

УДК

**МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ В УКРАИНЕ И НА
АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»:
АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ, АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ,
КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ**

Э.И. Терез¹, В.Н. Ващенко², С.О. Долгий³, А.В. Козак⁴, С.В. Кузьмин⁵, Г.А.Терез⁴,
Е.И. Лоза², Ж.И. Патлашенко²

¹ НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», 98409, Украина, Крым, Бахчисарайский р-он, пос. Научный, e-mail: terez@crimea.edu.

² Национальный антарктический научный центр МОН Украины, Украина, Киев, 01601, бульвар Шевченко, 16.

³ Научно-исследовательский экологический центр, 95007, Украина, Симферополь, пр. Вернадского, 2.

⁴ Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 95007, Украина, Симферополь, пр. Вернадского, 4.

⁵ Метрологический центр НАК Нафтогаз Украины «Боярка», 08151, Киевская область, Киево-Святошинский р-он, г. Боярка, ул. Маяковского, 49.

Предлагается использовать в качестве фоновой станции с минимальным количеством аэрозолей украинскую антарктическую станцию «Академик Вернадский». Показано, что в условиях высокоширотных станций определение оптической толщины атмосферы методом Бугера-Лэнгли может приводить к большим погрешностям. В этом случае целесообразно использовать для наблюдений фотометрическую аппаратуру, имеющую абсолютную калибровку. Такая калибровка должна проводиться регулярно до и после антарктических наблюдений на атмосферной станции с хорошими астроклиматическими условиями (в Крыму).

Ключевые слова: мониторинг, атмосфера, парниковые газы, аппаратурное обеспечение, фотометры.

Реферат. Пропонується використовувати як фонову станцію з мінімальною кількістю аерозолів українську антарктичну станцію «Академік Вернадський». Показано, що в умовах високоширотних станцій визначення оптичної товщини атмосфери методом Бугера-Ленглі може призводити до великих погрешностей. В цьому випадку доцільно використовувати для спостережень фотометричну апаратуру, що має абсолютне калібрування. Таке калібрування має проводитись регулярно до й після антарктичних спостережень на атмосферній станції з гарними астрокліматичними умовами (у Криму).

Summary. The Ukrainian Antarctic station Akademik Vernadskiy is proposed to be used as background station with minimal aerosol quantity. It is shown that in conditions of high latitude stations the determination of atmosphere optical density by Bouguer-Langley method may lead to high error. Hence it is expediently to use photometric apparatus with absolute calibration. Such calibration should be held regularly before and after antarctic observations at atmospheric station with good astroclimate conditions (in Crimea).

1. Актуальность исследований

В настоящее время одной из основных научных проблем, стоящих перед человечеством, является проблема изменения климата. От ее решения зависит экономическое развитие большинства стран в ближайшие десятилетия, а для целого ряда развивающихся стран это

вообще вопрос выживания. Проблема изменения климата – исключительно сложная и может быть решена только совместными усилиями большого числа специалистов разного профиля. На эти цели в настоящее время в развитых странах выделяются огромные ассигнования. И уже получены значительные результаты, убедительно показывающие рост глобальной температуры Земли вследствие антропогенного эффекта. Остро встал вопрос о разработке комплекса математических моделей, позволяющих уверенно предсказать изменение глобального климата Земли на десятки лет вперед. Но для разработки таких моделей не хватает экспериментальных данных о физико-химических параметрах земной атмосферы. Именно на это сегодня направлены основные усилия ученых [1, 2]. После начала спутникового зондирования атмосферы в 1979 г. казалось, что все проблемы можно быстро решить. Но выяснилось, что данные спутниковых измерений очень приблизительны. Они дают панорамную картину всей земной поверхности, но при этом должны быть привязаны к данным наземных атмосферных станций. Поэтому Всемирная метеорологическая организация (WMO) рекомендовала создание глобальной сети наземных атмосферных станций для проведения долговременного мониторинга, без которого дальнейшие работы по исследованию глобального климата стали неэффективными.

2. Предмет и цели исследований

Основная цель атмосферного мониторинга – контроль антропогенного воздействия на атмосферу. Главными факторами антропогенного воздействия на климат являются увеличение концентрации парниковых газов, а также увеличение выбросов в атмосферу аэрозолей. Основные парниковые газы – это водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), озон (O_3), закись азота (N_2O) и, в меньшей степени, ряд хлорфторуглеводородных соединений (фреонов) [3]. Увеличение концентрации этих газов в атмосфере приводит к увеличению поглощения излучения от Земли, которое имеет место в инфракрасной области спектра (максимум излучения в области 8–13 мк). Это вызывает нарушение радиационного баланса, что приводит к подогреву атмосферы и, в свою очередь, поверхности Земли. Что касается парниковых газов, то здесь особую роль играет повышение концентрации водяного пара и углекислого газа, являющихся, с одной стороны, главным условием существования жизни на Земле, но с другой – на их долю приходится более 95% подогрева атмосферы. Следует отметить, что по характеру воздействия на климат разные парниковые газы принципиально различаются.

