

УДК [551.510.41:547.211](470.23-25)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ НАД САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ И БЛИЗЛЕЖАЩИМИ РЕГИОНАМИ

В.И. Биненко¹, А.С. Северюхина²

¹ Санкт-петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, vibinenko@mail.ru

² ООО «ПетербургГаз», stasynord@mail.ru

Получены оценки среднемесячной концентрации метана в приземном воздухе над городом Санкт-Петербургом и за его пределами и показано, что вклад метана в загрязнение атмосферы над городом выше по сравнению с соседними регионами. На основе использования результатов измерения излучения на длине волны 7,7 мкм с помощью гиперспектрометра AIRS, установленного на спутнике Aqua, показано, что объемная концентрация метана в верхней тропосфере как над Санкт-Петербургом, так и над приграничными регионами характеризуется значениями на уровне 1860 ppb. Выполнена оценка вероятности возникновения инцидентов на газораспределительных сетях и возможного ущерба, а также их влияния на уровень загрязненности атмосферы над Санкт-Петербургом метаном.

Ключевые слова: парниковые газы, метан, инцидент, риск, экологический ущерб.

VARIABILITY OF CONCENTRATION OF METHANE IN THE ATMOSPHERE OVER ST. PETERSBURG AND THE NEARBY REGIONS

V.I. Binenko¹, A.S. Severyukhina²

¹ Sankt-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS

² ООО «Peterburggaz»

The average monthly methane concentration in surface air over the city of St. Petersburg and beyond was estimated and the contribution of methane to air pollution over the city was shown to be higher compared to neighboring regions. Based on the results of measuring radiation at a wavelength of 7.7 μm using THE airs hyperspectrometer installed on the Aqua satellite, it is shown that the volume concentration of methane in the upper troposphere both over St. Petersburg and over the border regions is characterized by values at the level of 1860 ppb. The estimation of probability of occurrence of incidents on gas distribution networks and possible damage, and also their influence on level of pollution of the atmosphere over St. Petersburg methane is carried out.

Keywords: greenhouse gases, methane, incident, risk, environmental damage.

Введение

Парниковый эффект в атмосфере связан с наличием парниковых газов, которые имеют полосы поглощения достаточной интенсивности в ИК области электромагнитного спектра. К парниковым газам относятся: водяной пар (H₂O), относительная

концентрация которого в атмосфере по объему может достигать 2 % и более с повышением температуры; углекислый газ (CO_2), концентрация которого составляет около 0,04 %; метан (CH_4), концентрация которого близка к 2 ppm, и ряд других. При этом молекулы CH_4 в 30 раз эффективнее поглощают ИК излучение, чем молекулы CO_2 [3—9, 13]. По данным МГЭИК, вклад метана в изменение климата, т.е. радиационный форсинг, составляет около 17 % [6, 11, 13].

Природными источниками эмиссии метана являются болота, озера, моря, вечная мерзлота и метаногидраты. К антропогенным источникам относятся сельское хозяйство, и в частности животноводство (вследствие кишечной ферментации), угольные шахты, полигоны ТБО, свалки, нефтегазовая промышленность, в том числе утечки природного газа в местах его добычи, из газопроводов и газораспределительных сетей в городах, в частности в Санкт-Петербурге.

Цель и задачи работы — оценить воздействие выбросов природного газа метана на загрязнение атмосферы над Санкт-Петербургом за счет функционирования газорегуляторных пунктов и газораспределительных сетей предприятия ООО «ПетербургГаз»; рассмотреть риски возникновения и экологического ущерба от инцидентов в данной отрасли; выявить на основе расчетов валовый объем выбросов метана; оценить средние значения концентрации метана в атмосфере над городом и разными районами города при возникновении инцидентов на газораспределительных сетях города, а также на основе данных спутниковых измерений оценить изменчивость концентрации метана в атмосфере над прилегающими к Санкт-Петербургу регионами.

Приборы и методы измерения содержания метана

Данные, полученные с помощью газоанализаторов ООО «ПетербургГаз», использовавшихся для наземных измерений CH_4 , сопоставлялись с данными систематических измерений, выполняемых в рамках мониторинга парниковых газов, в частности метана, в ГГО им. А.И. Воейкова [5, 8] и СПбГУ [8, 9, 24], а также с данными отдельных измерений концентрации метана, выполнявшихся с автомобиля с использованием газоанализатора типа ПГА с оптическим датчиком, работающим в диапазоне (0—7000) мг/м³, или с помощью ДЛС-Пергам с пороговой чувствительностью менее 0,1 ppm (<http://www.pergam.ru/articles/detektirovanie-utechek-gaza.htm>). Ультра-спектральная селекция метана возможна на основе использования метода спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) в диапазоне 200—1100 нм. Одним из путей повышения эффективности рассеяния КР является использование методов нелинейной спектроскопии когерентного антистоксового рассеяния света (КАРС) с бигармонической накачкой, при которой возможно усиление сигнала КР в 10⁶ раз и регистрация сверхмалых концентраций УВГ с точностью не менее 20 ppb, что было продемонстрировано на примере измерения в центральной части Санкт-Петербурга на территории ГОИ [14].

