

## РОЛЬ МОРСКОГО ЛЬДА В ФОРМИРОВАНИИ ГОДОВОГО ЦИКЛА ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В ВЫСОКОШИРОТНОЙ МОРСКОЙ АРКТИКЕ

Г.В.АЛЕКСЕЕВ, А.П.НАГУРНЫЙ, А.П.МАКШТАС, Н.Е.ИВАНОВ,  
С.В.ШУТИЛИН

ГНИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

*Исследуются особенности изменчивости концентрации  $CO_2$  в атмосфере над покрытой льдом акваторией Северного Ледовитого океана и роль морского льда в ее формировании. Используются глобальные данные и результаты наблюдений в период исследований по программе МПГ 2007/08. Методы исследования включают статистический анализ массива данных глобальных наблюдений за содержанием  $CO_2$  в атмосфере, прямые измерения концентрации над ледяным покровом Северного Ледовитого океана, анализ химических реакций в морском льду. Получено, что полярное усиление амплитуды годовых колебаний концентрации  $CO_2$  над Северным Ледовитым океаном связано с активным влиянием морского льда на формирование сезонного цикла. Образование, нарастание и изменение структуры льда в зимний сезон сопровождается выделением  $CO_2$  в подледный слой воды и непосредственно в атмосферу. Выполнены измерения концентрации  $CO_2$  в приповерхностном слое атмосферы среди льдов на пути от Баренцева и Карского морей к Северному полюсу, которые подтвердили рост концентрации в направлении к полюсу. Впервые указано на активную роль морского льда в формировании сезонного цикла содержания  $CO_2$ . Отмечено, что в среднем за год Арктический бассейн является скорее источником, чем стоком  $CO_2$ . Исследования будут продолжены в 2008 г. в круглогодичном режиме с использованием современных приборов для измерения потока  $CO_2$  через лед.*

### ВВЕДЕНИЕ

Основной причиной наблюдаемого в конце XX – начале XXI века потепления климата считается влияние роста концентрации парниковых газов в результате деятельности человека. Вместе с тем остается до конца неясной роль естественных процессов в формировании баланса парниковых газов в атмосфере. Особенно это относится к высоким широтам Северного полушария, значительная часть которых занята покрытым льдами Северным Ледовитым океаном. В этой связи исследование роли морского ледяного покрова в газообмене между океаном и атмосферой представляется весьма актуальным.

Обмен углекислым газом между атмосферой и океаном, поглощающим от 25 до 50 % двуокси углерода, выделяемой при сжигании топлива, играет важную роль в глобальном цикле  $CO_2$  [4, 8]. Установлено, что поглощение или выделение  $CO_2$  Мировым океаном неоднородны по пространству, меняются от сезона к сезону и от года к году [11]. При этом роль Арктического бассейна в глобальном и региональном балансе  $CO_2$  не рассматривалась, поскольку предполагалось, что ледяной покров практически полностью препятствует газообмену. В ряде недавних публикаций были высказаны предположения о возможном существенном влиянии акваторий с сезонным или постоянным ледяным покровом на региональный и, возможно, глобальный баланс  $CO_2$  [2, 3, 14].

Выполненные ранее исследования выявили ряд особенностей в распределении концентрации  $\text{CO}_2$  над морскими льдами, связанных с его сезонной эволюцией и динамикой [1, 2, 13]. В данной работе продолжен анализ особенностей изменчивости  $\text{CO}_2$  в атмосфере высоких широт в сравнении с другими районами земного шара, рассмотрен возможный механизм их формирования, приведены данные наблюдений за концентрацией  $\text{CO}_2$  в высоких широтах в период исследований по программе МПГ летом 2007 г.

