

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

ИФА им. А.М. Обухова РАН



В.А. Семенов

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН) на диссертацию Неробелова Георгия Максимовича «ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННЫХ ЭМИССИЙ CO₂ МЕГАПОЛИСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Актуальность темы диссертации

Углекислый газ (CO₂) является одним из наиболее важных парниковых газов, влияющих на радиационный баланс Земли и климатические изменения. Последние десятилетия концентрация CO₂ в атмосфере неуклонно росла в результате человеческой деятельности, в особенности связанной со сжиганием ископаемого топлива. Для уменьшения антропогенного воздействия на изменение климата было заключено несколько международных соглашений, направленных на учет и сокращение выбросов парниковых газов. Точная и надежная система мониторинга антропогенных выбросов является основой таких соглашений, а также исследований углеродного цикла и изменения климата, обосновывающих их.

Современная система учета выбросов городов основывается, в основном, на инвентаризации данных, представляемых предприятиями. В диссертации Г.М. Неробелова исследуется альтернативный метод, основанный на сочетании различных по сложности и точности моделей физико-химических процессов в атмосфере с дистанционными измерениями содержания CO₂ в атмосфере, полученными одновременно в наветренной и подветренной стороны города Санкт-Петербурга. Актуальность темы диссертации связана с возможностью получения объективных оценок эмиссий CO₂ мегаполисом на основе подхода альтернативного существующему ныне инвентаризационному механизму.

Структура и содержание работы

Содержательная часть диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. В целом работа включает 144 стр., содержит ссылки на 170 источников.

В главе 1 диссертации обоснована актуальность исследования изменений состава атмосферы для задач изучения причин изменения и прогнозирования климата Земли, на основе выполненного обзора публикаций даны оценки основных источников и стоков CO_2 в атмосфере, рассмотрены методы измерения содержания CO_2 , дан критический анализ методов оценки эмиссий CO_2 .

Во главе 2 рассмотрена методика получения эмиссий города С.-Петербурга на основе боксовой модели по измерениям общего содержания (ОС) CO_2 с наветренной (фоновые содержания) и подветренной (загрязненный воздух) сторонах города, полученным в ходе кампании ЕММЕ в 2019-2020 гг. При этом рассматриваются различные возможные подходы к коррекции априорных пространственных распределений эмиссий инвентаризационной базы ODIAC, на основе чего делаются оценки возможных погрешностей разработанного метода и базы ODIAC. Оценка суммарной антропогенной эмиссии CO_2 Санкт-Петербурга за 2019 г. на основе разработанного метода составляет 91 ± 19 Мт/год.

В главе 3 диссертации рассматривается более точная химико-транспортная модель WRF-Chem. На первом этапе на основе сравнения модели с данными измерений CO_2 в толще атмосферы в городах С.-Петербурге и Хельсинки выполнена адаптация модели к изучаемому региону. Далее выполнена валидация адаптированной диссертантом версии модели WRF-Chem на основе сопоставления с измерениями XCO_2 на станции в Петергофе. В частности, показано, что лучшее согласие с измерениями и коррекция систематической ошибки достигается при определенной корректировке XCO_2 граничных условий, получаемых по более грубой модели CAMS. При выполнении предложенных автором корректировок погрешности моделирования ОС CO_2 будут соответствовать требованиям, которые нужно выдвигать численным моделям для решения задачи оценки антропогенных эмиссий CO_2 (0.2%) для С.-Петербурга.

В главе 4 автор исследует отличие временного хода разности ОС CO_2 в наветренной и подветренной точках эксперимента ЕММЕ от результатов

моделирования адаптированной модели WRF-Chem с использованием нескольких сценариев корректировки эмиссий инвентаризационной базы ODIAC. На основе выполненного анализа делается вывод о сценарии, дающем наилучшее согласие с экспериментом. Полученная автором суммарная антропогенная эмиссия CO₂ С.-Петербурга за 2019 г. на основе решения обратной задачи атмосферного переноса с помощью модели WRF-Chem составляет 62±21 Мт/год. В целом оценки объема выбросов CO₂, полученные в диссертации, согласуются в пределах заявленных ошибок ~19-21 Мт/год с оценками, лежащими в интервале 65-76 Мт/год и выполненными на основе измерений ОС CO₂ кампании ЕММЕ в работах других авторов.

