

М.Ю. Аршинов<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>1</sup>, Д.К. Давыдов<sup>1</sup>, Г. Иноуйе<sup>2</sup>, О.А. Краснов<sup>1</sup>,  
Т. Мачида<sup>2</sup>, Ш. Максюттов<sup>2</sup>, Ф. Недэлэк<sup>3</sup>, М. Рамонет<sup>4</sup>, Ф. Сиас<sup>4</sup>,  
Г.Н. Толмачев<sup>1</sup>, А.В. Фофонов<sup>1</sup>

## Организация мониторинга парниковых и окисляющих атмосферных компонент над территорией Сибири и некоторые его результаты. 1. Газовый состав

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Национальный институт исследования окружающей среды, г. Цукуба, Япония*

<sup>3</sup> *Лаборатория аэрологии, г. Тулуза,*

<sup>4</sup> *Лаборатория наук о климате и окружающей среде, г. Париж, Франция*

Поступила в редакцию 25.07.2006 г.

Приводятся описание созданной в результате международной кооперации многоуровневой системы мониторинга парниковых и окисляющих атмосферных компонент, а также первые результаты, полученные к настоящему времени.

Мониторинг ведется по трем направлениям: 1) определение эмиссии парниковых газов (на Иксинском (Бакчарском) болоте); 2) исследование потоков в приземном слое воздуха (пространственное распределение парниковых газов производится с помощью высотных мачт в Томской области, Ямало-Ненецком АО, Тюменской области, Ханты-Мансийском АО); 3) изучение пространственного распределения. Измерение вертикального распределения парниковых газов в пограничном слое атмосферы осуществляется еженедельно с борта самолета Ан-2, оценка регионального вклада в глобальный баланс — с самолета Ан-30. В 2006 г. стартовал проект УАК-1, в ходе которого измерения на Ан-30 теми же приборами осуществляются по маршруту Новосибирск—Якутск—Новосибирск с переменным по высоте профилем полета.

### Введение

Одной из основных в настоящее время является проблема возможных глобальных изменений окружающей среды и климата за счет роста концентрации парниковых газов, связанного с антропогенной деятельностью. Вторая сторона этой проблемы, также обусловленная антропогенной деятельностью, касается неуглеродных парниковых газов и вторичных атмосферных примесей, определяющих окисляющие свойства атмосферы. В первую очередь, это тропосферный озон, оксиды азота, серы, аэрозоль.

Формирование состава воздуха конкретного региона определяется суммой нескольких факторов: фоновым содержанием примесей в воздушной массе, пришедшей или находящейся в данный момент на интересующей нас территории; балансом между местными источниками и стоками на ней; трансформацией примесей, происходящей постоянно, но существенно изменяющей механизмы и интенсивность в течение суток.

При преобладающем на земном шаре западно-восточном переносе наблюдается экспорт загрязняющих веществ из Европы в Сибирь. Эти регионы существенно отличаются по характеру выбросов — предшественников вторичных примесей. В Европе

главенствующую роль играют выбросы  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  промышленностью и транспортом, в Сибири — поступление углеводородов от лесных экосистем. Поэтому важно определить бюджет загрязняющих веществ в атмосфере Сибири, в том числе из какой части Европы (южной, центральной или северной) и какое количество веществ экспортируется в Сибирь. Для Сибири проблема изучения компонентов углеродного цикла и окисляющих компонентов усугубляется почти полным отсутствием наблюдательной сети.

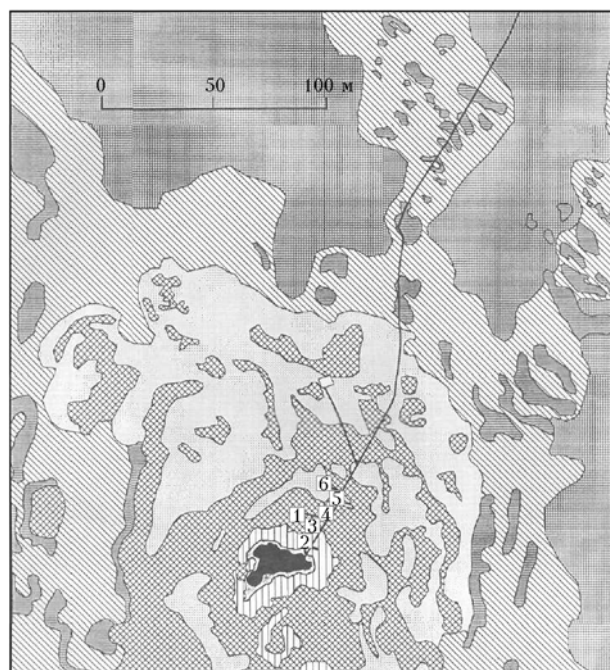
В настоящей статье приводятся описание созданной в международной кооперации многоуровневой системы мониторинга парниковых и окисляющих атмосферных примесей, а также первых результатов, полученных к настоящему времени.

### 1. Измерение эмиссии парниковых газов

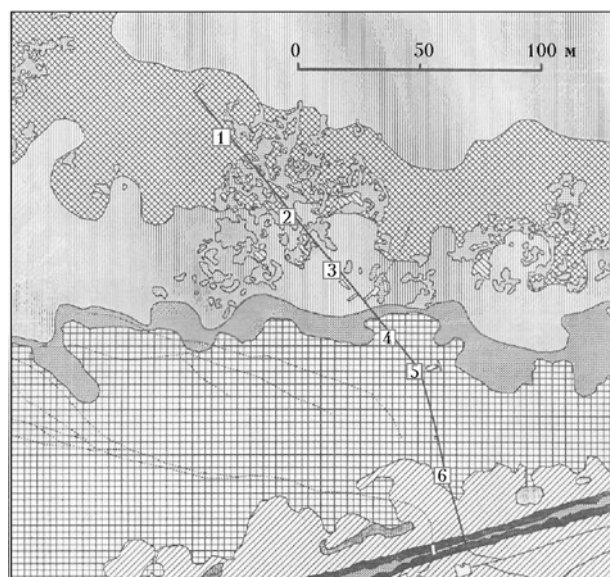
Определение эмиссии газов ведется на Иксинском (Бакчарском) болоте ( $56^\circ 49' 35''$  с.ш.,  $82^\circ 51' 27''$  в.д.), примерно в 16 км на юго-запад от с. Плотниково Бакчарского района Томской области, на полевом стационаре Института агрохимии и почвоведения СО РАН (г. Новосибирск). Это

болото выбрано потому, что оно является типичным для Васюганской территории и на нем получен длинный ряд наблюдений, выполненных сотрудниками ИПА СО РАН.

На стационаре установлено 12 камер из оргстекла размером  $0,9 \times 0,9 \times 0,6$  м, из которых по трубкам прокачивается воздух через два датчика, чувствительных к концентрации метана и двуокиси углерода. Схема расположения камер приведена на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Схемы расположения измерительных камер на полигоне в Плотниково: а – участок болота в первозданном виде; б – рекультивированный участок в советское время

Кроме того, на стационаре установлена стандартная метеомачта со следующим оборудованием:

- датчики температуры и влажности HMD45A/D фирмы Vaisala (Финляндия);
- датчики скорости и направления ветра Model 05103 фирмы Young Wind Monitor (США);
- ультразвуковой анемометр фирмы CSAT Campbell Scientific, Inc. (Канада);
- датчик температуры почвы QMT103 Vaisala (Финляндия);
- датчик давления РТВ210 фирмы Vaisala (Финляндия);
- датчик уровня воды РТХ 1830/1730 Druck Ltd. (Великобритания).

Перечисленные комплексы работают следующим образом. Круглосуточно каждый час в течение 15 мин определяются концентрации метана и двуокиси углерода в закрытой камере. После каждого измерения камера проветривается. Данные записываются в логгер CR10X с периодичностью 1 раз в 10 мин.

На рис. 2 приведены результаты измерения потоков метана в каждой из 6 камер на обоих участках болота.

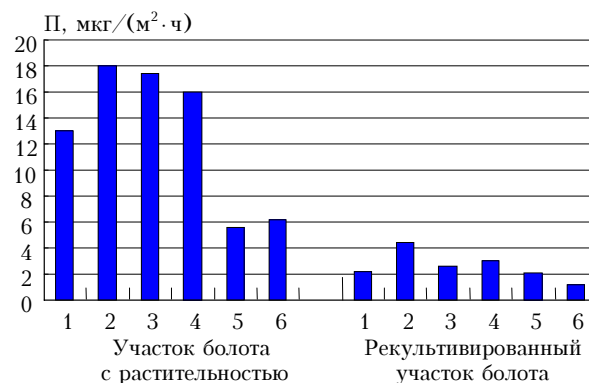


Рис. 2. Потоки метана на обеих измерительных площадках

Видно, что на первозданном болоте потоки метана могут в несколько раз превышать эмиссию из рекультивированного. Заметны также различия на отдельных участках одного и того же измерительного сайта. Они могут достигать 3 раз.

## 2. Измерения в приземном слое воздуха

Для мониторинга состава воздуха в 1992 г. в Томском академгородке был создан автоматический пост, получивший название TOR-станция (по названию проекта Tropospheric Ozone Research программы EUROTRAC) [1]. С 2006 г. начал работать еще один пост на полигоне «Фоновый», вблизи п. Киреевск Томской области. Анализ работы этих постов подробно дан в [2–5]). В рамках международного сотрудничества с Японией география постов была расширена для исследования пространственного распределения парниковых и окисляющих атмосферу компонентов.

Измерения проводятся с помощью высотных мачт, расположенных в следующих пунктах: ст. Карасево, Томская область; д. Березоречка, Томская область; г. Ноябрьск, Ямало-Ненецкий АО; пос. Демьянское, Тюменская область; пос. Игрим, Ханты-Мансийский АО. Каждая мачта оснащается комплексом однотипных приборов: недисперсионный инфракрасный газоанализатор CO<sub>2</sub> LI-820, датчик температуры и влажности HMD45A/D (2 шт.); датчик скорости и направления ветра YOUNG Model 05103, измеритель осадков YOUNG Model 52202; пиранометр Kipp&Zonen Model CM3; регистратор данных CR10X в комплекте с телефонным модемом COM210 (рис. 3).

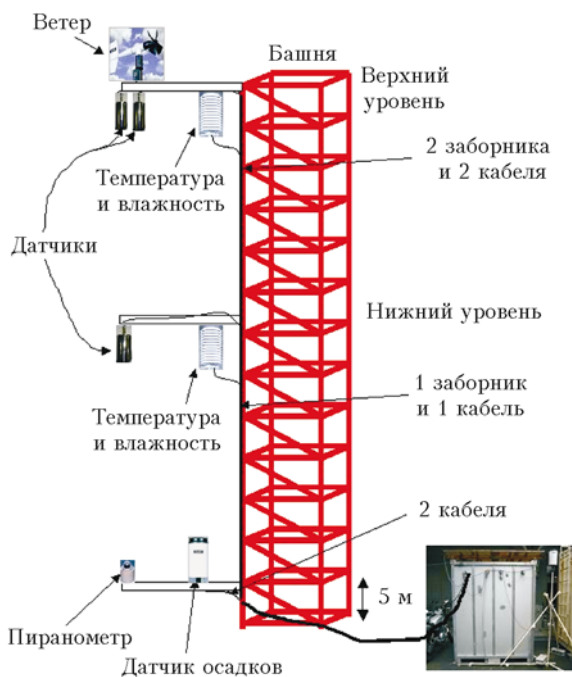


Рис. 3. Расположение датчиков на высотной мачте

Измерения ведутся непрерывно с переключением заборных устройств, расположенных на двух высотах: на верхней точке мачты и на уровне, равном 0,5 расстояния от разницы между высотой деревьев, окружающих мачту, и ее верхней точкой. Результаты измерений с частотой 1 Гц записываются в регистратор данных. Накопленные массивы передаются через модем в ИОА СО РАН 1 раз в месяц.

В настоящее время в мониторинговом режиме работают 5 станций. Для расширения площади исследования получено разрешение ФСТЭК РФ на оборудование еще двух и направлен запрос для укомплектования восьмой мачты.

Рис. 4 и 5 показывают изменение концентрации диоксида углерода и метана на трех станциях. Видно, что для углекислого газа, независимо от места расположения, временная динамика определяется одними и теми же атмосферными процессами.

Различия имеются только по амплитуде изменения концентрации. Метан ведет себя в этих пунк-

тах значительно разнообразнее. Поскольку поток метана направлен в основном снизу вверх, т.е. его источником служит подстилающая поверхность

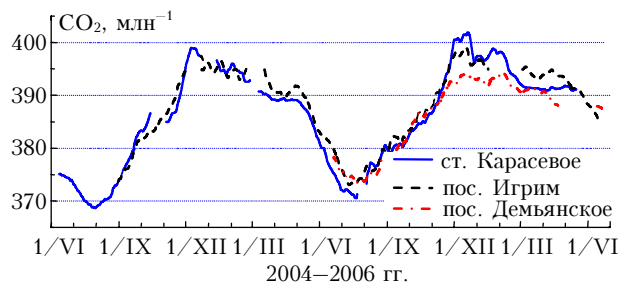


Рис. 4. Временная динамика углекислого газа на ст. Демьянское, Карасево и Игрим

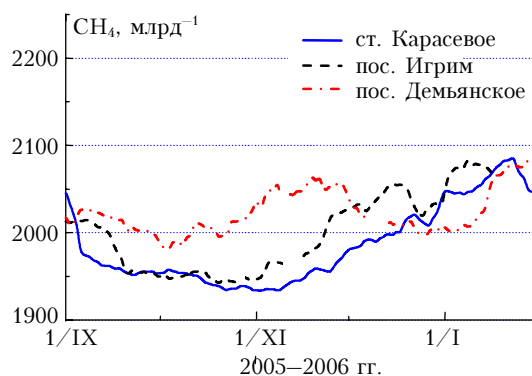


Рис. 5. То же для метана

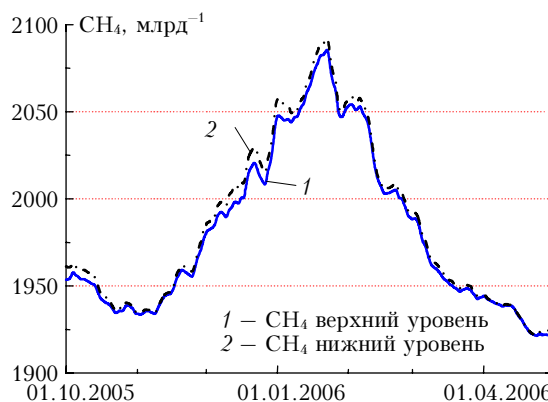


Рис. 6. Временная динамика метана на двух уровнях на ст. Карасево

(о чем можно судить из рис. 6), то можно сделать предварительный вывод, что механизмы формирования пространственных полей этих газов различны.

### 3. Измерение в пограничном слое атмосферы

Измерение вертикального распределения парниковых газов в пограничном слое атмосферы осуществляется с борта самолета Ан-2, принадлежащего Томскому областному управлению РОСТО. На борту самолета устанавливаются газоанализатор LI-800 для измерения углекислого газа, датчики температуры и влажности фирмы Vaisala.

Вылет самолета производится из аэропорта РОСТО (д. Головино Томского района Томской области). Измерения осуществляются над д. Березоречка Томского района вблизи точки с координатами 56°08'25" с.ш., 84°20'50" в.д. Этот район работ выбран в связи с необходимостью привязки данных измерений, производимых на мачте, к данным, получаемым в свободной тропосфере с помощью самолета Ан-30. Полеты выполняются еженедельно при наличии безоблачных условий погоды: в теплое время года в высотном диапазоне 150–3000 м, в холодное время 150–2000 м.

На рис. 7 показаны вертикальные профили углекислого газа в различные сезоны, полученные с помощью комплекса оборудования, установленного на Ан-2.

Видно, что наибольшие изменения концентрации  $\text{CO}_2$  наблюдаются в приземном слое воздуха – от 345 до 400  $\text{млн}^{-1}$ . К верхней границе пограничного слоя динамика уменьшается от 352 до 382  $\text{млн}^{-1}$ . С учетом того, что вблизи пункта измерений расположены лесные массивы, такой результат закономерен.

#### 4. Измерение вертикального распределения компонентов

Для экспериментов по оценке регионального вклада в глобальный баланс используются самолеты Ан-30 Новосибирского авиапредприятия (аэропорт «Северный») [6]. Для наполнения стеклянных колб заборным воздухом, который затем используется в газохроматографическом анализе, применяется безмасляный диафрагменный насос GAST DOA-P108. Изготовитель Trademark of Gast Manufacturing Inc., США.

Забор проб и измерение газового состава воздуха производятся (ежемесячно в 20-х числах, в зависимости от погодных условий), в течение 3 ч, включая подлет и отлет от места зондирования. Место зондирования выбрано юго-западнее г. Новосибирска, чтобы шлейф города не влиял на показания приборов. Маршрут полета происходит над сосновым бором вдоль правого берега Обского водохранилища, вблизи населенных пунктов Завьялово и Ордынское и имеет начальные координаты

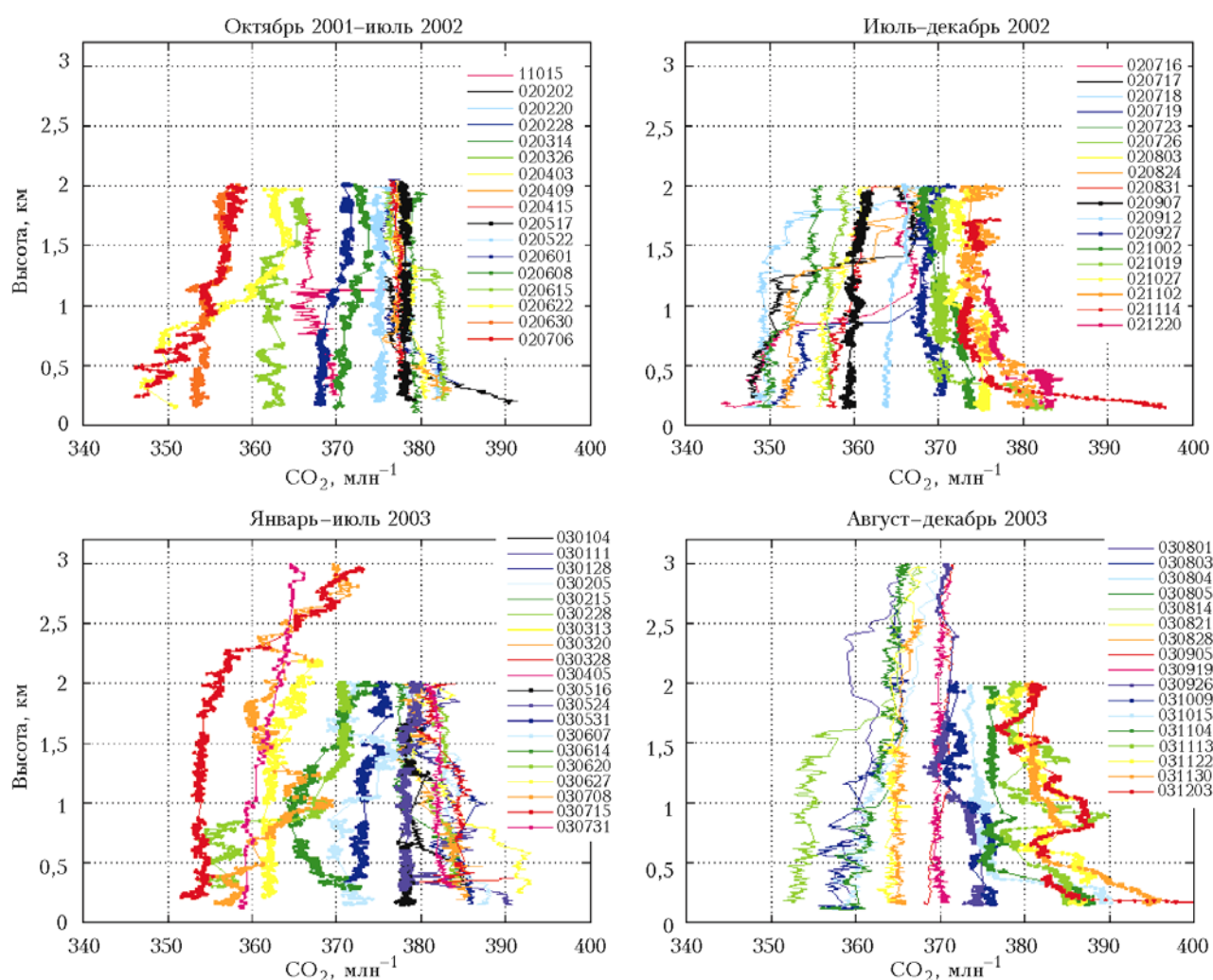
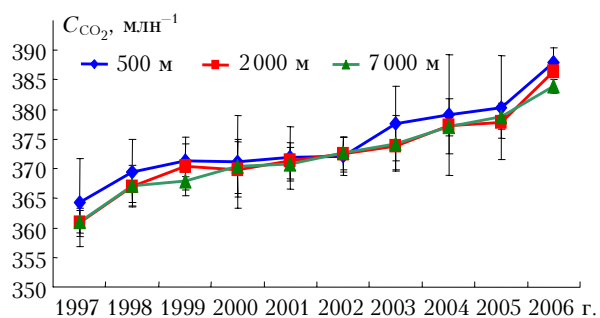


Рис. 7. Вертикальное распределение углекислого газа в районе д. Березоречка в пограничном слое атмосферы

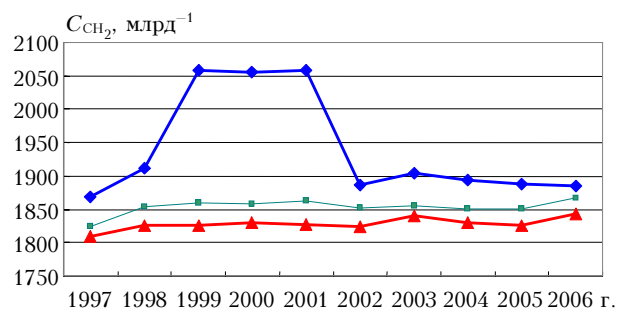
54°05' с.ш., 81°50' в.д. и конечные 54°35' с.ш., 82°40' в.д. Диапазон высот составлял 500–7000 м.

Приведем некоторые результаты этого вида мониторинга, который начат в июле 1997 г. и продолжается по настоящее время.

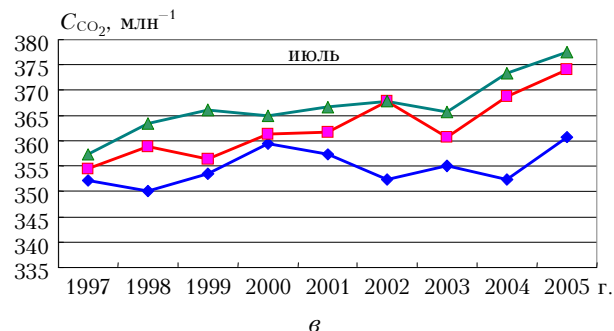
В первом приближении можно считать, что на приводимых ниже рисунках концентрация газов на высоте 500 м отражает действие местных источников, на высоте 2000 м — региона Западной Сибири и севера Казахстана, на высоте 7000 м — глобальное содержание на этой широте. Из рис. 8,а следует, что концентрация CO<sub>2</sub> повсеместно увеличивается. Вместе с тем видно, что в период с 1997 по 1999 г. и в 2003 г. содержание углекислого газа над югом Западной Сибири было выше, чем глобальное.



а



б



в

Рис. 8. Многолетний ход концентрации газов над территорией Западной Сибири

Метан на всех высотах ведет себя иначе (рис. 8,б). Вначале отмечается рост (1997–1998 гг.), но в период с 1999 по 2002 г. рост приостанавливается, а затем наблюдается ход, близкий к нейтральному.

Если повышенные концентрации метана на нижних высотах понятны (наличие болот на территории Западной Сибири), то рост CO<sub>2</sub> при обилии растительности, аккумулирующей углекислый газ, вызывает вопросы. Как выполняют сибирские леса функцию по поглощению углекислого газа — видно из рис. 8,в, на котором показан многолетний ход изменения концентрации CO<sub>2</sub> для летнего периода.

Из рис. 8,в следует, что в период интенсивной летней вегетации юг Западной Сибири и Россия в целом являются местом стока углекислого газа из атмосферы. Концентрация CO<sub>2</sub> на высоте 500 и 2000 м значительно ниже, чем на уровне 7000 м. Более того, из рис. 8,в видно, что за 9-летний период сток углерода остается относительно постоянным.

По-видимому, такие различия в многолетних изменениях концентрации углекислого газа (среднегодовых (рис. 8,а) и летних (рис. 8,в)) обусловлены коротким вегетационным периодом на территории Сибири. В подтверждение этой гипотезы приведем годовой ход концентрации углекислого газа, полученный на TOR-станции для приземного слоя воздуха (рис. 9).

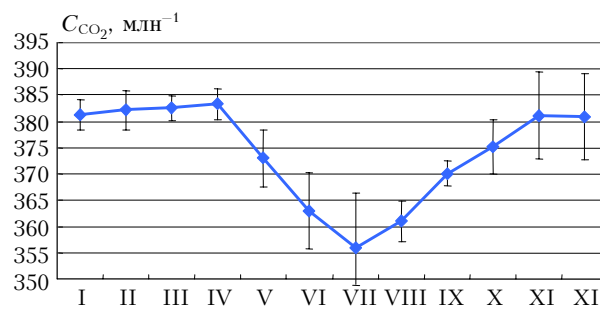


Рис. 9. Годовой ход концентрации углекислого газа в приземном слое в районе Томска

Видно, что только в течение 3 мес сток CO<sub>2</sub> превышает его генерацию. Следовательно, в среднегодовом разрезе территория будет больше отдавать его, чем аккумулировать.

Оксид углерода является предшественником диоксида углерода, переходя в последний в ходе окислительных процессов. Поэтому знание его пространственно-временной изменчивости может помочь при прогнозе концентрации углекислого газа. Рис. 10,а показывает, что концентрация оксида углерода, если не считать всплеска в 2003 г., за рассматриваемый период уменьшается. Сопоставление концентраций на высоте 500 и 7000 м (последнюю можно назвать глобальным фоном) указывает, что территория Западной Сибири является стоком для этого компонента воздуха.

Закись азота является предшественником оксидов азота, окисляющих атмосферу. Ход ее концентрации, приведенный на рис. 10,б, показывает тенденцию к росту в течение всего периода измерений.

Таким образом, из всех проанализированных компонентов два выявляют тенденцию к стабилизации концентрации или даже к уменьшению, а два —

к росту. Это хорошо согласуется с данными других измерений, обобщенных в [7].

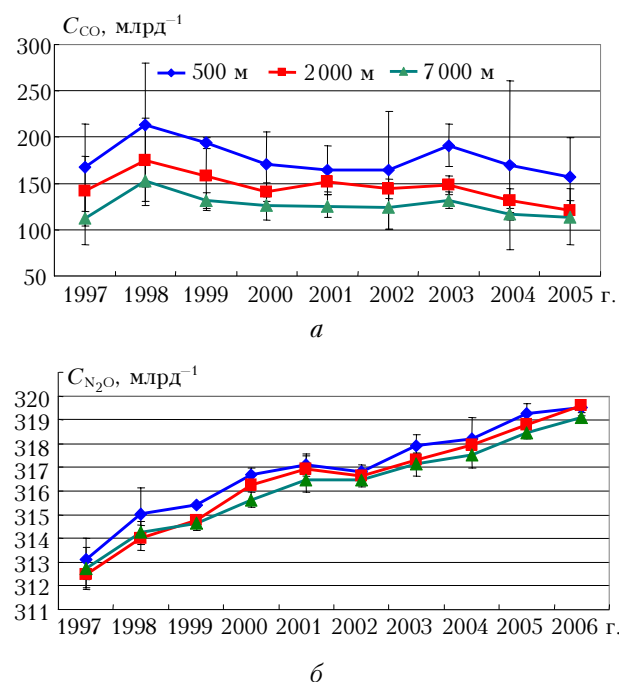


Рис. 10. Многолетний ход оксида углерода (а) и закиси азота (б) над Западной Сибирью

## 5. Измерение пространственного распределения в свободной атмосфере

Этот вид мониторинга реализуется в рамках российско-французского проекта УАК-1. Целью проекта является анализ сезонных и межгодовых изменений источников и стоков  $\text{CO}_2$ , переноса ознообразующих веществ из Западной Европы в Азию (Сибирь) путем измерения ежемесячного вертикального распределения  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$  и расчета градиентов концентрации этих газов в направлении с запада на восток (Европа–Азия); вертикальных градиентов между пограничным слоем и свободной тропосферой на различных участках трассы.

Для реализации целей проекта работы ведутся по трассе Новосибирск–Якутск–Новосибирск. Схема полета приведена на рис. 11.

