

Вертикальное распределение парниковых газов над Западной Сибирью по данным многолетних измерений

М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан^{1,2}, Д.К. Давыдов¹, Г. Иноуйе³,
Ш. Максюттов³, Т. Мачида³, А.В. Фофонов^{1*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, Россия

²Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

³Национальный институт исследования окружающей среды,
16-2 Onogawa, Tsukuba, Japan

Поступила в редакцию 25.11.2008 г.

По результатам многолетнего (1997–2007 гг.) самолетного зондирования исследуется вертикальное распределение трех парниковых газов CO₂, CH₄ и N₂O над югом Западной Сибири. Приводятся среднемесячные профили распределения этих компонентов с высотой и многолетнее изменение концентрации газов на разных высотах. Рассчитаны климатические характеристики вертикального распределения этих газов.

Ключевые слова: парниковый газ, углекислый газ, метан, закись азота, вертикальное распределение газов.

Введение

Проблема глобального изменения климата и окружающей среды в настоящее время является одной из самых актуальных, поскольку последствия таких изменений могут привести не только к ухудшению среды обитания, но и к природным катастрофам. В этой проблеме зафиксированный во многих регионах рост концентрации парниковых газов считается ключевым, приводящим к увеличению среднеглобальной температуры за счет дополнительного поглощения инфракрасного излучения. Как правило, сам прогноз изменения климата основывается на вычислениях по региональным моделям или по моделям общей циркуляции атмосферы, в которых исходными данными служат результаты измерений концентрации парниковых газов и тенденции их изменения [1–3].

Как показывают подобные расчеты, вклад отдельных регионов в глобальный баланс парниковых газов в силу их физико-географических особенностей существенно различается. Так, например, Россия обладает огромными массивами ненарушенных или слабо нарушенных экосистем, которые занимают 65% территории страны. При этом она представляет собой «белое пятно» в научных исследованиях, так как данных измерений парниковых газов на ее территории практически нет. Не случайно, что

в отсутствие таких данных проводимые оценки имеют прямо противоположный характер. Так, по расчетам [4], сибирские леса являются источником углерода с мощностью 0,035 ПгС/год. Авторы [5, 6], наоборот, показали, что сибирские леса в основном поглощают углерод в объеме $(0,42 \pm 0,07)$ ПгС/год. Следует отметить, что последняя величина соизмерима с поглощением углерода всем Северным полушарием по данным [7]. Следовательно, чтобы убрать такую неопределенность, необходимо провести корректные измерения концентрации парниковых газов над неосвоенными данными регионами.

Целью данной работы является исследование вертикального распределения парниковых газов над территорией Западной Сибири, где систематических измерений этих компонентов ранее не производилось.

Используемые методы и оборудование

Для проведения измерений использовался самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э», полное описание которого имеется в [8]. В ходе полета воздух отбирался в стеклянные колбы на высотах 0,5; 1; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,5 и 7 км. Для наполнения колб заборным воздухом был установлен безмасляный диафрагменный насос GAST DOA-P108, который обеспечивал давление в них 2 атм. Воздух из колб анализировался затем в лаборатории Национального института исследования окружающей среды с помощью газохроматографического метода. Диапазоны измерений и погрешности определения концентрации составляли: для CO₂ $(340–450 \pm 0,03)$ млн⁻¹;

* Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Денис Константинович Давыдов; Ген Иноуйе; Шамиль Максюттов; Тошинобу Мачида; Александр Владиславович Фофонов.

