

**РЕЗУЛЬТАТЫ 35-ЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОДЕРЖАНИЯ СО₂
В АТМОСФЕРЕ МОСКВЫ АСТРОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

А.И. Хлыстов, Б.В. Сомов

**RESULTS OF 35-YEARS RESEARCHES OF CO₂ CONTENTS
IN THE ATMOSPHERE OF MOSCOW BY ASTRONOMICAL METHOD**

A.I. Khlystov, B.V. Somov

Показано, что астрономический мониторинг содержания атмосферных газов в городах и промышленных центрах позволяет получать наиболее представительные данные. В Москве с 1969 г. по 1991 г. концентрация СО₂ росла умеренными темпами и к концу периода увеличилась на 48 %. Затем положительный тренд скачком вырос, и к 1999 г. содержание углекислого газа в атмосфере Москвы превысило уровень 1969 г. в 2.5 раза. С началом нового тысячелетия рост количества СО₂ прекратился, и сейчас его концентрация продолжает удерживаться на уровне 2003 г.

We show that astronomical monitoring of atmospheric gases content in cities and industrial centers allows to obtain the most representative data. In Moscow, in 1969–1991, the CO₂ concentration had been growing moderately and by the end of the period it had increased by 48 %. Then, the positive trend grew dramatically, and by 1999 the carbon dioxide content in the Moscow atmosphere had exceeded the 1969 level by 2.5 times. With the turn of the new millennium, the CO₂ concentration growth stopped and at present it keeps at the 2003 level.

В настоящее время постоянный мониторинг фонового содержания СО₂ в земной атмосфере осуществляется в США [1], где эти работы были начаты в 1973 г. и ведутся на метеопунктах, расположенных вдали от промышленных центров и городов, прецизионным методом отбора проб (точность порядка 0.1 %). Очевидно, для принятия адекватных мер по стабилизации климата необходимо также контролировать источники выбросов углекислого газа в крупных городах и промышленных центрах. Однако здесь приборы для измерения концентрации углекислоты методом отбора проб воздуха непригодны, так как их показания сильно искажаются локальными источниками СО₂ [2]. В условиях города наиболее представительные данные могут быть получены астрофизическим методом [3], поскольку он позволяет получать общее количество молекул углекислого газа сразу во всей толще атмосферы.

Примененный нами астрофизический метод [4–7] исследования изменения со временем содержания СО₂ во всей толще атмосферы над Москвой является стандартным для исследования атмосферы Солнца, но до нас никем в геофизике не применялся. В геофизических исследованиях используются приборы с невысоким спектральным разрешением, поэтому приходится теоретически моделировать не конкретные линии СО₂, а сразу весь выбранный участок спектра. Это с неизбежностью приводит к трудно оцениваемым ошибкам, обусловленным как неопределенностью значений сил осцилляторов линий, так и значительными вариациями интенсивностей многочисленных линий водяного пара даже в течение одного дня наблюдений [8]. Еще один источник ошибок – использование одинаковых теоретических функций для аппроксимации профилей всех исследуемых линий. В действительности, как было показано в [3], профили солнечных и теллурических линий существенно различаются. В результате точность таких исследований оказывается недостаточной для получения достоверных выводов.

Исследования изменения содержания СО₂ со временем во всей толще атмосферы над Москвой

начались в ГАИШ МГУ в 1969 г. на башенном солнечном телескопе АТБ-1 ГАИШ. Для регистрации участка спектра с центром вблизи 2.08 мкм использовался спектрограф с разрешающей силой 150 000, что на порядок выше, чем в [9].

Высокое разрешение спектрографа позволило найти в инфракрасной области спектра две линии углекислого газа с длинами волн 2.075611 мкм и 2.075851 мкм, профили которых полностью свободны от искажающего влияния соседних линий. Не делая никаких предположений о форме профилей исследуемых линий, мы рассчитали их теоретические профили на основе строгого решения уравнения переноса излучения в земной атмосфере. Из сравнения теоретически вычисленных и полученных из наблюдений эквивалентных ширин линий можно найти полное количество молекул СО₂ в вертикальном столбе воздуха в точке наблюдения. По нашим оценкам, астрофизический метод позволяет получать данные о содержании молекул СО₂ в атмосфере с точностью не хуже 5 %.

Для получения достоверных данных о долговременных (на интервале порядка десятков лет) вариациях СО₂ в атмосфере Земли необходимо проводить записи спектра Солнца строго при одних и тех же условиях. Это подразумевает неизменность характеристик телескопа, спектрографа, регистрирующей аппаратуры, способа обработки (это можно контролировать), а также идентичность физических условий в атмосфере (температура, давление, скорость и направление ветра). Проведенные нами исследования показали, что прослеживается слабая зависимость измеряемых концентраций СО₂ от направления ветра: при южном ветре содержание в атмосфере над юго-западом Москвы несколько уменьшается, а при северном ветре – возрастает. При этом выяснилось, что при скорости ветра около 3–4 м/с наблюдается слабый максимум в измеряемых величинах содержания СО₂ в атмосфере.

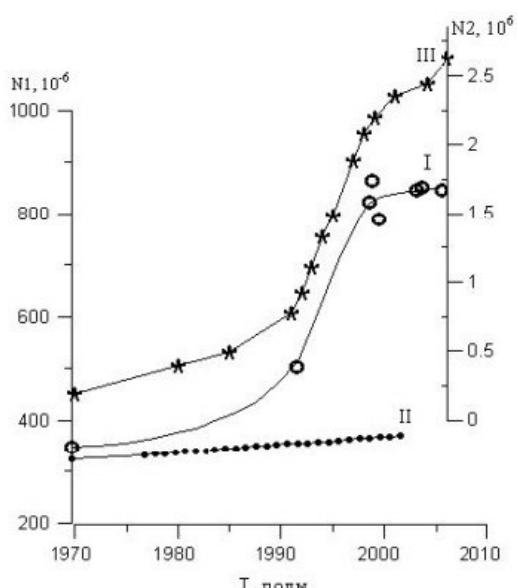
Большое значение для получения надежных данных о многолетних изменениях количества углекислого газа в атмосфере имеет вопрос о его сезонных изменениях [2].