Для экспериментов по оценке регионального вклада в глобальный баланс углерода также используется самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э». На борту самолета, кроме штатного [6], установлено дополнительное оборудование: ультрафиолетовый озонметр (модель 49С) и корреляционный газоанализатор  $\text{CO}$  (модель 48CTL) производства фирмы Thermo Environmental Instruments, США; недисперсионный инфракрасный газоанализатор серии LI-6262 фирмы LI-COR, США, предназначенный для измерения углекислого газа и водяного

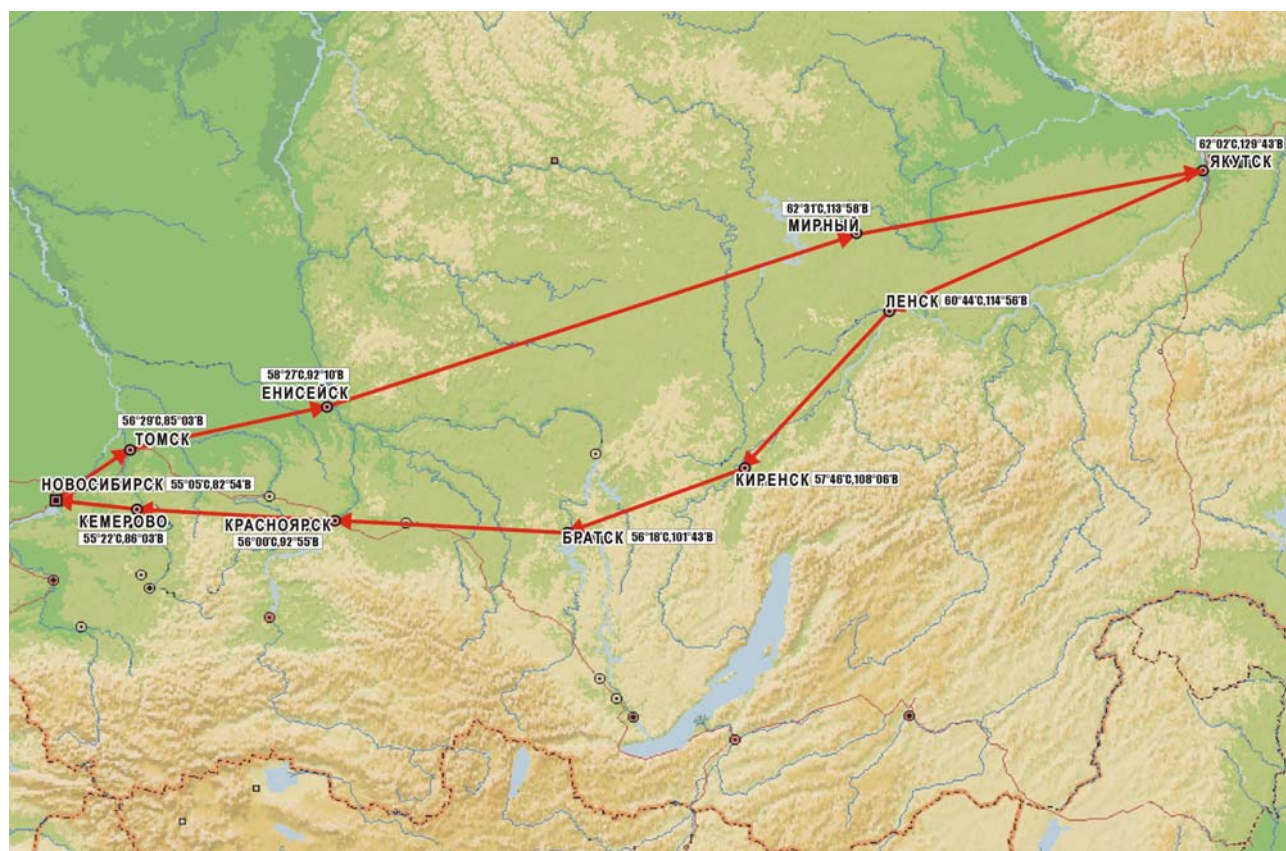


Рис. 11. Схема полета по проекту УАК-1

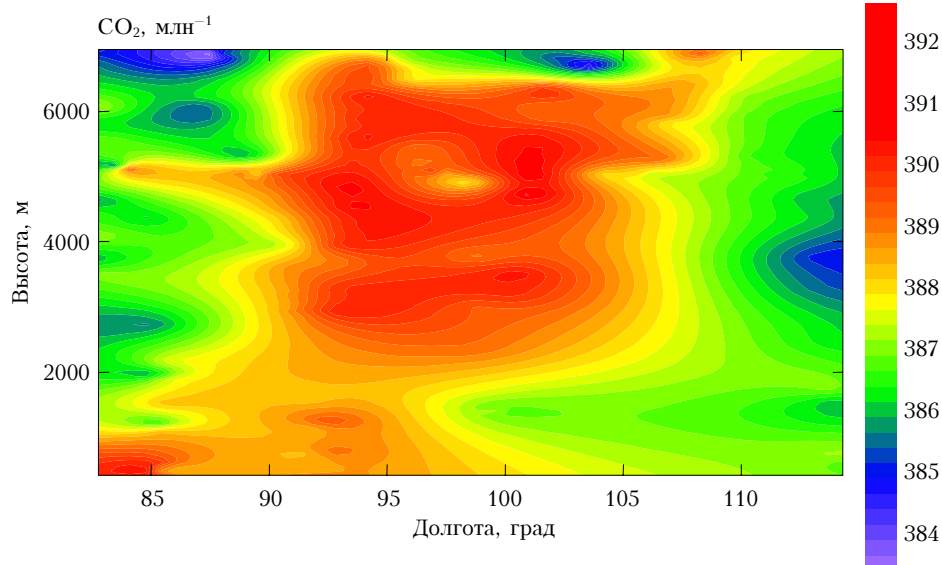


Рис. 12. Вертикальный разрез атмосферы по маршруту Новосибирск–Якутск

пара в атмосфере. В дальнейшем, для наполнения стеклянных колб заборным воздухом, который будет использоваться в газохроматографическом анализе, будет установлена автоматическая система «MPI.BGG modular Flask Sampler». Изготовитель – Max-Planck-Institute für Biogeochemie.

Чтобы получить именно вертикальный разрез атмосферы по всему маршруту, полет выполняется переменнo по высоте от минимально возможной высоты 500 м над рельефом и 100 м в зоне аэропорта до 7000 м на трассе. На обоих участках Новосибирск–Якутск и Якутск–Новосибирск таких вертикальных снижений семь. Полет туда и обратно выполняется разными маршрутами: туда – северным, обратно – южным. В результате на каждом маршруте получается 14 профилей, которые разнесены по горизонтали (в зависимости от высоты) на 50–250 км. Такой профиль маршрута позволяет оценивать градиенты измеряемых параметров с шагом 50–500 км.

К настоящему моменту выполнен первый полет по проекту. На рис. 12 приведен вертикальный разрез концентрации углекислого газа. Видно, что распределение ее неоднородно и обнаруживает максимальные значения в средней части разреза.

Предварительный анализ траекторий показал, что именно сюда поступал арктический воздух из более северных районов, где концентрация  $\text{CO}_2$ , как правило, выше [7]. В последующем, чтобы добиться поставленной цели, предполагается выбрать время полета при западно-восточном переносе.

### Заключение

Объединение ресурсов и усилий международной кооперации позволило создать систему мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу компонентов, которая охватывает высотный диапазон от 0 до 7000 м и значительную территорию Сибири.

Полученные к данному времени результаты указывают на существенную изменчивость измеряемых компонентов как во времени, так и в пространстве, опровергая в ряде случаев устоявшиеся представления.

Работа выполнена по программе СО РАН № 24.3, при поддержке программы Президиума РАН № 16, программ отделения наук о Земле РАН № 9 и 11, грантов РФФИ № 04-05-64559, 06-05-79036, 06-05-08104, проекта Роснауки РФ № 02.451.11.7030 и проекта МНТЦ № 3032.

