

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.510.42

Изменения концентрации CO₂ на территории Западной Сибири при прохождении атмосферных фронтов в разные сезоны года

П.Н. Антохин¹, М.Ю. Аршинов¹, В.Г. Аршинова¹, Б.Д. Белан¹,
Д.К. Давыдов¹, Т.М. Рассказчикова¹, А.В. Фофонов¹, G. Inoue²,
T. Machida², K. Shimoyama², Ш. Максютов^{2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, Россия
²National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, 305-8606, Tsukuba, Japan

Поступила в редакцию 31.05.2012 г.

По данным созданной на территории Западной Сибири сети постов мониторинга парниковых газов анализируется распределение диоксида углерода при прохождении фронтальных разделов. Для исключения влияния метеорологических величин все исходные данные предварительно приведены к нормальным условиям. Выявлено, что на территории Западной Сибири при прохождении фронтов в холодный период года концентрация углекислого газа увеличивается в тылу холодного фронта и уменьшается за линией теплого. В теплый период года, в связи с усилением жизнедеятельности растительности, которая является в этот период как источником, так и стоком для углекислого газа, распределение его в зоне фронтов становится противоположным наблюдаемому в холодный период. В переходные периоды в зоне фронтов возможны как летний, так и зимний вариант распределения CO₂, что зависит от предыстории приходящей в регион воздушной массы.

Ключевые слова: атмосфера, воздух, распределение, углекислый газ, фронт; atmosphere, air, distribution, carbonic gas, front.

Введение

Одним из наиболее актуальных современных направлений исследований является прогноз изменения состава воздуха, ввиду вполне реальной возможности изменения глобального климата и окружающей среды, имеющей как природную обусловленность, так и антропогенное происхождение. В настоящее время изучение изменений состава воздуха ведется по широкому кругу вопросов, начиная от мониторинга газовых и аэрозольных компонентов воздуха и заканчивая созданием глобальных моделей общей циркуляции и прогноза климата. Синоптический анализ процессов в этих исследованиях почти не используется. Вместе с тем имеется ряд задач, связанных с воздействием физических и химических процессов в атмосфере на состав воздуха, в котором

такой анализ был бы крайне полезен. Например, как изменится состав воздуха при смене типа воздушной массы, вида синоптического объекта и т.п.? При наличии такой информации и выявлении устойчивых закономерностей возможно прогнозирование концентрации малых газовых примесей в атмосферном воздухе.

Влияние синоптических процессов на состав воздуха интенсивно изучается за рубежом и в меньшей степени в России. В относительно недавно опубликованном Информационном бюллетене [1] при всей важности проблемы исследователям удалось выделить только несколько синоптических ситуаций, для которых составляется прогноз. К ним относятся: центральная часть антициклона, барический гребень, малоградиентное поле, слабый циклон, периферии циклонического и антициклонического полей, центральная область циклона. В реальности ситуаций значительно больше, но предпосылки для их введения в прогноз не имеется. Подчеркнем, что это для городов, где организована сеть постов наблюдений. Для фоновых районов такая сеть практически отсутствует. В России есть всего две станции, принадлежащие Росгидрометеослужбе, где измеряется диоксид углерода в фоновых условиях, поэтому здесь какой-либо прогноз вообще не возможен.

* Павел Николаевич Антохин (arp@iao.ru); Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Виктория Геннадьевна Аршинова; Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Денис Константинович Давыдов (denic@iao.ru); Татьяна Михайловна Рассказчикова (rtm@iao.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru); Gen Inoue; Toshiyoshi Machida; Ko Shimoyama; Шамиль Шавратович Максютов (shamil@nies.go.jp).

Исследования изменения концентрации загрязнения воздуха за рубежом ведутся по нескольким направлениям.

Первое, самое простое, — это учет направления ветра. Таких работ достаточно много, например [2–5]. Подобные работы полезны с диагностической точки зрения. Например, откуда пришла примесь, т.е. физическую сторону процесса, такие работы не освещают, а чаще используются при анализе загрязнения воздуха.

Второе направление примыкает к первому, но использует более сложную технику расчетов — метод обратных траекторий. Примеры его применения можно найти в [6–8]. Однако, как указывается в [9], пользоваться им надо весьма аккуратно, так как иногда возникают ошибки в определении траекторий, превышающие 100%.

Ряд ученых используют концентрацию газов или аэрозоля в качестве индикатора происхождения воздушных масс [10–12]. Подход, на первый взгляд, достаточно прогрессивный, так как позволяет применять количественные критерии. Недостаток метода заключается в необходимости корректного учета мощности источников и стоков газовых компонентов, а также их трансформации в атмосфере.

К чисто синоптическим методам анализа можно отнести использование характеристики происхождения воздушной массы [13–15]. В этом случае в рассмотрение включается генетический признак, определяемый местом формирования самой воздушной массы, которая, как давно установлено [16], внутри себя по большинству характеристик достаточно однородна. Это первый шаг на пути комплексного синоптического анализа.

Для исследования изменения состава воздуха необходим полный синоптический анализ, который включает в себя не только тип воздушной массы, но и вид синоптического объекта, а еще лучше его части [17, 18]. Однако сложность подобного анализа заставляет наших зарубежных коллег подробный анализ заменять либо категориями синоптической ситуации, либо индексами [19–22]. В результате получается «полуфабрикат», в котором присутствуют и синоптические термины, и данные измерений. Вводимые же категории субъективны, и порой их невозможно распространить на другие регионы.

Тем не менее, когда рассматриваются отдельные случаи или конкретные периоды, синоптический анализ выполняется вполне квалифицированно [23–25]. Однако установить каких-либо статистически значимых закономерностей не удается, так как синоптические ситуации весьма индивидуальны, а обобщения по ним не проводятся.

В настоящей статье делается попытка уйти от этой проблемы и на основании анализа отдельных конкретных случаев сделать определенные обобщения и выводы.

Ранее авторы рассматривали изменение концентраций озона и аэрозоля при прохождении атмосферных фронтов по данным измерений в одном пункте [26]. Величина изменения концентрации составляла 30–40% в пред- или постфронтальной

зонах, а характер изменения оказался прямо противоположным для теплых и холодных фронтов и весьма сложным для фронтов окклюзии. Амплитуда изменения зависит от географического типа фронта. Выявлено также, что верхние теплые и вторичные холодные фронты, несмотря на слабую выраженность в других параметрах, оказывают возмущающее действие на поля аэрозоля и озона в их зоне по типу холодных и теплых. В случае образования и движения двойных фронтальных систем наблюдается не по одному максимуму и минимуму, а более сложный ход с одним минимумом и двумя максимумами концентрации.

Недостатком этого исследования было использование данных только одного пункта измерений, что, несмотря на применявшуюся нормировку, не позволило полностью учесть суточный ход и трансформацию синоптического образования в процессе его перемещения.

В 2008 г. ИОА СО РАН совместно с Национальным институтом исследования окружающей среды (Япония) ввели в эксплуатацию сеть из 8 автоматических постов для измерения парниковых газов (CH_4 и CO_2) в фоновых районах Западной Сибири [27–29]. Это позволяет провести исследование воздействия синоптических процессов на пространственно-временную изменчивость парниковых газов в фоновых условиях. В настоящей статье будем рассматривать CO_2 .

Характеристика исходных данных

В табл. 1 представлены наименования и координаты пунктов измерений. В дальнейшем эти пункты будут нанесены на соответствующих картах.

Таблица 1

Координаты пунктов измерений

Ноябрьск	63°26' с.ш. 75°47' в.д.
Иgrim	63°11' с.ш. 64°25' в.д.
Демьянское	59°47' с.ш. 70°52' в.д.
Карасевое	58°15' с.ш. 82°25' в.д.
Березоречка	56°09' с.ш. 84°20' в.д.
Ваганово	54°30' с.ш. 62°19' в.д.
Азово	54°44' с.ш. 73°02' в.д.
Саввушка	51°20' с.ш. 82°08' в.д.

Все посты оборудованы однотипными приборами LiCor модель 820. Измерения концентрации CO_2 проводятся ежечасно с момента введения поста в эксплуатацию по настоящее время. Каждое измерение сопровождается калибровкой приборов по референтному газу, отобранному на этом же посту. Дважды в сутки (5:00 и 17:00 местного времени) проводится калибровка поверочными смесями. Это позволяет измерять концентрацию CO_2 с погрешностью, не превышающей $0,5 \text{ млн}^{-1}$. Отбор проб воздуха для прибора осуществляется на двух высотах. В настоящей статье используются данные о концентрации углекислого газа, полученные на высоте около 40 м.

По данным, полученным с этих пунктов, были построены поля распределения CO_2 в дни прохождения атмосферных фронтов по территории Западной Сибири за 2008 г.

Время и место прохождения фронтов снимались с приземных синоптических карт, предоставленных Новосибирским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями Регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды.

Количество фронтальных разделов, прошедших по исследуемой территории за 2008 г., приводится в табл. 2.

Таблица 2

Количество фронтов, наблюдавшихся над Западной Сибирью в 2008 г.

Фронт	Зима	Весна	Лето	Осень
Холодный	9	15	14	16
Теплый	14	22	22	20

Для большей наглядности в настоящей статье приводятся карты-схемы распределения диоксида углерода в центральные месяцы сезонов для наиболее выраженных случаев, т.е. ко времени стабилизации сезонных циркуляционных процессов.

