

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА DOAS ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ

А.В. Вороков
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Для количественного определения содержания малых газовых составляющих атмосферы предлагается использовать обработку спектральной плотности энергетической яркости рассеянного и поглощённого в атмосфере солнечного излучения при помощи метода DOAS (differential optical absorption spectroscopy). Рассмотрены основные положения данного метода, и сделан вывод о целесообразности его применения для аппаратуры СА-МП, предназначенной для эксплуатации в составе перспективного КА «Метеор-МП» № 1, с целью улучшения качества интерпретируемой информации на этапе тематической обработки.

Ключевые слова: метод DOAS, закон Бугера – Ламберта – Бэра, эффект Ринга, линии Фраунгофера, метод наименьших квадратов, коэффициент воздушной массы.

Введение

В рамках Федеральной космической программы (ФКП) России на 2006 – 2015 годы в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» ведутся работы по созданию космического комплекса четвёртого поколения гидрометеорологического и океанографического назначения, в состав которого входит космический аппарат (КА) «Метеор-МП» № 1.

Одной из основных задач данного КА является измерение состава и характеристик атмосферы Земли. Эта задача приоритетна для целого ряда наук и сфер человеческой деятельности. Особенно актуальной она является для экологии (определение количества вредных выбросов антропогенного происхождения, контроль состояния озонового слоя и т. д.) и метеорологии (характеристики облаков). Отечественных приборов, проводящих такие измерения, на данный момент не существует. Данных только с зарубежной научной аппаратуры недостаточно для контроля динамики изменения газового состава атмосферы на отдельных локальных участках поверхности Земли (например на всей территории России).

Для решения данной задачи планируется использовать перспективную аппаратуру – спектрометр для определения газового состава атмосферы СА-МП (рис. 1), работающий в ультрафиолетовом, видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах (разработка ФГУП ЦНИИмаш). Данные, полученные СА-МП, позволят исследовать широкую область явлений, связанных с физико-химическими превращениями в атмосфере [1]:

– в тропосфере: горение биомассы, природные и промышленные загрязнения, арктический туман, лесные пожары, штормовая пыль;

– в стратосфере: определение состояния озонового слоя, вулканические процессы и солнечные протонные явления.

Восстановление содержания малых газовых составляющих (МГС) атмосферы Земли основано на знании процессов поглощения, рассеяния и эмиссии электромагнитного излучения в атмосфере, таких как:

- рассеяние молекулами воздуха (рэлеевское рассеяние, рамановское вращательное рассеяние);
- рассеяние и поглощение аэрозолями и облачной поверхностью (рассеяние Ми);
- поглощение и излучение молекулами МГС;
- рефракция из-за градиента плотности атмосферы;
- отражение и излучение Земной поверхности.