### 1. ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ВМО

Прежде чем рассмотреть особенности изменений содержания  $\text{CO}_2$  в приповерхностном слое воздуха над Арктическим бассейном, обратимся к оценкам фоновой концентрации и ее изменениям на всем земном шаре, включая высокие широты обоих полушарий, по данным глобальной сети ВМО, представленным в отчете за 2006 г. [16]. Положение станций, данные которых содержатся в этом отчете, показано на рис. 1. На ряде станций наблюдения непродолжительны и со значительными пропусками. После исключения этих станций остается 102 станции, которые различаются временем начала и окончания измерений. Количество станций с одинаковым периодом наблюдений распределены следующим образом.

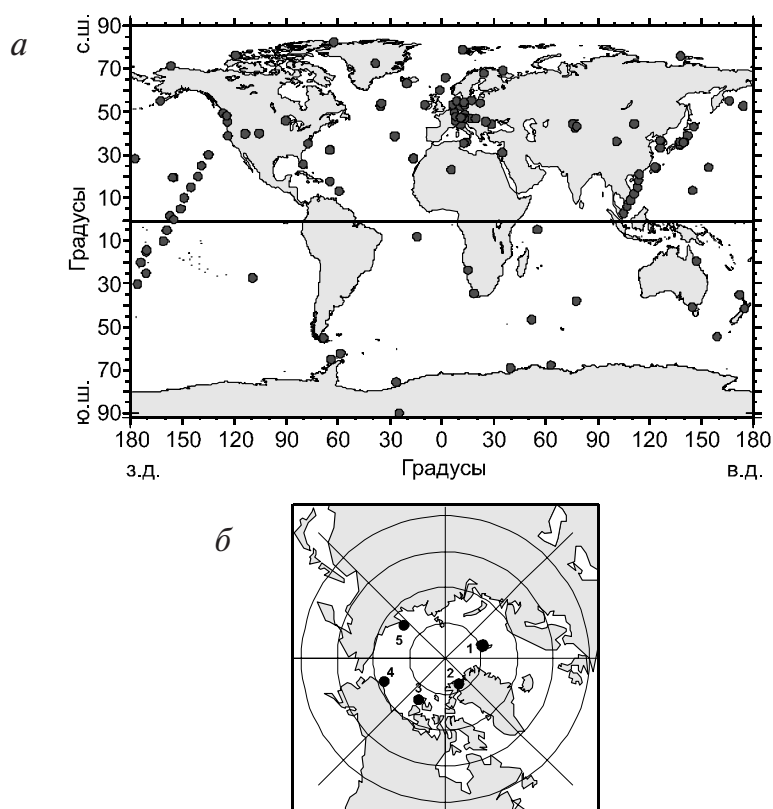


Рис. 1. Станции глобальной сети (а) и станции в полярных и субполярных широтах Северного полушария (б), на которых выполнялись измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в 1968–2004 гг.:

1 – Цеппелин; 2 – Алерт; 3 – Моуд Бей; 4 – Барроу; 5 – Котельный

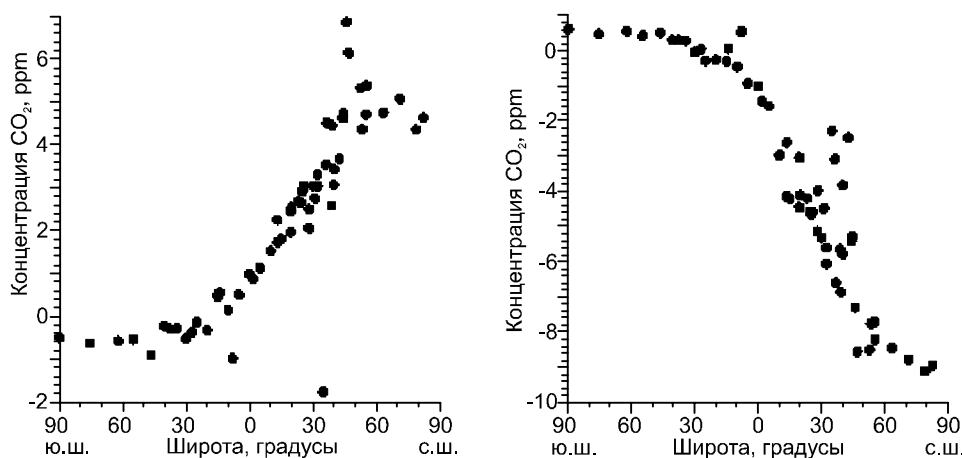


Рис. 2. Среднемесячные концентрации  $\text{CO}_2$  за 1995–2004 гг. по данным 57 станций, расположенных на акватории океанов, в марте (слева) и сентябре (справа)