Водяной пар в атмосфере является наименьшей по массе частью свободной воды, находящейся в гидросфере и криосфере в основном в жидкой и твердой форме. Масса водяного пара определяется притоком солнечной радиации и температурой воздуха и при постоянстве этих факторов не может существенно изменяться. Но так как в геологическом прошлом существенные изменения климата происходили не раз, количество водяного пара в атмосфере в соответствии с колебаниями глобальной температуры также изменялось. Однако эти колебания массы водяного пара были следствием, а не причиной изменения климата. Вследствие положительной обратной связи водяной пар при каждом очередном похолодании или потеплении климата этот процесс лишь усиливал.

Углекислый газ всегда – как в условиях современного климата, так и в климатических условиях геологического прошлого – существует только в газообразном состоянии. При этом его концентрация в атмосфере может меняться в широких пределах вне зависимости от внешней температуры. Наоборот, рост концентрации CO_2 вследствие парникового эффекта неизбежно должен приводить к повышению глобальной температуры Земли. Именно поэтому быстрый рост количества углекислого газа в атмосфере, вызванный сгоранием органического топлива, вызывает у мировой общественности особую тревогу. В настоящее время концентрация углекислого газа достигла уровня $380 \cdot 10^{-6}$ (0,038 %) – это самый высокий уровень за последние 350 тысяч лет (рис. 1).

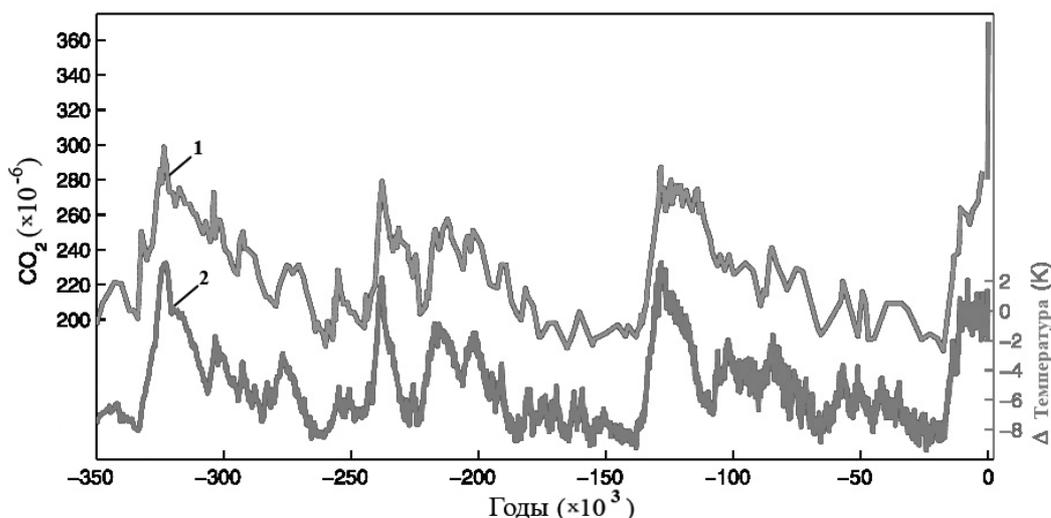


Рис. 1. Изменение углекислого газа (кривая 1) и глобальной температуры Земли (кривая 2) за последние 350 тысяч лет. Кривые получены по результатам анализа ледяных кернов с Антарктической станции «Восток» [4]. Величина CO_2 за 2000-й г. приведена по данным [5].

Озон как парниковый газ имеет меньшее значение. Но, с другой стороны, озон поглощает коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца, губительное для биосферы Земли. Доказано, что антропогенное воздействие на атмосферный озон, и прежде всего увеличение выбросов хлорфторуглеродных соединений (фреонов), приводит к деградации слоя атмосферного озона. С этой точки зрения защита атмосферного озона становится делом первоочередной важности.

Метан производит парниковый эффект в 23 раза более значительный, чем углекислый газ. Однако общее количество метана в атмосфере в настоящее время составляет $1,75 \cdot 10^{-6}$, т.е. пока много меньше углекислого газа. Основной его источник в природе – это рисовые поля, пашни, шахты и гниющие болота и торфяники. В последнее десятилетие рост метана в атмосфере Земли несколько замедлился (рис. 2).