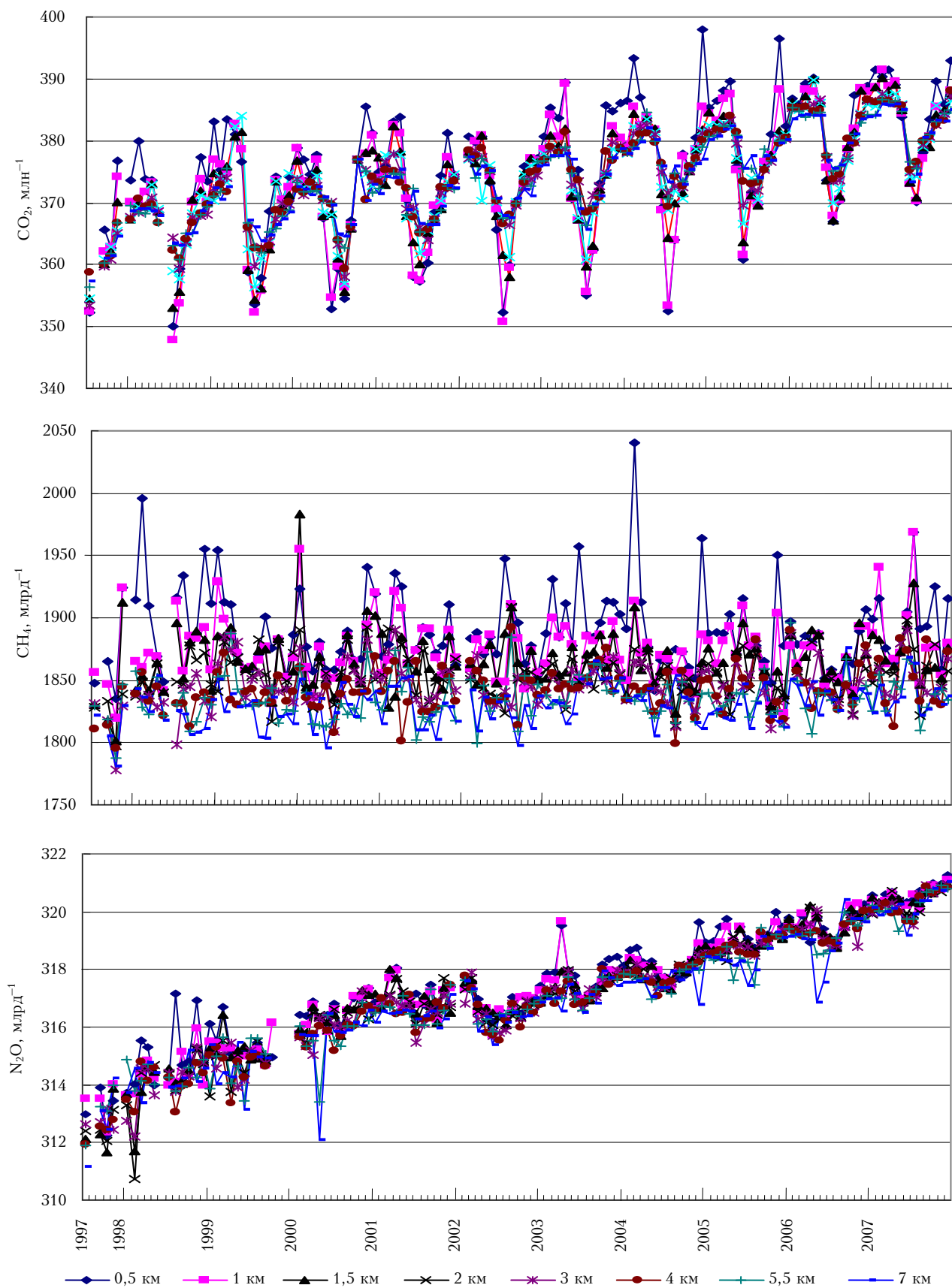


Рис. 1. Изменение концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O на разных высотах в период с 1997 г. над Западной Сибирью

для CH_4 ($1500\text{--}2500 \pm 1,7$) млрд $^{-1}$; для N_2O ($250\text{--}450 \pm 0,3$) млрд $^{-1}$.

Забор проб и измерение газового состава воздуха производятся ежемесячно (в 20-х числах, в ясных условиях) начиная с июля 1997 г. и по настоящее время. Место проведения зондирования постоянно и находится юго-западнее Новосибирска (для исключения влияния города). Маршрут работ проходит над сосновым лесом вдоль правого берега Обского водохранилища, вблизи населенных пунктов Зырянка и Ордынское, имеет начальные координаты $54^{\circ}35'$ с.ш., $82^{\circ}40'$ в.д. Карта полетов приведена в [9].

К настоящему времени накоплен более чем 10-летний ряд непрерывных измерений. Даже с учетом имеющихся неудачных полетов анализируемый ниже ряд превышает 120 вертикальных профилей распределения CO_2 , CH_4 и N_2O .

Результаты и их обсуждение

Вначале обратимся к рис. 1, на котором приведены концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O по данным всех измерений на всех контролируемых высотах. Видно, что у двух парниковых газов CO_2 и N_2O , несмотря на модуляцию годовым ходом, имеется четкая тенденция к росту концентрации в течение всего периода измерений, причем на всех анализируемых высотах. В этот же период CH_4 не проявляет такой однозначной тенденции. На первый взгляд, поведение его концентрации кажется хаотичным.

Амплитуды колебаний и отдельные всплески концентраций больше на высотах 0,5 и 1,0 км, т.е. в пограничном слое. Это, по нашему мнению, подтверждает, что источники и стоки анализируемых газов расположены на подстилающей поверхности [10–12].

Из рис. 1 видно также, что различия в концентрации между высотами у каждого газа значительно различаются, так же как и амплитуды колебаний. Это свидетельствует о двух обстоятельствах: о мощности механизмов генерации и стока данных соединений в регионе и о различии в концентрациях между глобальным и региональным фоном. Так, если считать концентрации газов на высотах 0,5–1,5 км региональным фоном, а концентрации на высоте 7 км — глобальным, то чем больше их разница, тем существеннее различия между такими масштабами.

Рис. 2 представляет средние многолетние вертикальные профили газов для каждого месяца. Видно, что минимальная концентрация CO_2 над регионом наблюдается в августе, причем на всех высотах. Максимальная концентрация углекислого газа фиксируется, как это ни странно, в апреле и тоже на всех высотах. Наибольшая амплитуда колебаний концентрации CO_2 в годовом ходе наблюдается в пограничном слое (0,5–2 км) и составляет 14–20 млн $^{-1}$. Модуляция годовым ходом концентрации CO_2 сохраняется и в свободной атмосфере, хотя амплитуда здесь меньше (7–8 млн $^{-1}$).

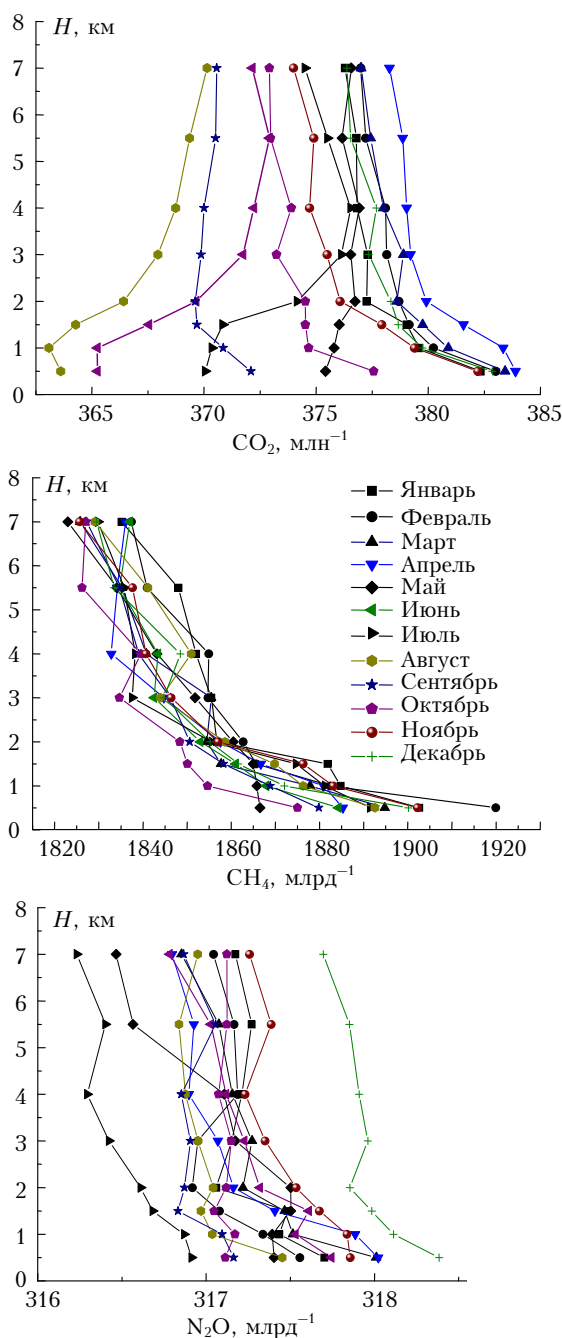


Рис. 2. Вертикальное распределение парниковых газов для различных месяцев года

Из рис. 2 можно сделать и еще один вывод по вертикальному изменению концентрации CO_2 . Ассимиляция этого газа растительностью наблюдается только в течение 4 мес — с мая по август. В остальные месяцы происходит генерация CO_2 за счет дыхания растений.

Поведение метана (рис. 2) отражает особенности территории Западной Сибири, на которой расположены самые крупные болотные системы в мире. Видно, что его концентрация в пограничном слое почти на 100 млрд $^{-1}$ больше, чем в свободной атмосфере. Это говорит о том, что мощный источник CH_4 располагается на подстилающей поверхности.

При этом стока метана в регионе не происходит, так как даже в минимуме концентрации (август) содержание CH_4 в пограничном слое выше, чем в свободной атмосфере. Максимум концентрации фиксируется в январе–феврале по всей толще атмосферы, включая пограничный слой.

Различие в концентрации N_2O между пограничным слоем и свободной атмосферой не превышает 1 млрд^{-1} (см. рис. 2). Это значит, что на рассматриваемой территории не имеется мощных источников и стоков закиси азота. Из рис. 2 виден еще один любопытный факт. Концентрации газа не очень существенно отличаются между собой в течение 10 мес. И только вблизи минимума (июль) и максимума (декабрь) их различия увеличиваются. Отсутствие мощных источников и стоков приводит к тому, что среднегодовая амплитуда изменения концентрации N_2O не превышает 2 млрд^{-1} .

Чтобы убедиться в правильности сделанных выводов, по тем же данным построен рис. 3. Видно, что для CO_2 на территории Западной Сибири существуют очень мощные механизмы генерации и стока, которые меняют свой характер в течение года. При этом с сентября по апрель генерация CO_2 превышает сток. С мая по август мощность стока превышает генерацию. Это хорошо видно по конверсии кривых концентрации на разных высотах.

Для метана характерно наличие генерации в течение всего года (рис. 3). Причем на высотах 0,5–1,5 км можно выделить два максимума и два минимума, которые зафиксированы по данным мониторинга в приземном слое воздуха [13]. Объяснением этому факту может служить то, что метан имеет два механизма, или цикла, образования [14, 15]. Он может генерироваться анаэробными бактериями в почве и выделяться с поверхности болот.

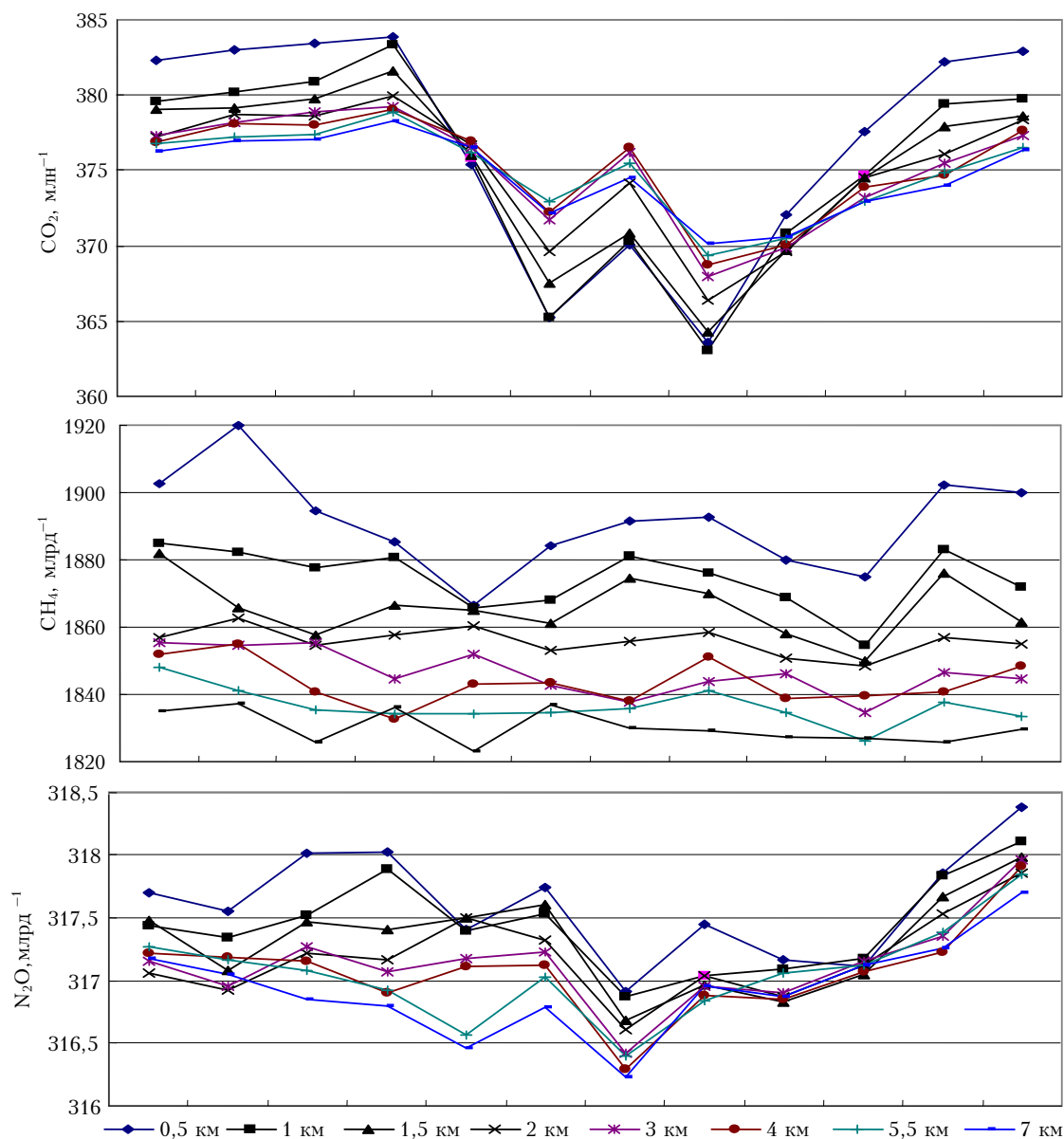


Рис. 3. Годовой ход изменения концентрации газов на разных высотах

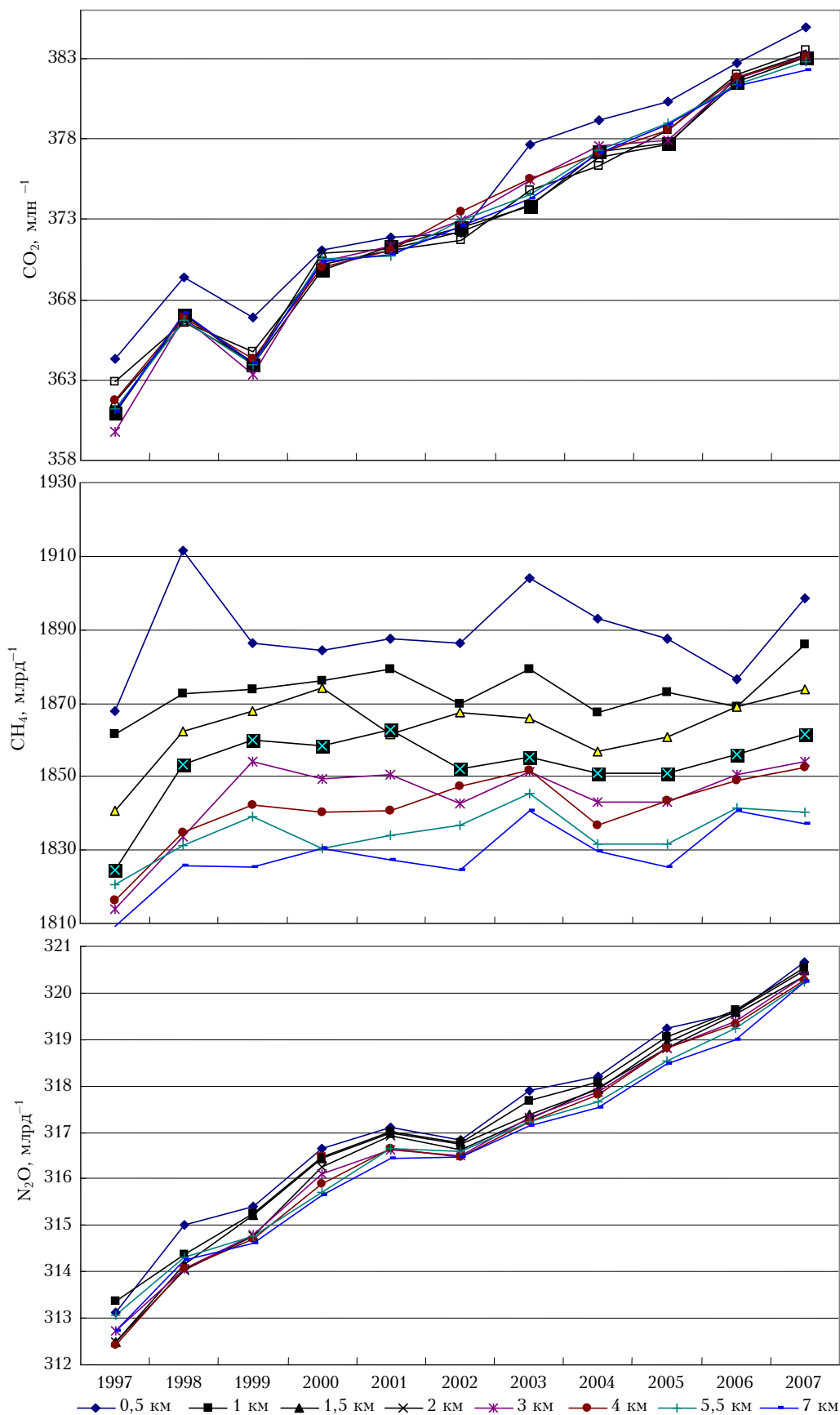


Рис. 4. Среднегодовые концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O над Западной Сибирью на разных высотах

Тогда зимний максимум обусловлен деятельностью бактерий, а летний является отражением выделения из болот.

Годовой ход N_2O из-за его незначительности дополнительно комментировать не будем.

Почти мониторинговый режим измерений (ежемесячно, в одно и то же время суток 13 ч местного времени, одно и то же место наблюдений) позволяет в первом приближении присвоить каждому профилю равный статистический вес. Тогда можно определить не только среднемесячные, но и среднегодовые значения концентрации исследуемых газов (рис. 4).

Видно, что если не учитывать небольшой колебательный период (1997–1999 гг.), то для CO_2 наблюдается устойчивое, почти линейное увеличение концентрации от года к году на всех высотах. При этом темп роста составил 21 млн^{-1} за 11 лет, или $1,9 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$. Это близко к величине, определяемой ВМО по глобальной сети мониторинга [16].

Для метана столь точной оценки по данным рис. 4 сделать невозможно. Не дают однозначного ответа на вопрос о поведении CH_4 и данные глобальной сети. Так, по [16], в 2005–2006 гг. наблюдалось уменьшение CH_4 на $1 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$, а в среднем на $2,4 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ за последние 10 лет.

Закись азота, согласно рис. 4, увеличивала свою концентрацию на всех высотах со скоростью $0,73 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$, что несколько меньше, чем в [16].

Ранее мы показывали [17], что при общем росте CO_2 над территорией Западной Сибири концентрация его в пограничном слое в летний период была почти постоянной. На основании этого делался вывод, что растительность региона в летний период справлялась с поступающим количеством CO_2 , т.е. полностью его ассимилировала. Продолжающиеся измерения поставили такой вывод под сомнение. Из рис. 5 следует, что в период с 2005 по 2007 г. произошел резкий рост концентрации CO_2 в пограничном слое (0,5 и 1 км). Видимых причин такого поведения нет. Отсутствовала крупномасштабная вырубка леса, не было значительных пожаров. Поэтому ответить, какие из периодов были аномальными — 2002–2004 или 2005–2007 гг., — пока затруднительно.

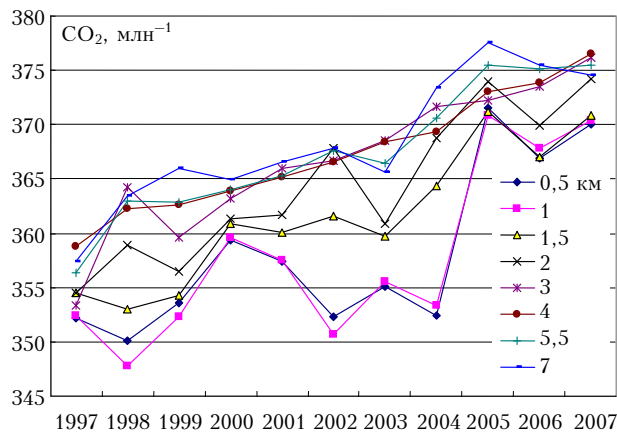


Рис. 5. Многолетний ход CO_2 в июле на разных высотах над Западной Сибирью

О том, как происходило нарастание концентрации парниковых газов во всей толще атмосферы, можно судить по данным рис. 6.

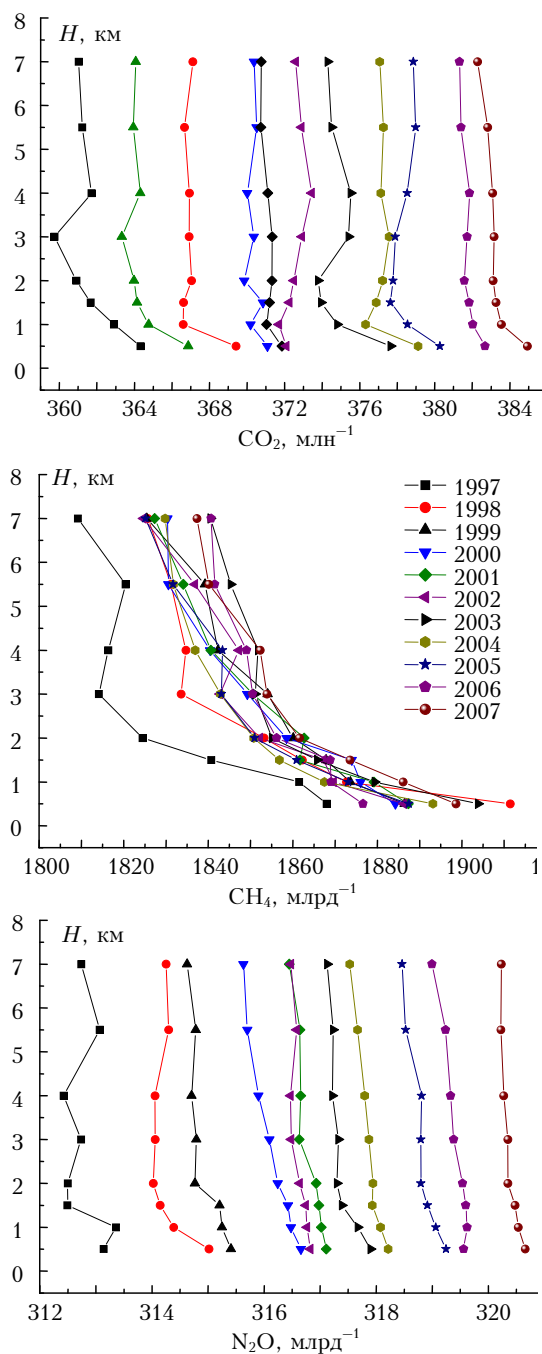


Рис. 6. Многолетнее изменение вертикального распределения парниковых газов над Западной Сибирью

