

# 人类活动对气候影响的研究

## I. 温室气体和气溶胶

王明星<sup>1,2)</sup> 杨昕<sup>1)</sup> P46 A

1) (中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

2) (中国科学院地球环境研究所, 西安 710054)

**摘要** 近5年来中国在温室气体源和汇, 碳循环, 气溶胶以及对流层臭氧等方面都进行了大量的研究。作者着重介绍农田温室气体排放, 碳循环模式, 亚洲沙尘气溶胶, 对流层臭氧前体物的来源以及大气有机化合物的浓度观测等方面的主要研究成果, 特别是关于稻田甲烷排放和沙尘气溶胶的物理化学特性方面的研究成果。

**关键词:** 温室气体; 气溶胶; 沙尘; 臭氧

## 1 引言

人类活动对气候变化的影响主要表现在人类活动对大气成分的扰动。观测表明大气二氧化碳的体积分数从工业化前的约  $280 \times 10^{-6}$  增加到 1999 年的  $367 \times 10^{-6}$ ; 大气甲烷的体积分数从工业化前的约  $0.8 \times 10^{-6}$  增加到 1998 年的  $1.75 \times 10^{-6}$ ; 大气氧化亚氮的体积分数从工业化前的约  $0.28 \times 10^{-9}$  增加到 1998 年约  $0.33 \times 10^{-9}$ 。这些变化只有少部分是人为活动引起的<sup>[1]</sup>。大气成分浓度的这种变化被认为是气候变化的重要原因。因此, 弄清大气成分浓度变化的原因, 预测其未来变化趋势便成为当今世界最受重视的基础科学问题之一。近5年来中国在这方面进行了大量研究, 本文将综述其主要成果。

## 2 温室气体排放研究

### 2.1 温室气体排放自动观测系统的研制

自行研制的稻田甲烷自动采集和分析系统<sup>[2,3]</sup>, 是基于静态箱采样和气相色谱—氢焰离子检测分析的排放通量自动观测分析系统, 在此基础上进一步研制了农田氧化亚氮<sup>[4]</sup>和一氧化氮<sup>[5]</sup>排放自动连续观测系统。这些自动采集和分析系统的建成, 可实现对3种气体进行同步自动连续测量和对16~32个观测点同时观测, 每个观测点每天可取得8~12个排放通量资料, 可以同时研究多个样地排放量的日变化。1985年以来, 我们利用这种自动观测系统先后在中国主要水稻产区连续开展稻田甲烷排放观测与实验研究, 积累了十分宝贵的稻田甲烷等温室气体排放观测数据资料。

### 2.2 稻田生态系统甲烷产生、转化及传输机理研究

通过对广东、湖南、浙江、江苏和四川等5大稻产区稻田甲烷排放的多年观测实

验, 详细描述了稻田甲烷排放的时空变化规律及特征, 并分析了其形成机理<sup>[2,6]</sup>, 发现中国地区稻田甲烷排放日变化有4种不同类型<sup>[3]</sup>, 甲烷的传输效率的不同是日变化形成的主要因素。稻田甲烷排放率的季节变化形式在不同地区是不同的, 这取决于温度、水稻品种、施肥及水管理等不同因素。甲烷的产生主要发生在稻田土壤耕作还原层(2~20 cm), 氧化主要发生在水土交界面的氧化层和根部氧化膜, 并受多种因子的影响。施用化肥和沼渣肥可以降低土壤中甲烷的产生和排放, 而有机肥会增加土壤甲烷的产生和排放。

### 2.3 稻田甲烷排放模式

发展甲烷排放模式是准确地估算区域或全球甲烷排放量以及探索减排措施的有效方法。稻田甲烷排放模式的发展目前还处于初级阶段。最早的模式<sup>[7]</sup>出现在1995年。根据13年来对我国稻田甲烷排放的观测和研究, 我们建立了我国第一代稻田甲烷排放模式<sup>[8]</sup>。这一模式用上述观测资料进行了验证, 证明能较好地模拟稻田甲烷排放逐日变化, 并能较准确地计算稻田甲烷排放总量。近年来稻田甲烷排放模型又有新的发展<sup>[9]</sup>, 我们也在不断发展已有的模型, 以正确描述气候、土壤特性、施肥、灌溉等环境因子和水稻品种对稻田甲烷产生、氧化和传输过程的影响, 和预测环境影响因子变化后甲烷排放的变化。利用此模型可以根据要求对减排技术进行评价, 向政府提供优选减排方案。