Одновременные измерения в 1976–2001 гг. выполнялись на 13 станциях, в 1987–2004 гг. на 36 станциях, в 1995–2004 на 57 станциях. В высоких широтах Северного полушария оказалось возможным использовать данные 17 станций (рис. 1 б).

Характерной особенностью межгодовой изменчивости содержания  $\text{CO}_2$  на всех станциях глобальной сети является сильный положительный тренд, который в среднегодовых данных за 1995–2004 гг. объясняет не менее 98 % дисперсии на 54 станциях из 57. При этом величина тренда заметно возросла в этот период по сравнению с трендом за 1987–2004 гг.

Анализ сезонных колебаний концентрации  $\text{CO}_2$  выполнялся после исключения тренда и показал значительную изменчивость амплитуд годового хода с явной тенденцией к их возрастанию в направлении высоких широт Северного полушария. Станции, расположенные в океанических областях, показывают уменьшение разброса данных и те же особенности широтного распределения сезонных экстремумов концентрации (рис. 2). На основании выполненного анализа можно заключить, что размах годового хода концентрации  $\text{CO}_2$  в Северном полушарии возрастает от экватора к полюсу, а в Южном полушарии относительно невелик и практически не зависит от широты. Ранее к подобному выводу пришли авторы работы [3].

## 2. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ $\text{CO}_2$ НАД МОРСКИМИ ЛЬДАМИ В АРКТИКЕ

С возобновлением работы ледовых дрейфующих станций «Северный полюс» и в связи ростом количества научных экспедиций на научно-исследовательских судах появилась возможность проведения регулярных измерений концентрации  $\text{CO}_2$  в приледном слое атмосферы в различных частях Северного Ледовитого океана.

В 2004–2006 гг. впервые были выполнены годовые серии измерений концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере в приполюсном районе на дрейфующих станциях «Северный полюс-33, 34» и на борту НЭС «Академик Федоров», л/к «Капитан Драницин» и а/л «Ямал». Измерения проводились с помощью оптического газоанализатора, предназначенного для измерения объемной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе в диапазоне 0–600 ppm. Абсолютная погрешность в этом диапазоне составляет 1 ppm. Полученные данные показали значительное сезон-

ное колебание, превышающее подобные колебания на окружающих Арктический бассейн береговых станциях [16].

Очевидное полярное усиление годовых колебаний концентрации  $\text{CO}_2$  с максимумом над покрытым льдами Арктическим бассейном можно связать в первую очередь с влиянием морского льда на формирование сезонного цикла. Предположение, что механизм этого влияния связан с экранированием льдом газообмена между океаном и атмосферой в зимний период [3] не выглядят убедительно, поскольку сокращение стока  $\text{CO}_2$  в океан не может увеличить его содержание в атмосфере зимой без дополнительного источника. Таким источником не может быть атмосфера над прилегающими широтами, поскольку средняя концентрация  $\text{CO}_2$  по крайней мере не убывает, особенно зимой, по направлению к полюсу [16] и от побережья в сторону покрытого льдом моря [14].

Значительный сезонный ход концентрации  $\text{CO}_2$  на арктических станциях характеризуется острым минимумом летом и плоским максимумом зимой, который часто прерывается слабым промежуточным минимумом в середине зимы. Начало формирования относительного спада концентрации  $\text{CO}_2$  в зимнее время совпадает с началом периода стабилизации толщины морского льда и его объема, когда достигается близкая к равновесной толщина [6] и близкие к максимальным сплоченность и площадь льда. Образование трещин и разводий во второй половине зимы сопровождается появлением участков открытой воды и интенсивным ледообразованием, что ведет к формированию вторичного максимума концентрации [1].