Содержание метана в атмосфере над Санкт-Петербургом [19, 21—24] можно определить на основе использования результатов мониторинга концентрации метана в верхней тропосфере с помощью гиперспектрометра AIRS с разрешением

в надире в 13,5 км, установленного на спутнике Aqua. Измерение концентрации метана возможно в области полос поглощения метана на длине волны $\lambda = 1,65$ мкм или в области 3,2—3,4 мкм и на $\lambda = 7,7$ мкм [1, 2, 8, 9, 24]. Наряду с использованием AIRS измерение CH_4 возможно с помощью Фурье-спектрометра (TANSOFTS) со спутника для регистрации парниковых газов (GOSAT) [21]. Мониторинг концентрации метана может быть реализован также на основе измерений IASI-1/MetOp-A и с помощью спектрометра SCIAMACHY, установленного на европейском спутнике *Envisat*.

Аварии и инциденты, связанные с утечкой природного газа

Плотность природного газа при нормальных условиях составляет 0,699 кг/м³. Он является воспламеняющимся газом, а по степени воздействия на организм человека в соответствии с ГОСТ 12.1.007—76 относится к 4-му классу опасности. Предельно допустимая концентрация метана в воздухе для рабочей зоны составляет 300 мг/м³; ее превышение может приводить к взрывам и авариям [4, 5, 10]. Статистика взрывов бытового газа и пожаров в жилых зданиях по РФ с 1988 по 2016 г. свидетельствует о гибели не менее 580 человек ([gasproekt/com > statistika-vzryvov-bytovogo-gaza](http://vawilon.ru/wp-content/uploads/2017/05/), <http://vawilon.ru/wp-content/uploads/2017/05/>) из-за нарушения правил техники безопасности. За 2016 г. в Санкт-Петербурге тоже произошло несколько взрывов из-за неосторожного обращения с газом и неисправного оборудования. Происшествия с утечкой бытового газа, взрывами и пожарами в жилом фонде РФ связаны с переводом газового оборудования в муниципальную собственность и отстранением от участия в контроле газораспределительных организаций.

Инцидент — это отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима технологического процесса. Характерными признаками инцидента в газовом хозяйстве являются отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте газового хозяйства, отклонение от режима технологического процесса, нарушение технологии проведения газоопасных работ, требований производственных инструкций, устанавливающих правила и безопасные методы ведения работ в газовом хозяйстве.

Системы газового комплекса любого уровня, начиная от скважины, магистральных и распределительных газопроводов и заканчивая газовой плитой конечного потребителя, относятся к числу опасных промышленных объектов. Аварии, аварийные ситуации и инциденты, возникающие на системах газового комплекса, зачастую приводят к травматизму и жертвам среди персонала и населения, разрушению зданий и сооружений, различного рода ущербу у эксплуатирующих организаций и потребителей.

Характеристика газораспределительного предприятия ООО «ПетербургГаз»

Предприятия ООО «ПетербургГаз», расположены на всей территории города Санкт-Петербурга. Основное направление деятельности этой организации —

комплексное развитие системы газоснабжения и бесперебойное, устойчивое обеспечение природным газом потребителей Санкт-Петербурга [4, 10].

Опасные производственные объекты, эксплуатируемые ООО «ПетербургГаз», согласно законодательству РФ, подлежат регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов и относятся к следующим классам опасности:

- сеть газоснабжения г. Санкт-Петербурга (3-й класс опасности);
- сети газоснабжений Ленинградской области (3-й класс опасности);
- транспортный участок (4-й класс опасности).

Сеть газоснабжения Санкт-Петербурга — это комплекс сооружений, технических устройств и трубопроводов, обеспечивающих бесперебойную подачу и распределение газа между потребителями в соответствии с их спросом. В ведении ООО «ПетербургГаз» находится газораспределительный комплекс Санкт-Петербурга, включающий:

- газовые сети — 7450,718 км;
- газорегуляторные пункты (ГРП) — 552 пунктов;
- дюкерные переходы — 155 переходов (трубопровод для транспортировки жидкостей или газов, прокладываемый при пересечении водных преград (рек, озер, водохранилищ, морских акваторий и др.).

Основной элемент городской системы газоснабжения — газовые сети, состоящие из газопроводов разного давления:

- низкого давления — до 5 кПа;
- среднего давления — от 5 кПа до 0,3 МПа;
- высокого давления 2-й категории — от 0,3 до 0,6 МПа;
- высокого давления 1-й категории — от 0,6 до 1,2 МПа.

От газораспределительных станций по газопроводам высокого давления 1-й категории газ транспортируется в ГРП высокого давления 1-й категории, где производится снижение давления, и далее по газопроводам высокого давления 2-й категории газ поступает крупным промышленным потребителям города, а также для дальнейшего редуцирования в ГРП высокого давления. Оттуда по газопроводам среднего давления газ транспортируется к промышленным потребителям Санкт-Петербурга и для дальнейшего снижения давления в ГРП среднего давления. После снижения давления в ГРП среднего давления по газопроводам низкого давления газ поступает к многочисленным коммунально-бытовым потребителям [4, 10]. ООО «ПетербургГаз» относится к предприятиям, эксплуатирующим взрывоопасные вещества (природный газ). Максимальный расход природного газа составляет 58 160 241 м³/сут.