1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Автоматический пост для контроля качества воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Краснов О.А., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Многолетние изменения концентрации озона и аэрозоля на территории Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2005. № 1. С. 54–58.
3. Arshinov M. Yu., Belan B. D., Sklyadneva T. K., Tolmachev G. N. Long-term variability of the ozone over West Siberia // TOR-2 Final Report. Munich, GSF. 2003. P. 41–45.
4. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Пирогов В.А., Симоненков Д.В., Скляднева Т.К. Структура многолетнего тренда аэрозоля в районе г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 10. С. 913–916.
5. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Зуев В.Е., Краснов О.А., Пирогов В.А., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетние вариации приземной концентрации озона как отражение солнечной активности // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15. № 11. С. 987–992.
6. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю., Мелешкин В.Е., Микушев М.К., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Покровский Е.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Толмачев Г.Н., Тумаков А.Г., Шаманаев В.С., Щербачев В.С.

тов А.И. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э» для экологических исследований // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.

7. *The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Using Global Observations up to December 2004*: WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2006. N 1. 4 p.

*M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, D.K. Davydov, G. Inouje, O.A. Krasnov, T. Machida, Sh. Maksutov, F. Nedelek, M. Ramonet, F. Sias, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov.* **Organization and some results of monitoring of greenhouse and oxidizing atmosphere components over Siberia. 1. Gas composition.**

A many-level system for monitoring greenhouse and oxidizing atmosphere components is described, which has been organized as a result of international cooperation. Some obtained results are presented.

Monitoring is carried out in three directions: determination of greenhouse gases emission at Iksinskoe mash; monitoring flows in the ground layer; study of greenhouse gas spatial distribution. Measurements with the use of AN-2 aircraft were conducted every week to southwest from Novosibirsk.

The obtained results show a significant spatial and time variability of the measured components, that sometimes contradicts the presently accepted opinions.