

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ ОБЛАЧНОСТИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ РАССЕЯННОЙ В ЗЕНИТЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

В данной статье описана схема спектрального метода восстановления оптической толщины облачности по измерениям рассеянной в зените солнечной радиации, в котором используется как информация по содержанию O_4 , так и информации о пропускании атмосферой излучения, а также дан пример восстановления оптической толщины облачности.

Введение

Солнечные спектры, зарегистрированные в УФ и в видимой областях спектра используют для восстановления содержания малых газовых примесей атмосферы [1]. Если при этом наблюдения проводятся по рассеянному в зените солнечному излучению, то такой метод называют Zenith-DOAS [1]. По алгоритмической схеме этого метода [2]:

- 1) Первоначально восстанавливают наклонное содержание примеси, используя систему уравнений Бугера (метод DOAS). Поскольку излучение, проходя через атмосферу, многократно рассеивается, наклонное содержание является функцией непосредственного вертикального распределения примеси в атмосфере, а также среднего пути излучения. Последний параметр зависит главным образом от рассеивания излучения в атмосфере.
- 2) Затем из наклонного содержания газа (X) выражают вертикальное содержание газа (V) через коэффициент воздушной массы (AMF).

$$V = \frac{X}{AMF} \quad (1)$$

Коэффициент AMF для рассматриваемого газа, зависит от рассматриваемой модели атмосферы, т.е. от расположения и содержания исследуемого газа, а также от расположения и оптических характеристик рассеивающих сред атмосферы. В первую очередь к ним относятся аэрозоль и облачность. Если не учитывать их влияние на расчет AMF, то точность определения вертикального содержания газа по формуле (1) может превышать несколько сотен процентов [2].

Решение проблемы учета оптической толщины аэрозоля / облачности для DOAS методов впервые предложил Вагнер [3]. Его идея - сравнить экспериментальное и модельное значение наклонного содержания димера кислорода O_4 (SCD_{O_4}). Наклонное содержание O_4 определяется экспериментально из обработки солнечных спектров методом DOAS. Вертикальное содержание димера кислорода (VCD_{O_4}) не меняется со временем и пропорционально содержанию кислорода и, следовательно, оно известно. Коэффициент пропорциональности (AMF) между вертикальным и наклонным содержанием для безоблачной атмосферы зависит от оптической толщины аэрозоля / облачности. Поэтому подбирая оптическую толщину аэрозоля / облачности можно добиться обращения равенства (2) в тождество, и тем самым определить ее.

$$SCD_{O_4}(\text{know}) = AMF(\text{unknow}) * VCD_{O_4}(\text{know}) \quad (2)$$

В дополнение к описанной методике оптическую толщину облачности можно рассчитать через коэффициент пропускания атмосферы. В данной статье описана схема композиционного метода, в котором используется как информация по содержанию O_4 , так и информации о пропускании атмосферой излучения, а также дан пример восстановления оптической толщины облачности.

Описание метода.

Идея данного метода сравнить экспериментальное и модельное значение потока солнечной радиации у поверхности Земли и наклонного содержания O_4 . В данном случае, под потоком солнечной радиации подразумевается отношение величины интенсивности излучения на длине волны 440 нм ко времени экспозиции сигнала.

Алгоритм метода:

- 1) Для каждого дня, для которого проводились наблюдения, строится кривая потока солнечного излучения в зависимости от зенитного угла Солнца.
- 2) Выбирают день с гладкой кривой. Гладкость кривой – означает, что яркость неба зависит только от зенитного угла Солнца, а значит, оптическая толщина атмосферы не меняется в течение суток. Такое может быть в случае или плотной сплошной облачности или при ее отсутствии. Сравнивая яркость для различных дней наблюдения, можно определить день, когда было ясно.
- 3) По метеорологическим данным можно проверить выбранный в пункте 2 день на отсутствие облачности. Это день будет опорный в методе. Точность моделирования AMF для такого дня <5% [2].
- 4) Для наклонного содержания O_4 необходимо провести действия, описанные в пунктах 1-3.
- 5) Тогда для анализируемого дня можно составить уравнения 4(а,б)
- 6) Моделируемые величины $A(\text{cloud})$ и $\text{Flux}(\text{cloud})$ зависят от оптической толщины облачности. Подбирая ее, уравнения 4(а,б) обращаются в тождество. Таким образом, можно определить оптическую толщину облачности.