В заключении приведены основные полученные результаты и сделаны выводы о возможном направлении дальнейшей работы.

Основные научные результаты, полученные в работе:

Среди полученных автором диссертационной работы результатов, особую значимость представляют следующие положения, которые в значительной мере определяют новизну работы:

- Оценка антропогенных эмиссий CO₂ города С.-Петербурга с использованием одномерной боксовой модели, учитывающая охват территории города - 76–105 Мт/год при средней оценке 91±19 Мт/год. Оценка основана на данных ОС CO₂ измерительной кампании ЕММЕ в 2018-2019 гг.
- Адаптированная к условиям С.-Петербурга химико-транспортная модель WRF-Chem, которая позволяет описывать изменение содержания CO₂ в атмосфере за год с высоким пространственным разрешением (2-3 км) со средним расхождением от измерений на менее 0.6%.
- Оценка вклада поверхности Финского залива в содержание CO₂ в районе С.-Петербурга - менее 1% антропогенного вклада города, показано, что этот вклад может не учитываться при численном моделировании переноса CO₂ в атмосфере на территории города.
- Исследование влияния на оценки эмиссий CO₂ города С.-Петербурга с использованием модели WRF-Chem сценариев возможной корректировки пространственного распределения эмиссий по территории города. По сценарию,

имеющему наилучшее согласие с экспериментом, оценка мощности выбросов CO₂ составляет 62±21 Мт/год. Оценки основаны на данных ОС CO₂ измерительной кампании ЕММЕ в марте-апреле 2019 гг.

- Показано, что оценки на основе решения обратной задачи атмосферного переноса превышают значения на основе инвентаризации на 11-27%.

Достоверность и обоснованность основных результатов исследования

Обоснованность результатов исследования подтверждается использованием химико-транспортных моделей, основанных на математически обоснованных принципах их построения, и валидированных в многочисленных сравнениях, дополнительно адаптированных и валидированных автором для региона исследования, привлечением экспериментальных данных, полученных с использованием опробованных в международные сети наблюдения методов и средств измерения.

Положения, выносимые на защиту, в достаточной степени подтверждены результатами численного моделирования с рассмотрением различных сценариев, описывающих вариации неизвестных параметров, и сравнениями с результатами других групп.

Результаты, представленные в диссертации, докладывались на российских и международных тематических конференциях. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus.

Значимость полученных автором диссертации результатов

Автором показана возможность адаптации и дальнейшего использования трехмерной мерной химико-транспортной модели WRF-Chem в применении к оценке выбросов мегаполиса Санкт-Петербурга по измерениям общего содержания CO₂.

Полученные автором оценки выбросов CO₂ мегаполиса С.-Петербурга на основе интерпретации натуральных спектроскопических измерений ОС углекислого газа с использованием химико-транспортных моделей превышают значения на основе инвентаризаций на 11-27%. Они согласуются с оценками, полученными по

тем же измерениям с привлечением других подходов к химико-транспортному моделированию. Это указывает на необходимость развития независимых методов оценки эмиссий CO_2 , которая позволит валидировать существующие инвентаризации выбросов углекислого газа в атмосферу и выполнять не зависящие от них оценки мощности выбросов примесей.

Автором показан малый вклад водной поверхности Финского залива в оценки антропогенных эмиссий CO_2 С.-Петербурга даже при экстремальных метеорологических условиях. Это означает, что при оценке антропогенных эмиссий CO_2 Санкт-Петербурга вкладом водной поверхности Финского залива можно пренебрегать при дальнейших исследованиях проблемы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Достаточно большой разброс оценок эмиссий при имевшемся у автора наборе измерений ОС CO_2 , лишь частично покрывавшем границы территории С.-Петербурга, указывает на необходимость перехода к выполнению систематических измерений, в том числе для оптимизации покрытия города измерениями, для получения более точных оценок мощности выбросов.

