

**В.А. Капитанов, Ю.Н. Пономарев, В.И. Тырышкин**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АКВАТОРИЯХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА**

Описан серийный газоанализатор ГИАМ-15, усовершенствованный с целью автоматизации процессов измерения, калибровки и обработки данных. Представлены результаты измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере с помощью описываемого газоанализатора в ходе 37-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Исследование концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере приобретает все большее значение в связи с угрозой дальнейшего развития парникового эффекта. Полученные к настоящему моменту времени данные [1] показывают, что временные и пространственные вариации концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере могут быть велики. Автономные измерения фоновых концентраций  $\text{CO}_2$  в атмосфере являются актуальной задачей, учитывая то обстоятельство, что структура полей концентраций  $\text{CO}_2$  в труднодоступных районах (континенты, горные области, Северный Ледовитый океан) изучена явно недостаточно.

В Международной геосферно-биосферной программе (МГБП) предусмотрено проведение комплексных исследований глобального газообмена между океаном и атмосферой, в т.ч. изучение динамики концентрации  $\text{CO}_2$  и обмена  $\text{CO}_2$  между биосферой, атмосферой и океаном.

В настоящем сообщении приводятся описание аппаратуры и результаты измерений концентрации  $\text{CO}_2$ , выполненные на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе–октябре 1995 г.

Основными приборами для регулярных измерений концентрации  $\text{CO}_2$  на фоновых станциях являются недисперсионные оптико-акустические газоанализаторы типа URAS, UNOR, LIRA и т.п., к ним же относится и газоанализатор ГИАМ-15, используемый нами. На наш взгляд, приборы этого типа имеют некоторые недостатки, связанные с постоянной необходимостью «настройки нуля» и «калибровки». Это означает, во-первых, обязательное наличие при каждом анализаторе баллонов, по крайней мере, с двумя поверочными газами, «нулевым» газом и смесью  $\text{CO}_2$  в  $\text{N}_2$  (газовый эталон), а также проведение сложной многоступенчатой процедуры градуировки [2]. Во-вторых, «настройка нуля» и «калибровка» предполагают, согласно техническим описаниям приборов, обязательное вмешательство оператора и ручную подстройку нуля и коэффициента усиления прибора в соответствии с его показаниями и значениями концентраций эталонных газов.

С целью исключения вмешательства оператора и автоматизации процессов измерения, калибровки и обработки данных была изменена электронная схема серийного газоанализатора ГИАМ-15, введены дополнительные АЦП и микроконтроллер, подключена ЭВМ. Разработано программное обеспечение, состоящее из программ калибровки, автоматического измерения концентрации и первичной обработки информации, которое позволяет выполнить:

- измерение и вычисление калибровочных постоянных;
- запуск на заданное время насоса, прокачивающего воздух через газоанализатор;
- прием данных от газоанализатора посредством микроконтроллера;
- вычисление значения концентрации;
- запись полученного значения концентрации и времени измерения в файл;
- повторные измерения через заданный промежуток времени.

В газоанализаторе использован оптико-акустический метод анализа газа, основанный на измерении поглощения энергии в ИК-области спектра [3].

Прибор построен по дифференциальной оптической схеме. Поток ИК-энергии поступает в два оптических канала – рабочий и сравнительный. Оба потока поочередно прерываются obtюратором. В рабочем канале поток излучения проходит рабочую камеру и поступает в один из лучеприемных цилиндров мерной камеры. В сравнительном канале поток излучения проходит сравнительную камеру и поступает в другой лучеприемный цилиндр мерной камеры. Через рабочую камеру непрерывно проходит анализируемая газовая смесь, а сравнительная камера заполнена не поглощающим ИК-энергию газом – азотом.

Приемником ИК-излучения является конденсаторный микрофон, помещенный в мерную камеру, заполненную смесью  $\text{CO}_2$  в  $\text{N}_2$ , что обеспечивает избирательность анализа. Колебания температуры и давления, возникающие в газе, заполняющем приемник ИК-излучения, при облучении его прерывистым потоком радиации, воспринимаются конденсаторным микрофоном.

В случае, если потоки ИК-излучения, поступающие в лучеприемные цилиндры, равны, т.е. в анализируемом газе не содержится измеряемого компонента, мембрана конденсаторного микрофона, воспринимающего сумму давлений, возникающих в лучеприемных цилиндрах, будет находиться в покое.