$$\left[\frac{V_{o4}(\text{cloud})}{V_{o4}(\text{clear})} \right]_{\rightarrow 1} * \frac{A_{o4}(\text{cloud})}{A_{o4}(\text{clear})} = \frac{X_{o4}(\text{cloud})}{X_{o4}(\text{clear})} \quad (4.a)$$

$$\frac{\text{Flux}(\text{cloud})}{\text{Flux}(\text{clear})} = \frac{\tau(\text{cloud})}{\tau(\text{clear})} \quad (4.б)$$

Апробация метода

На исследовательской станции ИФА в г. Москве (N55.74, E37.62) с 2010 года проводятся измерения содержания NO_2 . До настоящего времени, на ней использовалась предыдущая версия метода, в которой не учитывалось влияние облачности в расчетах. Как было показано [2], такое допущение в принципе возможно, поскольку слой NO_2 , обычно лежит ниже слоя облачности и поэтому облачность не оказывает значительное влияние на измерения содержания NO_2 . Однако, возможен случай, опустившегося тумана, либо сильного снегопада. В этом случае можно применить выше описанный метод.

Такой день, например, был 13 апреля 2011 года в г. Москве. В этот день наклонное содержание NO_2 было $70 \cdot 10^{16}$ мол/см², а восстановленное по старому методу вертикальное содержание $60 \cdot 10^{16}$ мол/см², что в 40 раз больше средненаблюдавшегося содержания в Москве. Применяя данный метод к данным полученным 13 апреля можно сделать следующий вывод о метеорологической обстановке в тот день. Вначале альbedo было равно 0.05, облачность располагалась на высоте 500-1000м, а ее оптическая толщина была 8-16. Затем пошел снег, из-за чего резко выросло альbedo до 0.6. Позже, когда снегопад закончился, снег из-за положительной температуры воздуха (+2С) стал таять, и альbedo, стало постепенно подниматься до 0,4 см.

Восстановленное вертикально содержание NO_2 с учетом облачности оказалось в 7 раз меньше первоначально предполагавшегося содержания.

Выводы

Данная методика уже применялась к реальным наблюдениям. Оптическая толщина облачности, полученная при этом, позволила уменьшить ошибку измерения NO_2 с 300% до 30% для особых дней наблюдения. Это такие дни как сильная облачность, либо туман. Тем не менее, используя только зенитную геометрию наблюдений нельзя точно определить расположения облачности относительно прибора. Дальнейшее исследование будет проводиться для метода измерений с несколькими углами визирования. Предположительно, в этом случае, возможно, будет установить и геометрическое расположение облачности.

Список литературы

1. Platt U. Perner. D. Differential optical absorption spectroscopy (DOAS): Principles and Applications // Springer Verlag, Heidelberg, 2008, 597 p.
2. Иванов В.А., Постыляков О.В.. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации.// Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, No 06, с. 471 – 474.
3. Wagner, T., Dix, B., v. Friedeburg, C., Fried, U., Sanghavi, S., Sinreich, R., and Platt, U.: MAX-DOAS O_4 measurements a new technique to derive information on atmospheric aerosols. // (I) Principles and information content, J. Geophys. Res., 109, D22205, doi:10.1029/2004JD004904, 2004.

Spectral method for cloud optical thickness retrieval which used solar zenith scattering radiation was described. Method based on O_4 slant column and radiation flux measurement. First result are obtained by used new method.

Иванов В.А. Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, к.ф.-м.н., БГУ, Минск, РБ, e-mail: victor.ivanov@list.ru

Елохов А.С. Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН, к.ф.-м.н., Москва, РФ, e-mail: elokhov@mail.ru

Постыляков О.В. Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН, к.ф.-м.н., Москва, РФ, e-mail: oleg.postylyakov@gmail.com