### 2.4 中国和全球稻田甲烷排放总量

综合13年在全国5大类水稻生产地区代表点的系统观测资料和模式计算结果, 得出我国稻田甲烷排放总量为9.67~12.66 Tg/a<sup>[6,10]</sup>, 而不是国外学者估算的30~50 Tg/a<sup>[10]</sup>。综合已发表的观测资料估计全球稻田甲烷排放总量为20~40 Tg/a<sup>[11]</sup>, 这一结论已逐渐为国际社会所接受。政府间气候变化专门委员会(IPCC)已根据其结论将其评估报告中的全球稻田甲烷排放总量由110 Tg/a<sup>[12]</sup>改为约60 Tg/a<sup>[13]</sup>。

### 2.5 减少稻田甲烷排放的措施

13年的系统观测证明, 农业耕作措施是决定稻田甲烷排放总量的最重要因素之一。适当、科学地改变耕作措施可以保证水稻高产的同时降低甲烷排放, 其中科学的间歇灌溉技术和使用沼渣肥来代替当年的有机肥是最值得推广的措施<sup>[14~16]</sup>。

### 2.6 农田氧化亚氮和一氧化氮排放过程

在江苏的稻麦轮作农田, 对氧化亚氮和一氧化氮排放进行了连续4年的田间观测与实验研究, 发现氧化亚氮排放随土壤湿度变化的规律。农田氧化亚氮排放发生的最佳土壤湿度为99%饱和土壤持水量(WFPS), 不同于草原和森林土壤的75%WFPS<sup>[17]</sup>。资料分析表明农田一氧化氮排放的日变化表现为截然不同的两种形式, 一种是日间极大值型, 另一种是夜间极大值型。日间极大值型通常在白天午时左右出现日排放极大值, 夜间的排放较低且相对稳定, 这种日变化格局主要取决于土壤温度的日变化; 夜间极大值型通常在傍晚到午夜之间出现日排放极大值, 而白天午时左右通常出现日排放极小值, 这种日变化格局主要取决于植物对土壤有效氮素( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )的吸收速率的日变化。农田一氧化氮排放究竟表现为哪种日变化形式, 取决于土壤微生物与植物根系竞争土壤氮素的结果。



### 3.2 海洋碳循环的模式研究

海洋中包含了约 40000 Gt 碳, 而陆地生态系统中的植被、土壤和腐植质中总共只有 2200 Gt 碳。海洋中生物产生的活的和死的碳至少有 700 Gt, 这几乎等于大气中总的碳含量 (750 Gt 碳), 因此海洋碳循环对全球碳循环具有重要影响。海洋生物过程在海洋生物地球化学以及决定海洋碳循环过程中起重要作用。由于直接在海洋进行观测有很大困难, 因此模式成为非常有用的研究工具<sup>[26, 27]</sup>。

我们建立了一个全球大气海洋碳循环模式, 并将其应用于大西洋<sup>[28]</sup>、印度洋<sup>[29]</sup>的碳循环研究, 同时还利用二维海洋温盐环流碳循环模式研究了太平洋<sup>[30, 31]</sup>碳循环状况。所建立的二维海洋碳循环模式摒弃了传统箱模式的缺陷, 充分考虑了诸如大气与海洋间的碳交换、光合作用和氧化分解、碳酸钙的产生和溶解、悬浮颗粒物的下沉等过程, 尤其是在模式中耦合了海洋生物过程对碳循环的影响。