Если поток ИК-излучения, поступающий в один из лучеприемных цилиндров, окажется меньшим (за счет поглощения в рабочей камере части излучения, соответствующей спектру поглощения  $\text{CO}_2$ ), то в камере появится переменная составляющая изменения давления газа, величина которой будет зависеть от степени поглощения излучения в рабочей камере.

Колебания конденсаторного микрофона в мерной камере преобразуются в переменное напряжение, которое после предварительного усиления и синхронного детектирования измеряется и передается ЭВМ с помощью микроконтроллера.

Амплитуда  $P$  возникающих колебаний мембраны конденсаторного микрофона будет зависеть от концентрации  $\text{CO}_2$  в анализируемой смеси и может быть записана в виде

$$P = K_{\text{впр}}(\Phi_0 - \Phi) = K_{\text{впр}}\Phi_0(1 - \exp(-A_v l c)) = K_{\text{впр}}\Phi_0(A_v l c - 1/2 (A_v l)^2 c^2), \quad A_v l c \ll 1, \quad (1)$$

где  $K_{\text{впр}}$  – интегральная чувствительность;  $\Phi_0, \Phi$  – потоки излучения, прошедшие сравнительную и измерительные камеры;  $c, A_v$  – концентрация и функция поглощения анализируемого газа;  $l$  – длина измерительной камеры.

Измеряемый после предварительного усиления и синхронного детектирования сигнал

$$U = D + K(Ac - 1/2 A^2 c^2), \quad (2)$$

где  $D$  – дрейф нуля оптического и электронного трактов;  $K = K_{\text{ус}} K_{\text{впр}} \Phi_0$ ;  $K_{\text{ус}}$  – линейный коэффициент передачи электронного тракта;  $A = A_v l$  и концентрация анализируемого газа

$$c = [KA - \sqrt{(KA)^2 - 2KA^2(U - D)}]/(KA^2). \quad (3)$$

Необходимые для вычисления  $c$  значения калибровочных постоянных  $D, K$  и  $A$  можно получить, регистрируя сигналы  $U_0, U_1, U_2$  при использовании эталонных смесей с заданными концентрациями анализируемого газа, а именно,  $c = 0$ ;  $c_1 = 0,5c_{\text{max}}$ ,  $c_2 = 0,9c_{\text{max}}$ , и решая систему уравнений (2). Следует отметить, что постоянные  $D$  и  $K$  могут меняться во время работы и должны измеряться, по крайней мере, раз в течение 24 ч работы прибора и для их определения в дальнейшем достаточно использования только двух калибровочных смесей ( $c = 0$ ;  $c = (0,5 - 0,9) c_{\text{max}}$ ). Что же касается постоянной  $A = A_v l$ , то она определяется только один раз, так как равна произведению двух неизменяющихся постоянных: функции поглощения анализируемого газа и длины рабочей камеры. (Рассмотренная выше методика может быть применена, вообще говоря, независимо для определения функции поглощения молекул при использовании спектрофотометрической методики с широкополосными источниками).

Измерения фоновых концентраций  $\text{CO}_2$  и концентраций  $\text{CO}_2$  вблизи природных и антропогенных источников были выполнены в ходе рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», маршрут движения которого представлен на рис. 1. Измерения концентрации углекислого газа проводились непрерывно, через один час, в течение всего времени экспедиции. Влияние выхлопной трубы судна исключалось тщательным выбором места для забора воздуха и выбраковкой резких выбросов концентрации в измерениях. Забор воздуха производился на уровне 15 м от воды. Результаты измерений представлены на рис. 2 и 3. На рис. 2 изображено изменение концентрации  $\text{CO}_2$  вдоль пути следования судна, каждая точка – это среднее за день значение

ние концентрации  $\text{CO}_2$ . На рис. 3 представлен усредненный за несколько суток суточный ход концентрации  $\text{CO}_2$  в портовых городах: Роттердам, Галифакс, Копенгаген и в Атлантическом океане ( $41^\circ 44'N$ ,  $49^\circ 57'W$ ). Вблизи природных и антропогенных источников и стоков  $\text{CO}_2$  суточный ход характеризуется обычным повышением концентрации в темное время суток и понижением в светлое, что типично и для измерений на суше [4], а также значительной изменчивостью от суток к суткам, в то время как в условиях, приближенных к фоновым станциям, содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере остается стабильным.