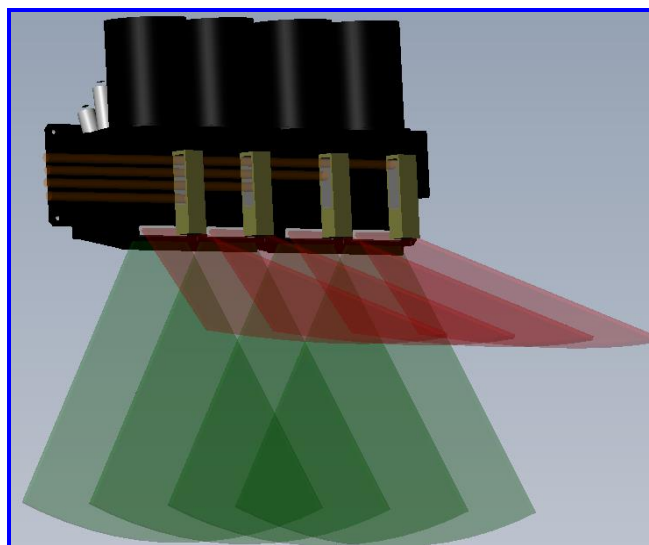


Рис. 1. Общий вид аппаратуры СА-МП

Основные технические характеристики СА-МП

| Параметр | Значение |
|---|------------------------|
| Спектральный диапазон каналов, нм (спектральное разрешение, нм) | 240 – 334 (0,3) |
| | 320 – 452 (0,3) |
| | 430 – 800 (0,8) |
| | 755 – 910 (0,5) |
| | 900 – 1210 (0,5) |
| | 1200 – 1770 (1,0) |
| | 1934 – 2044 (0,3) |
| 2259 – 2386 (0,3) | |
| Режимы работы | Лимбовый Надирный |
| Пространственное разрешение, не хуже, км: – в лимбовом режиме – в надирном режиме* | 3 × 130 30 × 60 |
| Полоса обзора при надирных наблюдениях, км | 1000 |
| Радиометрическое разрешение, бит | 14 |
| Режим полётной калибровки | По излучению Солнца |

*В настоящее время рассматривается возможность увеличения пространственного разрешения в надирном режиме до 16 × 20 км.

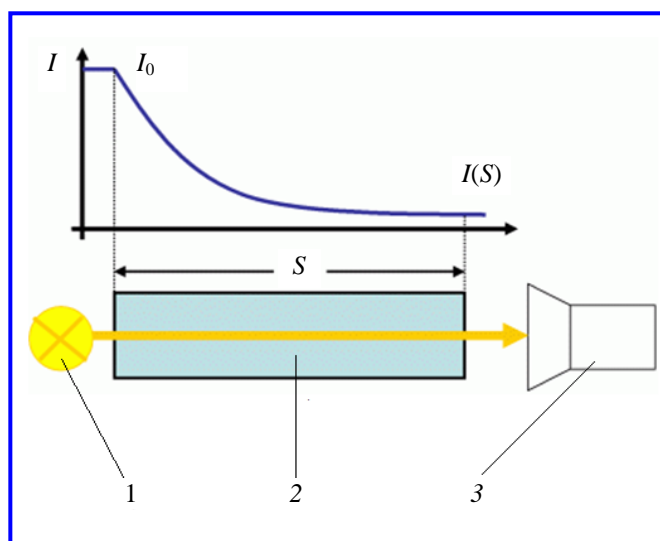


Рис. 2. Схема установки для проведения опыта, иллюстрирующего применение закона Бугера – Ламберта – Бэра для определения концентрации газовых составляющих ёмкости

Высокая разрешающая способность аппаратуры СА-МП позволит обнаружить следы газовых компонент атмосферы на уровне пикселя, при этом можно измерить концентрации МГС естественного и антропогенного происхождения. Ширина рабочих спектральных диапазонов также позволит определять концентрации аэрозолей и характеристики облаков.

Для количественного определения содержания малых газовых составляющих атмосферы предлагается использовать обработку спектральной плотности энергетической яркости рассеянного и поглощённого в атмосфере солнечного излучения при помощи метода DOAS (differential optical absorption spectroscopy), разработанного Бременским университетом (IUP). В связи с тем, что данный метод применялся в основном для обработки данных экспериментального прибора SCIAMACHY, то необходимо его подробное рассмотрение на предмет возможности применения при обработке данных целевой аппаратуры СА-МП, которые будут использоваться для решения реальных задач экологии и метеорологии.

В данной статье будут рассмотрены основные положения и особенности этого метода, проанализированы его достоинства и недостатки.

Описание метода DOAS

Метод DOAS основан на физическом принципе ослабления пучка излучения при его распространении в поглощающей среде. Свет, проходящий через атмосферу и отражающийся от поверхности Земли, частично поглощается находящимися на его пути газовыми компонентами в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бэра:

$$I_{\lambda}(S) = I_0 e^{-\sigma(\lambda)\rho S},$$

где $I_{\lambda}(S)$ – интенсивность солнечного света, выходящего из исследуемой среды; I_0 – интенсивность солнечного света, входящего в исследуемую среду; $\sigma(\lambda)$ – коэффициент, характеризующий взаимодействие молекулы поглощающего вещества со светом длины волны λ ; ρ – концентрация исследуемого вещества; S – толщина слоя вещества, через которое проходит свет (оптический путь светового луча).