Потепление климата неизбежно приведет к таянию вечной мерзлоты, что резко увеличит площадь болот и, соответственно, выбросы метана в атмосферу. Учитывая, что Украина является транзитной страной, где функционируют десятки тысяч километров газо- и нефтепроводов, контроль за содержанием метана в атмосфере (над газопроводами), кроме чисто научного (парниковый эффект), имеет особое практическое значение.

Закись азота образуется при работе транспорта (выхлопные газы), а также является «побочным продуктом» сельского хозяйства (испарение остатков минеральных удобрений, используемых при возделывании риса, содержании крупного рогатого скота и т.д.). Общее количество закиси азота в атмосфере пока невелико, но с ростом мировой экономики также быстро растет.

Атмосферный аэрозоль – очень важный и недостаточно изученный фактор. С одной стороны, увеличение промышленных выбросов аэрозолей снижает прозрачность атмосферы, что в свою очередь приводит к уменьшению солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. С другой стороны, есть серьезные доказательства, что аэрозоли являются центрами конденсации водяного пара в атмосфере, т.е. центрами облакообразования, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

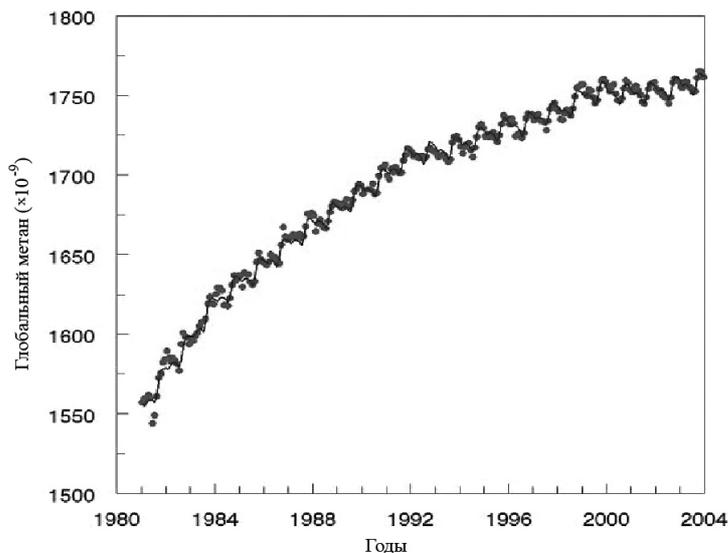


Рис. 2. Изменение количества метана в атмосфере Земли за последние 25 лет.

Природа аэрозолей различна. В естественных условиях они представляют в основном мельчайшие капли воды. Промышленный аэрозоль – это частички сажи (угля) и цементной пыли. Последний фактор – цементная пыль – имеет особое значение, т.к. является одним из основных загрязнителей в мире. Промышленно развитые страны Европы и США сосредоточили почти все производство цемента (80% мирового производства) в развивающихся странах. Быстро растет и производство цемента в Украине, причем, по данным Украинской ассоциации предприятий и организаций цементной промышленности, 90% его контролируется иностранными транснациональными корпорациями. В этом плане контроль за атмосферным аэрозолем крайне необходим не только для научных целей (изменение климата), но и для экологии.

Между тем по оптической толщине атмосферного аэрозоля в настоящее время очень мало надежных данных. Спутниковые измерения дают весьма приближенные показатели, а наземных атмосферных станций мало, и они используют разнотипные приборы и методики измерений. Единая мировая сеть атмосферных станций AERONET, позволяющая получать данные об атмосферном аэрозоле по унифицированной методике, начала создаваться только с 1993 г. Но, опять же, эти станции размещаются крайне неравномерно по поверхности Земного шара, в основном на территории США и Западной Европы. Кроме того, есть принципиальные трудности для достаточно точного определения оптической толщины аэрозолей $\phi_{\text{аэр}}(\lambda)$. Согласно существующей методике, при наблюдениях вне молекулярных полос поглощения $\phi_{\text{аэр}}(\lambda)$ она определяется по общей оптической толщине атмосферы $\phi(\lambda)$, за вычетом релеевской оптической толщины $\phi_{\text{аэр}}(\lambda)$. В настоящее время величина $\phi_{\text{аэр}}(\lambda)$ рассчитывается по некоторым эмпирическим формулам. И погрешность этих формул достаточно велика в сине-ультрафиолетовой области спектра (десятки процентов), и особенно при малых величинах оптических толщин атмосферы (в несколько раз!). Для решения проблемы точного определения $\phi_{\text{аэр}}(\lambda)$ необходимо проведение фотометрических наблюдений в местах, где оптическая толщина аэрозоля минимальна (в так называемых «фоновых станциях»). Лучшим местом для проведения регулярных фотометрических наблюдений является Антарктида, конкретно – станция «Академик Вернадский».