Поскольку в зоне фронтов наблюдаются значительные градиенты давления, температуры воздуха и других параметров, то, для сопоставимости данных, все значения концентрации CO_2 были приведены к нормальным условиям (0°C и 1013 гПа). Это позволяет исключить из рассмотрения влияние метеовеличин на изменение концентрации и утверждать, что неоднородности в распределении обусловлены синоптическими процессами.

В связи с тем что преобладающими воздушными массами на территории Западной Сибири являются арктическая и умеренная, мы проводили исследования для этих условий.

Чтобы выявить различия между содержанием CO_2 в арктической и умеренной воздушных массах, был проведен статистический анализ данных за период с 2004 по 2008 г. в п. Березоречка, где получен наиболее длинный ряд наблюдений. Для каждого часа в сутках была определена воздушная масса, находившаяся в пункте измерений. Расчет проводился для зимы (с декабря по февраль) и лета (с июня по август). Средние значения и величина дисперсии для каждого периода и воздушной массы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты статистического анализа воздушных масс

Характеристика	Воздушная масса			
	арктическая	умеренная	арктическая	умеренная
	Зима		Лето	
Среднее значение, млн^{-1}	398,6	393,7	375,4	380,1
СКО	7,8	7,0	14,9	20,9
Количество измерений	3349	2095	2129	1756

Для определения статистической значимости полученных средних величин вначале проверялась гипотеза о равенстве дисперсий. Нулевая гипотеза – $H_0: \sigma_a^2 = \sigma_y^2$ и альтернативная – $H_1: \sigma_a^2 \neq \sigma_y^2$. Для этой цели применялся F -критерий Фишера [30], который для холодного и теплого периодов составил 1,23 и 1,95, а критические значения соответственно 1,09 и 1,11. Поскольку расчетные значения превышают критические, то на уровне значимости $\alpha = 0,01$ гипотеза H_0 отвергается.

Следующий этап состоял в проверке гипотезы о равенстве средних значений, нулевая гипотеза $H_0: \mu_a = \mu_y$, альтернативная $H_1: \mu_a \neq \mu_y$. Был применен метод Уэлча [30] из-за статистически значимого различия между величинами дисперсии. Для проверки используется статистика t_0 :

$$t_0 = \frac{\mu_a - \mu_y}{\sqrt{(\sigma_a^2/N_a) + (\sigma_y^2/N_y)}},$$

которая имеет приблизительно t -распределение Стьюдента с числом степеней свободы

$$v = \left[\frac{[(\sigma_a^2/N_a) + (\sigma_y^2/N_y)]^2}{\frac{\sigma_a^4}{N_a^2(N_a - 1)} + \frac{\sigma_y^4}{N_y^2(N_y - 1)}} \right],$$

где μ_a, μ_y – средние значения; σ_a^2, σ_y^2 – СКО; N_a, N_y – длина ряда измерений концентрации CO_2 в арктической и умеренной воздушных массах.

Для холодного и теплого периодов значения t_0 составили 23,9 и 8 соответственно, а критические значения оказались практически равны 2,81. Поскольку расчетные значения превышают критические на уровне значимости $\alpha = 0,01$, то гипотеза H_0 отвергается.

В результате концентрация углекислого газа в арктической и умеренной воздушных массах имеет значимое статистическое различие на уровне $\alpha = 0,01$.

Изменение поля диоксида углерода при прохождении фронтов в холодный период

Типичные поля распределения углекислого газа на территории Западной Сибири при прохождении фронтов показаны на рис. 1.

Видно, что при прохождении холодного фронта, т.е. в его тылу, концентрация CO_2 возрастает на $3\text{--}4\text{ млн}^{-1}$. Это значительно больше, чем суточная амплитуда изменения в этот период года [29]. За линией теплого фронта, наоборот, концентрация CO_2 уменьшается на $3\text{--}5\text{ млн}^{-1}$. На удалении от него, в случае антициклонической циркуляции, на фоне повышенного давления и значительного понижения температур вновь происходит увеличение концентрации диоксида углерода.