利用模型对印度洋中各化学量的表层分布和垂直分布进行了模拟, 结果发现<sup>[31]</sup>, 在稳定状态下, 大气和海洋中总碳含量分布依赖于发生在海洋中的各种物理化学过程及边界条件, 水平扩散系数和光合作用常数率对各化学量的分布有很大影响。与实测数据对比发现, 模式较好地再现了印度洋上营养盐浓度、总碳浓度、总碱度和溶解氧的二维分布。南印度洋中纬地区 (10~30°S) 是<sup>14</sup>C 的重要向下渗透区域, 人为排放的 CO<sub>2</sub> 可通过这片渗透区从海洋的表层输入海洋的深层。

## 4 亚洲地区沙尘气溶胶研究

沙尘是对流层气溶胶的主要成分, 据估计全球每年进入大气的沙尘达 1 000~3 000 Mt, 约占对流层气溶胶总量的一半。全球沙尘主要来自撒哈拉沙漠、美国西南部沙漠和亚洲地区。沙尘在大气化学、生态以及地球能量平衡中起非常重要的作用。沙尘与地球辐射系统的相互作用比其他气溶胶更复杂, 这是由于沙尘既能吸收又能反射太阳和红外辐射, 因而在不同条件下对气候产生加热或冷却作用。有关沙尘气候强迫的估计存在较大的不确定性, 其间接效应的不确定性更大<sup>[12, 33]</sup>。

目前沙尘的研究主要集中在撒哈拉沙漠, 对亚洲地区的沙尘研究十分有限, 因此有必要对亚洲沙尘的特性、影响和输送等问题进行全面的研究所。近几年我国科学家正在对沙尘暴进行观测分析和模式研究, 由于缺乏相应的观测资料, 模式的参数化方案非常简单, 大多引自撒哈拉沙漠的观测结果, 因而无法准确地描述亚洲沙尘的产生和输送过程。

2000 年春季我国北方地区沙尘暴天气频繁发生。对 4 月 6 日发生的特大沙尘暴期间沙尘化学元素成分的分析表明<sup>[34]</sup>, 北京春季沙尘污染极为严重, 沙尘暴期间 20 种元素总浓度高达 1536  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 是前一年同期的 31.4 倍。即使沙尘暴过后, 污染依然严重, 元素总浓度依然高达 338.7  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 是前一年春季的 7 倍。绝大多数的元素浓度在粒径大于 16  $\mu\text{m}$  处出现高浓度, 在其他时间, 从没有观测到这种谱分布。沙尘暴期间的粗粒子 ( $d > 2 \mu\text{m}$ ) 数浓度是尘暴后的 20 倍以上, 细粒子 ( $d < 2 \mu\text{m}$ ) 数浓度是尘暴后的 7 倍。

## 5 近地面 $O_3$ 变化研究

对流层  $O_3$  变化也是引起气候变化的重要因子, 近地层污染物的光化学反应是对流层  $O_3$  的一个重要来源<sup>[35,36]</sup>。低层大气是人为及自然排放的  $NO_x$ 、NMHC (非甲烷烃)、CO 等  $O_3$  前体物的主要空间, 且人为排放量随着工业及人类活动的增加呈逐年增加趋势<sup>[37]</sup>。对城市地区光化反应的研究相对较多, 但远离城市的清洁地区  $O_3$  变化机制到目前为止尚不清楚。我们利用中尺度气象模式 (MM5) 及化学模式 (RADM) 对中国区域的近地面  $O_3$  变化进行了数值模拟实验和光化学理论分析<sup>[38,39]</sup>, 得到以下结论:

污染地区近地面  $O_3$  变化主要受光化学作用控制, 由于这些地区的  $O_3$  前体物 (如  $NO_x$ 、NMHC、CO 等) 浓度较高,  $O_3$  的产生和损耗决定于光化学反应, 物理因素的影响相对较弱; 而在清洁地区, 其近地面  $O_3$  变化则主要受大气背景  $O_3$  浓度影响。青藏高原地区的地面  $O_3$  对大气背景  $O_3$  浓度非常敏感, 因此我们认为观测到的青藏高原夏季地面高  $O_3$  浓度值<sup>[40]</sup>, 其产生原因主要是由于高海拔对应的高大气背景  $O_3$  浓度, 可通过垂直扩散和对流作用输送到近地层。