К основным причинам возникновения аварий в газовом комплексе относятся следующие:

- 1) *антропогенные воздействия*: наезды автотранспорта, земляные или строительные работы, воздействие посторонних лиц;
- 2) *природные воздействия*: падение деревьев и проводов ЛЭП под воздействием ветра, снегопады и пр.;
- 3) *коррозионные воздействия*: подземная коррозия, атмосферная коррозия;
- 4) *дефекты труб, соединительных деталей, оборудования*;

5) *низкое качество СМР*: дефекты сварки, нарушение технологии засыпки, крепления опор, повреждение или отсутствие изоляции или краски, дефекты или отсутствие электрохимической защиты;

6) *отказ оборудования*: на трубопроводной части, на газоредуцирующих пунктах, компрессорных станциях и т.д.

7) *нарушение условий и режимов эксплуатации*: низкое, неквалифицированное качество обслуживания, внешние воздействия — колебание давления, качество очистки газа, ошибки обслуживающего персонала и т.д. [4, 10].

В рамках сравнения приграничных регионов с СПб на рис. 1 приведена карта энергопотоков в пределах Северной энергосистемы и газовых сетей в Финляндии.

Доля газа в энергопотреблении Финляндии составляет 8 %, тогда как на ядерную, гидроэнергетику и биотопливо приходится 34, 25 и 16 % соответственно (источник Финская газовая ассоциация, www.energiavirasto.fi/documents). Как отмечается в работе [20], для данных регионов характерен низкий уровень утечки метана из газопроводов.

В большинстве случаев аварии на объектах сетей газоснабжения приводят к травматизму и жертвам среди персонала и населения, разрушению зданий и сооружений, причинению ущерба эксплуатирующим организациям и потребителям.

К авариям на сетях газоснабжения следует отнести:

— разрушение (механическое и коррозионное) газопроводов, при которых необходимой мерой обеспечения безопасности является немедленная остановка (перерыв) в газоснабжении города, населенного пункта, многоквартирного дома, частного дома или предприятия;

— разрушение газового оборудования (технических устройств, арматуры, при которых необходимой мерой обеспечения безопасности является немедленная остановка или перерыв в газоснабжении города);

— неконтролируемый взрыв и (или) воспламенение газа [4, 10].

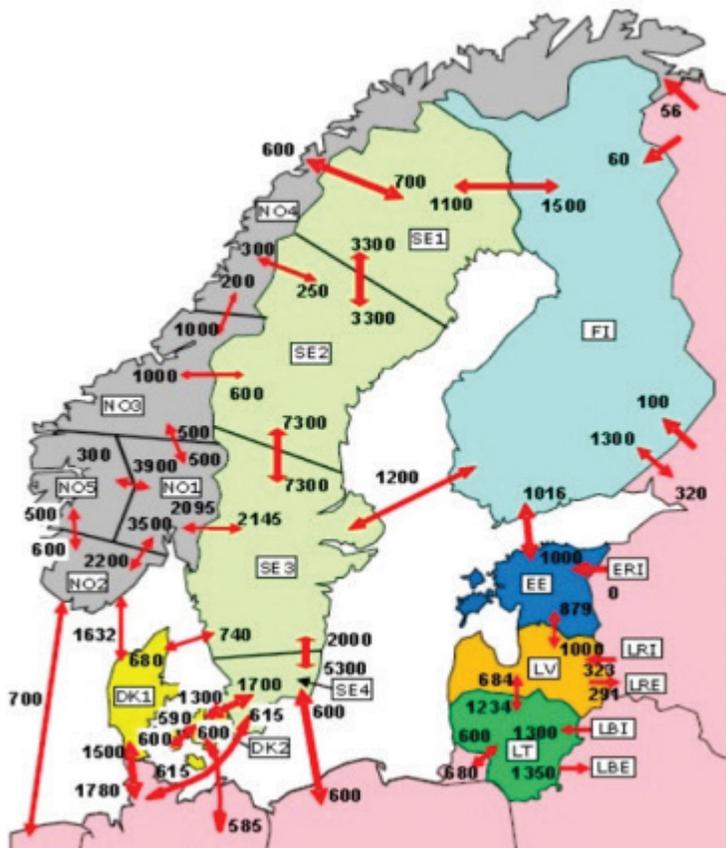
К возникновению наиболее опасных ситуаций на сетях газоснабжения приводят взрывы газа и пожары, которые чаще всего могут возникать вследствие нарушения целостности газопроводов, а именно механических повреждений подземных газопроводов в результате проведения земляных работ и сквозных коррозионных повреждениях.

Статистика инцидентов в РФ и Санкт-Петербурге, связанных с утечками бытового газа метана

Для того чтобы оценить вероятность возникновения инцидентов на распределительных газопроводах города, была собрана информация по числу таких происшествий и объему природного газа, поступившего в результате разрывов трубопровода в атмосферу города. Рассматривался период с начала 2015 г. по конец 2016 г.; за это время на газопроводах предприятия произошло 159 инцидентов, которые охватывают всю территорию Санкт-Петербурга.