Если источник и сток  $\text{CO}_2$  находится в Северном Ледовитом океане, который отличается от других океанов наличием морского льда и расположением на широтах полярной ночи и полярного дня, то именно морской лед, нарастающий в холодное время года (полярная ночь) и быстро тающий в летние месяцы, играет определяющую роль в формировании источника и стока, обуславливая максимальный размах сезонных колебаний. В Южном океане тоже есть морской лед, но сезонные колебания там малы. Здесь следует учесть, что, в отличие от Северного Ледовитого океана, механизм нарастания льда в Южном океане иной. Рост толщины морского льда здесь происходит не столько за счет нарастания льда на нижней границе льда, сколько за счет снега на его верхней границе, выпадающего в большом количестве благодаря интенсивной циклонической деятельности на периферии южной полярной области. В Северном Ледовитом океане лед нарастает снизу на величину порядка 50–100 см и тает сверху примерно на эту же величину [6]. Период таяния (три-четыре летних месяца) значительно короче периода нарастания. В процессе нарастания морской лед захватывает часть морской воды с соленостью порядка 30–32 ‰. Образующийся в морском льду рассол в результате вымерзания пресной воды стекает к нижней поверхности льда, частично выпадая из него в верхние слои океана, а частично оставаясь в замкнутых полостях льда [6]. Наличие рассола обеспечивает реакции типа:  $\text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-) = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . Количество ионов (катионов)  $\text{Ca}^{2+}$  при солености 32 ‰ составляет ~ 0,4 г/кг в растворе, что достаточно для генерации большого количества  $\text{CO}_2$ , даже если лед захватывает лишь часть солей из морской воды. В результате этой реакции выделяется углекислый газ [7], который с рассолом попадает в верхний слой воды подо льдом [9, 15] и через микротрещины во льду в атмосферу. Другой путь попадания образовавшегося  $\text{CO}_2$  в приледный слой воздуха — из подледного слоя во время подвижек льда и появления трещин, каналов и разводий с открытой поверхностью воды. Учитывая, что в марте–апреле в Арктике надо льдом преобладает устойчивый инверсионный слой воздуха [12], выделяющийся в этот период  $\text{CO}_2$  накапливается в нижнем слое полярной атмосферы и усиливает зимний максимум концентрации над покрытым льдом

океаном. Оценка возможного объема  $\text{CO}_2$ , выделившегося при образовании льда в зимний период, выполнена в работе [7]. Получено, что если весь этот объем поступит в приледный слой воздуха высотой 100 м, то прирост концентрации может составить несколько десятков единиц (ppm).

Летом лед тает сверху, образуя снежицы с холодной водой, содержащей слабо растворимую взвешенную фазу  $\text{CaCO}_3$ , образовавшуюся в период нарастания льда. Известно, что при невысоких температурах и длительном контакте  $\text{CaCO}_3$  с  $\text{CO}_2$  происходит так называемая реакция известковой воды с углекислым газом типа:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}_2(\text{HCO}_3)_2$  с образованием растворимого гидрокарбоната кальция и поглощением  $\text{CO}_2$  холодной водой снежиц и участками воды, свободными ото льда из приледного слоя воздуха. Гидрокарбонат кальция – вещество непрочное. При длительном нахождении в воде это вещество разлагается с выделением  $\text{CO}_2$  и образованием нормальной соли (карбоната), что происходит, когда процесс таяния прекращается. Непрерывные измерения концентрации и потоков  $\text{CO}_2$  надо льдом и подо льдом в Арктическом бассейне и в арктических морях в годовом цикле пока отсутствуют. Поэтому рассмотрим косвенные подтверждения предположения о связи зимнего роста  $\text{CO}_2$  над Арктическим бассейном с образованием и нарастанием льда.