3. Аппаратурное обеспечение

До перестройки исследования некоторых параметров атмосферного воздуха (общего содержания озона) проводились в Украине на четырех станциях – в Киеве, Львове, Одессе и в Крыму (Карадагская актинометрическая станция Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова). В 1992 г. регулярные измерения были приостановлены на всех станциях, кроме Карадагской научно-исследовательской геофизической обсерватории (новое название Карадагской актинометрической станции), где проводились (и проводятся по настоящее время) регистрация общего содержания озона и интегрального солнечного потока в области 0,3–4 мк. Эти исследования выполняются на старом советском оборудовании (озонметр М-83, актинометр АТ-50), не согласуются с новыми международными стандартами и не входят в мировой банк данных.

С целью активизации научных исследований в области физики атмосферы решением Президиума Крымской академии наук и Дирекции Главной астрономической обсерватории РАН в Крыму (в Симферополе и на Карадаге) была создана новая структура – Научно-исследовательский экологический центр (НИЭЦ). За 10 последних лет сотрудники НИЭЦ совместно с учеными Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, Крымской астрофизической обсерватории и метеорологическим центром «Боярка» разработали и изготовили ряд новых приборов, и прежде всего автоматический солнечный фотометр САФ-1, характеристики которого идентичны прибору Cimel CE 318, используемый в системе AERONET. Далее была переделана фотометрическая система советского озонметра М-124 с целью измерений в двух ультрафиолетовых каналах и в видимой области (астрономическая система V), а также разработан сканирующий спектрофотометр для измерения озона в ночное время по регистрации излучения от звезд.

В 1996 г. в Антарктиде начала работать станция «Академик Вернадский». Исследования оптических параметров атмосферы стали там одним из приоритетных направлений. На станции проводятся регулярные измерения общего содержания озона с помощью озонметра Добсона, а также исследования оптических свойств аэрозоля с помощью фотометров М-124 (переделанный вариант, имеющий фотометрическую систему V) и японского четырехканального солнечного фотометра MS-120.

В 2002 г. по предложению Евросоюза в г. Боярка (Киевская область) было решено построить новый метеорологический центр. Основное назначение центра – аппаратурное и методическое обеспечение дистанционного контроля парниковых газов, прежде всего метана, над газо- и нефтепроводами. При этом с Евросоюзом было согласовано, что центр в Боярке может быть использован и для разработки и калибровки фотометрической аппаратуры, предназначенной для измерения параметров атмосферы в рамках выполнения Киотского протокола [8], а также метеоаппаратуры. В рамках проведения исследований динамики изменения прозрачности атмосферы метеорологический центр «Боярка» организовал разработку и изготовление солнечного фотометра САФ-1, установленного в настоящее время на оптической станции НИЭЦ в Крыму.

4. Концепция развития

Развитие системы атмосферного мониторинга определяется, как отмечено выше, необходимостью контроля количества парниковых газов и, что особенно важно в настоящее время, достаточно точных измерений аэрозольной компоненты атмосферного поглощения. В плане контроля за количеством парниковых газов метеорологический центр «Боярка» взял на себя функцию создания по всей Украине сети атмосферных станций (в Киеве, Крыму, Одессе, Донбассе, Львове) и обеспечения этих станций новой радиометрической аппаратурой, а также новой методикой измерений, новыми технологиями обработки и контроля качества наблюдений и архивирования полученной информации в соответствии с рекомендациями WMO.

Для получения точных данных по оптическим толщинам атмосферы (из которых затем рассчитываются все основные параметры атмосферы: оптическая толщина аэрозолей, коэффициенты Ангстрема, физические размеры аэрозольных частиц и т.д.) необходимы комплексные измерения, проводимые в Антарктиде и на контрольной оптической станции в Украине. В качестве такой станции может быть использован Научно-исследовательский экологический центр, располагающий необходимым оптико-физическим и метрологическим оборудованием. На базе НИЭЦ в Симферополе и на Карадаге с 1996 г. [9] проводятся регулярные измерения параметров атмосферы, а также калибровки фотометрических приборов. В частности, в 2007 г. были выполнены лабораторные и натурные калибровки двух фотометров М-124 (после переделки фотометрической системы) и японского фотометра MS-120.