В табл. 1 представлено распределение числа инцидентов за период 2015—2016 гг. по кварталам. Наиболее часто они происходили в 3-м квартале года.

а)



б)



Рис. 1. Энергопотоки приграничных с Санкт-Петербургом государств.

а) мощность энергопотоков, б) карта газовых сетей Финляндии в рамках Северной энергосистемы (National Report 2016, Energy Authority, Finland).

Таблица 1

Количество инцидентов за период 2015 — 2016 гг.

Период времени		Инциденты
2015	1 квартал	10
	2 квартал	21
	3 квартал	33
	4 квартал	26
2016	1 квартал	4
	2 квартал	26
	3 квартал	25
	4 квартал	14
Итого		159

Расчет вероятности возникновения инцидентов можно провести с помощью теоремы Пуассона, которая гласит, что если вероятность наступления события в каждом испытании постоянна и мала, а число независимых испытаний достаточно велико, то вероятность того что событие наступит N раз, приближенно описывается формулой

$$P(N, T) = \frac{(\mu \cdot T)^N}{N!} \exp(-\mu T),$$

где параметр распределения Пуассона записан в виде $\lambda = \mu T$, а T — время исследуемого периода. Метод с использованием формулы Пуассона обычно применяют, если производится хотя бы несколько десятков опытов, и только тогда он дает приемлемую точность.

Вероятность возникновения инцидентов в 2015 г., когда их произошло 90, равна $0,7 \cdot 10^{-3}$ на 1000 км газораспределительных сетей СПб. За 2016 г. произошло 69 инцидентов с вероятностью $6 \cdot 10^{-5}$.

По сравнению с предыдущим годом в 2016 г. тмечается положительная тенденция к уменьшению числа инцидентов. Существует определенная зависимость возникновения инцидентов от сезона: большее их число приходится на теплый период года, когда в городе увеличивается объем строительных работ.

На рис. 2 представлен диаграмма объемов выбросов природного газа от инцидентов на городских газопроводах за два года. Расчеты проводились в соответствии с методическими указаниями ООО «ПетербургГаз».

Общий объем природного газа, поступившего в атмосферный воздух в результате инцидентов на распределительных газопроводах города за исследуемый период, составил 169 293,6 м³, или 111 056,6 тонн. Полученные объемы эмиссии природного газа от городских газораспределительных сетей намного превышают суммарные выбросы метана в Санкт-Петербурге от автотранспорта. Так, например, в 2016 г., по данным Росприроднадзора по г. Санкт-Петербургу, последние составили 1,9 тыс. т.

Организация ООО «ПетербургГаз» осуществляет плату за причиненный экологический ущерб окружающей среде в результате возникновения утечки метана.

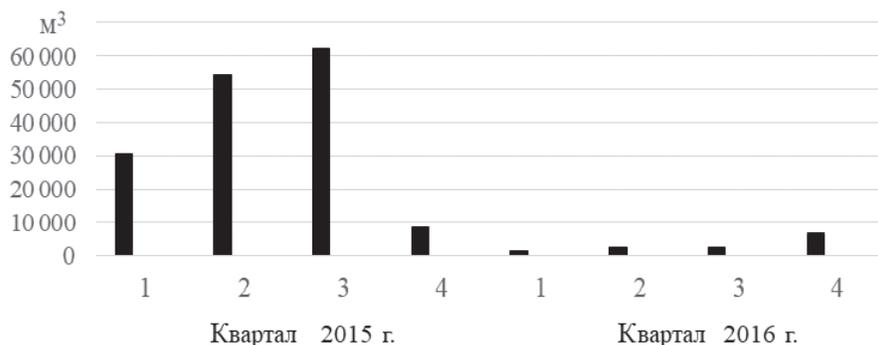


Рис. 2. Объем выбросов природного газа, связанных с инцидентами на газопроводах ООО «ПетербургГаз».

Под экологическим ущербом понимается вред, причиненный окружающей среде, в рублях. Он рассчитывается по формуле

$$\text{ЭУ} = V_{\text{зв}} N_{\text{п}} K_{\text{нп}},$$

где $V_{\text{зв}}$ — фактический выброс загрязняющих веществ (т); $N_{\text{п}}$ — норматив платы ПДВ (руб./т), определяется Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»; $K_{\text{нп}}$ — коэффициент платы в пределах установленного норматива, устанавливается Постановлением Правительства РФ № 255 от 03.03.2017 г. «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду».

На рис. 3 представлена динамика количества денежных средств, которые были потрачены на возмещение экологического ущерба, обусловленного инцидентами на газопроводах города [4] за 2015 и 2016 гг.

Величина экологического ущерба, выплаченного предприятием, составила 466 165,8 тыс. рублей.

На основе компьютерной программы УПРЗА «Эколог 3», разработанной фирмой «Интеграл» в соответствии с положениями «Методики расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятия (ОНД-86)» [12], произведен расчет значений максимальной и валовой концентрации выбросов загрязняющих веществ от источников. На рис. 4 а представлено местоположение всех источников выбросов на карте, а на рис. 4 б отображены круги рассеяния загрязняющих веществ от газораспределительных пунктов ГРП Кировского района.

