

**Семинар Института глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН (ИГКЭ)**

20 июня 2018 года

SUMMARY

(составлено А.Т. Лаппалайненом, ИГКЭ)

Состоялся доклад **д.ф.-м.н. Семенова Сергея Михайловича и д.ф.-м.н. Раньковой Эсфири Яковлевны** (ИГКЭ, Институт географии РАН) «Сходство изменений в годовом и сезонном масштабах времени современных концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O на станциях глобального мониторинга». С развернутым комментарием выступил **к.х.н. ЕГОРОВ Владимир Иванович** (ИГКЭ). Председательствовал **д.ф.-м.н. Криволуцкий Алексей Александрович** (ЦАО).

Семенов С.М.: Добрый день коллеги! Сегодня Алексей Александрович Криволуцкий будет председательствовать, я буду докладывать, а Владимир Иванович Егоров потом выступит с комментариями. Все будет как обычно, сначала сообщение, потом вопросы, потом Владимир Иванович, потом будет общая дискуссия.

Криволуцкий А. А. (председательствующий): Пожалуйста.

Семенов С.М.: Я постараюсь уложиться меньше чем в час, поскольку время летнее. Тем не менее, торопиться особенно не будем, поскольку вопрос важный. Мы с Эсфирью Яковлевной решили сделать это сообщение по следующей причине: когда я в феврале месяце делал аналогичный доклад об изменении концентраций тех же самых трёх газов, речь шла об изменении во времени среднегодовых концентраций. Было показано, что они одинаково себя ведут, тренды одинаковы на разных станциях. Тогда Владимир Иванович Егоров, который сегодня будет потом выступать с комментариями, сказал, что, конечно, это очень интересно, что среднегодовые концентрации ведут себя сходным образом на разных станциях, но ведь важно и поведение среднемесячных концентраций. И мы решили выяснить, как это происходит по сезонам. Вот я сегодня повторю кратко результаты о том, как меняются среднегодовые концентрации, и расскажу о том, в чём похож на разных станциях ход среднемесячных концентраций и в чём не похож.

(Расширенные тезисы доклада С.М. Семенова и Э.Я. Раньковой прилагаются).

Семенов С.М.: Всё, я закончил, спасибо.

Криволуцкий А. А. (председательствующий): Спасибо. Так, пожалуйста, вопросы, коллеги.

Нахутин А.И. (ИГКЭ): Существует довольно много работ, посвящённых и глобальным трендам, и сезонным вариациям уровней содержания в атмосфере парниковых газов. Авторы применили довольно изощрённую, на мой взгляд, методику исследования имеющихся данных. А в чем принципиальная новизна полученных результатов по сравнению с ранее опубликованными?

Семенов С.М.: Сравнительного анализа сезонного хода концентраций углекислого газа, метана и закиси азота на разных станциях глобальной сети я в литературе не встречал. Буду признателен за ссылку. Кроме того, мы указали не просто на сезонность, а, по метану, например, на практически полную коррелированность рядов на станциях, расположенных за тысячи км друг от друга.

Конечно, о сезонности писали. В классической работе Ч. Д. Килинга¹ с соавторами (2005) проанализировано изменение CO₂ на станции Мауна-Лоа (Гавайи, США). В этой работе написано, что поскольку ряд данных на станции Мауна-Лоа действительно показывает некие сезонные всплески и падения, то это, возможно, связано с двумя сезонными обстоятельствами: с активизацией антропогенных выбросов в Северном полушарии и с активизацией фотосинтеза. Но никаких сравнений с другими станциями проведено не было.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Правильно ли я понял, что нет ни одной станции глобального фонового мониторинга в России?

Семенов С.М.: Я этого не говорил. Мы рассматривали данные лишь одной сети – сети фляжечных измерений Научной и промышленной исследовательской организации Содружества наций (CSIRO -The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia). На этой сети в определенном режиме отбираются пробы воздуха в емкости и, затем, анализируются в лаборатории (Global Atmospheric Sampling Laboratory, GASLAB). Таким образом, данные, которые мы анализировали, в высокой степени сопоставимы. Есть, конечно, и другие глобальные измерительные сети. Но уровни содержания парниковых газов в

¹ Keeling C. D., Piper S. C., Bacatow R. B., Wahlen M., Whorf T. P., Heimann P. M., Meijer H. A. 2005. Atmospheric CO₂ and ¹³CO₂ exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications, pages 83-113, in "A History of Atmospheric CO₂ and its effects on Plants, Animals, and Ecosystems", editors, Ehleringer, J.R., T. E. Cerling, M. D. Dearing, Springer Verlag, New York.

атмосфере на станциях этой сети складываются не под влиянием каких-то конкретных источников эмиссии, а в ходе глобальных процессов переноса и перемешивания в атмосфере.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): С Вашего разрешения, я немного переформулирую вопрос. Есть ли станции глобального фонового мониторинга в России?

Семенов С.М.: Такие станции есть. Например, станции на арктическом побережье – Териберка, Тикси, например.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): А сколько лет проводятся измерения в ПТЗ (станция Приокско-Террасный биосферный заповедник)?

Семенов С.М.: Сергей Геннадьевич Парамонов может дать справку: за сколько лет есть данные по станции ПТЗ?

Парамонов С.Г. (ИГКЭ): Примерно за десять лет.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо большое. Пожалуйста, вопросы.

Инсаров Г.Э. (ИГКЭ, Институт географии РАН): При оценке корреляции рядов данных для пары станций вы определяли оптимальный сдвиг во времени, исходя из критерия максимальности коэффициента корреляции. Ну, это несколько формальный, искусственный подход. Может быть это как-то связано с расстоянием между станциями? Есть ли какой-нибудь физический смысл в этих сдвигах во времени?

Семенов С.М.: Общий драйвер наблюдаемых сезонных колебаний – конечно, Солнце. Сезоны наступают в полушариях в целом. Ну, конечно, различия по широтам обязательно будут. Теплое время года быстрее наступает в низких широтах, чем в полярных. Поэтому оптимальные сдвиги для пары станций, расположенных в полярных широтах разных полушарий, конечно, больше, чем для пары станций, расположенных в тропических широтах.

Инсаров Г.Э. (ИГКЭ, Институт географии РАН): И это — закономерность проявляется всегда?

Семенов С.М.: В целом - да.

Инсаров Г.Э. (ИГКЭ, Институт географии РАН): Мне кажется, это было бы интересно обсудить более подробно.

Семенов С.М.: Да, это интересно обсудить, но только надо иметь в виду, что для рассматриваемых трех газов – углекислого газа, метана, закиси азота – сезонные колебания концентрации связаны с несколько разными процессами. Для CO_2 это поглощение при фотосинтезе растениями, для метана это разрушение в реакции с гидроксидом, а для N_2O это сезонная активизация перемешивания в атмосфере (что влияет, между прочим, на все три рассматриваемых газа). Поэтому фенология здесь не так однозначна. Мы это подробно пока не анализировали.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. Ещё, пожалуйста.

Гинзбург В.А. (ИГКЭ, Институт географии РАН): Сначала о методике. Александр Ильич Нахутин уже отчасти об этом спрашивал. При анализе рядов Вы рассматривали 12-месячное и 2-месячное скользящее среднее. Почему двухмесячное, а не за месяц?

Семенов С.М.: Мы рассматриваем последовательные 12 месяцев и среднее за этот период относим к границе между 6-м и 7-м месяцем. Если это обычный календарный год, то относим к 0 ч 1 июля. Для этого же момента очень хочется взять и скользящее среднее за один месяц. Но для этого надо осреднять за интервал с середины 6-го месяца до середины 7-го месяца. А у нас нет данных внутри месяцев, а лишь среднемесячные. Поэтому приходится брать не среднемесячное значение, а среднедвухмесячное – за 6-й и 7-й месяцы.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо большое. Пожалуйста.

Гинзбург В.А. (ИГКЭ, Институт географии РАН): Можно ещё один вопрос? В Южном полушарии у Вас более высокие корреляции между станциями, чем в Северном полушарии, причём это в целом по всем газам получается. С чем это может быть связано? С большим количеством антропогенных источников в Северном полушарии или с большим процентом суши, может быть?

Семенов С.М.: Действительно, основные антропогенные источники рассматриваемых трех газов находятся всё-таки в Северном полушарии, причём они сезонно изменчивы. Это в значительной степени справедливо и для естественных источников. В первую очередь эта изменчивость влияет на станции, расположенные в Северном полушарии. Ну, а когда, благодаря процессам глобального переноса и перемешивания, выбросы достигают Южного полушария, то сезонное влияние источников уже выражено слабее, а сезонное влияние естественных процессов (поглощение CO_2 при фотосинтезе, гибель метана при взаимодействии с гидроксидом) начинает доминировать и проявляется иногда с «астрономической» четкостью.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. Так, еще вопросы, пожалуйста.