OH 和  $HO_2$  自由基是大气中的重要氧化剂, 决定了大气中许多物质的寿命, 它们在对流层光化学反应中处于非常重要的核心地位。 $NO_x$ 、NMHC、CO 等  $O_3$  前体物随人类活动的变化直接或间接地影响着自由基的浓度。通过光化学理论分析和模式研究, 我们发现  $O_3$  本身的变化对 OH 和  $HO_2$  自由基的变化具有显著的反馈作用<sup>[38]</sup>。

$O_3$  与  $NO_x$  之间存在一定的非线性关系, 它不仅影响  $O_3$  的水平分布且对  $O_3$  的垂直分布也产生影响, 这一现象在污染严重地区的边界层低层表现得更加突出。因此, 在高  $NO_x$  污染地区的地面上空可能出现高  $O_3$  污染<sup>[39]</sup>。在夏季  $O_3$  光化学反应达到平衡时,  $O_3$  与  $NO_2/NO$  线性比约为 15:1, 这一线性关系可由  $O_3$ 、 $NO_2$  与  $NO$  达到光化学稳定时的理论推导得到<sup>[40]</sup>。

## 6 大气 $CO_2$ 和 $CH_4$ 浓度的长期监测

自 1985~1988 年在甘肃民勤对大气  $CO_2$  和  $CH_4$  浓度进行了连续观测。发现大气  $CO_2$  浓度每年约增加 0.3%;  $CH_4$  浓度存在明显的季节变化, 其浓度年增长率约为 1.7%<sup>[41]</sup>。自 1985 年开始, 还对北京地区大气甲烷浓度进行了长期连续监测。观测数据表明, 北京地区大气甲烷浓度的增长率虽然从 1985~1989 年间的平均每年 1.7% 降低到 1990~1997 年间的年均 0.5%, 增加趋势还是很明显。从季节增长率看, 甲烷在冬季和夏季有两个峰值。1993 年后, 夏季变为负增长, 而冬季的年平均增长达  $25 \times 10^{-9}$ 。因此, 冬季化石燃料燃烧所引起的甲烷浓度增加是导致 1993~1997 年间北京地区大气甲烷浓度逐年增长的主要原因<sup>[42]</sup>。

## 7 大气痕量有机物的分析研究

大气痕量有机物, 如 NMHC、CFCs、HCFCs 等, 虽然含量少, 但对气候变化有

重要影响<sup>[43]</sup>。目前的观测系统可以检测到北京地区大气中的 25 种左右的氯氟烃, 30 种苯系物和 50 种其他非甲烷烃。我们用自己研制的“大气痕量有机物深冷浓缩进样智能接口 (ICCS)”, 结合气相色谱/离子阱质谱组成大气痕量氯氟烃和苯系物分析检测系统, 对兴隆、民勤、鼎湖山和北京等观测站大气中的痕量有机物进行了连续观测, 首次获得了中国大陆本底大气 36 种微量有机污染物的体积分数<sup>[44]</sup>。利用 ICCS 与气相色谱/四极杆质谱联机(Quadrupole-GC/MS) 系统开发出“大气中非甲烷烃自动分析检测系统”, 已成功地应用于城市近地层大气痕量污染物的连续分析。这一自行研制的 ICCS 系统, 一次取空气样品 500~2000 cm<sup>3</sup>, 经过冷冻浓缩处理后进样, 检测体积分数的下限可达 10<sup>-12</sup>, 使商品仪器 GC/MS 检测大气中微量有机物体积分数的下限从 10<sup>-6</sup> 降低到 10<sup>-12</sup> 量级。这一改进使本底大气和城市污染大气中所有体积分数高于 10<sup>-12</sup> 的有机成分均可用 ICCS-GC/MS 系统进行分析研究。

## 8 我国氢氟碳化物、全氟化碳和六氟化硫的排放量

通过对生产量和消耗量的调查分析, 初步估算出 1995 年我国 3 种温室气体氢氟碳化物 (HFCs), 全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 的年排放量分别为 2244、2581 和 215 T, 占全球总排放量的 0.9%、6.5% 和 3.7%<sup>[45]</sup>。

