. Другими словами, должно быть регулярное убывание яркости с увеличением угла рассеяния от 2 до 90° и затем ее возрастание при углах рассеяния более 120° .

2. Для угловых градиентов яркостей, определяемых как разности яркостей в соседних углах рассеяния, отнесенные к их интервалу, необходимо выполнение соотношений:

$$V(\varphi) > V(\varphi + \Delta\varphi) > V(\varphi + \Delta\varphi) - V(\varphi + 2\Delta\varphi)$$

при $\varphi < \varphi_{\min}$;

$$V(\varphi + \Delta\varphi) - V(\varphi) < V(\varphi + 2\Delta\varphi) - V(\varphi + \Delta\varphi)$$

при $\varphi > \varphi_{\min}$.

Т.е. должно иметь место регулярное убывание углового градиента яркости $\Delta V(\varphi)/\Delta\varphi$ с ростом угла рассеяния φ . Данный критерий дает возможность обнаруживать облачность, яркость которой больше яркости безоблачного неба на 1-2% [10, 14].

3. В альмукантарате Солнца яркость в точках наблюдений, симметричных относительно солнечного вертикала (значение контраста), должна быть идентичной [10, 12, 18] в пределах заданной абсолютной погрешности измерений (по оценкам специалистов NASA, не более 5% [2, 7, 19]), т.е.

$$V(\Psi) = V(360^\circ - \Psi)$$

при изменении азимута от 0 до 180° .

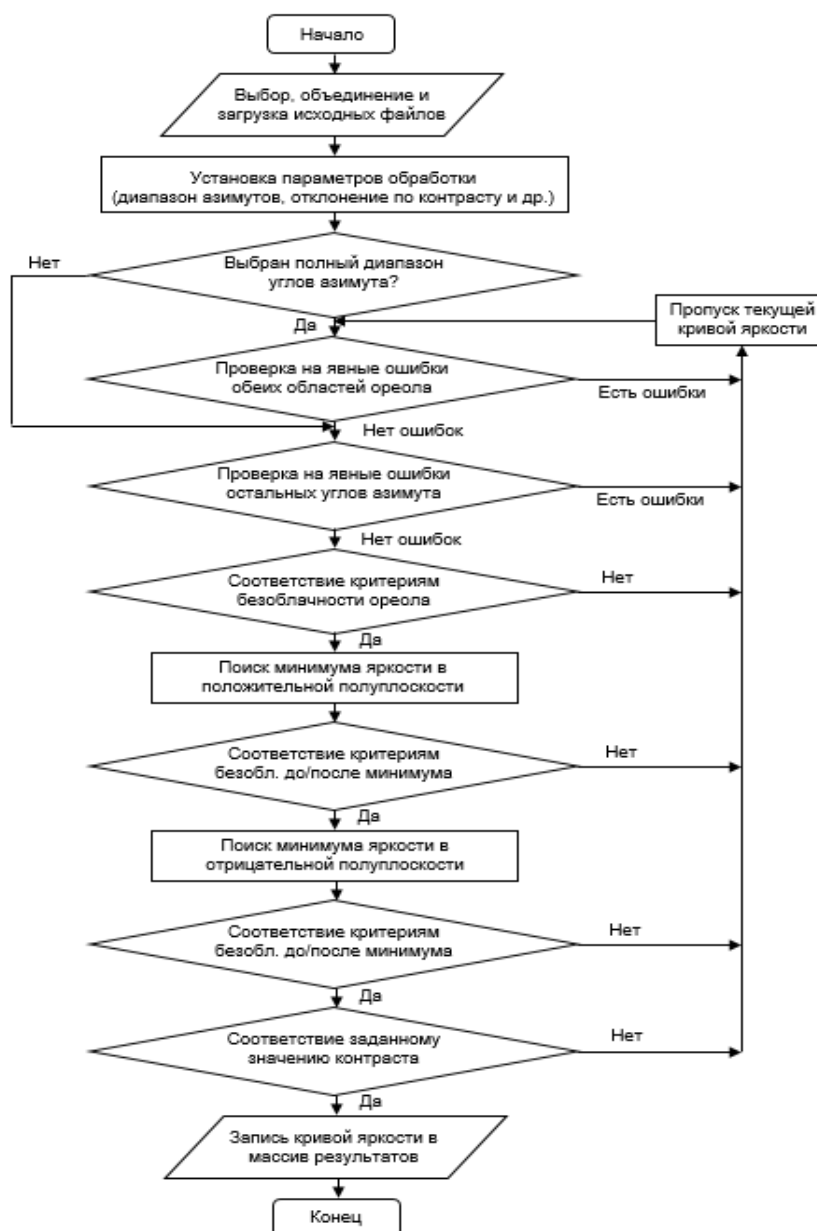


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма обработки данных

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

ФУНКЦИОНАЛ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В основе информационной системы лежит комплекс программ, написанных на языке СИ и обеспечивающих следующие функциональные возможности:

- загрузку предварительно распакованных исходных файлов и визуальный просмотр их в табличной форме;
- гибкую установку параметров обработки, таких, как границы диапазона азимутальных углов, исключение из него частично или полностью области ореола, процент отклонения по контрасту, допустимый разброс значений в минимумах яркости и др.;
- непосредственную обработку данных в соответствии с представленным алгоритмом с достаточной скоростью;
- вывод промежуточных результатов после выполнения определенных этапов алгоритма;
- вывод справочных и статистических данных, к примеру, информации о месте и времени наблюдений, числе исходных кривых яркостей, числе кривых, оставшихся после проверок на ошибки и соответствия критериям безоблачности;
- сохранение выходных данных в формате электронной таблицы, удобном для дальнейшего анализа.