Изучение сезонных вариаций CO_2 в атмосфере над Москвой мы провели по материалам наблюдений, проведенных в сезоны с февраля по ноябрь в 1992–1995 гг. Оказалось, что количество углекислоты минимально в конце июля–начале августа и возрастает зимой (с максимумом с ноября по февраль). Это согласуется с измерениями других авторов [10]. Согласно нашим измерениям, в течение года концентрация CO_2 в атмосфере Москвы меняется примерно на 20 %. Чтобы не вводить «сезонную» поправку, мы проводили наблюдения примерно в одно и то же время – в конце сентября, когда условия в атмосфере близки к средним и можно пользоваться ее характеристиками из справочников (что облегчает обработку наблюдений).

Результаты измерения количества углекислого газа в Москве за более чем 30 лет наблюдений в ГАИШ МГУ астрофизическим методом приведены на рисунке (кривая I). Из рисунка видно, что с 1969 по 1991 г. концентрация CO_2 повысилась на 45 %. С 1991 г. темпы роста резко возросли, и к 2000 г. содержание углекислого газа в атмосфере превысило уровень 1969 г. примерно в 2.5 раза. В 2000–2003 гг. произошло сначала замедление, а затем и прекращение увеличения концентрации CO_2 в атмосфере над городом.

На этом же рисунке показана скорость нарастания концентрации CO_2 на большом удалении от городов и промышленных центров по усредненным данным из работы [1] для метеопунктов Бэрроу (Аляска), Мауна-Лоа (Гавайи), о-ва Восточные Самоа и Южного полюса (кривая II). Из рисунка видно, что скорость нарастания концентрации CO_2 в атмосфере над Москвой значительно превышает соответствующие показатели, по которым и была построена усредненная кривая II в работе [1].

Кривая III на нашем рисунке показывает динамику роста количества автомобилей в Москве по данным из [11–14]. Хорошо видно, что с 1992 г. начался



Изменение концентрации CO_2 в Москве (кривая I), фоновая концентрация (кривая II) и число автомобилей в Москве (кривая III, ось ординат справа) за период с 1969 по 2003 г.

быстрый рост числа автомобилей в Москве. И именно на этот год приходится резкий излом кривой I, показывающей изменение количества CO_2 . Такое согласие в поведении двух графиков подтверждает выводы Москкомприроды [14] о том, что в Москве автомобили являются главным источником выбросов углекислоты в атмосферу (85 % всех выбросов в 1998 г. и около до 92 % в 1999 г.).

Следует обратить внимание на то, что, согласно рисунку, в 2003–2005 гг. численность автопарка Москвы продолжала расти, хотя и наметилась тенденция к замедлению. В то же время рост концентрации углекислого газа практически прекратился. Мы объясняем это постепенной заменой отечественных автомобилей иностранными с лучшими экологическими характеристиками, а также принимаемыми правительством Москвы мерами по экологизации транспорта и совершенствованием транспортной инфраструктуры города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаборатория по мониторингу и контролю климата Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (NOAA CMDL): www.cmdl.noaa.gov/
2. Нахутин А.И. Экспериментальные исследования углекислого газа в атмосфере городов // Тр. Ин-та прикл. геофизики. 1991. Вып. 78. С. 11–23.
3. А.И. Хлыстов. Исследование профилей линий теплопроводности кислорода: Дисс. канд. физ.-мат. наук. М., 1972.
4. Сомов Б.В., Хлыстов А.И. Спектральные наблюдения Солнца с целью экологического контроля над состоянием атмосферы Земли // Кинем. и физ. небесных тел. 1993. Т. 9, № 3. С. 84–90.
5. Хлыстов А.И., Сомов Б.В. О спектральных наблюдениях Солнца и других звезд с целью изучения глобальных изменений земной атмосферы // Астрон. ж. 1993. Т. 80, № 6. С. 1313–1320.
6. Хлыстов А.И. Региональный экологический мониторинг с помощью теплопроводных линий // Тр. ГАИШ. 1995. Т. 64, Ч. 2. С. 70–79.
7. Сомов Б.В., Хлыстов А.И. О замедлении роста содержания CO_2 в воздушном бассейне Москвы // Изв. РАН. Сер. физич. 2006. Т. 70, № 1. С. 87–90.
8. Сомов Б.В., Хлыстов А.И. Исследование влияния воды на точность определения концентрации углекислого газа в земной атмосфере // Изв. РАН. Сер. физич. 1995. Т. 59, № 8. С. 87–92.
9. Пугачев Н.С. Спектроскопические измерения содержания углекислого газа во всей толще атмосферы над Москвой // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. 1993. Т. 29. С. 430–432.
10. Пугачев Н.С., Дианов-Клоков В.И., Доронина Т.Н. Измерение спектроскопическим методом содержания CO_2 во всей толще атмосферы над Звенигородом // Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана. 1985. Т. 21, № 7. С. 784–788.
11. Официальный сервер мэрии Москвы: www.mos.ru
12. Центр теоретического анализа экологических проблем: www.iueps.ru
13. www.md.mos.ru
14. www.carclub.ru

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва