

Глобальный мониторинг современных концентраций CO₂, CH₄ и N₂O: результаты и цели

Семенов С.М.

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
Институт географии РАН

По мере того, как становилась все яснее роль обогащения атмосферы парниковыми газами в изменении глобального климата, их естественные и антропогенные источники эмиссии в атмосферу, перенос и трансформация в атмосфере, а также выведение (сток) из атмосферы становились предметом все более широких исследований.

Россия – сторона Рамочной Конвенции ООН по изменению климата (РКИК ООН, 1992 г.) и двух специальных договоров в ее рамках – Киотского протокола (1997 г.) и Парижского соглашения (2015 г.). Основная цель РКИК (статья 2) – *стабилизация концентраций парниковых газов в атмосфере на уровне, не допускающем опасного антропогенного вмешательства в климатическую систему*. Для достижения этой цели нужно, прежде всего, иметь данные об этих концентрациях, и одна из первичных задач - организация измерений, мониторинга глобальных уровней содержания парниковых газов.

Из основных антропогенных¹ парниковых газов фоновые глобальные концентрации углекислого газа CO₂, метана CH₄ и закиси азота N₂O стали прежде всего предметом стационарных измерений. Во второй половине XX века измерения их концентраций были организованы ведущими научными центрами. Сети станций, на которых проводились (и проводятся) эти измерения, - глобального масштаба.

На рис. 1 представлена измерительная сеть, на которой измеряются уровни содержания CO₂ в атмосфере – сеть станций Института Scripps, США (Scripps CO₂ Program, Scripps Institution for Oceanography, http://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/other_stations/global_stations_co2_concentration_trends). Пункты измерений располагаются в меридиональном направлении от Южного полюса до Аляски (США). Результаты измерений характеризуют ход концентраций углекислого газа в приповерхностном слое атмосферы² на различных широтах над Тихим океаном.

Результаты измерений представлены на рис. 2. Можно заметить, что при значительной удаленности некоторых станций друг от друга ход концентраций на них сходен. Конечно, на месячном масштабе времени видны различия, которым есть много причин. Например, в Южном полушарии и в Северном полушарии периоды первичного продуцирования наземных растений и фитопланктона в водных объектах не совпадают, а CO₂ активно потребляется при фотосинтезе. Однако, если следить только за среднегодовыми зна-

¹ Т.е. парниковых газов, чьи эмиссии в ходе хозяйственной деятельности сравнимы с естественными или же их превосходят.

² Измерения обычно проводятся на высоте 1.5 – 2 м над земной поверхностью.

чениями, то станет ясно, что представленные на рис. 2 кривые примерно совмещаются сдвигом вдоль оси ординат, т.е. концентрации отличаются на константу, и эта константа невелика по сравнению с самими концентрациями.

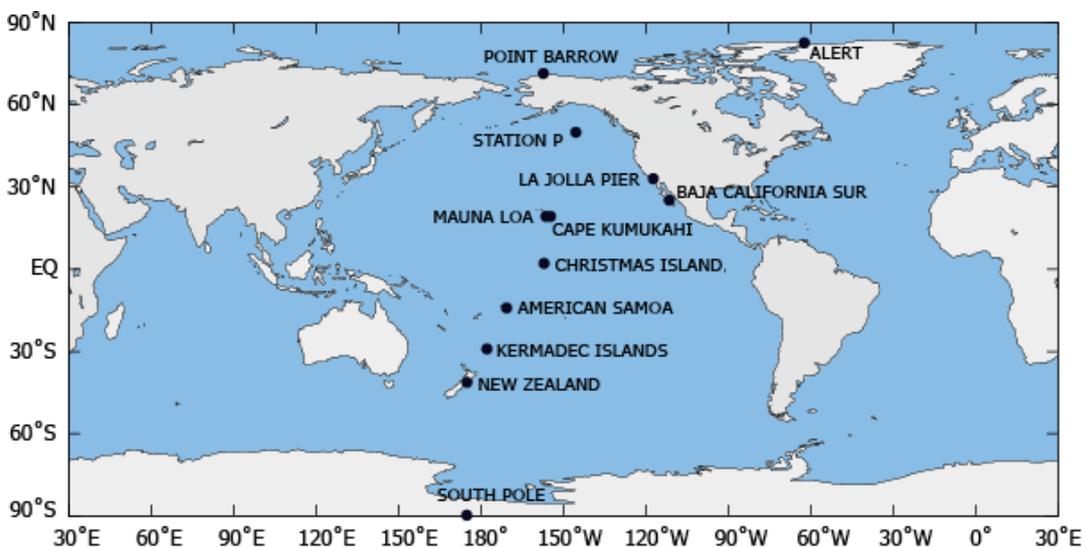


Рис. 1. Сеть станций, на которых измеряются приповерхностные уровни содержания CO_2 в атмосфере - измерительные станции Института Scripps, США (http://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/other_stations/global_stations_co2_concentration_trends)

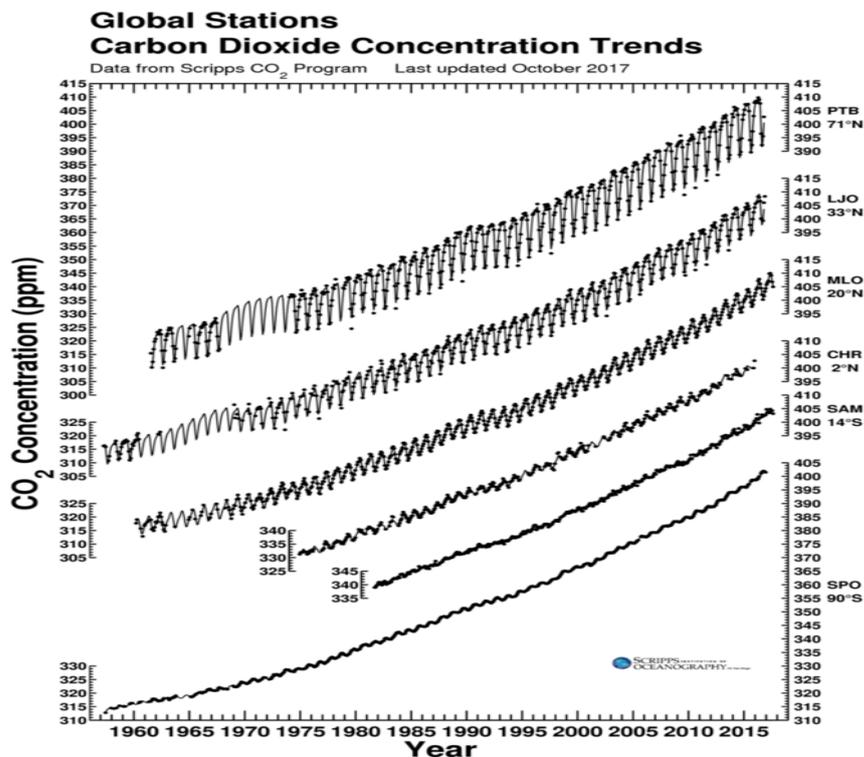


Рис. 2. Измеренные концентрации CO_2 на станциях PTB = Point Barrow, LJO = La Jolla, MLO = Mauna Loa Observatory, CHR = Christmas Island, SAM = Samoa, SPO = South Pole (*Ibid*)

Рассмотрим теперь результаты измерений концентраций метана в программе AGAGE – Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (Massachusetts Institute of Technology, Center for Global Change Science, USA). Пространственное расположение соответствующей сети измерительных станций представлено на рис. 3. Эта сеть также охватывает широкий диапазон широт - от 41° ю.ш. до 53° с.ш.