Одно такое подтверждение следует из сопоставления межгодовых изменений размаха сезонных колебаний площади морских льдов в Арктике по данным из [10] и концентрации  $\text{CO}_2$  на береговых станциях. Положительные тренды обеих характеристик означают, что с ростом объема льда и воды, вовлеченных во взаимные сезонные переходы, растет и объем  $\text{CO}_2$ , сопровождающий эти преобразования, что находит отражение в увеличении сезонных колебаний его концентрации. При этом зимние максимумы концентрации  $\text{CO}_2$  растут быстрее, чем летние минимумы, по данным всех станций вокруг Арктического бассейна, в то время как зимние максимумы площади морского льда убывают медленнее, чем ее летние минимумы (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты тренда максимальных и минимальных среднемесячных значений в сезонных колебаниях концентрации  $\text{CO}_2$  на трех арктических станциях и площади, занятой морским льдом на Северном полушарии**

Параметр	Коэффициент тренда	
	Макс. в годовом ходе	Мин. в годовом ходе
$\text{CO}_2$ (Алерт), ppm/год	1,5878	1,5652
$\text{CO}_2$ (Алесунд), ppm/год	1,9305	1,7629
$\text{CO}_2$ (Барроу), ppm/год	1,5246	1,4591
Площадь, занятая льдом, км <sup>2</sup> /год	-35287,12	-54561,56

Такое соотношение трендов подтверждает предположение, что с увеличением сезонности ледяного покрова в Арктике растет зимний сток  $\text{CO}_2$  из океана вследствие увеличения объема вновь образующегося и нарастающего зимой льда.

Другое подтверждение следует из сопоставления изменений от месяца к месяцу толщины льда в Арктическом бассейне [5] и концентрации  $\text{CO}_2$  на Барроу за 1980–1990 гг. Обе величины показывают высокую корреляцию между собой с максимумом при запаздывании изменений  $\text{CO}_2$  примерно на 12 дней [2].

Следует подчеркнуть, что количество выделившегося  $\text{CO}_2$  зависит как от общего объема нарастания морского льда (содержащего рассол морских солей), так и от интенсивности нарастания. Чем больше скорость нарастания, тем больше солей захватывается морским льдом и больше продукция  $\text{CO}_2$ . Интенсивность нарастания зависит от толщины и сплоченности морского льда и наличия участков открытой воды (полыньи, разводья, каналы). На участках открытой воды проис-

ходит особенно быстрое образование льда. При уменьшении толщины льда и его сплоченности увеличивается интенсивность нарастания льда зимой и растет поток  $\text{CO}_2$  в атмосферу, усиливая эффект глобального потепления.

Анализ данных наблюдений в Восточно-Сибирском и Чукотском морях, а также на припайных льдах вблизи мыса Барроу, Аляска, подтверждает [14], что в летний период свободные ото льда акватории Северного Ледовитого океана являются очагами интенсивного поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$ , в то время как зимой вся его акватория представляет собой источник углекислого газа.

В безледном океане более низких широт в балансе  $\text{CO}_2$  основную роль играют биогенные процессы, в которых активно используются ионы кальция [10]. Однако в Северном Ледовитом океане в условиях полярной ночи фотосинтез отсутствует, а биогенные процессы на поверхности тающего льда летом замедлены, если не отсутствуют вовсе. Тем самым исследование механизмов генерации  $\text{CO}_2$  сводится к анализу сравнительно простых химических реакций. В течение полярного дня биогенные процессы развиваются на нижней границе морского льда, поглощая  $\text{CO}_2$  из морской воды, а не из атмосферы, экранированной большей частью морским льдом.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ $\text{CO}_2$ В АТМОСФЕРЕ НАД СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНОМ ЛЕТОМ 2007 г.**

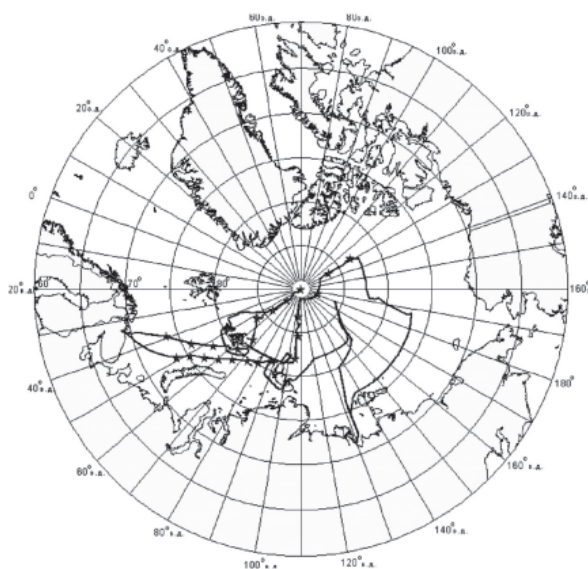
Первые данные о пространственно-временной изменчивости углекислого газа в приповерхностном слое атмосферы были получены в период рейса НЭС «Академик Федоров» в Арктический бассейн в июле–сентябре 2007 г. в рамках экспедиции «Арктика-2007» по программе МПГ 2007/08 (рис. 3 а). Регулярные измерения концентрации углекислого газа в приледном (приледном) слое атмосферы и отбор проб воздуха для последующего лабораторного анализа проводились в период с 28 июля по 27 августа 2007 г. и, с перерывами, до 17 сентября, когда вся аппаратура была передана на дрейфующую станцию «Северный полюс-35». Таким образом, на первом этапе были получены данные о распределении приземного  $\text{CO}_2$  вдоль разреза от  $73^\circ$  с.ш. до Северного полюса, а затем вдоль выполняемых судном разрезов на юг и юго-восток.

На следующем этапе наблюдения были продолжены от порта Тикси до Канадской экономической зоны и вплоть до места высадки дрейфующей станции «Северный полюс-35» ( $82^\circ$  с.ш.,  $105^\circ$  в.д.). Регулярные записи начинаются с 29 июля (с момента входа в лед) и представляют собой полуторамесячный ряд ежеминутных, а затем ежечасных наблюдений за газовым составом атмосферы по маршруту судна. Трансарктический маршрут рейса позволил получить информацию о пространственно-временном распределении и изменчивости газового состава атмосферы на обширных участках акватории Северного Ледовитого океана в период летнего таяния и начала замерзания.

Распределение концентрации  $\text{CO}_2$  в приповерхностном слое атмосферы на меридиональном разрезе Земля Франца-Иосифа – Северный полюс в период 28 июля – 2 августа 2007 г. представлено на рис. 3 б. Главная особенность пространственного распределения концентрации углекислого газа – ее рост с широтой по направлению к Северному полюсу, сопровождающий увеличение сплоченности дрейфующих льдов. Данный факт можно рассматривать как проявление сформировавшегося зимой повышения концентрации  $\text{CO}_2$  по направлению к полюсу и более слабого его поглощения летом в этом направлении.

В период организации дрейфующей станции «Северный полюс-35» наблюдения за концентрацией углекислого газа в приледном слое атмосферы были перенесены на метеоплощадку станции и будут продолжены в зимне-весенний пе-

*a*



*б*

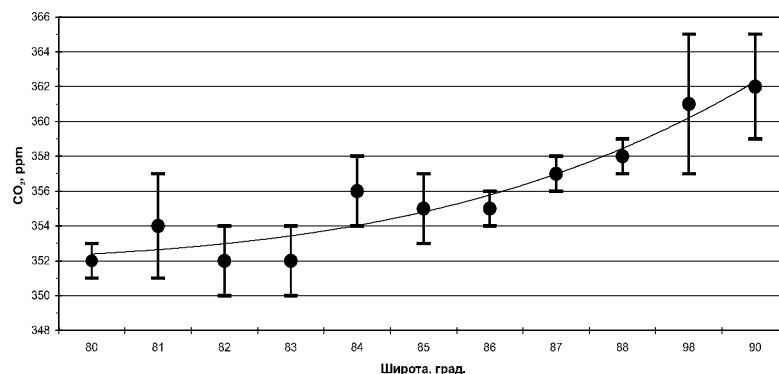


Рис. 3. Маршрут НЭС «Академик Федоров» (звездочками отмечены места взятия проб воздуха) (*a*) и распределение концентрации углекислого газа (точки) (*б*) в приповерхностном слое атмосферы на меридиональном разрезе Земля Франца-Иосифа – Северный полюс в Арктическом бассейне 28 июля – 2 августа 2007 г. (сплошная линия – квадратичный тренд, вертикальные линии обозначают среднеквадратическое отклонение от среднего значения на отрезке маршрута 0,5° широты)

риод 2007/08 г. совместно с ежечасными наблюдениями растворенного CO<sub>2</sub> в верхнем подледном слое океана.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ глобального распределения концентрации CO<sub>2</sub> в приземном слое воздуха и его изменений показал, что размах годового хода концентрации CO<sub>2</sub> в Северном полушарии возрастает от экватора к полюсу, а в Южном полушарии относительно невелик и не зависит от широты. Рост размаха отчетливо проявляется над океаническими областями Северного полушария, а над континентальными районами (включая промышленно развитые) эта зависимость маскируется значительным разбросом данных.

Полярное усиление амплитуды годовых колебаний концентрации  $\text{CO}_2$  над Северным Ледовитым океаном связано с активным влиянием морского льда на формирование сезонного цикла. Образование, нарастание и изменение структуры льда в зимний сезон сопровождаются выделением  $\text{CO}_2$  в подледный слой воды и непосредственно в атмосферу. Летом  $\text{CO}_2$  из атмосферы над Арктическим бассейном поглощается опресненной водой на поверхности разводий, трещин и каналов и расходуется на фотосинтез в верхнем слое воды и во льду.

Годовой цикл «замерзание/таяние» в Арктическом бассейне сопровождается, образно выражаясь, «дыханием Арктики»: в летний период происходит короткий «вдох», а зимой продолжительный «выдох», с большей концентрацией  $\text{CO}_2$ . В среднем за год Арктический бассейн является скорее источником, чем стоком  $\text{CO}_2$ , поскольку продолжительность «выдоха» в три-четыре раза длиннее «вдоха».

В период рейса НЭС «Академик Федоров» в Арктический бассейн в июле–сентябре 2007 г. по программе МПГ 2007/08 выполнены измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в приповерхностном слое атмосферы среди льдов на пути от Баренцева и Карского морей к Северному полюсу. Полученные данные показали рост концентрации в направлении к полюсу, согласованный с увеличением сплоченности дрейфующих льдов, что можно рассматривать как проявление сформировавшегося зимой повышения концентрации  $\text{CO}_2$  по направлению к полюсу и более слабого поглощения его летом в этом направлении. Наблюдения будут продолжены на дрейфующей станции «Северный полюс-35» в течение зимы и весны 2008 г. совместно с наблюдениями растворенного  $\text{CO}_2$  в верхнем подледном слое океана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Нагурный А.П. Влияние морского ледяного покрова на концентрацию двуокиси углерода в атмосфере Арктики в зимний период // Доклады РАН. 2005. Т. 401. № 6. С. 817–820.
2. Алексеев Г.В., Нагурный А.П. Роль морского льда в формировании годового цикла двуокиси углерода в Арктике // Доклады РАН. 2007. Т. 417. № 4. С. 541–544.
3. Голубев В.Н., Гребенников П.Б., Ржаницын Г.А., Сократов С.А., Фролов Д.А., Шишков А.В. Влияние арктического ледяного покрова на внутригодовые колебания содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере Северного полушария // Материалы гляциологических исследований. 2006. Вып. 101. С. 49–54.
4. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Нахутин А.И. Об оценке антропогенной эмиссии и стока парниковых газов // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 5–12.
5. Нагурный А.П., Коростелев В.Г., Иванов В.В. Многолетняя изменчивость толщины морского льда в Арктическом бассейне, рассчитанная по данным измерения изгибно-гравитационных колебаний ледяного покрова // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 72–78.
6. Назинцев Ю.Л., Дмитриаш Ж.А., Моисеев В.И. Теплофизические свойства морского льда. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. 257 с.
7. Недашковский А.П., Нагурный А.П., Иевлев К.Ф. Химические, гидробиологические и метеорологические наблюдения // Научно-технический отчет экспедиции на дрейфующей ледовой станции «Северный полюс-34» / Под ред. В.Т.Соколова. Гидрометеофонды Арктического и антарктического научно-исследовательского института, 2006. Раздел 3 и 5. С. 22–60.
8. Семенов С.М. Парниковые газы и современный климат Земли. М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 2004. 175 с.
9. Anderson L.G., Falck E., Jones E.P., Jutterström S., Swif J. Enhanced uptake of atmospheric  $\text{CO}_2$  during freezing of seawater: A field study in Storfjorden, Svalbard // J. Geophys. Res. 2004. 109, C06004, doi:10.1029/2003JC002120.
10. Johannessen O.M., Shalina E., Miles M. NORSEX sea ice concentration in the Arctic, 1978–1999 including MY ice concentration during winter months. 2000. NORSEX CD-ROM.