Видно, что рост концентрации CO_2 и N_2O происходил хоть и разными темпами, но по всей анализируемой толще атмосферы: среднегодовые профили концентрации не пересекаются. Относительно метана такого вывода сделать нельзя. Исключая 1997 г., который представлен неполным набором профилей, остальные расположены в узком коридоре с многочисленным пересечением кривых на

разных высотах. Скорее всего, такое поведение отражает местные погодные условия, которые в этот период были весьма разнообразными [18].

В завершение анализа приведем рис. 7, на котором по данным всех зондирований (>120 случаев) построены средние многолетние профили вертикального распределения концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O над территорией Западной Сибири.

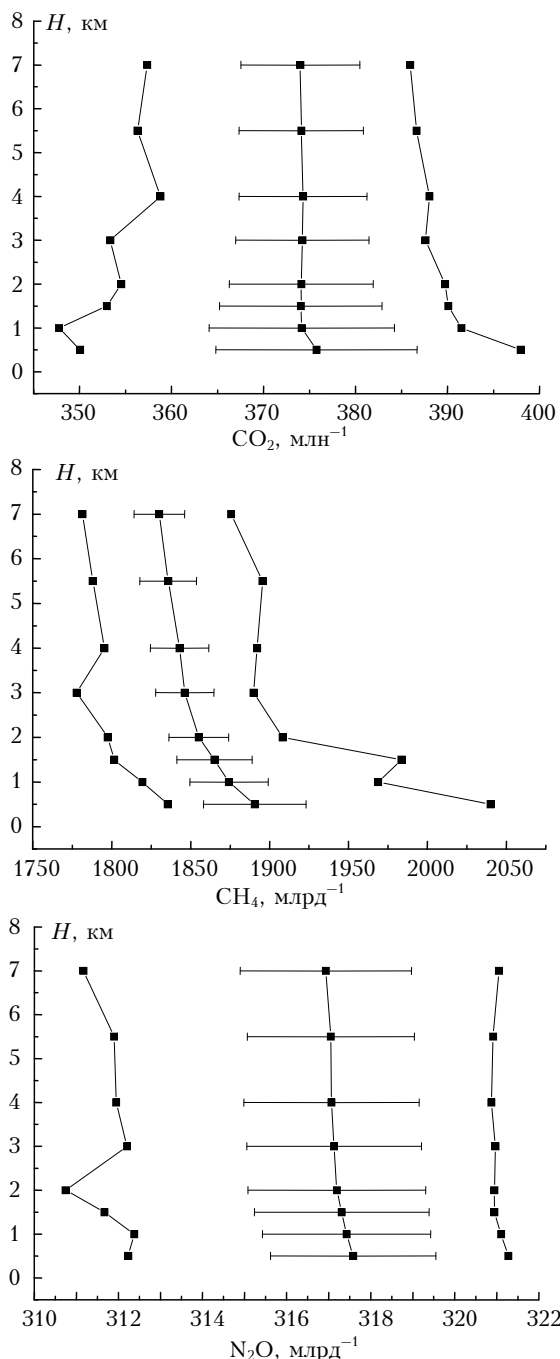


Рис. 7. Средние многолетние вертикальные распределения и среднеквадратические отклонения концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O над Западной Сибирью; абсолютные минимумы и максимумы концентраций на разных высотах

Горизонтальными отрезками показаны среднеквадратические отклонения концентраций (± 1 СКО).

Здесь же справа и слева показаны абсолютные максимумы и минимумы концентраций на каждой высоте, определенные по всей выборке.

На наш взгляд, приведенные на рис. 7 данные будут полезны как при выборе сценариев моделирования по региональным моделям, так и в других климатических приложениях.

Заключение

Проведенное исследование показало, что имеется многолетний тренд концентрации CO_2 и N_2O во всей толще атмосферы над Западной Сибирью с темпом $1,9 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ и $0,73 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ соответственно. Для CH_4 такой однозначности не установлено.