Australia Cape Grim	41° S, 145° E	1978-present
Ireland Mace Head	53° N, 10° W	1987-present
Trinidad Head	41° N, 124° W	1995-present
Cape Meares, Oregon	45° N, 124° W	1979-1989
Barbados Ragged Point	13° N, 59° W	1978-present
American Samoa Cape Matatula	14° S, 171° W	1978-present

Advanced Global Atmospheric Gases Experiment

Sponsored by NASA's Atmospheric Composition Focus Area in Earth Science

<http://agage.mit.edu/global-network>



Рис. 3. Пространственное расположение сети измерительных станций программы AGAGE, на которых проводятся измерения концентраций метана (<http://agage.mit.edu/global-network>).

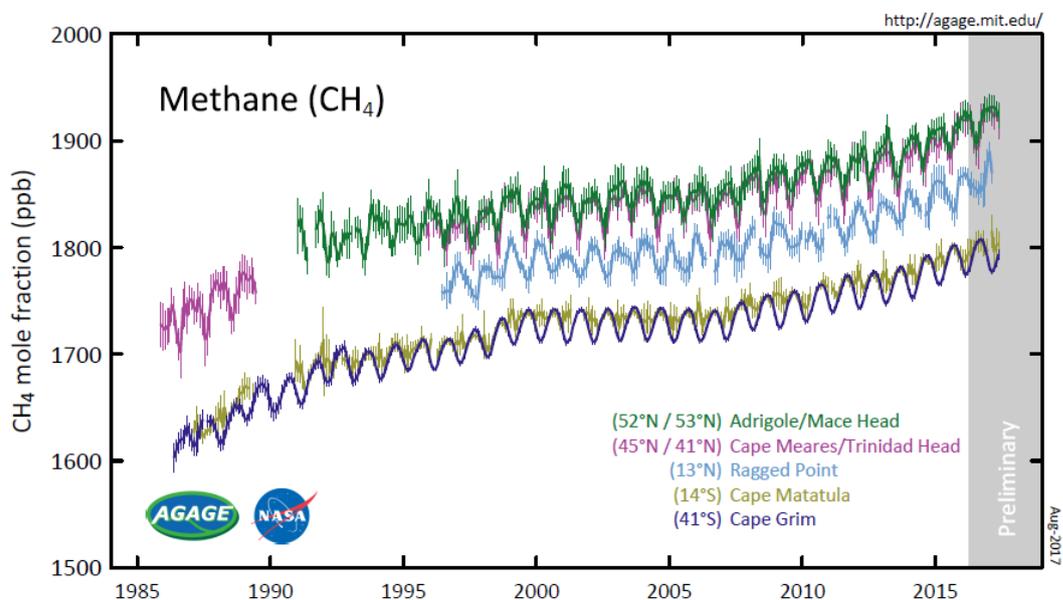


Рис. 4. Измеренные концентрации метана на станциях измерительной сети программы AGAGE (*Ibid*)

Изменения во времени концентрации метана в приповерхностном слое также оказались сходными на различных станциях – во всяком случае при годовом осреднении. Как и в случае с CO_2 есть некоторое систематическое смещение. В Южном полушарии метана меньше, чем в Северном полушарии. Но эти отличия вполне сводятся к отличию на константу (с приемлемой точностью). Правда эта константа – примерно до 100 ppb, что составляет большую долю абсолютного значения концентраций по сравнению со случаем CO_2 .

И, наконец, на рис. 5 приведены зональные средние концентрации закиси азота в приповерхностном слое атмосферы. Это – результаты Global Monitoring Division, Earth System Research Laboratory, NOAA, USA (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/N2O.html>). И в этом случае можно отметить сходство их изменений во времени в совершенно разных широтах – от южной полярной области до северной.

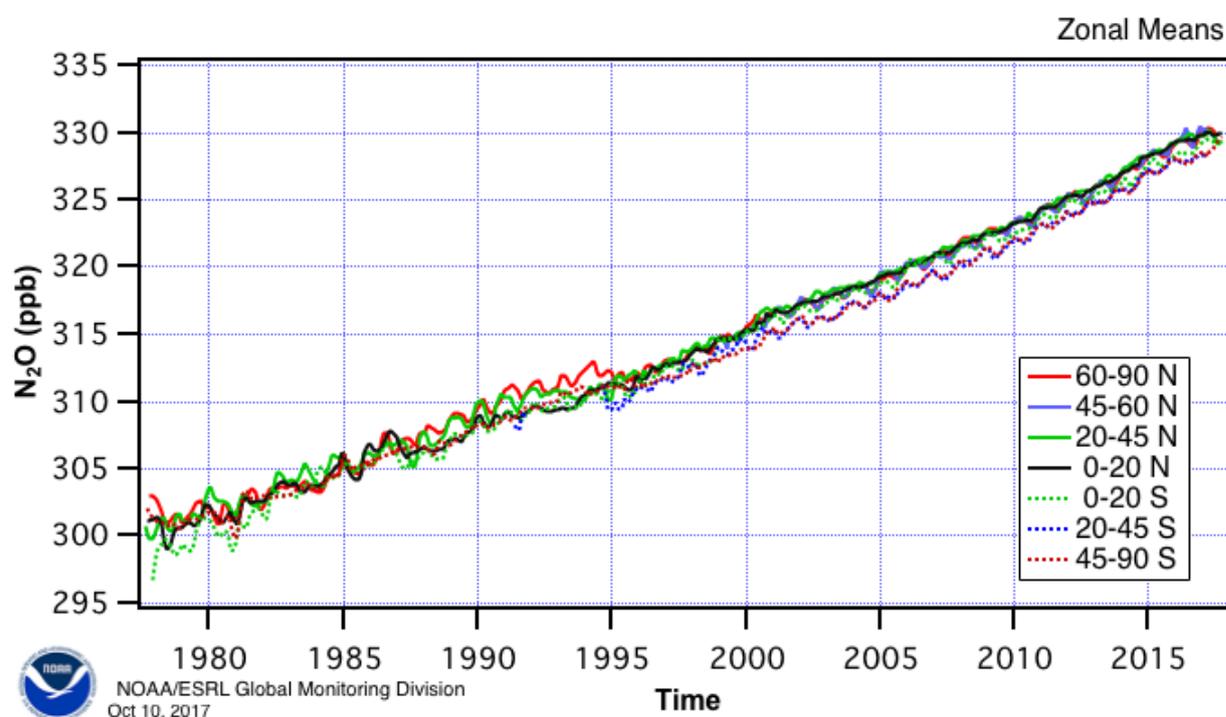


Рис. 5. Изменение во времени оценок зональных средних значений концентрации закиси азота N_2O в приповерхностном слое атмосферы, NOAA/ESRL (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/N2O.html>)

Данные об изменении во времени концентраций углекислого газа, метана и закиси азота в приповерхностном слое атмосферы, приведенные на рисунках выше, показывают, что временные тренды в этих рядах очень близки, иногда практически одинаковы.

Данные мониторинга концентраций CO_2 и CH_4 на измерительных станциях сети CSIRO (CSIRO GASLAB Flask Sampling Network, The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), пространственное расположение которых приведено на рис. 6, подтверждают

сказанное, хотя эта сеть имеет несколько иное пространственное расположение.

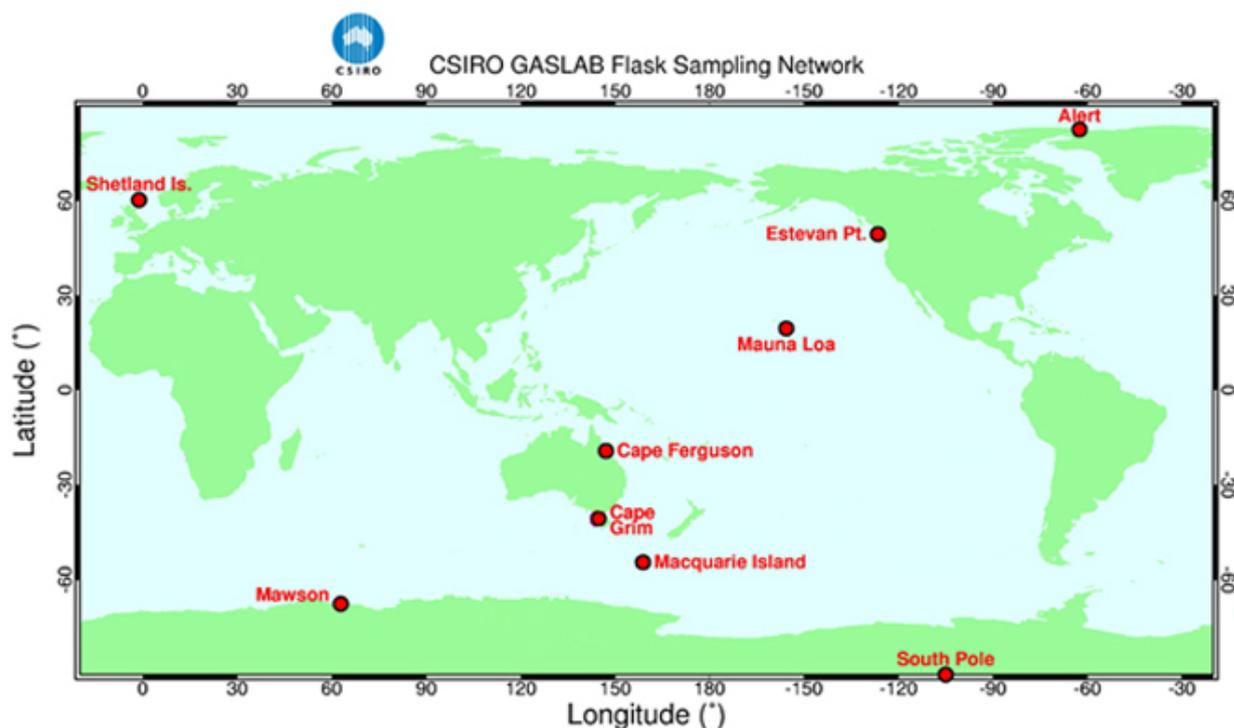


Рис. 6. Пробоотборная сеть Научной и промышленной исследовательской организации Содружества наций, Австралия (<http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/csiro/>)

Причина сходного изменения концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O на станциях мониторинга, расположенных весьма далеко друг от друга понятна. Это – хорошо перемешанные газы (well-mixed gases). Свойство это связано с тем, что время их жизни в атмосфере – (безвозвратного или же возвратного выведения из атмосферы) – существенно больше, чем время распространения и перемешивания (в горизонтальном и вертикальном направлениях) в атмосфере. Следствие – примерное выравнивание концентраций (в объемном отношении смеси – volume mixing ratio!) в различных точках географического пространства. Заметим, что это касается не только распространения по горизонтали, но и по вертикали - концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O мало меняются по высоте в пределах тропосферы.

В связи со сказанным выше возникает вопрос из области организации мониторинга концентраций этих парниковых газов: надо ли расширять измерительную сеть?

Ведь тренды концентраций примерно одинаковы в различных точках географического пространства. Может для измерений быть можно ограничиться существующими станциями или даже меньшим их числом, переключив внимание и ресурсы на изменение иных составляющих атмосферы?

Конечно, можно возразить, что рассмотренные выше станции располагались на островах или же на океанском побережье, или в полярных зонах, т.е. вдали от главных источников, например, метана и закиси азота. Заметим, однако, что суша покрывает лишь примерно 30% земной поверхности. Без

полярных областей этот процент будет еще меньше. Т.е. все, сказанное выше, справедливо для более 70% земной поверхности.

Да, на суше, приповерхностные концентрации углекислого газа, метана и закиси азота будут несколько иными, поскольку там располагаются их источники (а для CO_2 и активные сезонные стоки – наземная растительность). На рис. 7 для примера представлено пространственное распределение среднегодовых эмиссий закиси азота N_2O в 1981-2010 гг. Антропогенное увеличение эмиссий закиси азота связано в основном с применением синтетических азотных удобрений и навоза, в растениеводстве, расширением посевных площадей, а также с процессами сжигания ископаемого топлива и биомассы (Tian, H., et al. 2015). На рис. 7 видно, что наиболее интенсивные источники N_2O располагаются в районах развития сельскохозяйственного производства. Конечно, над этими районами (им соответствует красный цвет на рис. 7) концентрации закиси азота будут несколько выше, как и в соседних частях земной поверхности вследствие адвекции из «красных» районов.