11. Feely R.A., Sabine C.L., Takahashi T., Wannikhov R. Uptake and storage of carbon dioxide in oceans: The global CO<sub>2</sub> survey // Oceanography. 2001. Vol. 14. P. 18–32.
12. Nagurny A.P. Space-time distribution of temperature inversions in the Arctic atmospheric boundary layer // Annales Geophysical. 1995. Vol. 13. P. 1087–1092.
13. Semiletov I.P. On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the polar regions // J. Atmos. Sci. 1999. Vol. 56. P. 286–306.
14. Semiletov I., Makshtas A., Akasofu S., Andreas E.L. 2004: Atmospheric CO<sub>2</sub> balance: The role of Arctic sea ice // Geophys. Res. Lett. 2004. Vol. 31, L05121.
15. Rysgaard S., Glud R.N., Sejr M.N., Bendtsen J., Christensen P.B. Inorganic carbon transport during sea ice growth and decay: A carbon pump in polar seas // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112, C03016, doi:10.1029/2006JC003572.
16. WMO WDCGG DATA SUMMARY, 2006, WDCGG No.30, GAW DATA, VOLUME 4. Green houses and Other atmospheric Gases // Published by Japan Meteorological Agency in cooperation with World Meteorological Organization, March, 2006. 92 p.

*G.V.ALEKSEEV, A.P.NAGURNY, A.P.MAKSHTAS, N.E.IVANOV, S.V.SHUTILIN*

#### **ROLE OF SEA ICE IN FORMATION OF AN ANNUAL CYCLE OF CARBON DIOXIDE IN HIGH-LATITUDE MARINE ARCTIC**

*Features of variability of CO<sub>2</sub> concentration in an atmosphere over high-latitude Arctic Ocean and a role of sea ice in their formation are investigated. It is used the global data and results of observations during IPY 2007 research. Methods include the statistical analysis of global data of CO<sub>2</sub> contents in the atmosphere, direct measurements of its concentration over ice cover of Arctic Ocean and the analysis of chemical reactions within the sea ice. It is shown that polar amplification of annual cycle of CO<sub>2</sub> concentration over the Arctic Ocean is connected with active influence of sea ice on formation of a seasonal cycle CO<sub>2</sub>. Formation, increase of thickness and structure change of ice during a winter season is accompanied by allocation CO<sub>2</sub> into subice layer of water and directly to the atmosphere. Measurements of CO<sub>2</sub> concentration in surface layer of the atmosphere among ice along the sections from Barents and Kara seas to the North Pole have confirmed the growth of concentration in the poleward direction. It was the first to specify the active role of sea ice in the formation of a seasonal cycle of CO<sub>2</sub> content and to speculate that the Arctic Basin is more likely a source than a drain of CO<sub>2</sub> in the average for year. The measurements will be continued in 2008 with using of the modern devices for measurement of CO<sub>2</sub> fluxes through the ice.*