## 9 小结

大气成分浓度变化的原因极其复杂。尽管国内外已进行了大量研究, 我们仍不能准确地解释观测到的大气成分浓度变化, 更不能准确预测其未来变化趋势。因为, 对大多数大气成分的源和汇至今仍缺少准确定量的排放(吸收) 通量资料, 特别是生态源和汇。

## 参 考 文 献

- 1 IPCC, *Climate Change 2001. Scientific Bases*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- 2 王明星, 中国稻田甲烷排放, 北京: 科学出版社, 2001.
- 3 沈壬兴, 上官行建, 王明星等, 甲烷自动采集和分析测量系统, 资源生态环境网络研究动态, 1992, 2, 23~29.
- 4 王跃思, 王明星, 郑循华等, 农田甲烷和氧化亚氮排放自动采样观测系统, 中国科学院研究生院学报, 1997, 14(1), 17~31.
- 5 郑循华, 王跃思, 王明星等, 农田 NO 排放的自动观测, 环境科学, 1998, 19 (2), 1~9.
- 6 王明星, 上官行建, 李晶等, 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理, 大气科学, 1998, 22 (4), 600~609.
- 7 Cao, M., J. B. Dent, et al., Modeling methane emission from rice paddies, *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9, 183~195.
- 8 Ding Aiju and Wang Mingxing, Model for methane emission from rice fields and its application in southern China, *Advance in Atmospheric Sciences*, 1996, 13, 159~168.
- 9 Yao Huang, R. L. Sass, et. al., A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils, *Global Change Biology*, 1998, 4, 247~268.
- 10 Wang Mingxing and Shanguan Xingjian, CH<sub>4</sub> emission from various rice fields in P. R. China, *Theor. Appl.*