Как оказалось, наиболее загрязнен метаном Кировский район Санкт-Петербурга, где источники метана с наибольшими концентрациями загрязняющего вещества соответствуют местам расположения ГРП № 131 и ГРП № 272 на улице Танкиста Хрустицкого, ГРП № 146 на Вольном острове, ГРП № 203 на улице Новостроек, ГРП № 216 на Ленинском проспекте, ГРП № 276 и ГРП № 277 на

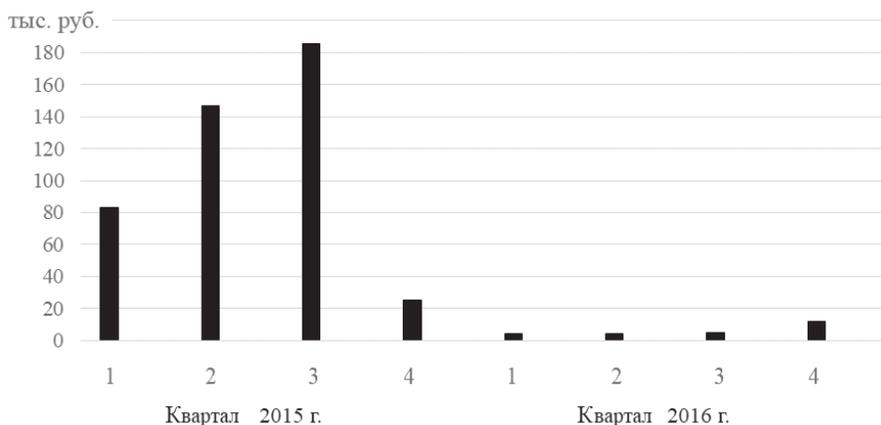


Рис. 3. Экологический ущерб, возмещенный в качестве платы за негативное воздействие на окружающую среду, обусловленное инцидентами на газопроводах ООО «ПетербургГаз».

улице Солдата Корзуна и ГРП № 609 на Броневой улице. Все эти объекты газового хозяйства расположены неподалеку друг от друга, что приводит к росту концентрации метана в Кировском районе, (см. рис. 4 б).

Тем не менее в целом выбросы метана в атмосферу в Санкт-Петербурге от предприятий газораспределительной организации ООО «ПетербургГаз» соответствуют требованиям обеспечения техногенной и экологической безопасности. Выявлены отдельные неблагоприятные условия, связанные с утечками бытового газа в Кировском и Пушкинском районах города, где максимальная концентрация метана превысила ПДК в 6,28 и 3,84 раза соответственно. Средняя концентрация метана, измеренная с помощью газоанализаторов, в целом по городу вблизи ГРП не превышает установленного норматива и составляет $1,56 \text{ мг/м}^3$, что в молярных долях соответствует 2330 ppb для нормальных условий. Результаты измерений общего содержания метана, выполненные при помощи Фурье-спектрометра высокого спектрального разрешения Bruker IFS 125 HR для станции Петергоф (СПбГУ) во всем столбе атмосферы, согласуются с вышеприведенными данными наземных измерений CH_4 и результатами расчетов с использованием модели EMAC (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry Model), разработанной в Институте химии им. Макса Планка [8, 9, 24].

Изменчивость концентрации метана в атмосфере над Санкт-Петербургом и близлежащими регионами

Концентрация метана в атмосфере стала быстро возрастать примерно с 1750 г., что связано с ростом численности населения, началом промышленной революции, ростом сельскохозяйственного производства, увеличением количества отходов и добычей ископаемого топлива.

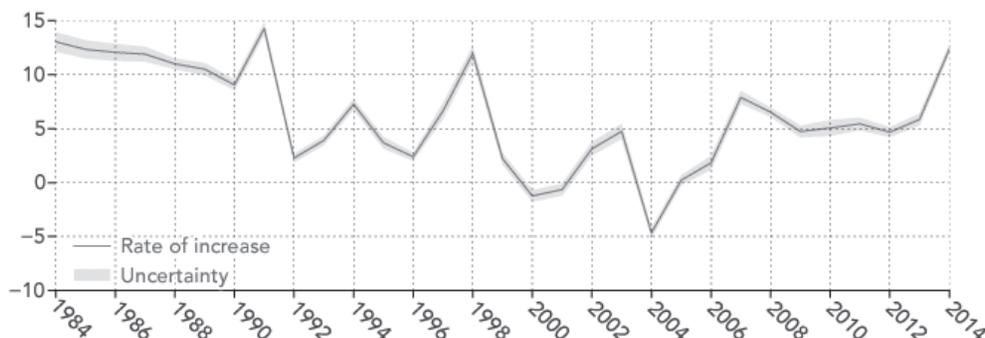


Рис. 5. Глобальная среднегодовая изменчивость концентрации метана (ppb/год) по данным наземного мониторинга [22].

1 — изменчивость концентрации метана, 2 — неопределенность.