Исходя из этой зависимости, по характерным линиям поглощения можно установить тип и количество газовых составляющих в разных участках атмосферы.

Для наглядного представления метода восстановления газовых составляющих DOAS рассмотрим следующий опыт. На рис. 2 представлена схема установки для проведения опыта.

Свет от вторичного эталонного источника I проходит через ёмкость с различными газовыми составляющими 2 и регистрируется фотоприёмным устройством (ФПУ) 3. При этом за счёт поглощения света на молекулах газов можно оценить их

химический состав и уровень содержания в ёмкости, используя метод DOAS.

Если ФПУ включить в состав какой-либо аппаратуры и расположить на спутнике дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), расположив входное окно перпендикулярно поверхности Земли (в надир), то суть проводимых измерений не изменится.

Метод DOAS позволяет решать следующие задачи, необходимые для определения газового состава атмосферы:

- определение общего положения и рассеяния солнечного света путём нормирования измеренного спектра на спектр излучения Солнца (получение коэффициента отражения, необходимого для определения уровня сплошного фона поглощения);

- определение содержания газовой компоненты в наклонном столбе по линии визирования по степени поглощения в структурированном молекулярном (остаточном) спектре, для чего логарифм фона аппроксимируется полиномом и вычитается как базовый уровень, и учитываются сечения поглощения компоненты (методики WFM-DOAS и AMC-DOAS);

- определение среднего оптического пути луча света в атмосфере. Этот путь, как правило, характеризуется коэффициентом воздушной массы (air-mass factor);

- вычисление содержания газовой компоненты в вертикальном столбе.

Особенности метода DOAS:

- выделение структурированного молекулярного спектра поглощения на фоне широкополосного рассеянного излучения (рассеяние Ми, Рэлеевское рассеяние) с помощью высокочастотного фильтра;

- разделение процесса восстановления содержания МГС и расчётов газового излучения.

Метод DOAS применяется при обработке целевой информации, поступающей с аппаратуры GOME-2 (MetOp-A) и SCIAMACHY (Envisat). Для улучшения качества тематической обработки информации, получаемой с российских КА, предлагается рассмотреть возможность использования метода DOAS (с учётом зарубежного опыта) для перспективной аппаратуры СА-МП, устанавливаемой на КА «Метеор-МП» № 1.

При проведении спутниковых измерений с помощью аппаратуры СА-МП необходимо учитывать невозможность определения интенсивности световой волны I_0 , входящей в атмосферу. Для устранения этого неизвестного из уравнения могут быть использованы два следующих способа [2].

Способ 1. Сравнение нескольких измерений с различной длиной оптического пути света S (например измерения одного и того же атмосфер-

ного столба в надире и в лимбе, сделанные при нахождении КА «Метеор-МП» № 1 на различных участках траектории полёта). Если считать начальную интенсивность примерно одинаковой, то в результате деления одной формулы на другую её можно исключить:

$$I(\lambda, S_1) = I_0 e^{-\sigma(\lambda)\rho S_1};$$

$$I(\lambda, S_2) = I_0 e^{-\sigma(\lambda)\rho S_2};$$

$$\frac{I(\lambda, S_1)}{I(\lambda, S_2)} = I_0 e^{-\sigma(\lambda)\rho(S_1 - S_2)}.$$

Способ 2. Сравнение нескольких измерений в различных каналах аппаратуры СА-МП (на разных длинах волн):

$$I(\lambda_1, S) = I_0 e^{-\sigma(\lambda_1)\rho S};$$

$$I(\lambda_2, S) = I_0 e^{-\sigma(\lambda_2)\rho S};$$

$$\frac{I(\lambda_1, S)}{I(\lambda_2, S)} = I_0 e^{-\rho S(\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2))}.$$

