

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Юрия Александровича Штабкина «Региональные источники тропосферного озона в Северной Евразии», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Предметом выполненного соискателем исследования являются процессы, определяющие приземное содержание озона – одной из важнейших малых примесей атмосферы – над территорией Северной Евразии. Основное внимание в работе уделяется изучению фотохимической генерации озона в крупномасштабных шлейфах антропогенных загрязнений атмосферы от региональных источников. Изучение процессов, определяющих содержание озона в приземном слое атмосферы, в настоящее время представляет значительный интерес в контексте актуальных проблем загрязнения и изменения климата, поскольку, с одной стороны, озон оказывает негативное влияние на здоровье людей и состояние растительности, а с другой стороны, он является одной из важнейших климатически значимых примесей. Хотя активные экспериментальные и модельные исследования тропосферного озона осуществляются как в России, так и в мире, уже в течение нескольких десятилетий, количественное понимание основных факторов, определяющих содержание озона в приземном слое и свободной тропосфере, все еще остается недостаточным. Дальнейшего количественного изучения особенно требуют процессы, которые влияют на содержание озона в крупных регионах Северной Евразии, удаленных от мощных антропогенных источников загрязнения атмосферы. Исследование, выполненное Ю.А. Штабкиным, в значительной мере восполняет имеющиеся пробелы в существующем количественном понимании таких процессов. Указанные обстоятельства обуславливают **высокую актуальность** выполненного исследования.

Методической основой выполненного исследования является творческое применение современной глобальной транспортно-химической модели (ТХМ). Такие модели широко и продуктивно используются в мире, однако опыт их применения для исследования состава атмосферы в России является весьма ограниченным. Соискатель продемонстрировал уверенное владение этим сложным инструментом атмосферных исследований. В выполненном им исследовании глобальная ТХМ впервые в России применена для систематического исследования факторов, определяющих содержание приземного озона в удаленных регионах Северной Евразии, что определяет **высокую степень научной новизны** выполненного исследования.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы, содержит 22 рисунка и 7 таблиц. Список цитированной литературы включает 114 наименований. Содержание диссертации изложено грамотным языком в ясной, сжатой и в логической оправданной манере на 114 страницах. По результатам диссертации соискателем сделаны 22 публикации, 8 из которых – это статьи в реферируемых научных изданиях, включая 5 статей в российских научных журналах из списка ВАК (Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Доклады академии наук, Оптика атмосферы и океана). В двух статьях соискатель является первым автором.

Введение обосновывает актуальность, научную новизну, достоверность, практическую и научную значимость выполненного исследования. Кроме того, введение содержит краткое изложение содержания всей диссертации, описание целей, задач и методов исследования, формулировки основных положений, выносимых на защиту, рекомендации по дальнейшему использованию результатов работы, информацию о личном вкладе автора в выполненное исследование, об апробации полученных результатов, а также о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации приводится подробный обзор исследований приземного озона в Северной Евразии, которые были выполнены за последние два десятилетия. Особое внимание уделено роли антропогенного загрязнения и дальнего переноса как ключевых факторов, определяющих наблюдаемые уровень и изменчивость концентрации озона в этом регионе. В этой же главе дано описание TXM GEOS-Chem, включающее основные сведения о конфигурации модели в выполненных численных экспериментах, а также представлены результаты валидации модельных расчетов на основе их сопоставления с данными измерений концентраций оксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x) и озона (O₃) на международной станции ZOTTO.

Вторая глава посвящена численным экспериментам, выполненным с целью получения количественных оценок вкладов различных типов источников (антропогенных и биогенных эмиссий, а также природных пожаров) в приземное содержание CO в континентальных районах Северной Евразии. В контексте задач диссертационного исследования CO рассматривается, главным образом, как трассер, позволяющий идентифицировать крупномасштабные шлейфы загрязнения атмосферы от антропогенных источников и природных пожаров. В рамках проведенных экспериментов весь макрорегион Северной Евразии был разбит на 8 отдельных регионов, и была выполнена серия расчетов, в каждом из которых был отключен один из типов источников в одном из регионов. По результатам экспериментов получены пространственно-временные поля атмосферного отклика (АО) содержания CO на эмиссии заданного типа в заданном регионе для периода с 2007 по 2011

годы. Основные результаты касаются сезонных значений АО в ZOTTO и представлены в сводной диаграмме (рис. 7) и в таблице (Табл. 2.).

В третьей главе диссертации, которую можно признать основной, представлено численное исследование, основной задачей которого являлось получение и анализ количественных оценок чувствительности отношения смеси приземного озона в Северной Евразии к эмиссиям его предшественников в том же регионе. В рамках исследования было выполнено большое количество систематических расчетов с TXM GEOS-Chem, в каждом из которых по отдельности варьировались суммарные антропогенные эмиссии NO_x и биогенные эмиссии летучих органических соединений (ЛОС) в четырех географических районах (Западной Европе, Европейской территории России, Сибири и Юго-Восточной Азии). Теоретически обоснована и применена методика оценки эффективности производства озона на основе измерений или расчетов семейства азотных соединений (NO_z), являющихся продуктами фотохимических реакций оксидов азота. Представлены полученные пространственные поля АО отношения смеси озона для зимних и летних месяцев. Особое внимание, как и во второй главе, уделено анализу величин АО для станции ZOTTO. Проанализирована зависимость эффективности производства озона от фотохимического возраста воздушной массы. Отдельный раздел третьей главы посвящен оценкам суммарного баланса приземного озона в рассматриваемых географических районах Северной Евразии. Для каждого из районов отдельно оценены суммарные химические источники и стоки озона, осаждение, зональная, меридиональная и вертикальная компоненты переноса. Выявлены и проанализированы значительные сезонные вариации компонент регионального баланса приземного озона.

Материалы, представленные в диссертации, в целом выглядят логически связанными, а их распределение по главам представляется оптимальным и оправданным. Среди основных результатов диссертационного исследования, которые суммируются в **Заключении**, хотелось бы выделить следующие:

- Установлен среднеширотный крупномасштабный шлейф загрязненного воздуха, охватывающий западную часть Северной Евразии и Восточную Сибирь и формируемый антропогенными эмиссиями в наветренных регионах, включая Западную Европу, Европейскую территорию России и промышленные регионы Сибири.

- Приземное содержание озона в удаленных районах Северной Евразии в значительной мере определяется антропогенными эмиссиями NO_x на фоне локальных биогенных эмиссий ЛОС.

- Эффективность фотохимического производства озона в расчете на одну молекулу NO_x возрастает по мере удаления от источников вместе с увеличением фотохимического возраста воздушной массы. Фотохимическая наработка озона в Западной Европе, над

Европейской территорией России и в Сибири в теплое время года компенсируется горизонтальным переносом, при этом все указанные регионы являются регионами-донорами для областей подветренного переноса.

Отмеченные результаты представляются наиболее востребованными в контексте современного состояния атмосферных исследований и отличаются высокой оригинальностью.

Результаты диссертационного исследования получены при использовании апробированных методов, к которым, прежде всего, следует отнести расчеты на основе ТХМ GEOS-Chem, являющейся, пожалуй, наиболее “продвинутой” и широко используемой глобальной ТХМ в мире. Численные результаты удачно дополнены и подкреплены результатами альтернативного аналитического анализа. Все это позволяет считать результаты диссертации достаточно **обоснованными и достоверными**.

Вместе с тем, отмечая актуальность диссертационного исследования Ю.А. Штабкина, его новизну и научную значимость, хотелось бы высказать следующие замечания как по сути выполненного исследования, так и его представлению в диссертации.

1. В обзоре современного состояния исследований фотохимической системы нижней тропосферы Северной Евразии (раздел 1.1 первой главы) недостаточное внимание уделено исследованиям на основе различных ТХМ, особенно исследованиям, осуществленным в российских организациях. Детальный обзор таких исследований был бы более чем уместен ввиду того, что в данной диссертационной работе именно ТХМ является основным инструментом исследования.
2. В разделе 1.2 желательно было бы уделить больше внимания конкретным особенностям конфигурации модели ТХМ GEOS-Chem в численных экспериментах соискателя, вместо того чтобы описывать все предлагаемые модельные опции, подавляющая часть которых соискателем не использовалась. Например, не указано, с каким временным шагом выполнялись вычисления, учитывались ли суточные и недельные вариации антропогенных эмиссий, каким образом антропогенные эмиссии распределялись по высоте.
3. Из результатов, представленных на рис. 1, следует, что модель в целом занижает концентрацию NO_x в теплый сезон. Это занижение – независимо от его причин – может означать, что модельные расчеты завышают чувствительность озона к антропогенным эмиссиям NO_x в условиях NO_x -лимитирующего режима. Было бы полезно прокомментировать соответствующую неопределенность полученных модельных оценок. Было бы также полезно отметить в этой связи, что одной из причин систематического занижения моделью как концентраций NO_x , так и CO в Сибири может являться

установленное в других исследованиях занижение эмиссий от пожаров в Сибири базой данных GFED.