Выбросы из природных источников за то же время практически не изменились. В период с 1998 по 2007 г. концентрация атмосферного метана стабилизировалась. Это подтверждается и результатами мониторинга в нашем регионе [4, 6—9, 24].

Согласно данным, собранным Национальным управлением по исследованию океана и атмосферы, в атмосфере начиная с 2012 г. наблюдается увеличение концентрации CH_4 со скоростью 5 ppb в год (рис. 5) [16, 19—23], что приводит к усилению парникового эффекта, который в настоящее время является главным фактором глобального потепления [13].

Многолетний наземный мониторинг парниковых газов в СПб, проводимый сотрудниками Главной геофизической обсерватории с 1996 г. [4, 6, 7], а также в приграничных регионах на станциях Паллас в Финляндии с 2002 г. и в Zeppelin обсерватории в Норвегии с 2002 г. (рис. 6), подтверждает этот глобальный тренд [15—18, 20, 25]. Анализ данных измерений общего содержания CH_4 за 2009—2014 гг., выполненных в Петергофе (СПбГУ), также выявил тренд роста $0,3 \pm 0,2$ % в год [24].

Среднегодовая концентрация метана над Санкт-Петербургом составила 2060 ± 5 ppb, а за его пределами 1950 ± 5 ppb, т.е. вклад метана в загрязнение атмосферы над городом на 110 ± 10 ppb выше по сравнению с соответствующей концентрацией над загородной зоной [6].

Изменчивость концентрации CH_4 в 20 ppb регистрируется также в атмосфере с помощью прибора AIRS, установленного на спутнике Aqua (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/additional/faq/faq.shtm>).

На основе использования результатов измерения излучения на длине волны 7,7 мкм с помощью гиперспектрометра AIRS (при измерении в надиры с разрешением 13,5 км и угле сканирования $\pm 48,95^\circ$), установленного на спутнике Aqua, и вычислительного пакета AIRS/AMSU до уровней 1В и 2 канала 59 по версия 6 алгоритма (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/additional/faq/faq.shtm>) была восстановлена изменчивость концентрации CH_4 в верхней тропосфере на изобарической поверхности 700 гПа в зоне $3 \times 3^\circ$ с центром в точке 60° с.ш., 30° з.д. над СПб и над приграничными районами (рис. 7).

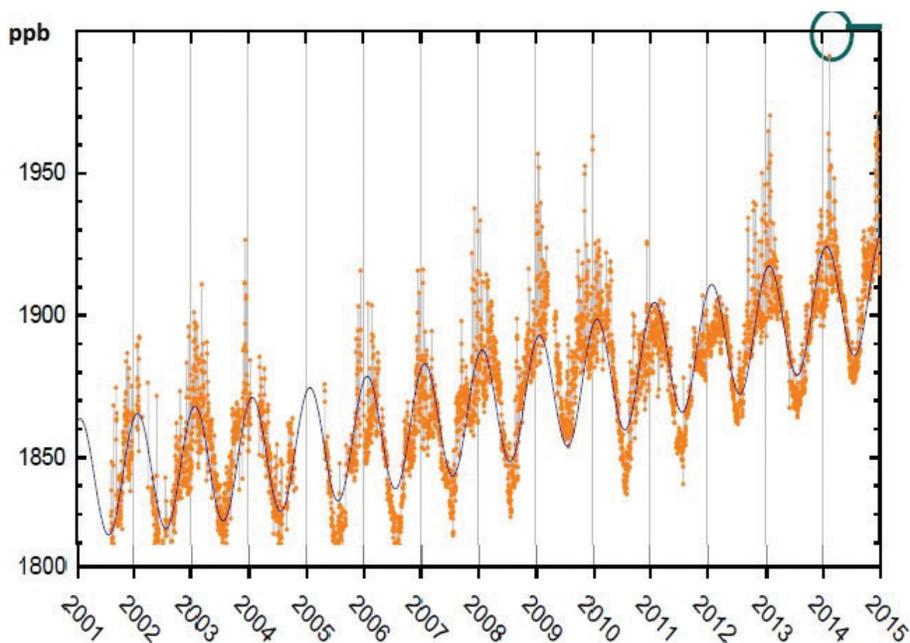


Рис. 6. Изменчивость концентрации CH_4 по данным Zeppelin обсерватории.

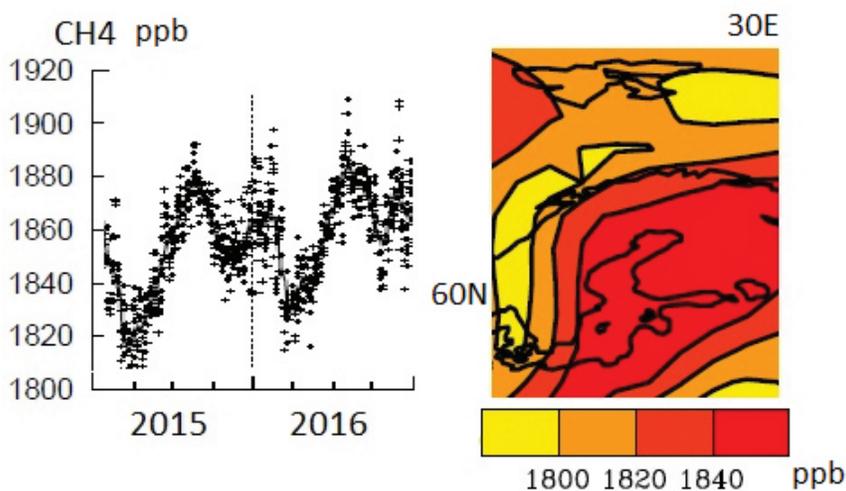


Рис. 7. Изменчивость концентрации метана в атмосфере над Санкт-Петербургом и приграничными районами по данным дистанционных измерений.