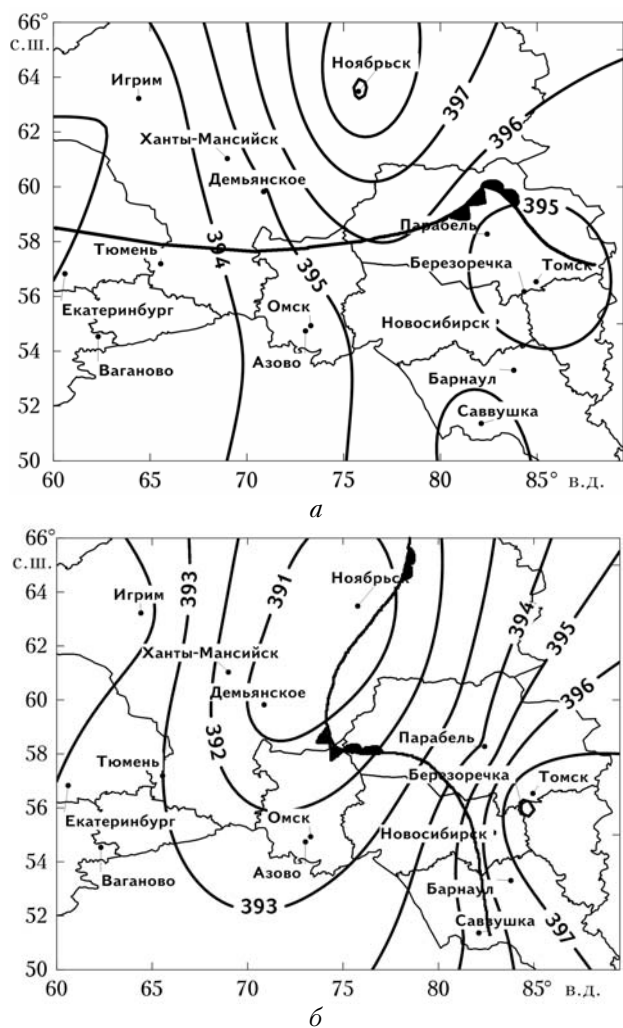


Рис. 1. Распределение концентрации углекислого газа при прохождении фронтов: *a* – холодного 01.01.2008; *б* – теплого 27.01.2008

Поскольку данные концентрации приведены к одной и той же температуре и одному и тому же давлению, то их влияние на изменение концентрации исключено. По-видимому, это обусловлено особенностями перемешивания в зоне холодного и теплого фронтов.

Известно [16], что в тылу холодного фронта наблюдается инверсия температуры, а за линией теплого фронта (в теплом секторе) она отсутствует. В зимнее время источник CO_2 располагается на поверхности земли. Таким источником является выдыхаемый растениями воздух [31]. Следовательно, объем воздуха, в котором будет рассеиваться поступающий углекислый газ, в тылу холодного фронта будет значительно меньше, чем за линией теплого. В связи с этим там происходят накопление CO_2 и, соответственно, рост концентрации. За линией теплого фронта, наоборот, хорошее перемешивание способствует рассеиванию и переносу газа в более высокие слои воздуха, что приводит к уменьшению концентрации.

Помимо жизнедеятельности растительности, на концентрацию CO_2 могут оказывать влияние и дру-

гие процессы [32–36]. Но их вклад оказывается меньше, чем указанный выше.

Изменение поля диоксида углерода при прохождении фронтов в теплый период

Распределение углекислого газа при прохождении фронтов кардинально меняется в теплый период. При этом воздействие как холодного, так и теплого фронтов в значительной степени подвержено модуляции суточным ходом. В качестве примера приведем рис. 2, на котором показана динамика концентрации CO_2 в теплом секторе циклона в июле.

Видно, что в дневные часы из-за активного процесса фотосинтеза и усиленного перемешивания концентрация углекислого газа в теплом секторе уменьшается значительно быстрее, чем в тылу холодного фронта, практически выравниваясь по всей исследуемой территории. Это подтверждает тот факт, что основной вклад в распределение диоксида углерода вносит жизнедеятельность растений. То есть в теплом воздухе растения поглощают CO_2 быстрее, чем в холодном, что приводит к выравниванию концентраций. В ночное время за счет различной скорости выдыхания растениями CO_2 вновь разность концентраций CO_2 в зоне фронтов растет. Таким образом, наблюдается явно выраженная закономерность – в ночное время в теплом воздухе концентрация углекислого газа значительно выше, чем в холодном.

В переходные сезоны распределение диоксида углерода при прохождении фронтов может происходить как по зимнему, так и по летнему типу.

Изменение поля диоксида углерода при прохождении фронтов в переходные периоды

В апреле поле концентрации CO_2 в зоне фронта отличается от январского (рис. 3).

Видно, что распределение углекислого газа происходит по летнему типу: в теплом воздухе содержание CO_2 значительно выше, чем в холодном. Особенно разница заметна в утренние и ночные часы, когда интенсивность выдыхания CO_2 максимальна, при этом наличие и отсутствие снежного покрова не оказывают никакого влияния.

В октябре, когда происходит смена циркуляционных процессов, наблюдается как летний, так и зимний тип распределения CO_2 (рис. 4).

Так, например, 15 октября (рис. 4, *a*) наблюдалось распределение CO_2 , типичное для зимних условий. А после длительного затора тепла из Средиземноморья и установления преимущественно положительных температур, когда растительность «почувствовала» приближение теплого сезона, произошла смена типов, что видно на примере от 24 октября (рис. 4, *б*). При этом надо отметить, что в обоих случаях снежного покрова еще не наблюдалось.