На станции «Академик Вернадский» в Антарктиде проведение наблюдений с помощью прокалиброванных в Крыму фотометров М-124 и MS-120 позволит, наконец, получить точные значения оптической толщины атмосферы и тем самым, в условиях «фоновых» измерений, уточнить данные по релеевскому рассеянию, необходимые для расчетов атмосферных параметров наблюдений, выполненных в Украине (как в Крыму, так и на других атмосферных станциях). При этом результаты, полученные по аэрозольной компоненте в Антарктиде, имеют самостоятельное научное значение, ибо позволяют судить о природном аэрозольном фоне и его свойствах (спектральном поглощении и т.д.). Необходимо отметить, что подобные фотометрические наблюдения в Антарктиде невозможны без использования фотометров, прокалиброванных в местах с хорошими астроклиматическими условиями. Дело в том, что существующий в настоящее время метод определения оптической толщины атмосферы (Бугера-Лэнгли) в условиях Антарктиды неприменим по следующим причинам: 1) отсутствие достаточно длительных промежутков времени, в течение которых атмосферные параметры были бы строго постоянны; 2) низкая высота Солнца над горизонтом и, соответственно, небольшие изменения воздушных масс в течение длительных промежутков времени. Только комплексные наблюдения в Антарктиде и в Украине (Крыму), с использованием однотипных калиброванных фотометров, позволят решить эту проблему.

Проведение атмосферного мониторинга в Украине и на Антарктической станции «Академик Вернадский» предполагает широкую кооперацию с соответствующими национальными и международными организациями; координацию исследований между университетами, НИИ НАН Украины и Государственной гидрометеослужбой Украины; заключение соглашения между организациями, входящими в WMO's Data Centers (WOUDC, WRDC и WRC), на поставку в мировую базу украинских данных по параметрам атмосферы и солнечной радиации.

Полученные в результате мониторинга данные по параметрам атмосферы (база данных) будут иметь не только чисто научное значение в рамках выполнения международных обязательств и с целью развития одного из фундаментальных разделов науки в Украине – физики атмосферы, но и большое прикладное значение для народно-хозяйственного комплекса. Эта база данных обеспечит:

- а) коллективы разработчиков методов спутникового зондирования земной поверхности – для учета атмосферного поглощения, без чего невозможна качественная обработка получаемых снимков;
- б) метеорологические службы – для определения базовых уровней радиации разных регионов Украины, а также учета внутри- и межгодовой переменности и долговременного тренда солнечной радиации;
- в) сообщество биологов – для изучения и оценки влияния ультрафиолетовой и видимой радиации на растения, леса, водные системы и живые организмы;
- г) медицинское сообщество – для оценки влияния УФ-радиации на здоровье людей (рак кожи, подавление иммунитета, катаракта, инфекционные заболевания и т.д.).

- д) сельскохозяйственное сообщество – для оценки потенциальной опасности влияния УФ-радиации на урожай;
- е) исследователей и разработчиков фототехники и солнечных батарей – для оценки эффективности созданных приборов;
- ж) инженеров, имеющих дело с производством и эксплуатацией пластических и натуральных материалов, – для исследования повреждения и старения этих материалов под влиянием УФ-радиации.

Литература

1. **Терез Э.И., Терез Г.А., Терез И.Э.** Глобальный климат Земли и динамика его изменения // Изв. Крым. астроф. обсерв. – 2005. – Т. 101. – С. 173–186.
2. **Русов В.Д., Глушков А.В., Вашенко В.Н.** Астрофизическая модель глобального климата Земли // 2003. - Киев. – Наукова думка. – 212 с.
3. **Кароль И.Л.** Оценки характеристик относительного вклада парниковых газов в глобальное потепление климата // Метеорология и гидрология. – 1996. – №11. – С. 5–12.
4. **J.R. Petit, J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Benders, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delayque, M. Delmotte, V.M. Kotlyakov, M. Legrand, V.Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pepin, C. Ritz, E. Saltzman and M. Stievenard.** Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature. – 1999. – V. 399. – P. 429–436.
5. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Edited by J.T. Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001. – 881 p.
6. **M.A.K. Khalil, C.L. Butenhoff and R.A. Rasmussen.** Atmospheric Methane: Trends and Cycles of Sources and Sinks // Environmental Science and Technology. – 2007. – Available on-line (10.1021/es061791t).
7. **World climate report** // Methane Matters. – 2007, April 13.
8. **Kyoto protocol, 1997.** <http://www.unfccc.de>.
9. **Terez E.I., Terez G.A.** Investigation of atmospheric transmission in the Crimea (Ukraine) in the twentieth century // J. Appl. Meteorology. – 2002. – V. 41. – N 10. – P. 1060–1063.