а) изменчивость концентрации метана в атмосфере по данным измерений с помощью прибора AIRS, установленного на спутнике Aqua; б) среднемесячная концентрация метана на изобарической поверхности 700 гПа за январь 2016 г. для региона Балтийского моря по данным Aqua (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/additional/faq/faq.shtml>) [25].

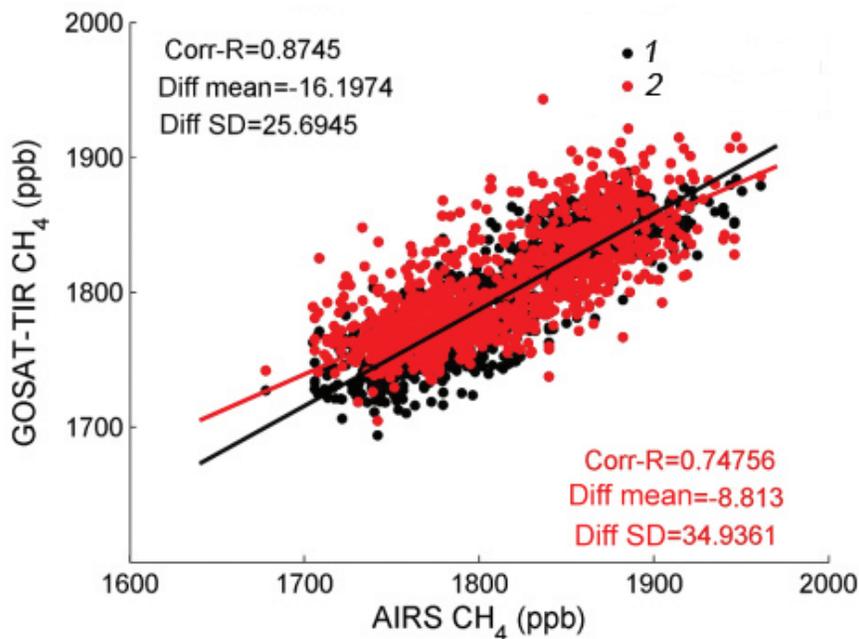


Рис. 8. Сравнение сглаженных (1) и несглаженных (2) данных о концентрации метана, полученных приборами AIRS и GOSAT TANSO-FTS TIR для слоя 575—777 гПа (среднее 671 гПа) за 4 сентября 2010 г. для широты 60° с.ш. [21].

Вследствие циркуляционных процессов объемная концентрация метана в верхней тропосфере как над СПб, так и над приграничными регионами характеризуется среднегодовыми значениями на уровне 1860 ppb, тогда как по данным наземных измерений концентрация CH₄ в тех же регионах выше и составляет 1900—2300 ppb.

Данные наземных и дистанционных измерений концентрации CH₄ в атмосфере не противоречивы и сопоставимы. Сравнение данных о содержании метана в слое 575—777 гПа (среднее 671 гПа) за 4 сентября 2010 г. для широты 60° с.ш., полученных с помощью гиперспектрометра AIRS, установленного на спутнике Aqua, и GOSAT TANSO-FTS TIR японского спутника (рис. 8), показало, что коэффициент корреляции для сглаженных данных составил 0,875, а для несглаженных — 0,748 [21, 22].

Заключение

Среднегодовая концентрация метана над городом в молярных долях составляет 2060 ± 5 ppb, а за его пределами 1950 ± 5 ppb, то есть вклад метана в загрязнение атмосферы над городом на 110 ± 10 ppb выше, чем над загородной зоной.

На основе результатов измерения излучения на $\lambda = 7,7$ мкм с помощью гиперспектрометра AIRS, установленного на спутнике Aqua, и вычислительного

пакета AIRS/AMSU (до уровней 1В и 2 канала 59 по версия 6 алгоритма (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/additional/faq/faq.shtm>)) была восстановлена изменчивость концентрации метана в верхней тропосфере на изобарической поверхности 700 гПа в зоне с центром в точке 60° с.ш. и 30° з.д. над Санкт-Петербургом и над приграничными районами. Вследствие циркуляционных процессов объемная концентрация метана в верхней тропосфере как над Санкт-Петербургом, так и над приграничными регионами характеризуется значениями на уровне 1860 ppb, тогда как по данным наземных измерений вклад метана в загрязнение атмосферы над городом на 110±10 ppb выше, чем над загородной зоной и приграничными регионами.