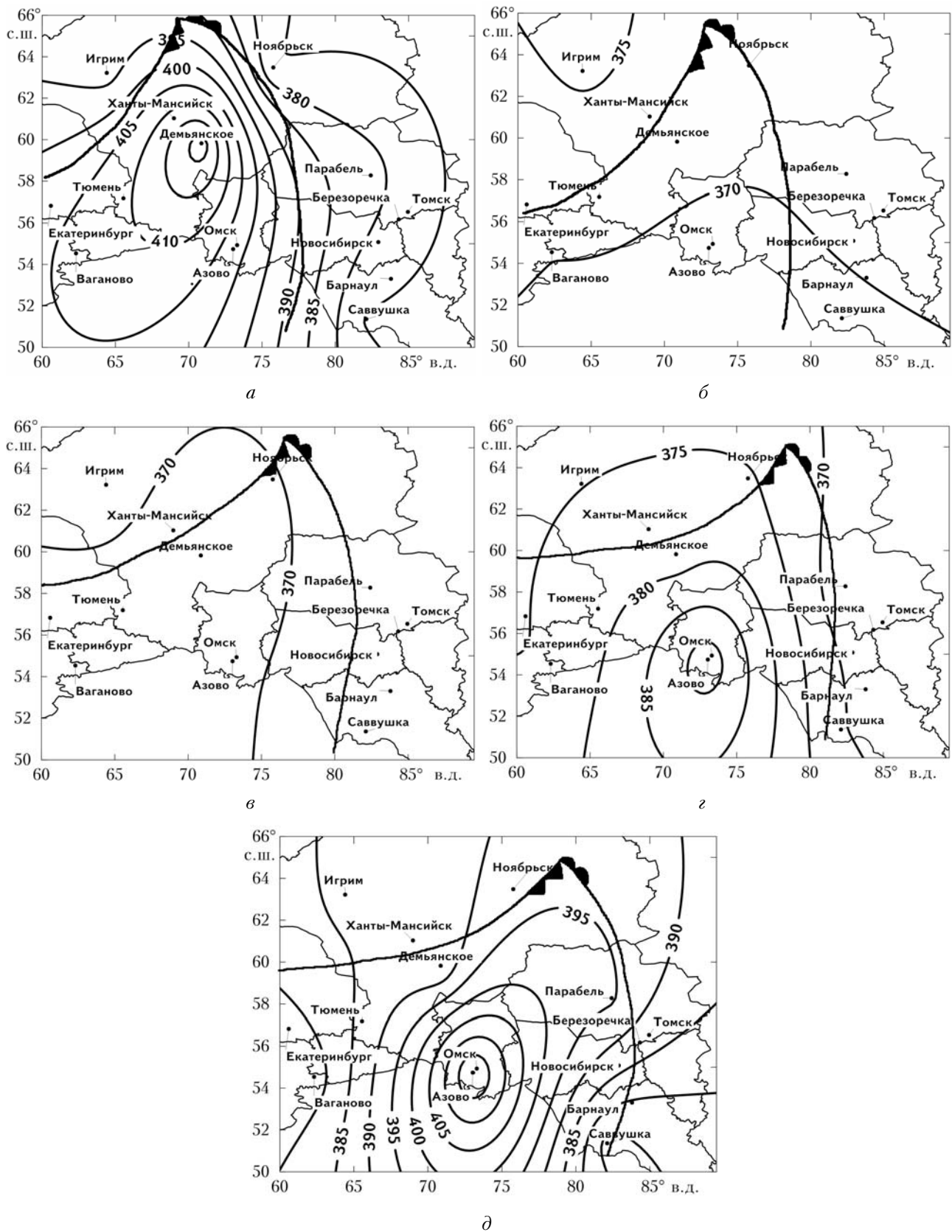


Рис. 2. Распределение концентрации углекислого газа при прохождении фронтов: а – 25.07.2008, 00:00; б – 25.07.2008, 06:00; в – 25.07.2008, 12:00; г – 25.07.2008, 18:00; д – 25.07.2008, 21:00 (время по Гринвичу)