Территория региона выступает мощнейшим источником и стоком для углекислого газа, которые по действию разделены во времени. С сентября по апрель Западная Сибирь выступает донором CO_2 , с мая по август его ассимилирует. Для метана она является постоянным донором, меняющим свою интенсивность в течение года. Малая изменчивость концентрации N_2O на всех высотах свидетельствует об отсутствии на территории региона значимых источников и стоков этого компонента воздуха.

Наибольшая изменчивость всех трех парниковых газов наблюдается в пограничном слое, где она в 2–3 раза выше, чем в свободной атмосфере.

Работа выполнена при поддержке программы № 16 Президиума РАН, программ № 9 и 11 Отделения наук о Земле РАН, грантов РФФИ № 07-05-00645, 08-05-10033, 08-05-92499, проектов МНТЦ № 3032 и 3275.

1. Елисеев А.В., Мохов И.И., Аржанов М.М., Демченко П.Ф., Денисов С.Н. Взаимодействие метанового цикла и процессов в болотных экосистемах в климатической модели промежуточной сложности // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2008. Т. 44. № 2. С. 147–162.
2. Володин Е.М. Цикл метана в модели климата ИВМ РАН // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2008. Т. 44. № 2. С. 163–170.
3. Грабар В.А., Гитарский М.Л. Оценка формирования атмосферного углерода в лесной продукции // Метеорол. и гидрол. 2008. № 4. С. 23–29.
4. Houghton R.A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management // Tellus. 2003. V. 55B. N 2. P. 378–390.
5. Shvidenko A., Nillson S.A. A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 // Tellus. 2003. V. 55B. N 2. P. 391–415.
6. Nillson S., Shvidenko A., Jonas M., Mc Callum I., Thomson A., Balzter M. Uncertainties of a regional terrestrial biota full carbon account: A systems analysis // Water, Air, and Soil Pollut.: Focus. 2007. V. 7. N 4–5. P. 425–441.
7. Rodenbek C., Houweling S., Gloor M., Heimann M. CO_2 flux history 1982–2001 inferred from atmospheric data using a global inversion of atmospheric transport // Atmos. Chem. Phys. 2003. V. 3. N 6. P. 1919–1964.

8. 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., Щербатов А.И. Самолет-лаборатория АН-30 «Оптик-Э» для экологических исследований // Оптика атмосф. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.
9. Анкилов А.Н., Бакланов А.М., Белан Б.Д., Бородулин А.И., Буряк Г.А., Власенко А.Л., Марченко Ю.В., Олькин С.Е., Панченко М.В., Пененко В.В., Пьянков О.В., Резникова И.К., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Цветова Е.А. Годовое изменение концентрации белка в биогенной компоненте атмосферного аэрозоля на юге Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 520–525.
10. Aradula F., Gotti A., Pigine A., Longhettob A., Rocchetti F., Cassardob C., Ferrareseb S., Forza R. Localization of Source and sink regions of carbon dioxide through the method of the synoptic air trajectory statistics // Atmos. Environ. 2003. V. 37. N 27. P. 3757–3770.
11. Khalil M.A.K., Rasmussen R.A. Sources, sink and seasonal cycles of atmospheric methane // J. Geophys. Res. 1983. V. 88. N 9. P. 5131–5144.
12. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 6. Компоненты основных циклов // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22. № 4. С. 358–379.
13. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Иноуэ Г., Краснов О.А., Максюттов Ш., Мачида Т., Фофанов А.В., Шимояма К. Пространственная и временная изменчивость концентрации CO₂ и CH₄ в приземном слое воздуха на территории Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 183–192.
14. Enhalt D.H. The atmospheric cycle of methane // Tellus. 1974. V. 26. N 1–2. P. 58–70.
15. Заварзин Г.А. Микробный цикл метана в холодных условиях // Природа. 1995. № 6. С. 3–14.
16. WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2007. N 3. 4 p.
17. Archinov M.Yu., Belan B.D., Inoue G., Machida T., Panchenko M.V., Fofonov A.V. Dynamics of the vertical Distribution of CO₂ and CO Concentration over West Siberia (1997–2003) // Advances in the geological storage of carbon dioxide. N.Y.: Kluwer Academic Publ., 2006. V. 65. P. 11–15.
18. Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К. Синоптический режим Томска 1993–2004 // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 10. С. 897–902.

M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, D.K. Davydov, G. Inoue, Sh. Maksutov, T. Machida, A.V. Fofonov.
Vertical distribution of greenhouse gases over West Siberia from long-term measurement data.

In article by results of long-term (1997–2007) plane sounding vertical distribution of 3 greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O above the south of Western Siberia is investigated. Monthly average structures of distribution of these a component with height and long-term change of concentration of gases at different heights are resulted. Climatic characteristics of vertical distribution of these gases are in summary designed.