Разработанные автором подходы и методы могут быть использованы организациями Росгидромета, Минприроды России, Минэкономразвития России, при надлежащем обеспечении экспериментальными данными для оценки объемов выбросов крупных городов и промышленных районов.

Замечания по тексту диссертации

1. Исходными экспериментальными данными для полученных в диссертации результатов являются серии измерений в ходе кампании ЕММЕ. К сожалению, в тексте отсутствует раздел с достаточно подробным описанием использованного экспериментального материала, а лишь очень кратко даны несколько положений, использованных при планировании дизайна кампании ЕММЕ, и дана ссылка на сайт с экспериментальными данными. В дальнейшем описание используемых данных разбросано по различным параграфам. Структура диссертации стала бы лучше, если бы автор до начала использования данных описал именно те данные

кампании ЕММЕ, которые были признаны качественными для данной работы, даты, места, периодичность, количество и другие характеристики измерений.

2. На страницах 14, 62, 63, 113 сравниваются оценки объема выбросов, полученные по двум методикам, одна из которых учитывает, а другая не учитывает ограниченное покрытие города измерениями. При этом во всех случаях указывается, что результаты двух методик отличаются на одну и ту же величину относительной ошибки ~22-55%, хотя, судя по контексту и по смыслу формулировок, различается то, какая из двух методик, оценки которой приняты за 100%. Т.е. в некоторых случаях не произведен пересчет относительной ошибки. Также, на стр. 63 указано, что «методика ... представляет для антропогенных эмиссий CO₂ за 2019 г. в диапазоне 52–105 Мт/год.», хотя выше в Табл. 2 значение 52 Мт/год фигурирует для 2018 г. На стр. 14 для той же оценки эмиссий указан диапазон «76–105 Мт/год.», что соответствует Табл.2.

3. Часть аббревиатур не представлены в списке сокращений. Например, «СОР», «СР» – даны в тексте при первом использовании, «КК» - в подписи к таблице на стр. 87 уже после первого использования. Аббревиатуры в списке сокращений не расположены в алфавитном порядке.

Высказанные замечания не снижают ценности и значимости выполненного автором исследования, достоверности и обоснованности полученных в работе результатов и выводов.

Заключение

В целом диссертация Г.М. Неробелова «ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННЫХ ЭМИССИЙ CO₂ МЕГАПОЛИСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ» является завершённым научным исследованием, логически построенным, написана хорошим ясным языком. Выводы и заключения обоснованы. Работа соответствует пунктам 1, 2, 3, 17 паспорта специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 и требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор Неробелов Георгий Максимович заслуживает присуждения искомой ученой степени – кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Доклад Г.М. Неробелова по диссертацию был заслушан и обсужден на открытом заседании семинара Отдела исследования состава атмосферы (ОИСА) ИФА им. А.М. Обухова РАН Отзыв составлен по результатам обсуждения диссертации, заслушан и одобрен на заседании семинара ОИСА, протокол № 03 от 25.04.2024.

Главный научный сотрудник ИФА им. А.М. Обухова РАН
руководитель семинара ОИСА,
член-корреспондент РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор

Н.Ф. Еланский

Ведущий научный сотрудник ИФА им. А.М. Обухова РАН
кандидат физ.-мат. наук

О.В. Постыляков

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Сокращенное наименование организации: ИФА им. А.М. Обухова РАН

Почтовый и фактический адрес организации: 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 3

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://ifaran.ru/index.html>

Адрес электронной почты: ifaran@ifaran.ru

Телефон: . (495) 951-55-65, факс (495) 953-16-52

Подпись Еланского Н.Ф. и

Постылякова О.В. заверено

Уполн. О/к и Д. Орлова



Орлова В.В.