В реальных условиях эксплуатации аппаратуры СА-МП в атмосфере Земли аэрозоли и облака будут рассеивать свет и, тем самым, снижать интенсивность прямого пучка света, при этом интенсивность в других направлениях увеличится. Кроме того, в достаточно редких случаях оказывается, что одной длине волны соответствует только один поглотитель, и это также необходимо учитывать.

Решение этих проблем заключается в использовании измерений на нескольких длинах волн. Каждая молекула имеет характерный спектр поглощения и, следовательно, одновременные измерения на различных длинах волн позволяют разделить и оценить влияние различных поглотителей на интенсивность солнечного света. По существу используется множество уравнений типа:

$$\begin{cases} I(\lambda_1, S) = I_0 e^{(-\sigma_1(\lambda_1)\rho_1 S - \sigma_2(\lambda_1)\rho_2 S - \sigma_3(\lambda_1)\rho_3 S \dots)}, \\ I(\lambda_2, S) = I_0 e^{(-\sigma_1(\lambda_2)\rho_1 S - \sigma_2(\lambda_2)\rho_2 S - \sigma_3(\lambda_2)\rho_3 S \dots)}, \\ I(\lambda_3, S) = I_0 e^{(-\sigma_1(\lambda_3)\rho_1 S - \sigma_2(\lambda_3)\rho_2 S - \sigma_3(\lambda_3)\rho_3 S \dots)}. \end{cases}$$

Использование большого количества длин волн λ_i облегчает определение концентрации газовых составляющих ρ_i в атмосферном столбе. За счёт большого количества спектральных каналов аппаратура СА-МП позволяет с высокой степенью точ-

ности измерять содержание МГС в атмосфере в различных спектральных диапазонах [2].

Использование метода DOAS предполагает независимость дифференциального сечения поглощения от высоты, т. е. от температуры. Но в действительности сечения поглощения O_3 и NO_2 зависят от температуры. Для определения эффективного сечения поглощения достаточно взять температуру, соответствующую максимуму среднего профиля.

Для определения наклонного содержания восстанавливаемого газа по измерениям в УФ и видимой области спектра необходимо учитывать так называемый «ринг-эффект», заключающийся в заполнении линий Фраунгофера в спектре уходящего излучения. Эффект Ринга связан с «неэластичным» рассеянием на молекулах N_2 и O_2 , и рассматривается в данном методе как эффект поглощения солнечного излучения неким эффективным поглотителем.

Спектр такого эффективного поглотителя может быть рассчитан на основе радиационной модели. Эффекты молекулярного (рэлеевского) и аэрозольного рассеяния и плавно меняющиеся по спектру компоненты молекулярного поглощения описываются с помощью аппроксимирующего полинома по методу наименьших квадратов (методики WFM-DOAS и AMC-DOAS) [3].

Существуют определённые проблемы оценки качества проведённых измерений при помощи метода DOAS в инфракрасных спектральных каналах аппаратуры СА-МП. Эти проблемы связаны, во первых, не с самим методом, а с применением в аппаратуре СА-МП иностранных ФПУ, а во вторых, с недостаточностью опыта использования метрологического стенда для калибровки аппаратуры в ИК-диапазоне. В связи с этим для проверки данных спектрометра СА-МП, обработанных методом DOAS, необходимо разработать дополнительные