Но наблюдение за этими аномалиями – скорее часть программы мониторинга эмиссий и их распределения в пространстве (что очень важно!), а не глобального мониторинга концентраций.

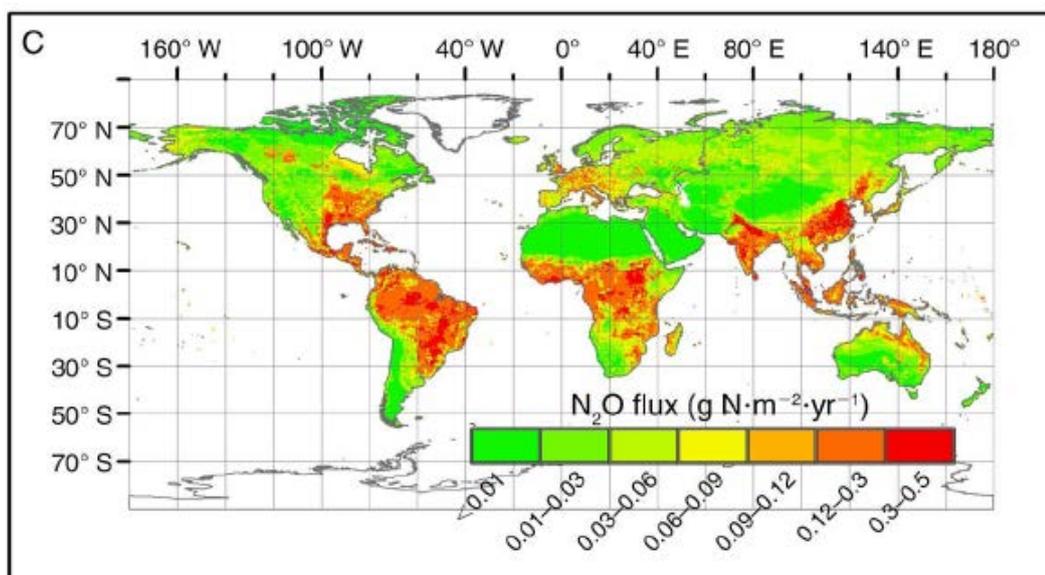


Рис. 7. Расчетное пространственное распределение эмиссий N_2O из наземных экосистем в 1981-2010 гг. (Tian, H., et al. 2015)

Собственно глобальные климатические последствия (т.е. усиление глобального парникового эффекта) увеличенных концентраций N_2O над этими территориями невелики вследствие малости их суммарной площади. Измерение концентраций там необходимо в контексте оценки эмиссий, для оценок методами траекторий, “top-down” и пр., а не как элемент глобального мониторинга концентраций, уровней содержания парниковых газов.

В качестве примера приведем результат мониторинга концентрации метана на станции «Тикси» (Репина, Аниферов, Артамонов, 2015).

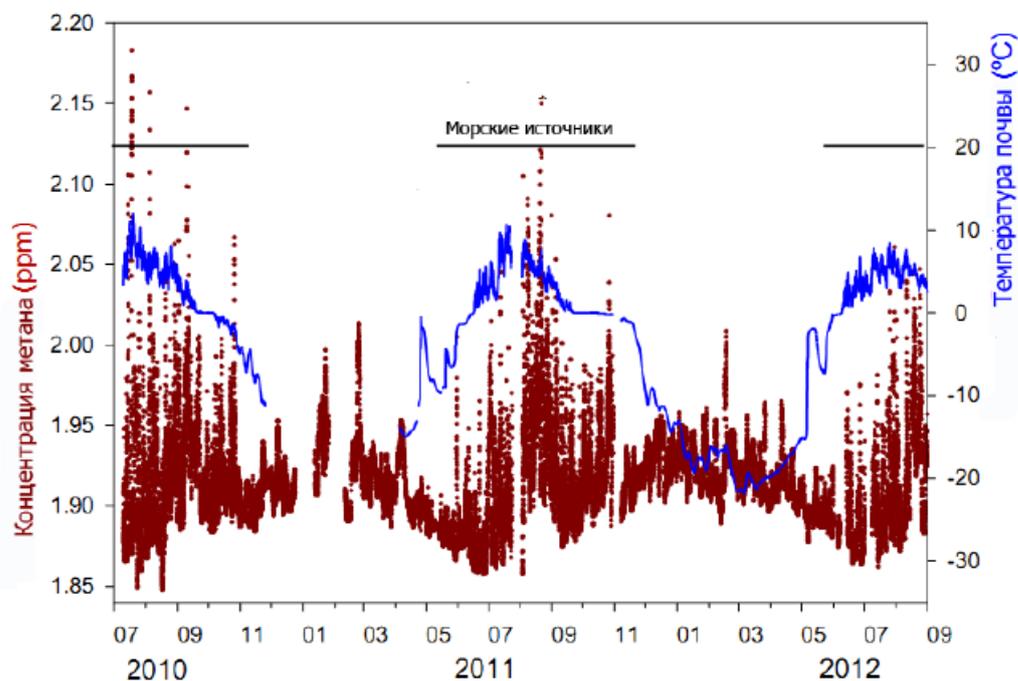


Рис. 8. Изменчивость концентраций метана за период наблюдений в Тикси (Репина, Аниферов, Артамонов, 2015)

Авторы этой работы полагают, что в Тикси в период наблюдений случались повышенные концентрации метана. При этом анализ с использованием данных о направлении и скорости ветра и программы HYSPLIT (HYbridSingle-Particle Lagrangian Integrated Trajectory, Roland R. Draxler, G.D. Hess. DESCRIPTION OF THE HYSPLIT_4MODELING SYSTEM. // <http://www.arl.noaa.gov/documents/reports/arl-224.pdf>) позволили заключить, что источники метана находятся не на суше, не на материке, а на поверхности или же под поверхностью Северного Ледовитого Океана. Авторы также оценили мощность источников.

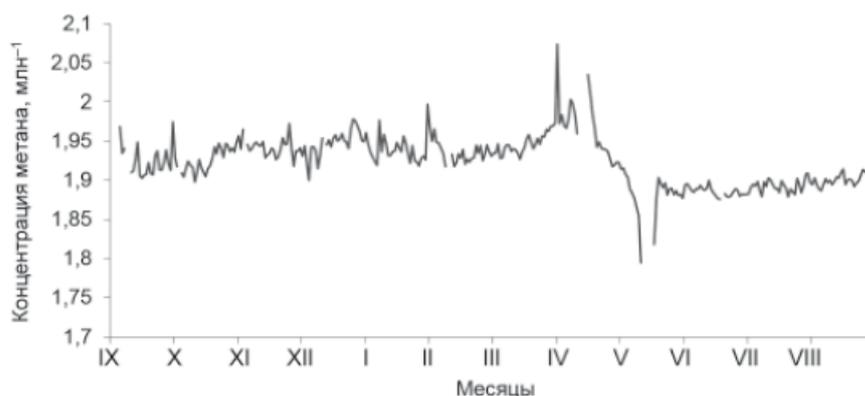


Рис. 9. Среднесуточные значения концентрации метана в приледном слое атмосферы на ледовой дрейфующей станции «Северный полюс-39» в период с 01.10.2011 по 07.09.2012. (Нагурный, Макштас, Соколов, 2013, с. 7)

Аналогичные заключения сделаны в работе (Нагурный, Макштас, Соколов, 2013), где анализировались результаты измерений метана на дрейфующей станции Северный полюс – 39, см. рис. 9.

Это - весьма важные примеры, когда измерения концентраций фактически являются частью мониторинга эмиссий, позволяют расчетным способом определить пространственное распределение источников эмиссий и их мощность.

Заметим, что эти и аналогичные измерения концентраций метана на арктическом побережье России дали основание для заключения о том, что в океане, в том числе на шельфе на севере России находятся источники метана, которые ассоциируются с разложением находящихся глубоко под водой метангидратов. Эти гипотезы, весьма важные, все еще требуют серьезных исследований. Заметим, во-первых, что измеренные в Тикси концентрации не столь уж повышенные, в среднем примерно 1.9 – 1.95 ppm. Они очень близки к концентрациям на станции Mace Head в Ирландии (см. рис. 4), расположенной примерно на широте Москвы, в отношении которых никаких сведений о роли глубоководных метангидратов в формировании приповерхностных концентраций метана в атмосфере не имеется. Заметим, что станция Mace Head находится на 53° с.ш., т.е. существенно южнее станции «Тикси». Так что концентрации метана на последней и должны быть чуть выше, чем на Mace Head.

Заметим также, что в работе известных специалистов по мониторингу метана - Эдуард Длугокенцкий и др. (Dlugokencky et al., 2009, p. 1) - указано, что примерно нулевой рост уровней метана в Арктике в 2008 г. указывает на то, что сильные климатические обратные связи с многолетней мерзлотой и метангидратами пока не активированы («Near-zero CH₄ growth in the Arctic during 2008 suggests we have not yet activated strong climate feedbacks from permafrost and CH₄ hydrates»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают данные измерений на станциях глобального фонового мониторинга, ход среднегодовой концентрации углекислого газа и метана в приповерхностном слое атмосферы сходен в самых различных точках географического пространства. Это же верно и для закиси азота в разных широтах. Это означает, что глобальный фоновый мониторинг концентраций этих парниковых газов не требует «ГУСТОЙ СЕТИ», а лишь нескольких станций.

Дальнейшее наращивание сети станций, где измеряются концентрации CO₂, CH₄ и N₂O, имеет смысл лишь в контексте мониторинга эмиссии и стока этих парниковых газов - оценки их пространственного распределения и мощности.

Однако и в этом случае, чтобы составить представление о поле эмиссии и стока парниковых газов, ТОЛЬКО стационарными наблюдениями не обой-

тись. Это потребовало бы нереального объема ресурсов для мониторинга вследствие их высокой пространственной неоднородности. Все современные карты-схемы эмиссий континентального и глобального масштабов – результат одновременного использования данных стационарных наблюдений, дистанционных данных и математического моделирования.

Список литературы

Нагурный А.П., Макштас А.П., Соколов В.Т. Результаты измерения концентрации метана в приледном слое атмосферы на дрейфующей ледовой станции СП-39 (2011–2012 гг.) – повышенный фон концентрации метана. Проблемы Арктики и Антарктики, 2013, N 4(98), с. 5-13.

Репина И.А., Аниферов А.А., Артамонов А.Ю. Метан в атмосфере Арктики по данным дистанционного зондирования, приземных измерений и моделирования // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы III научно-практической конференции. — ИП Кучеренко, Майкоп, 2015. — С. 191–199.

Dlugokencky E.J., Bruhwiler L., White J.W.C., Emmons L.K., Novelli P.C., Montzka S.A., Masarie K.A., Lang P.M., Crotwell A.M., Miller J.B., Gatti L.V. 2009. Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden, Geophys. Res. Lett., 36, L18803, doi:10.1029/2009GL039780.

Tian Hanqin, Guangsheng Chen, Chaoqun Lu, Xiaofeng Xu, Wei Ren, Bowen Zhang, Kamaljit Banger, Bo Tao, Shufen Pan, Mingliang Liu, Chi Zhang, Lori Bruhwiler, Steven Wofsy. 2015. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes, Ecosystem Health and Sustainability, 1:1, 1-20, DOI: 10.1890/EHS14-0015.1