А.Г.Терешин, В.В.Клименко
Московский энергетический институт

УДК 504.054

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТАВА АТМОСФЕРЫ ПЛАНЕТЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ ОКСИДОВ АЗОТА

На основе спутниковых данных GOME о распределении NO_2 в тропосфере делается оценка антропогенных выбросов оксидов азота на территории России в 2000 г. Полученное значение в 4 млн т хорошо согласуется с величиной, рассчитанной по данным об энергопотреблении, что дает возможность использовать космический мониторинг для верификации расчетов атмосферных выбросов.

Based on GOME satellite data on NO_2 distribution in the troposphere the anthropogenic emission of nitrogen oxides in Russia in 2000 is estimated. The obtained value of 4 mill. tons corresponds well to the amount calculated from data on energy consumption, that allows to use space monitoring for emissions inventories validation.

Развитие средств и методов дистанционного мониторинга земной атмосферы с использованием спектрофотометров спутникового базирования предоставило уникальные возможности для изучения физических и химических процессов в атмосфере и стратосфере, в частности, связанных с антропогенными источниками эмиссии парниковых газов и загрязняющих веществ. В настоящей работе представлены результаты обработки спутниковых данных для верификации результатов расчета антропогенной эмиссии диоксида азота на территории России.

Спектрофотометр поглощения внешнего солнечного и отраженного земной поверхностью излучения, запущенный на околоземную орбиту на спутнике Европейского космического агентства ERS-2 в рамках эксперимента по глобальному мониторингу озона (GOME) в 1995 г., дает уникальную информацию о содержании в атмосфере более десятка химических компонентов, включая диоксиды серы и азота. Так назы-

ваемые «данные 2-го уровня» описывают пространственное распределение их суммарной вертикальной плотности. Выделение тропосферной составляющей дает возможность, в частности, зная механизмы массопереноса и химических процессов в атмосфере, определить мощность эмиссии тех или иных веществ.

В настоящей работе использованы данные GOME по суммарному содержанию в атмосфере диоксида азота NO_2. На основе данных ежедневных измерений в 1999-2000 гг. были получены карты распределения среднемесячной плотности NO_2. Тропосферная составляющая рассчитывалась вычитанием из суммарного содержания диоксида азота его стратосферного компонента. При этом использовались следующие допущения:

- NO_2 в стратосфере распределен зонально (это подтверждается соответствующими измерениями);
- для каждой широтной полосы минимум суммарного содержания диоксида азота соответствует его стратосферной концентрации (над регионами, свободными от наземных источников эмиссии, или над облаками).

Программа обработки спутниковых данных по NO_2 была написана на языке IDL и работает по следующему алгоритму:

- формирование массивов плотности распределения диоксида азота, осредненной для периода времени от трех дней до одного месяца;
- интерполяционное заполнение пропусков на основе метода авторегрессии;
- выделение стратосферного компонента;
- расчет пространственного распределения NO_2 в тропосфере;
- построение карт.

Сравнение полученных подобным методом карт глобального распределения NO_2 в тропосфере с расположением основных наземных источников эмиссии NO_x показывает, что пики концентрации соответствуют регионам с максимальной интенсивностью выбросов.

Для расчета интенсивности наземных источников эмиссии E использовался метод, использующий стандартную форму уравнения материального баланса*

$$\frac{dC}{dt} = E - C/\tau,$$

где C – содержание компонента в атмосфере; τ – время жизни его в атмосфере.

По данным GOME для побережья Атлантики со значительными континентальными источниками NO_x и «чистыми» океанскими регионами, с использованием базы данных по силе и направлению ветра, получена оценка среднего времени жизни NO_2 в атмосфере – 20,5 ч. Таким образом, интегрирование уравнения на временных интервалах T, значительно превышающих это значение (например, месяц или год), дает стационарное решение

$$E = C_T/\tau,$$

где C_T – среднее за период T содержание компонента в атмосфере.

По этой формуле и данным GOME нами получено значение эмиссии NO_x на территории России в 2000 г., равное 4 млн т (в пересчете на NO_2), что хорошо соответствует значению 3,8 млн т/год, полученному авторами настоящей работы по данным о потреблении органического топлива в Российской Федерации** Последнее значение рассчитано с использованием осредненных коэффициентов эмиссии оксидов азота при сжигании различных видов топлива в стационарных энергетических установках и на транспорте.

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что данные спутниковых наблюдений за изменениями атмосферных концентраций веществ могут служить источником оперативной информации об интенсивности приземной эмиссии оксидов азота. Более того, их высокое пространственное и временно́е разрешение позволяет делать оценки объемов региональных и сезонных выбросов.

---

* Determination of the tropospheric NO_x source strength from GOME data / C.Leue, T.Wagner, U.Platt et al. // Proc. of the European Symp. on Atmospheric Measurements from space ESAM'99. ESA: 1999. Vol.I.

** *Терешин А.Г* Экологические аспекты реализации Энергетической стратегии России // Вестник МЭИ. 2001. № 5.

В дальнейшем в рамках настоящего проекта авторами планируется провести верификацию спутниковыми данными полученных ранее оценок эмиссии NO_x в энергетическом секторе России за 1995-1999 гг., а также использовать данный подход при изучении источников выбросов другого короткоживущего компонента атмосферы – диоксида серы.

А.Г.Терешин благодарит Германскую службу академических обменов (DAAD) за предоставленную возможность научной работы в Германии, а также Германский аэрокосмический центр (DLR, г. Оберпфаффенхофен) за доступ к данным GOME.