Методики DOAS, планируемые к использованию для обработки целевой информации аппаратуры СА-МП

| Обозначение методики | Спектральный диапазон, нм | Назначение методики | Молекула |
|-----------------------|---------------------------|---|----------|
| WFM-DOAS SDOAS | 325 – 335 | Валидация на полувитке данных полного содержания озона с привлечением наземных измерений. Обработка вне структурированного спектрального интервала данных по содержанию МГС в УФ и видимом диапазонах при наблюдении в надир | O_3 |
| DOAS SDOAS | 425 – 450 | Восстановление МГС методом дифференциальной оптической спектроскопии поглощения. Обработка вне структурированного спектрального интервала данных по содержанию МГС в УФ и видимом диапазонах при наблюдении в надир | NO_3 |
| DOAS | 335 – 347 (355) | Восстановление МГС методом дифференциальной оптической спектроскопии поглощения | BrO |
| DOAS | 315 – 327 | Восстановление МГС методом дифференциальной оптической спектроскопии поглощения | SO_2 |
| DOAS | 335 – 347 (355) | Восстановление МГС методом дифференциальной оптической спектроскопии поглощения | $HCHO$ |
| DOAS | 365 – 389 | Восстановление МГС методом дифференциальной оптической спектроскопии поглощения | $OCIO$ |
| AMC-DOAS | 688 – 700 | Восстановление содержания водяного пара в вертикальном столбе | H_2O |
| WFM-DOAS | 1627(1630) – 1671 | Валидация на полувитке данных полного содержания метана с привлечением наземных измерений. Определение содержания CH_4 в атмосфере Земли | CH_4 |
| WFM-DOAS | 1558 (1563) – 1594 (1585) | Определение содержания CO_2 в атмосфере Земли | CO_2 |
| WFM-DOAS | 2321 – 2335 | Определение содержания CO в атмосфере Земли | CO |

собственные методы восстановления содержания МГС в атмосфере Земли.

Метод DOAS состоит из нескольких условных методик, являющихся специфическими для учёта конкретных измеряемых газовых компонент в различных спектральных диапазонах. Методики, которые предлагается использовать для обработки целевой информации аппаратуры СА-МП, перечислены в таблице [1].

Далее будут рассмотрены более подробно некоторые из данных методик, и обоснована целесообразность их применения при обработке полезной информации с аппаратуры СА-МП.

Использование методики MAXDOAS для стратосферных и тропосферных измерений

Методика MAXDOAS (multi-aXis DOAS) основана на спектральных измерениях рассеянного атмосферой Земли света в направлении на горизонт. Как правило, он применяется при наземных наблюдениях, но поскольку в спектрометре СА-МП планируется реализация лимбового режима наблюдения, то имеет смысл рассмотреть возможность использования данной методики для регистрации и обработки результатов измерений.

На рис. 3 представлена схема применения методики MAXDOAS при работе аппаратуры СА-МП на орбите в лимбовом режиме наблюдений: КА «Метеор-МП» № 1 1, на котором установлен перспективный спектрометр для определения газового состава атмосферы 2, работающий в лимбовом режиме наблюдений. Для исследования атмосферного столба 3 по всей высоте необходима коррекция угла поля зрения прибора, которая выполняется за счёт сканирующего зеркала 4.

Длина оптического пути света в нижних слоях атмосферы зависит от геометрических параметров (угла поля зрения), а также от практически случайного распределения векторов движения фотонов, из которых состоит световой поток.

Так как вертикальная чувствительность – это функция от угла поля зрения, то комбинация всех проведённых измерений может быть использована для восстановления вертикальных профилей концентрации поглощающих веществ. Вертикальное разрешение таких профилей зависит от угла между зенитом и направлением распространения солнечного света, количественного содержания аэрозолей и альбедо поверхности Земли.