- Climatol.*, 1996, **55**, 129~138.
- 11 Khalil, M. A. K., R. Rasmussen, M. X. Wang et al., Methane emission from rice fields in China, *Environ. Sci. Technol.*, 1991, **25**, 979~983.
  - 12 IPCC, *Climate Change. The Scientific Assessment*, Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
  - 13 IPCC, *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evolution of the IPCC 1592 Emission Scenarios*, Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
  - 14 上官行建, 王明星, 沈玉兴等, 稻田甲烷排放的控制措施, 地球科学进展, 1993, **8** (5), 55~63.
  - 15 上官行建, 王明星, 沈玉兴等, 稻田土壤中甲烷产生率的实验研究, 大气科学, 1993, **17**, 604~613.
  - 16 上官行建, 王明星, 沈玉兴等, 稻田甲烷排放的影响因子研究进展, 中国农业气象, 1993, **14**, 48~53.
  - 17 邓循华, 于跃思, 王明星等, 稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 $N_2O$ 产生与排放的影响, 应用生态学报, 1996, **7** (3), 273~280.
  - 18 Woodwell, G. D., J. T. Overpeck et al. Biotic feedbacks in the warming of the earth, *Climatic Change*, 1998, **40**, 495~501.
  - 19 Schimel, D. S., The carbon equation, *Nature*, 1998, **393**, 208~210.
  - 20 Tans, P. P., I. Y. Fung et al., Observational constraints on the global atmospheric  $CO_2$  budget, *Science*, 1990, **247**, 1431~1438.
  - 21 Cao Mingkui and F. I. Woodward, Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change, *Nature*, 1998, **393**, 249~252.
  - 22 Tans, P. P., T. J. Conway, In balance, with a little help from the plants, *Science*, 1998, **281**, 183~187.
  - 23 Keeling, C. D., S. C. Piper, et al., Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980, *Nature*, 1995, **375**, 666~669.
  - 24 Yang Xin and Wang Mingxing, Monsoon ecosystems control on atmospheric  $CO_2$  interannual variability: inferred from a significant positive correlation between year-to-year changes in land precipitation and atmospheric  $CO_2$  growth rate, *Geophys. Res. Lett.*, 2000, **27**, 1671~1674.
  - 25 Bacastow, R. B., Modulation of atmospheric carbon dioxide by the Southern Oscillation, *Nature*, 1976, **116**, 116~119.
  - 26 Maier-Reimer E, and K. Hasselmann, et al., Transport and storage of  $CO_2$  in the ocean - an inorganic ocean-air circulation carbon cycle model, *Climate Dynamics*, 1987, **2**, 63~90.
  - 27 Bacastow, R. B., C. D. Keeling, et al., Ocean-air circulation model of the carbon cycle, *Climate Dynamics*, 1990, **4**, 95~102.
  - 28 黄调玲, 王明星, 二维的大气 $CO_2$ —大西洋碳循环模式, 大气科学, 1994, **18**, 631~939.
  - 29 浦一芬, 王明星, 海洋碳循环模式(1)——一个包括海洋动力学环流, 化学过程和生物过程的二维碳模式的建立, 气候与环境研究, 2000, **5** (2), 129~138.
  - 30 Xu Yongfu and Wang Mingxing, A two-dimensional zonal averaged ocean carbon cycle model, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1998, **15**(3), 368~376.
  - 31 徐水福, 王明星, 二维海洋温盐环流碳循环模式, 大气科学, 1997, **21**, 573~581.
  - 32 IPCC, *Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
  - 33 王明星, 气溶胶与气候, 气候与环境研究, 2000, **5** (1), 1~5.
  - 34 张仁健, 王明星, 张文等, 2000年春季北京特大沙尘暴物理化学特性的分析, 气候与环境研究, 2000, **5** (3), 259~368.
  - 35 Mckeen, S. A., A regional model study of budget in the eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**, 10809~10817.
  - 36 McKeen, S. A., A study of the dependence of rural ozone precursors in the eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**, 15377~15386.
  - 37 Terje Berntsen, Impact of increased anthropogenic emission in Asia on tropospheric ozone and climate, *Tellus*, 1996, **48B**, 13~27.
  - 38 Yang Xin and Wang Mingxing, Numerical study of surface ozone in China during summer time, *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**, 30341~30350.
  - 39 杨昕, 王明星, 近地面 $O_3$ 变化化学反应机理的数值研究, 大气科学, 1998, **23** (4), 427~436.
  - 40 Yan Peng, An observational analysis of  $O_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  in China, WMO-IGAC Conference on the Measurement

- and Assessment of Atmospheric Composition Change, 1995, No. 107, 103~107
- 41 王明星, 吕国涛, 刘卫卫等, 我国西北部沙漠地区大气甲烷浓度的季节和长期变化趋势, 科学通报, 1989, 9, 684~686
- 42 王跃思, 王明星等, 北京大气甲烷季节及发展趋势, 大气科学, 2000, 24 (2), 157~164.
- 43 王明星, 大气化学(第二版), 北京: 气象出版社, 1999.
- 44 王跃思, 郑循华, 大气中痕量有机物的分析与研究, 质谱学报, 1996, 17 (4), 25~33.
- 45 张仁健, 王明星, 郑循华等, 中国氟氯化物、全氟化碳和六氟化硫排放源初步估算, 气候与环境研究, 2000, 5 (2), 175~181.

## Study on the Effects of Human Activities on Climate Change I. Green House Gases and Aerosols

Wang Mingxing<sup>1,2)</sup> and Yang Xin<sup>1)</sup>

1) *(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry,  
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)*

2) *(Institute of Earth's environment, Chinese Academy of Sciences, Xian 710075)*

**Abstract** Extensive researches on the sources and sinks of greenhouse gases, carbon cycle modeling, and the characterization of atmospheric aerosols have been carried out in China during the last 5 years or so. This paper will present the major achievements in the fields of emissions of greenhouse gases from agricultural lands, carbon cycle modeling, the characterization of the mineral dust of Asia, source identification of the precursors of the tropospheric ozone, and the observations of the concentrations of atmospheric organic compounds. Special more detailed information on the emissions of methane from rice fields and the physical and chemical characteristics of the mineral aerosols are presented.

**Key words:** Green house gas; aerosol; dust; ozone