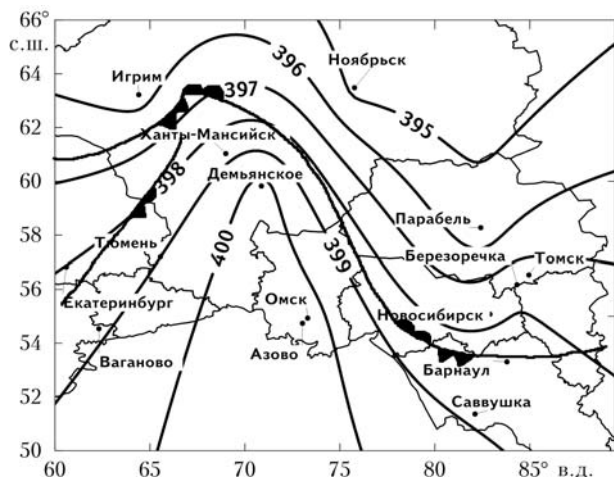
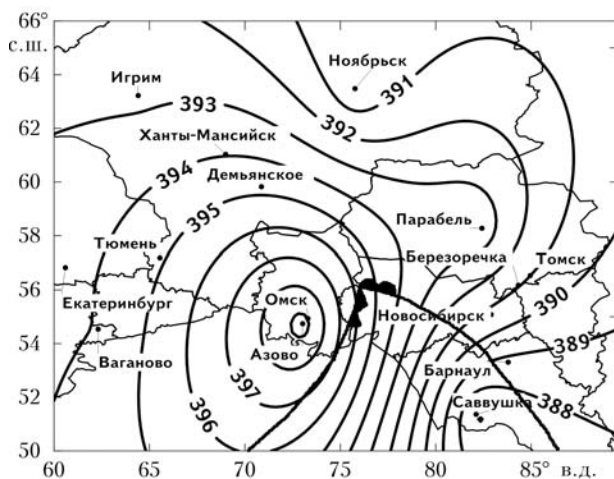
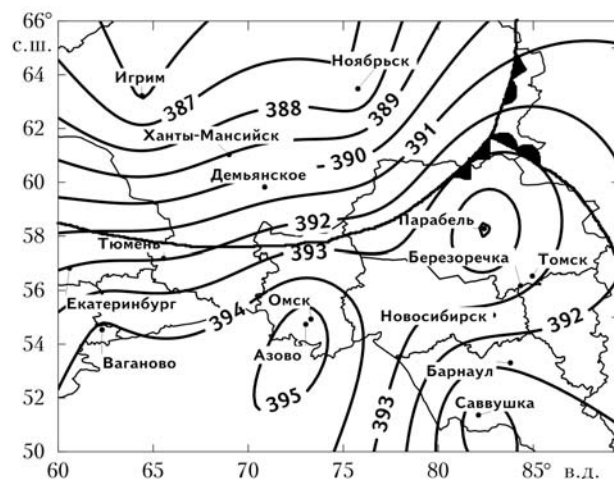


Рис. 3. Распределение концентрации углекислого газа при прохождении фронтов в апреле (4.04.2008, 00:00 по Гринвичу)



а



б

Рис. 4. Распределение концентрации углекислого газа при прохождении фронтов в октябре: а – 15.10.2008, 00:00; б – 24.10.2008, 00:00 по Гринвичу

Заключение

В холодный период года при прохождении фронтов по территории Западной Сибири концентрация углекислого газа увеличивается в тылу холодного фронта и уменьшается за линией теплого, что обусловлено особенностями воздействия синоптических процессов на перемешивание воздуха в их зоне.

В теплый период года, в связи с усилением жизнедеятельности растительности, которая является в этот период как источником, так и стоком для углекислого газа, распределение его в зоне фронтов становится противоположным, что обусловлено значительной суточной динамикой концентрации.

В переходные периоды возможен как зимний, так и летний вариант распределения CO_2 в зоне фронтов, что зависит от предыстории приходящей в регион воздушной массы.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы Отделения наук о Земле РАН № 5; междисциплинарных интеграционных проектов фундаментальных исследований СО РАН № 35, 131; грантов РФФИ № 11-05-00470, 11-05-00516, 11-05-93116 и 11-05-93118; госконтрактов Минобрнауки № 02.740.11.0674, 14.740.11.0204 и 11.519.11.5009, Фонда глобальных исследований окружающей среды для национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. *Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах Российской Федерации.* СПб.: Гидрометеоиздат, 2009. 69 с.
2. *Lelieveld J., Berresheim H., Borrmann S., Crutzen P.J., Dentener F.J., Fischer H., Feichter J., Flatau P.J., Heland J., Holzinger R., Kormann R., Lawrence M.G., Levin Z., Markowicz K.M., Mihalopoulos N., Minikin A., Ramanathan V., de Reus M., Roelofs G.J., Scherer H.A., Sciare J., Schlager H., Schultz M., Siegmund P., Steil B., Stephanou E.G., Stier P., Traub M., Warneke C., Williams J., Ziereis H.* Global air pollution crossroads over the Mediterranean // *Science*. 2002. V. 298, N 5594. P. 794–799.
3. *Barkan J., Alpert P., Kutiel H., Kishcha P.* Synoptics of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, D07208, doi:10.1029/2004JD005222,
4. *Xie Y., Berkowitz C.M.* The use of conditional probability functions and potential source contribution functions to identify source regions and advection pathways of hydrocarbon emissions in Houston, Texas // *Atmos. Environ.* 2007. V. 41, N 28. P. 5831–5847.
5. *Heinesch B., Yernaux Y., Aubinet M.* Dependence of CO_2 advection patterns on wind direction on a gentle forested slope // *Biogeosciences*. 2008. V. 5, N 3. P. 657–668.
6. *Harries J.M., Draxler R.R., Oltmans S.J.* Trajectory model sensitivity to differences in input data and vertical transport method // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, D14109, doi:10.1029/2004JD005750.
7. *Schoeberl M.R., Ziemke J.R., Bojkov B., Livesey N., Duncan B., Strahan S., Froidevaux L., Kulawik S., Bhartia P.K., Chandra S., Levelt P.F., Witte J.C., Thompson A.M., Cuevas E., Redondas A., Tarasick D.W., Davies J., Bodeker G., Hansen G., Johnson B.J., Oltmans S.J., Vömel H., Allaart M., Kelder H., New-*

- church M., Godin-Beekmann S., Ancellet G., Claude H., Andersen S.B., Kyrö E., Parrondos M., Yela M., Zabolocki G., Moore D., Dier H., von der Gathen P., Viatte P., Stübi R., Calpini B., Skrivankova P., Dorokhov V., de Backer H., Schmidlin F.J., Coetzee G., Fujiwara M., Thouret V., Posny F., Morris G., Merrill J., Leong C.P., Koenig-Langlo G., Joseph E. A trajectory-based estimate of the tropospheric ozone column using the residual method // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D24S49, doi:10.1029/2007JD008773.
8. Sogacheva L., Hamed A., Facchini M.C., Kulmala M., Laaksonen A. Relation of air mass history to nucleation events in Po Valley, Italy, using back trajectory analysis // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. V. 7, N 3. P. 839–853.
9. Scheifinger H., Kaiser A. Validation of trajectory statistical methods // *Atmos. Environ.* 2007. V. 41, N 39. P. 8846–8856.
10. Xiao Y., Jacob D.J., Turquety S. Atmospheric acetylene and its relationship with CO as an indicator of air mass age // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D12305, doi:10.1029/2006JD008268.
11. Rudolf J., Czuba E. On the use of isotopic composition measurements of volatile organic compounds to determine the «photochemical age» of an air mass // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27, N 23. P. 3865–3868.
12. Jaegle L., Jaffe D.A., Price H.U., Weiss-Penzias P., Palmer P.I., Evans M.J., Jacob D.J., Bey I. Sources and budgets for CO and O₃ in the northeastern Pacific during the spring of 2001: Results from the PHOBEA-11 Experiment // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, D20, 8802, doi:10.1029/2002JD003121.
13. De Reus M., Fischer H., Arnold F., de Gouw J., Holzinger R., Warneke C., Williams J. On the relationship between acetone and carbon monoxide in different air masses // *Atmos. Chem. Phys.* 2003. V. 3, N 5. P. 1709–1723.
14. Estelles V., Martinez-Lozano J.A., Utrillas M.P. Influence of air mass history on the columnar aerosol properties at Valencia, Spain // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112, D15211, doi:10.1029/2007JD008593.
15. Benson D.R., Young L.-H., Lee S.-H., Campos T.L., Rogers D.C., Jensen J. The effects of air mass history on new particle formation in the free troposphere: case studies // *Atmos. Chem. Phys.* 2008. V. 8, N 12. P. 3015–3024.
16. Хромов С.П. Основы синоптической метеорологии. Л.: Гидрометеоздат, 1948. 700 с.
17. Frakes B., Yarnal B. A procedure for blending manual and correlation-based synoptic classifications // *Int. J. Climatol.* 1997. V. 17, N 13. P. 1381–1396.
18. Vaneckova P., Yart M.A., Beggs P.J., de Dear R.J. Synoptic analysis of heat-related mortality in Sydney, Australia, 1993–2001 // *Int. J. Biometeorol.* 2008. V. 52, N 6. P. 439–451.
19. O'Hare G.P., Wilby R. A review of ozone pollution in the United Kingdom and Ireland with an analysis using Lamb Weather Types // *Geogr. J.* 1995. V. 161, N 1. P. 1–20.
20. Lam K.-C., Cheng S. A synoptic climatological approach to forecast concentrations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in Hong Kong // *Environ. Pollut.* 1998. V. 101, N 2. P. 183–191.
21. Greene J.S., Kalkstein L.S., Ye H., Smoyer K. Relationships between synoptic climatology and atmospheric pollution at 4 US cities // *Theor. Appl. Climatol.* 1999. V. 62, N 3–4. P. 163–174.
22. Chen Z.H., Cheng S.Y., Li J.B., Guo X.R., Wang W.H., Chen D.S. Relationship between atmospheric pollution processes and synoptic pressure patterns in northern China // *Atmos. Environ.* 2008. V. 42, N 24. P. 6078–6087.
23. Purvis R.M., Lewis A.C., Carney R.A., McQuaid J.B., Arnold S.R., Methven J., Barjat H., Dewey K., Kent J., Monks P.S., Carpenter L.J., Brough N., Penkett S.A., Reeves C.E. Rapid uplift of nonmethane hydrocarbons in a cold front over central Europe // *J. Geophys. Res.* D. 2003. V. 108, N 7. 4224, doi:10.1029/2002JD002521.
24. Mari C., Evans M.J., Palmer P.I., Jacob D.J., Sachse G.W. Export of Asian pollution during two cold front episodes of the TRACE-P experiment // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109, D15S17, doi:10.1029/2003JD004307.
25. Thomas W., Baier F., Erbertseder T., Kastner M. Analysis of the Algerian severe weather event in November 2001 and its impact on ozone and nitrogen dioxide distributions // *Tellus. B.* 2003. V. 55, N 5. P. 993–1006.
26. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Воронцова Е.В., Заде Г.О., Рассказчиков Т.М., Семьянова О.И., Скляднева Т.К. Динамика аэрозоля при прохождении атмосферных фронтов // *Оптика атмосф. и океана.* 1997. Т. 10, № 7. С. 813–819.
27. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуе Г., Краснов О.А., Мачида Т., Максютов Ш., Недзэк Ф., Рамонет М., Суас Ф., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Организация мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу компонент над территорией Сибири и некоторые его результаты. 1. Газовый состав // *Оптика атмосф. и океана.* 2006. Т. 19, № 11. С. 948–955.
28. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // *Оптика атмосф. и океана.* 2007. Т. 20, № 1. С. 53–61.
29. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуе Г., Краснов О.А., Максютов Ш., Мачида Т., Фофонов А.В., Шимояма К. Пространственная и временная изменчивость концентрации СО₂ и СН₄ в приземном слое воздуха на территории Западной Сибири // *Оптика атмосф. и океана.* 2009. Т. 22, № 2. С. 183–192.
30. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. М.: Мир, 1982. 488 с.
31. Ершов Ю.И. Органическое вещество биосферы и почвы. Новосибирск: Наука, 2004. 104 с.
32. Агеев Б.Г., Зотикова А.П., Падалко Н.Л., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А., Сапожникова В.А., Черников Е.В. Вариации содержания воды, СО₂ и изотопного состава углерода СО₂ в годичных кольцах кедров сибирского // *Оптика атмосф. и океана.* 2011. Т. 24, № 2. С. 149–154.
33. Денисов С.Н., Аржанов М.М., Елисеев А.В., Мохов И.И. Чувствительность эмиссии метана болотными экосистемами Западной Сибири к изменениям климата: мультимодельные оценки // *Оптика атмосф. и океана.* 2011. Т. 24, № 4. С. 319–322.
34. Звягинцев А.М., Блюм О.Б., Глазкова А.А., Котельников С.Н., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Лезина Е.А., Миллер Е.А., Миляев В.А., Попиков А.П.,

- Семутникова Е.Г., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю.* Аномалии концентраций малых газовых составляющих в воздухе европейской части России и Украины летом 2010 г. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 582–588.
35. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Nedelec Ph., Paris J.-D., Ciais Ph., Фофанов А.В.* Особенности распределения оксидов углерода в облаках // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 661–664.
36. *Домышева В.М., Сакирко М.В., Пестунов Д.А., Панченко М.В.* Сезонный ход процесса газообмена CO₂ в системе «атмосфера–вода» в литорали Южного Байкала. 2. Гидрологическое лето // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 737–742.

P.N. Antokhin, M.Yu. Arshinov, V.G. Arshinova, B.D. Belan, D.K. Davydov, T.M. Rasskazchikova, A.V. Fofonov, G. Inoue, T. Machida, K. Shimoyama, Sh. Maksutov. **CO₂ concentration variation above the West Siberia area in different seasons during passes of atmospheric fronts.**

By data of a network of posts for greenhouse gases monitoring at West Siberia area the distribution of carbon dioxide is analyzed at the passage of frontal sections. To except the influence of meteorological parameters, all initial data were pre-reduced to standard conditions. It was found that in the cold season the CO₂ concentration increases in the cold front rear and decreases behind the line of the warm front. In the warm season, due to augmentation of the plant vegetation, which in this period is both the source and drain of the carbonic gas, its distribution becomes opposite to the observable in the cold period. In transition periods, both summer and winter variants of CO₂ distribution in zones of fronts are possible, which depends on the prehistory of the air mass, coming to the region.