Тропосферный или стратосферный столб атмосферы можно получить путём интегрирования полученного профиля или используя направление зондирования с углами поля зрения, соответствующими

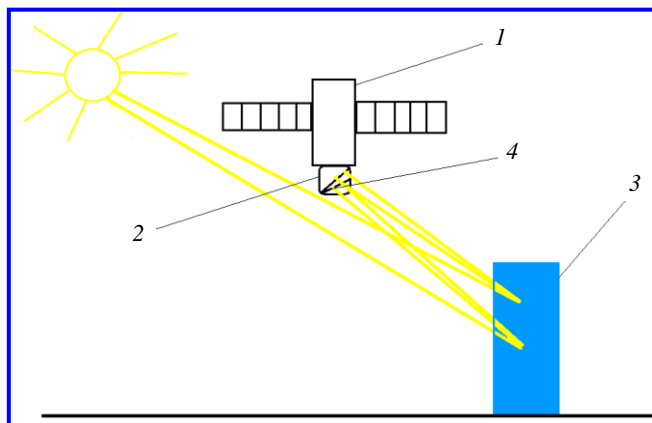


Рис. 3. Применение метода MAXDOAS при работе аппаратуры СА-МП на орбите в лимбовом режиме наблюдений

исследуемой области атмосферы Земли, где крайняя точка рассеяния почти всегда находится в слое с высокой концентрацией газовых компонент и аэрозолей.

Использование методики WFM-DOAS для определения содержания CO₂, CH₄, CO, H₂O и NO₂ в атмосфере Земли

Метод WFM-DOAS (weighting function modified DOAS) основан на синтезе линейаризованной передаточной модели излучения I^{mod} и полиномиального логарифма соотношения, измеренного в надире излучения к спектру излучения Солнца, т. е. наблюдаемое нормализованное по Солнцу излучение I^{obs} . Запишем уравнение WFM-DOAS с помощью метода наименьших квадратов для линейной модели:

$$\| \ln I_i^{obs} - \ln I_i^{mod}(\hat{V}) \|^2 = \| R_i \|^2 \rightarrow \min.$$

Следовательно линейаризованную передаточную модель излучения можно записать в следующем виде, таким образом, решая уравнение переноса:

$$\ln I_i^{mod}(\hat{V}) = \ln I_i^{mod}(\bar{V}) + \sum_{j=1}^j \frac{\partial \ln I_i^{mod}}{\partial V_j} \left\| \bar{V}_j (\hat{V}_j - \bar{V}_j) + P_i(a_m), \right.$$

где индекс i – центральная длина волны, проходящая на i -й пиксель детектора ПЗС-матрицы.

Компоненты векторов V – это вертикальный атмосферный столб всех профилей газов, которые имеют линии поглощения в выбранном спектральном интервале (например CO, CO₂, CH₄). Попра-

точные коэффициенты – это искомые профили содержания газов в вертикальном атмосферном столбе V_j и полиномиальные коэффициенты a_m . Поправочный коэффициент был введён для учёта температурной зависимости при поглощении излучения газами в поперечном сечении атмосферного столба. Значения поправочных коэффициентов должны быть заданы таким образом, чтобы минимизировать (по методу наименьших квадратов) различие между наблюдаемым излучением I^{obs} и моделью, восстановленной с помощью методики WFM-DOAS ($\ln I_i^{mod}$), т. е. сделать коэффициент рассогласования R_i одинаковым для всех длин волн λ_i . Производная (она же функция содержания) вертикального атмосферного столба определяет характер изменения солнечного излучения в верхних слоях атмосферы, вызванный изменением заранее выбранный вертикального профиля газовых компонент. Восстановленный спектр WFM-DOAS определяется как логарифм нормализованного по Солнцу излучения и его производные. Они могут быть рассчитаны при помощи компьютерного моделирования с использованием заранее известных данных о содержании газов в вертикальном атмосферном столбе. При этом должно быть принято во внимание и учтено многократное рассеяние солнечного излучения.

Проблема метода наименьших квадратов также может быть выражена в следующей матричной записи: минимизировать $\|y - Ax\|^2$ по x . Решение этой проблемы: $x = C_x A^T y$, где $C_x = (A^T A)^{-1}$ – ковариантная матрица решения x . Среднеквадратическое отклонение восстановления столбов атмосферы оцениваются по следующей формуле:

$$\sigma_{V_j} = \sqrt{(C_x)_{jj} \sum_i \frac{R_i^2}{(m-n)}}$$

где $(C_x)_{jj}$ – j -й диагональный элемент ковариантной матрицы; m – число разрешаемых спектральных точек в диапазоне наблюдения и n – число линейных поправочных коэффициентов [4].