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма программы обработки данных.

Таким образом, разработанная система позволяет оперативно использовать экспериментальные данные для корректного восстановления параметров аэрозольных частиц и построения региональных аэрозольных моделей атмосферы.

В настоящее время система используется сотрудниками Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул), а также аспирантами и магистрантами Алтайского госуниверситета, занимающимися исследованиями атмосферы по данным мониторинговых наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goddard Space Flight Center [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>. – Яз. англ.
2. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote F., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankoviak I., Smirnov A. AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization //

Remote Sensing & Environment. - 1998.- N. 66.- Pp. 1-16.

3. Automatic sun tracking sunphotometer CE 318. Technical description.

4. Simel Sun Photometer User Manual [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.cimel.fr/photo/pdf/man_ce318_us.pdf.

5. Улюмджиева Н.Н., Чубарова Н.Е., Смирнов А.В. Характеристики атмосферного аэрозоля в Москве по данным солнечного фотометра Cimel // Метеорология и гидрология. – 2005. - № 1. - С. 48 - 57.

6. Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. of Geophys. Res. – 2000. - Vol. 105, N. D16. - Pp. 20673 - 20696.

7. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I. Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database // Remote Sensing of Environment. – 2000. – N. 73. - Pp. 337 - 349.

8. Smirnov A., Holben B.N., Kaufman Y.J., Dubovik O., Eck T.F., Slutsker I., Pietras C. Optical properties of atmospheric aerosol in maritime environments // J. Atmos. Sci. – 2002. – Vol. 59. - Pp. 501 - 523.

9. O'Neill N.T., Eck T.F., Smirnov A., Holben B.N., Thulasiraman S. Spectral discrimination of coarse and fine mode optical depth // J. Geophys. Res. – 2003. - Vol. 108, N. D17. - P. 4559.

10. О селекции данных AERONET. Ч.1: Обоснования методик / Матющенко Ю.Я., Ошлаков В.К., Павлов В.Е. Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 4. С. 271-277.

11. Методы селекции и коррекции экспериментальных данных AERONET по яркости неба. Матющенко Ю.Я. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Алтайский государственный университет. Барнаул, 2007.

12. Матющенко Ю.Я., Павлов В.Е. Малоугловые аэрозольные и облачные образования на фоне преобладающе безоблачной атмосферы / Ю.Я. Матющенко, В.Е. Павлов // Межрегиональный экологический форум: Сб. мат. форума. – Барнаул, 2004.

13. Павлов В.Е. Отбор безоблачных ситуаций по данным AERONET / В.Е. Павлов, П.М. Зацепин, Ю.Я. Матющенко // Аэрозоли Сибири: тез. докл. XI Рабочей группы. – Томск, 2004.

14. Зинченко Г.С. Облачность и эффективность функционирования солнечных фотометров на юге Сибири / Г.С. Зинченко, Ю.Я. Матющенко, В.Е. Павлов, С.В. Смирнов // Аэрозоли Сибири: тез. докл. XIII Рабочей группы. – Томск, 2006.

15. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Г.И. Марчука. – Новосибирск, 1976.

16. Павлов А.В. Угловая структура многократно рассеянного света безоблачной атмосферы / А.В. Павлов, В.Е. Павлов, Т.З. Мулдашев // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Т. 9, №5

17. Журавлева Т.Б. Численное моделирование угловой структуры яркости неба вблизи горизонта при наблюдении с Земли. Ч. I: Аэрозольная атмосфера / Т.Б. Журавлева, И.М. Насретдинов,

С.М. Сакерин // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. №5–6.

18. Dubovik O. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations / O. Dubovik, B.N. Holben, T.F. Eck, A. Smirnov, Y.J. Kaufman, M.D. King, D. Tanre, I. Slutsker // J. of Atm. Sciences. – 2002. – Vol. 59.

19. Dubovik O. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements / O. Dubovik, M.D. King // J. of Geophys. Res. – 2000. – Vol. 105, №D16.

Матющенко Юрий Яковлевич – к.ф.-м.н., доцент кафедры вычислительной техники и электроники фэбоу во «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, e-mail: matyuschenko@phys.asu.ru

Пашнев Владимир Валентинович – к.ф.-м.н., доцент кафедры вычислительной техники и электроники фэбоу во «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, e-mail: pashnev@phys.asu.ru.