4. Согласно определению атмосферного отклика (АО), приведенному в разделе 2.1 (стр. 50), расчет с отключенными эмиссиями рассматриваемого типа сопоставляется с расчетом, в котором учтены и могут взаимодействовать эмиссии всех типов. Практически такое определение подразумевает, что, например, полученная оценка АО отношения смеси CO на биогенные эмиссии включает в себя производство CO в результате катализа окисления биогенных ЛОС оксидами азота как от антропогенных эмиссий, так и от эмиссий от пожаров. Аналогично, представленные в диссертации ниже (раздел 3.3) АО отношения смеси озона на антропогенные эмиссии NOx, включают в себя, в частности, эффекты взаимодействия антропогенных эмиссий NOx с эмиссиями ЛОС от других типов источников. В этой связи было бы полезно провести сопоставление полученных оценок АО с более прямыми оценками, при которых АО рассчитывался бы как разность расчетов, выполненных с учетом только данного типа эмиссий, и расчета с нулевыми эмиссиями всех типов. Во всяком случае, был бы очень уместен развернутый комментарий, поясняющий физический смысл принятого определения АО и потенциальную роль взаимодействия эмиссий различных типов.
5. В том же разделе 2.1 на основании близких значений двух оценок суммарных эмиссий CO, полученных путем применения аналогичных методов (основанных в обоих случаях на использовании спутниковых измерений выжженной площади), сделан вывод о том, что «полученные оценки АО на эмиссии от пожаров можно считать достаточно надежными». К сожалению, этот вывод, по-видимому, не учитывает не только имеющиеся в литературе многочисленные указания на существенное занижение эмиссий от пожаров в Северной Евразии базой данных GFED, но и то, что даже приведенные в диссертации (Табл. 1) альтернативные оценки эмиссий от пожаров для одних и тех же регионов (напр., ЮЕТР и СДВ) различаются в разы.
6. В разделе 3.3 описываются ключевые, для данного диссертационного исследования, численные эксперименты, в которых определяются АО приземного озона на изменения антропогенных и биогенных источников. К сожалению, эти эксперименты, в которых варьировались только антропогенные эмиссии NOx и биогенные эмиссии ЛОС, оставляют «за кадром» роль как антропогенных эмиссий ЛОС, так и биогенных эмиссий NOx. Поскольку целый ряд углеводородов характеризуются большим атмосферным временем жизни, чем NOx, можно предположить, в частности, что антропогенные эмиссии ЛОС в определенных условиях могут вносить заметный вклад в формирование озона, причем не только вблизи источников, но и в удаленных регионах. Было бы полезно, если бы роль антропогенных эмиссий ЛОС и биогенных эмиссий NOx в

процессах формирования озона в Северной Евразии была прояснена соискателем, в идеале путем прямых численных экспериментов.

7. В диссертации рассматриваются АО только для сезонно-усредненных дневных максимумов приземных отношений смеси озона. В то же время, в контексте проблемы качества воздуха, было бы более интересно рассмотреть аналогичные оценки для высоких перцентилей дневных максимумов отношения смеси (в теплый сезон). С другой стороны, в контексте изучения климатической роли озона, было бы полезно рассмотреть АО для интегрального тропосферного содержания озона.
8. В разделе 3.5 хотелось бы видеть пояснение о том, каким образом рассчитывался вертикальный поток озона. Учитывались ли при этом как турбулентная, так и адвективная составляющие потока? Имеется ли здесь в виду поток, связанный только с градиентом отношения смеси озона, или полный поток, определяемый переносом всего воздуха через границу выделенной области?
9. Ссылки на литературу в тексте диссертации даются с указанием фамилии первого автора и года, но при этом список литературы по алфавиту не упорядочен. В итоге пользоваться этим списком крайне затруднительно.
10. Представленные на черно-белых контурных рисунках пространственные распределения ряда рассчитанных величин трудно читаемы. Предпочтительнее было бы представить эти распределения в цвете.

Сделанные замечания не влияют на степень обоснованности положений, выносимых на защиту, и имеют, в основном, рекомендательный характер. Таким образом, заключая вышесказанное, можно утверждать, диссертационная работа Ю.А. Штабкина является законченным и актуальным научным исследованием, которое вносит значительный вклад в исследования фотохимически активных малых примесей в нижней атмосфере, активно осуществляющиеся в настоящее время как в России, так и за ее пределами. Тематика работы соответствует направлению 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы». Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Положения, выносимые на защиту, достаточно обоснованы и достоверны. Основные результаты диссертации достаточно полно представлены в рецензируемых научных журналах и неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях. Диссертация написана грамотно и достаточно хорошо оформлена. Автореферат правильно и в достаточной мере отражает полученные результаты и выводы. Таким образом, диссертация Штабкина Юрия Александровича «Региональные источники тропосферного озона в Северной Евразии» отвечает всем требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842),

предъявляемым к соискателям степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Ведущий научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный
исследовательский центр Институт
прикладной физики Российской академии
наук (ИПФ РАН)»
доктор физико-математических наук
по специальности 25.00.29 –
Физика атмосферы и гидросферы,
профессор РАН



И.Б. Коновалов
09.03.2021г.

Я, Коновалов Игорь Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

09.03.2021г.



И.Б. Коновалов

«Подпись ведущего научного сотрудника ИПФ РАН Коновалова Игоря Борисовича удостоверяю»

Ученый секретарь ИПФ РАН
кандидат физ.-мат. наук



И.В. Корюкин