Использование методики AMC-DOAS для определения содержания водных паров в атмосфере Земли

Метод AMC-DOAS (air mass corrected-DOAS) использовался при обработке надирных измерений спектрометра SCIAMACHY в диапазоне

длин волн около ~ 700 нм. При помощи этой методики можно восстановить распределение водных паров в атмосферном столбе с достаточно высокой точностью.

Основная формула метода AMC-DOAS:

$$\ln \frac{I}{I_0} = P - A(\tau_{O_2} + cC_V^b),$$

где I и I_0 – измеренное отражённое излучение и солнечное излучение соответственно. Как и в классическом методе DOAS, измерения во всех спектральных диапазонах (результатирующие, например, рассеяние Релея, рассеяние Ми или альbedo поверхности Земли) аппроксимируются полиномом P .

Коэффициент τ_{O_2} в формуле обозначает оптическую толщину O_2 ; C_V – количество водных паров в вертикальном столбе; b и c – коэффициенты насыщения и поглощения соответственно. Коэффициент c содержит в себе информацию об эффективном поперечном сечении атмосферного столба. Скалярное число A определяет коэффициент воздушной массы. Коэффициенты τ_{O_2} , b и c определяются путём расчётов солнечного излучения, выполненных для различных атмосферных условий и углов между зенитом и направлением прохождения излучения Солнца; C_V и a – производные от нелинейного поправочного коэффициента. Среднеквадратическое отклонение вертикального атмосферного столба рассчитывается при помощи ковариантной матрицы по аналогии с предыдущим методом [5].

Остановимся подробнее на влиянии коэффициента воздушной массы A на точность определения водяных паров. Столб атмосферы, восстановленный при помощи метода DOAS, зависит не только от количества поглотителей, но и от длины светового пути. Его параметры зависят от множества факторов, включая геометрию просмотра и вертикальное распределение поглотителя. Мера воздействия светового пути на содержание восстановленного атмосферного столба обозначается как коэффициент воздушной массы A , который в случае безоблачной атмосферы определяется как отношение полученного наклонного столба атмосферы $S_{накл}$ к полученному вертикальному столбу атмосферы $S_{верт}$:

$$A = \frac{S_{накл}}{S_{верт}}. \quad (1)$$

В геометрическом приближении световой путь при угле между зенитом и направлением распространения солнечного света 30° может быть рассчитан по формуле

$$L = 1 + \frac{1}{\cos 30^\circ}.$$

В реальных условиях множество фотонов, из которых состоит солнечный свет, рассеиваются на поверхности Земли и зависят от альбедо, угла между зенитом и направлением распространения солнечного света, длины волны, чувствительности аппаратуры, но при этом, в основном, коэффициент воздушной массы зависит от геометрического приближения.

Если учесть поправку на облачность, то наклонное содержание $S_{\text{накл}}$ преобразуется в общее содержание в вертикальном столбе атмосферы $S_{\text{верт}}$ следующим образом:

$$S_{\text{верт}} = \frac{S_{\text{накл}} + fKA_1}{fA_1 + (1-f)A_2},$$

где A_1 и A_2 – рассчитанные коэффициенты воздушной массы для безоблачных условий и сплошной облачности; f – поправочный коэффициент, характеризующий степень закрытия пикселя СА-МП облачностью, который должен быть рассчитан по измерениям в полосе поглощения кислорода ($\sim 0,76$ мкм); K – среднее содержание газовых компонент в вертикальном столбе от поверхности до нижней границы облачности, определяемое из климатологии [3].