Данные наземных и дистанционных измерений концентрации метана в атмосфере не противоречат друг другу и сопоставимы, несмотря на разный уровень чувствительности используемой аналитической аппаратуры [5, 7, 25]. Наибольшее загрязнение воздуха наблюдалось вблизи отдельных ГПП Кировского и Пушкинского районов Санкт-Петербурга, где максимальные значения концентрации метана превышали ПДК в 6,3 и 3,8 соответственно, но в целом средняя концентрация метана вдоль газораспределительных сетей в городе не превышает установленный норматив и составляет 1,56 мг/м³, или в молярных долях 2330 ppb. За исследуемый период 2015—2016 гг. произошло 159 инцидентов на газораспределительных сетях Санкт-Петербурга, что повлекло за собой утечки природного газа объемом в 169 293 м³, или 111 056 т, а размер компенсации экологического ущерба, выплаченной предприятием, составил 466 165 тыс. рублей.

Список литературы

1. Арефьев В.Н., Акименко Р. М., Кашин Ф.Б., Упэнэк Л.Б. Фоновая составляющая концентрации метана в приземном воздухе (станция мониторинга «Обнинск» // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 6. С. 1—9.
2. Ахмедов Э.Р., Понуровский Я.Я. Газоанализатор дистанционного измерения концентрации метана на основе диодного лазера ближнего ИК диапазона и выносного оптоволоконного датчика // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 2 (7). С. 67—83.
3. Бажин Н.М. Метан в окружающей среде: аналитический обзор // Изд. ГПНТБ СО РАН, 2010. Сер. Экология. Вып. 93. 56 с.
4. Биненко В.И., Северюхина А.С. Оценка экологической безопасности газораспределительных сетей в г. Санкт-Петербурге // Региональная экология. 2016. № 2 (44) — 3 (45). С. 68—75.
5. Биненко В.И., Решетников А.И., Шевчук Н.О. Анализ изменчивости концентрации углекислого газа на основе наземных и спутниковых измерений на региональном уровне // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 38. С. 175—187.
6. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / А.В. Фролов и др. М.: Группа Море, 2014. 60 с.
7. Макарова М.В. и др. Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере Северо-Западного региона Российской Федерации // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 237—249.
8. Макарова М.В. и др. Годовой ход и долговременный тренд содержания атмосферного метана в районе Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 4. С. 493—501.
9. Лагутин А.А., Мордвин Е.Ю., Шмаков И.А. Содержание метана в Западной Сибири в тропосфере по данным AIRS/Aqua // Известия АлтГУ. 2012. № 1. С. 191—197.
10. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». М., 2009.

11. *Малинин В.Н.* Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГТМУ. 2017. № 48. С. 11—32.
12. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
13. Fifth Assessment Report. The Physical Science Basis includes assessment of climate change observations through out the climate system; sea level change IPCC // Climate Change. 2013. 1535 p.
14. *Grishkanich A.S.* et al. Laser remote spectroscopy for geological exploration of hydrocarbons deposits // SPIE/COS Photonics Asia. International Society for Optics and Photonics, 2014. P. 92741L-92741L-6.
15. *Bader W.* et al. The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005 // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17 (3). P. 2255—2277. <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/additional/faq/faq.shtm>
16. *Jacob D.J.* et al. Satellite observation of atmospheric methane and their value for quantifying methane emission // Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16. P. 14 371—14 396.
17. Low methane leakage from gas pipelines / J. Lelieveld, S. Lechtenböhmer, S.S. Assonov et al. // Nature. 2005. V. 434. P. 941—942.
18. Monitoring of greenhouse gases and aerosols at Svalbard and Birkenes in 2014 / Annual report. Environmental monitoring. 2015. M415. 96 p.
19. *Nadezhdinsky A.I.* et al. Preliminary results of an aircraft system based on near-IR diode lasers for continuous measurements of the concentration of methane, carbon dioxide, water and its isotopes // Appl. Phys. B. 2012. V. 109. P. 505—510.
20. National Report 2016. Energy Authority. Finland. 50 p.
21. Satellite observation of atmospheric methane: intercomparison between AIRS and GOSAT TANSO-FTS retrievals Mingmin Zou, Xiaozhen Xiong, Naoko Saitoh, Juying Warner, Ying Zhang, Liangfu Chen, Fuzhong Weng, and Meng Fan // Atmos. Meas. Tech. 2016. V. 9. P. 3567—3576.
22. *Susskind J.* et al. Improved methodology for surface and atmospheric soundings, error estimates, and quality control procedures: the atmospheric infrared sounder science team version-6 retrieval algorithm, error estimates // Appl. Remote Sens. 2014. V. 8, Is. 1.
23. The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space / J.P. Barrows, U. Platt, P. Borrell (eds.). London — New York: Springer, 2011. 548 p.
24. *Timofeyev Y.* et al. Ground-based spectroscopic measurements of atmospheric gas composition near Saint Petersburg (Russia) // J. Molecular Spectroscopy. 2016. V. 323. P. 2—14.
25. Greenhouse Gas // Bulletin WMO. 2016. № 12.