Воробьев В.А. (ИГКЭ): В докладе описан новый геофизический параметр, который может, на мой взгляд, играть значительную роль при его широком применении. Он определяет временные сдвиги изменений концентраций парниковых газов, их годового цикла для разных точек Земного шара. Открывается возможность использования этого параметра для сопоставления с динамикой других геофизических переменных: температуры, влажности, скорости, направления ветра, и их

распределением по высоте.

Добавлю, что, наверное, удобно делать все это не по коэффициентам корреляции, как предлагается в докладе, а используя разложение данных в ряд Фурье. В подобном случае именно различие фаз будет характеризовать сдвиги во времени. Таким образом, мы сможем получить глобальную картину изменения любой геофизической характеристики, а не только уровня содержания парниковых газов, а также находить соотношения между различными характеристиками и оценить их возможную взаимосвязь. Именно поэтому такой подход я считаю наиболее целесообразным.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Я хочу заметить, что это уже дискуссия. Ещё вопросы есть? Да, пожалуйста.

Романовская А.А. (ИГКЭ): Сергей Михайлович! Вот для тех газов, которые дают хорошую корреляцию, например, для метана, например, для Северного полушария, можно ли составить какой-то «типовой фоновый ряд», с которым можно сравнивать результаты измерений в конкретных точках и трактовать отклонения от него как антропогенный вклад?

Семенов С.М.: Вообще говоря, можно попробовать. Можно, например, предположить, что ряд концентраций CO_2 , который наблюдается на станции ПТЗ (Приокско-Тerrasный биосферный заповедник), состоит из двух компонентов: одна – линейно и, быть может, с временным сдвигом зависит от значений, скажем, на станции Барроу, а другая характеризует локальное/региональное антропогенное влияние. Если это предположение справедливо, то можно попытаться оценить антропогенный вклад в ПТЗ. Я не уверен, что у меня лично хватит энтузиазма для такой работы, но соискатели кандидатских степеней приглашаются к сотрудничеству.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. Ещё вопросы. Нет вопросов? Спасибо. Тогда Владимир Иванович Егоров выступит с развернутым комментарием. Пожалуйста.

Егоров В.И. (ИГКЭ):

В докладе приводятся результаты анализа значительного объёма информации о содержании и изменениях в годовом и месячном масштабах времени приоритетных парниковых газов (диоксид углерода, метан, закись азота). При выполнении анализа использовались результаты многолетних (1990 – 2014 гг.) наблюдений указанных парниковых газов, проводимых на станциях глобального мониторинга сети CSIRO. Для решения задачи, указанной в заглавии работы, авторами были выполнены расчёты и сравнения изменений скользящих средних годовых и средних двухмесячных значений концентраций измеряемых на станциях парниковых газов, проведён анализ разностей указанных рядов данных для станций, расположенных в Северном и Южном полушариях. Решение

этой задачи представляется актуальным для выполнения оценок пространственного распределения парниковых газов и их изменений различного пространственно-временного масштабов с использованием данных наблюдений, выполняемых на станциях мониторинга.

Результаты проведённого авторами анализа свидетельствуют о достаточно близких значениях трендов средних годовых концентраций CO_2 и N_2O для всех 11-ти станций мониторинга, а CH_4 – для станций в Южном полушарии. Полученные результаты свидетельствуют также и о сходных многолетних тенденциях изменения среднегодовых значений концентраций метана, диоксида углерода, закиси азота в атмосфере для станций, расположенных в Северном и Южном полушариях.

Полученные в работе данные сравнения сезонных изменений средних месячных концентраций парниковых газов для различных пар станций свидетельствуют об их сезонной цикличности, сходстве и даже, в ряде случаев, совпадении формы колебаний при смещении во времени рядов сезонных изменений данных одной станции относительно другой парной станции на период от -6 до 5 месяцев. Указанный показатель сдвига по времени является индивидуальным для каждой из выбранных пар станций.

В этой связи следует отметить целесообразность выполнения сравнительного анализа результатов, полученных для рассматриваемых авторами станций мониторинга, с соответствующими показателями многолетней и сезонной изменчивости уровней парниковых газов, осреднёнными для более масштабных территорий, например, широтные пояса Земли. С этой целью проведено сравнение полученных авторами результатов с имеющимися в мировой литературе данными наблюдений, выполняемых на сети станций Глобальной Службы Атмосферы (ГСА) ВМО (120 станций мониторинга). Результаты анализа данных ГСА позволяют оценить уровень содержания и динамику изменений парниковых газов в атмосфере в глобальном масштабе.

На рисунке 1а и 1б приведены данные станций ГСА изменений концентрации CO_2 и CH_4 , осреднённые для различных широтных зон Северного и Южного полушарий. Результаты сравнения представленных данных свидетельствуют о достаточной близости полученных в работе данных (средние годовые значения) о содержании, трендах и характере широтного распределения амплитуды сезонных изменений парниковых газов с результатами осреднённых для широтных зон данных станций ГСА.

Для оценки данных сезонной изменчивости CO_2 и CH_4 , сходстве их изменений в месячном масштабе времени для рассматриваемых в докладе станций и их соответствия динамике глобальных сезонных изменений, проведено сравнение осреднённых для различных широтных поясов Земли средних месячных значений концентраций CO_2 и CH_4 . Данные сезонных

изменений концентрации CO_2 и CH_4 в различных широтных зонах приведены на рисунках 2а и 2б.

Согласно представленным данным, сезонные изменения содержания CO_2 и CH_4 в атмосфере Северного и Южного полушарий характеризуются летним минимумом и зимним максимумом концентраций парниковых газов. Для диоксида углерода летний минимум концентраций обусловлен его существенным поглощением растительностью за счёт процессов фотосинтеза, зимний максимум – преимущественным влиянием антропогенных источников, интенсивность которых наибольшая в зимний период года (например, процессы сжигания ископаемого топлива).

Сравнение данных расчета, приведённых в докладе, о сдвиге по времени сезонного хода CO_2 (1 месяц для парных станций Mauna Loa и Alert)) совпадают с различием по времени сезонных минимумов концентраций диоксида углерода для данных широтой зоны 90° - 60° с.ш. и 0° - 30° с.ш., в которых расположены указанные станции мониторинга.

Следует также отметить значительное различие амплитуды сезонных изменений концентрации CO_2 , наиболее ярко проявляющееся в широтных поясах $(90-60)^\circ$ Северного и Южного полушарий. Так, для северных районов эта величина составляет 15 ppm, для южных – от 1 ppm до 2 ppm (рис. 2а). Указанные значения амплитуды сезонных изменений соответствуют приведённым в докладе данным, полученным для станций South Pole и Alert.

Сезонные изменения содержания метана в атмосфере характеризуются летним минимумом, обусловленным расходом метана в воздухе за счёт его химической реакции с гидроксидом, наиболее высокие концентрации которого регистрируются в летний сезон года. Приведённые на рисунке 2б данные свидетельствуют о незначительных отличиях амплитуды сезонной изменчивости метана (в отличие от CO_2) в широтных поясах $(90-60)^\circ$ Северного и Южного полушарий. Так, для северных районов эта величина составляет 35 ppb, для южной широтной зоны – 30 ppb. Представленные в докладе результаты оценки амплитуды сезонного хода, рассчитанные для станций Южного полушария, включая станцию South Pole, составляют 30 ppb.

Проведённый сравнительный анализ представленных в докладе данных о сходстве изменений современного содержания и изменчивости парниковых газов, полученных на станциях CSIRO, с соответствующими результатами, осреднёнными для широтных зон Земного шара, свидетельствует о сходстве сравниваемых показателей и возможности использования приведённых в докладе результатов эмпирического анализа при решении задач мониторинга парниковых газов в региональном и глобальном масштабах.

В заключении хочу пожелать авторам доклада дальнейших успехов в

работе. Спасибо за внимание.

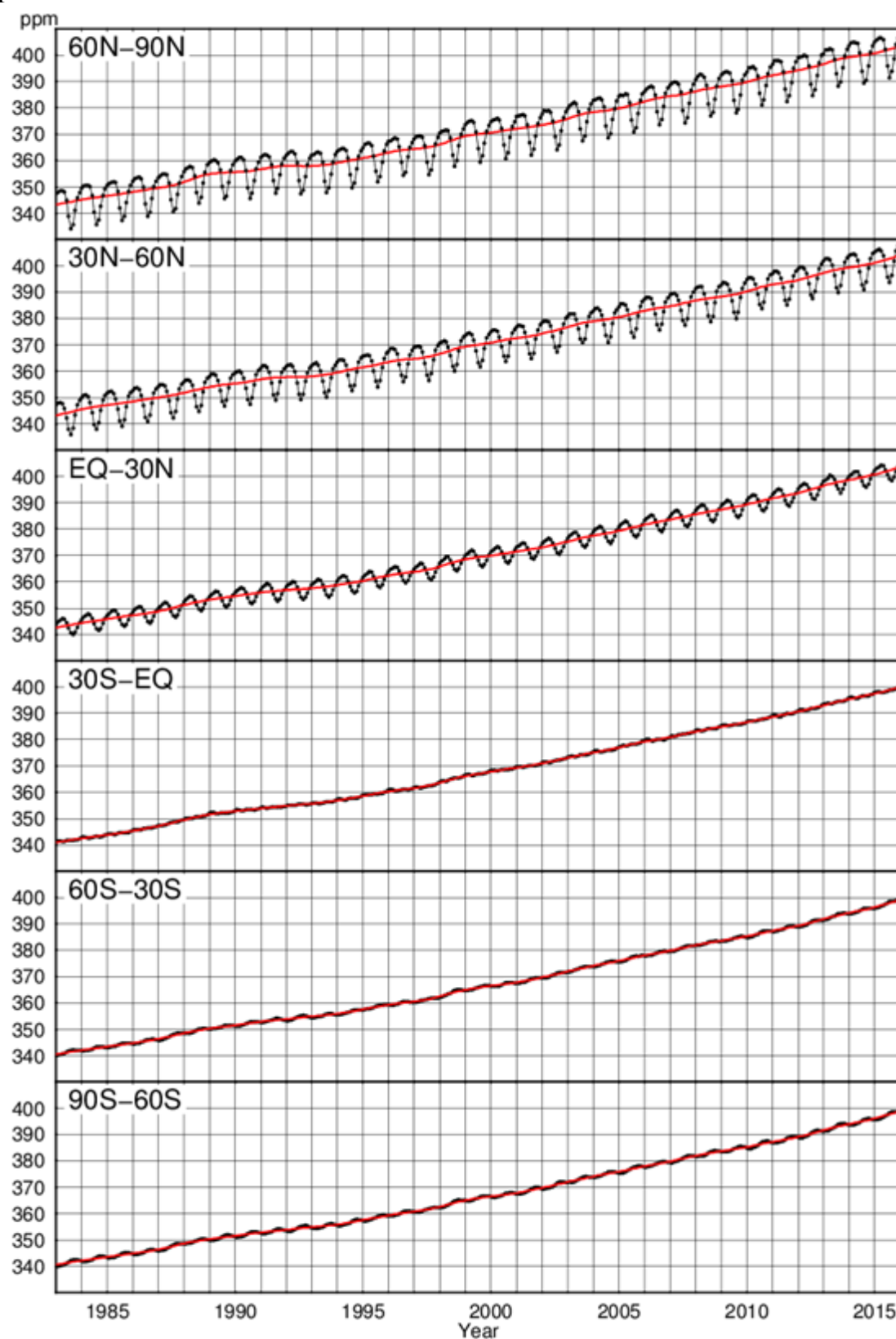


Рисунок 1а - Зональное распределение диоксида углерода в атмосфере (данные станций ГСА)

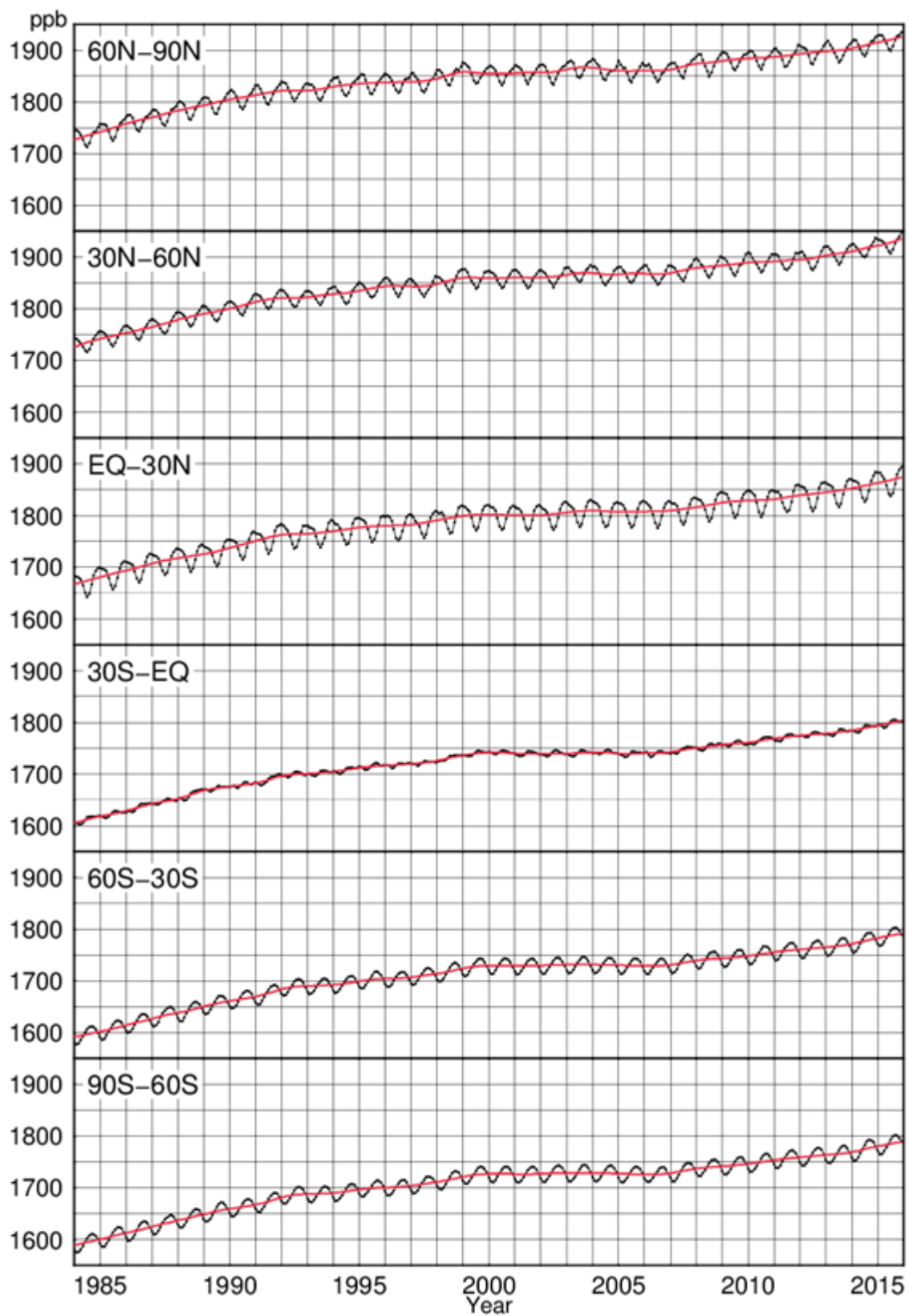


Рисунок 16- Зональное распределение метана в атмосфере (данные станций ГСА)

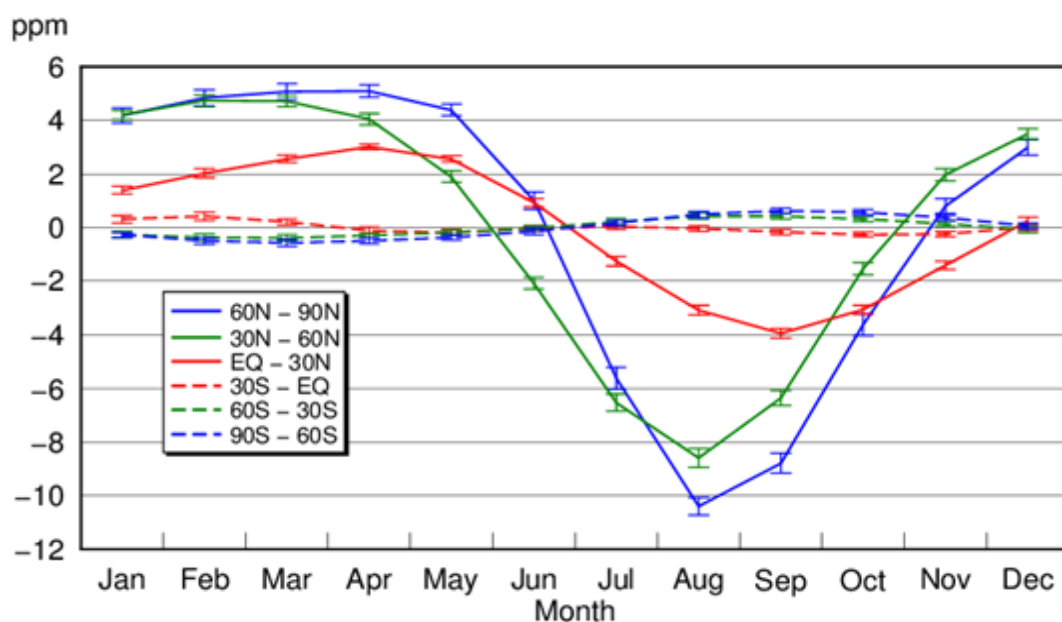


Рисунок 2а - Сезонные изменения диоксида углерода в различных широтных зонах

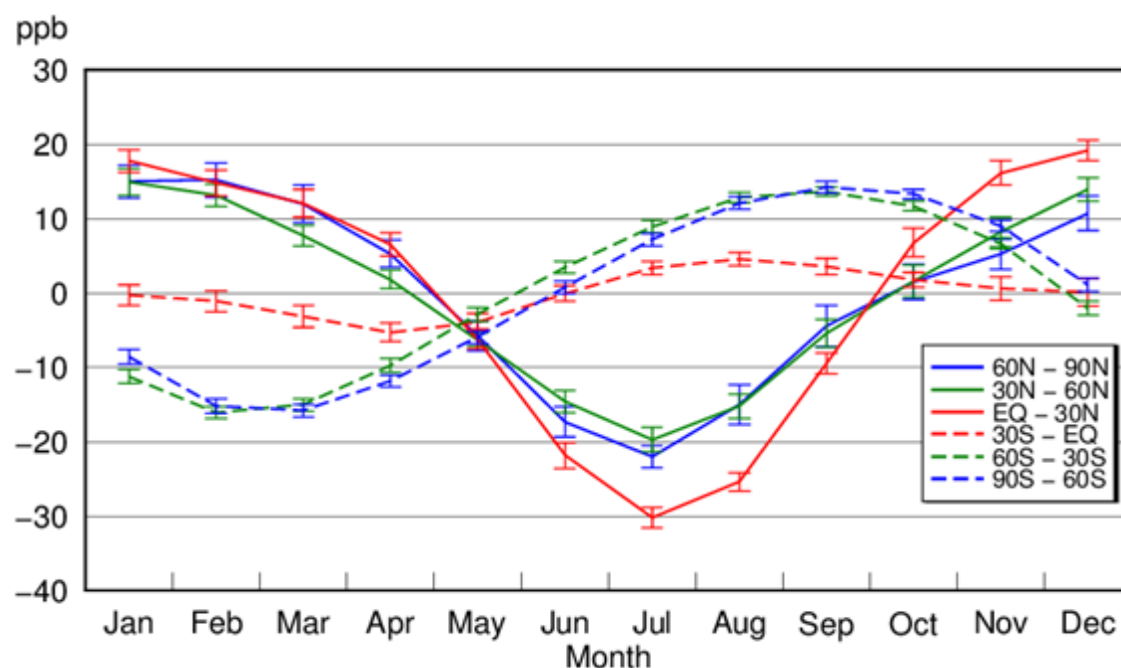


Рисунок 2б - Сезонные изменения метана в различных широтных зонах

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо, Владимир Иванович. Вопросы есть к Владимиру Ивановичу? Вопросов нет. Всё ясно. Спасибо ещё раз. Сейчас, я так понимаю, можно дискуссию провести, кто-то, если хочет, может выступить. Да, пожалуйста.

Нахутин А.И. (ИГКЭ): В связи с просьбой авторов указать на неупомянутые в докладе факторы, влияющие на сезонность выделения и поглощения метана, хотел бы напомнить, что, если речь идет о метане и

сезонности в изменении его концентрации, то некоторые его источники – и естественные, и антропогенные – существенно зависят от температуры, поскольку в эмиссии большая биотическая составляющая. Это относится и к эмиссии из болот, и к эмиссиям с рисовых полей, и к разложению выделений животных.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо, Александр Ильич. Еще выступления? Пожалуйста.

Корзухин М.Д. (ИГКЭ): Мне кажется, что полученные результаты – хороший исходный пункт для формулировки уже физической модели, описывающей процессы выбросов, стока и пространственного переноса. Это будет система 11 (по числу станций) линейных неавтономных (ввиду сезонности) уравнений. Ее можно попробовать подогнать к полученным результатам и оценить вклад каждого из трех процессов, о которых говорилось в докладе. На самом деле это будет, конечно, 11-точечное приближение к непрерывной пространственной климатической модели, которая должна содержать обнаруженные эффекты.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо, Михаил Дмитриевич. У кого-то есть еще предложения, замечания? Пожалуйста, Нина Константиновна.

Кононова Н.К. (Институт географии РАН): В последние годы было несколько извержений вулканов, достаточно сильных, и был выброшен довольно большой объем парниковых газов в атмосферу. Если можно было бы выделить в данных глобальных фоновых наблюдений антропогенную составляющую и вулканическую составляющую, то было бы интересно их сопоставить.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. Ещё? Да, пожалуйста.

Воробьев В.А. (ИГКЭ): Сейчас Александр Ильич как раз напомнил о том, что рисовые чеки выдают довольно большое количество метана. Возможно, с этим сезонным выбросом также связано смещение годового хода концентраций метана, поскольку этот фактор действует в разных частях Земного шара лишь в соответствующие сезоны, зависящие от климатических условий. Еще раз хочу подчеркнуть, что представленные в докладе смещения необходимо исследовать не для нескольких точек, а глобально, детально по всему Земному шару. Такие данные в принципе есть в интернете, только нужно их обработать, привлекая специальные методы анализа. Т.е. целесообразно подробно и более широко изучить фазовые сдвиги, которые, к сожалению, представлены в докладе лишь для небольшого числа точек.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. Ещё кто-нибудь хочет сказать? Тоже, со своей стороны, если Вы позволите, хочу

сделать комментарий. Во-первых, мне кажется, модели сейчас развиваются, и очень интенсивно, и вот эти данные, которые авторы сегодня нам представили, могли бы служить основой для сравнения, вообще говоря. Дадут ли подобный эффект модели? Какое отношение модельные результаты имеют к данным наблюдений — это очень важный момент. Второе, что я бы хотел отметить, что авторы исключили из рассмотрения данные по индийской станции, как выпадающие из статистики. Может быть, наоборот, стоит обратить особое внимание на данные этой станции и разобраться, в чем там аномалия состоит. Спасибо.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Сергей Михайлович, да, с заключительным словом. Пожалуйста.

Семенов С.М.: Хотел бы отреагировать на некоторые комментарии. Владимир Иванович, во-первых, что-то Вы обидели Северное полушарие: в Северном полушарии пять станций, в Южном — шесть станций, примерно пополам, а Вы говорили, что в Северном полушарии станций сравнительно очень мало. Но это я так — к слову сказать.

Теперь относительно широтных обобщений. Владимир Иванович Егоров показывал очень интересные картинки с годовым ходом CO_2 и метана в разных широтных поясах. Но я хочу заметить, что при том, что годовой ход в разных местах может быть очень похож, межгодовая изменчивость может привести к очень низкой корреляции. Т.е., скажем, минимум летом и максимум зимой могут наблюдаться на паре сравниваемых станций, или даже в широтном поясе в целом. Но это еще не будет означать обязательной высокой корреляции временных рядов. А мы обнаружили именно это — например, для метана временные ряды среднедвухмесячных концентраций (после вычитания 12-месячной скользящей средней) коррелируют на уровне > 0.95 и выше для станций, находящихся друг от друга за тысячи километров. Нужно только применить соответствующий сдвиг во времени. Вот в чем новизна полученных результатов, в частности.

Теперь относительно физической модели, Михаил Дмитриевич. Понимаете, здесь не всё так просто. Да, все рассматриваемые процессы имеют сезонность. Вот наступает где-то лето, ну, например, на какой-то станции на океаническом побережье. Чего мы можем ожидать? Мы можем ожидать двух вещей. Первое — это усиленного поглощения CO_2 из воздуха за счёт сезонного развития фитопланктоном и соответствующей активизации фотосинтеза. Это один процесс, он понижает концентрацию CO_2 . С другой стороны, при сезонном повышении температуры возникает смещение равновесия CO_2 между атмосферой и океаном в пользу атмосферы. Лишний CO_2 будет выделяться в атмосферу. Процессы разнонаправленные, какой будет нетто-результат? Не совсем ясно. Судя по данным, более мощный процесс — фотосинтез.

Теперь относительно замечания Александра Ильича относительно сезонности некоторых процессов эмиссии метана – и естественной, и антропогенной. В принципе, я согласен, что какое-то влияние на сезонный ход концентраций это оказывает. Однако, выбросы привязаны к определенным регионам. Их еще надо «доставить» на отдаленные станции, например, в Антарктиде. Могут ли процессы дальнего переноса обеспечить такую «астрономическую» синхронность в изменении концентрации метана на антарктических станциях? Сомнительно, поскольку для N_2O такая синхронность не обеспечивается. Напомню, что закись азота практически не расходуется в тропосфере, а ее концентрации на глобальных фоновых станциях складываются исключительно процессами переноса и перемешивания в атмосфере. Поэтому мы склонны объяснять высокое сходство сезонных колебаний концентраций метана активизации его стока вследствие сезонного обогащения атмосферы гидроксидом.

Ну, вот, пожалуй, я свои комментарии закончил. Спасибо.

Криволуцкий А.А. (председательствующий): Спасибо. У меня ещё одно пожелание, извините, я воспользуюсь своим правом: чтобы эти результаты, очень интересные, были опубликованы, чтобы люди могли ими пользоваться. Спасибо всем ещё раз.

Семенов С.М.: Спасибо всем. Мы в этом полугодии закончили заседания, следующий наш семинар будет только осенью. Спасибо большое.