В случае сплошной облачности атмосферы, т. е. при $f = 1$, выражение (1) сокращается до простого соотношения:

$$S_{\text{верт1}} = \frac{S_{\text{накл1}}}{A_1} + K.$$

Метод АМС-DOAS применяется для спектрального диапазона длин волн от 688 до 700 нм, так как именно в этой области наиболее активно поглощается кислород и водные пары.

Основные характерные особенности данной методики:

1. Возникновение эффекта насыщения высокоструктурированных дифференциальных спектральных линий, который не разрешается используемой аппаратурой СА-МП.

2. Линии поглощения O_2 в сочетании с линиями поглощения H_2O используются для определения коэффициента воздушной массы A , которая компенсирует недостаточную степень знаний о фоне атмосферы и топографических характеристиках, таких как возвышения на поверхности Земли (холмы, горы и т. п.) и облака.

Заключение

Для улучшения качества обработки и интерпретации целевой информации, получаемой с российских КА, предлагается использовать метод DOAS. Исследование возможности применения данного метода предлагается проводить при помощи спектрометра для определения газового состава атмосферы СА-МП, планируемого к установке на перспективный КА «Метеор-МП» № 1.

Были определены как положительные, так и отрицательные стороны применения метода.

К положительным сторонам метода DOAS можно отнести достаточно высокую точность результатов обработанных измерений, а также успешный опыт его использования при обработке данных с различных европейских спутников силами Института физики окружающей среды (Institute of environmental physics IUP, Bremen, Germany).

Отрицательная сторона применения метода DOAS заключается в трудности установления степени достоверности проводимых измерений. Оценить качество получаемой информации можно только при помощи использования нескольких методов и сравнении результатов СА-МП с результатами другой аналогичной аппаратуры зарубежных спутников или полигонными измерениями. Недостатком этого метода также является независимость дифференциального сечения поглощения от температуры, разной для различных высот атмосферного столба.

Но, несмотря на эти отрицательные стороны, можно сделать вывод, что применение метода DOAS в качестве основного при обработке данных спектрометра для определения газового состава атмосферы СА-МП позволит обеспечить достаточно высокое качество интерпретации целевой информации на этапе тематической обработки и значительно расширит понимание физико-химических процессов, происходящих в нижних слоях атмосферы Земли.

Автор благодарит И.А. Варламову (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ») за помощь в переводе иностранных источников информации.

Литература

1. Спектрометр для определения газового состава атмосферы СА-МП : пояснительная записка к эскизному проекту / ГЮИД 41.61.21.000.01 ПЗ. – УДК 629.788.014.18. – № У910027. – Инв. 103-76/11.
2. Richter A. What is DOAS [Электронный ресурс] / Andreas Richter // URL: <http://www.iup.uni-bremen.de>. – (дата обращения 21.08.2012).
3. Ионов Д. В. Исследования точности спутниковых методов измерений газового состава атмосферы (аппаратура GOME и SCIAMACHY) : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 04.00.23 / Ионов Дмитрий Викторович. – Спб., 2000. – 181 с.
4. Global Carbon Monoxide as retrieved from SCIAMACHY by WFM-DOAS / M. Buchwitz, R. de Beek, K. Bramstedt, S. Noel, H. Bovensmann and J. P. Burrows // Institute of Environmental Physics. – Remote Sensing; University of Bremen, Germany. – Atmos.-chem.-phys., 4, 1945 – 1960. – 2004.
5. Validation of SCIAMACHY AMC-DOAS water vapour columns / S. Noel, M. Buchwitz, H. Bovensmann and J. P. Burrows // Institute of Environmental Physics / Remote Sensing; University of Bremen, Germany. – Atmos.-chem.-phys., 5, 1835 – 1841. – 2005.

Поступила в редакцию 05.09.2012

*Алексей Владимирович Вороков, инженер, т. 8 (903) 750-36-44,
(495) 255-39-07, e-mail: vorokovpost@yandex.ru.*