Рис. 1. Маршрут движения НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 37-м рейсе. 1 – Копенгаген; 2 – Галифакс; 3 – «Титаник» ( $41^\circ 44'N$ ,  $49^\circ 57'W$ ); 4 – Роттердам

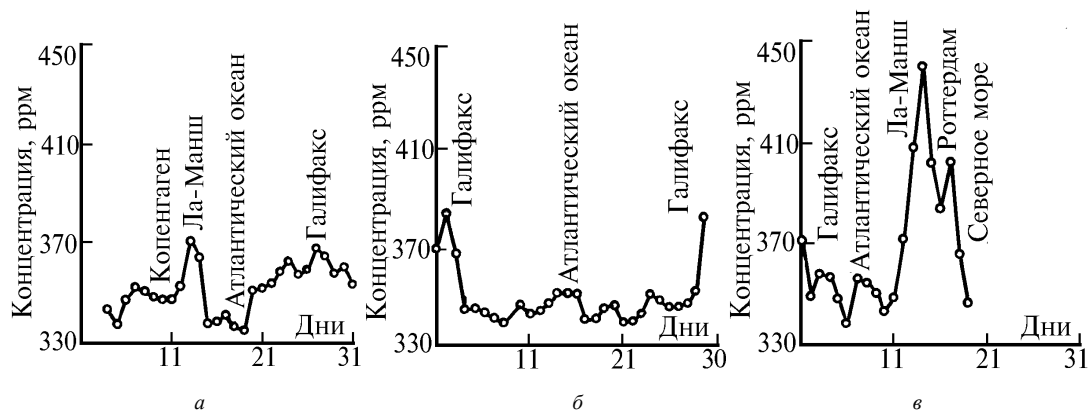


Рис. 2. Среднесуточная концентрация  $\text{CO}_2$  за время экспедиции. а – август; б – сентябрь; в – октябрь

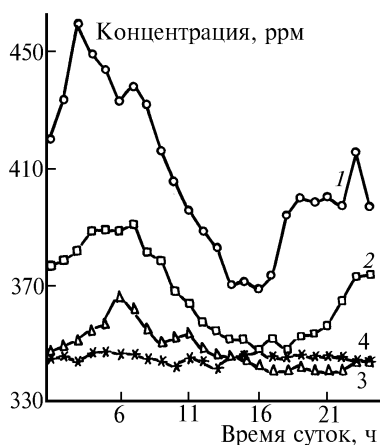


Рис. 3. Суточный ход концентрации  $\text{CO}_2$  в портовых городах и Атлантическом океане. 1 – Роттердам; 2 – Галифакс; 3 – Копенгаген; 4 – Атлантический океан ( $41^\circ 44'N$ ,  $49^\circ 57'W$ )

В заключение хотелось бы отметить стабильную работу аппаратуры в течение трех месяцев непрерывной работы в атмосферных условиях, несомненные удобства внесенных в конст-

рукцию прибора изменений и разработанных алгоритмов. Авторы выражают благодарность сотрудникам «Vampola EK» (Чехия), инж. K. Mlnarnic и V. Baigar за полезные обсуждения проблемы калибровки оптико-акустических газоанализаторов.

1. Шашков А.А., Фабер Е.В. //Труды ГГО. 1991. Вып. 533. С. 122–152.
2. Каменоградский Н.Е., Шашков А.А. //Труды Института экспериментальной метеорологии. 1981. Вып. 10. С. 73–90.
3. Газоанализатор ГИАМ-15. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АПИ 2.840.065.
4. Sigrist M.V., Thony A. //Optical methods in Atmospheric Chemistry. 1992. V. 1715. P. 174–184.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
26 декабря 1995 г.

**V. A. Kapitanov, Yu. N. Ponomarev, V. I. Tyryshkin. Experimental Study of Atmospheric CO<sub>2</sub> over Northern Seas and the Atlantic Ocean.**

The serial gas analyser GIAM-15 was improved to avoid an interference of observer into calibration and to automate the measurements and data processing. Concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> was measured using this gas analyser during the 37-th expedition of the research ship «Academician Mstislav Keldysh».