

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Проблеме тропосферного озона и его изменения под влиянием различных антропогенных и естественных факторов всегда уделялось значительное внимание. Но в последние десятилетия внимание к проблеме возросло в связи с усилением воздействия антропогенных факторов на окружающую среду, проявившегося в частности в существенном росте тропосферного озона во второй половине XX-го века (Laurence Y. Yeung<sup>1</sup>, Lee. T. Murray et al., *Isotopic constraint on the twentieth-century increase in tropospheric ozone*//*Nature*, VOL 570, pp. 224-270, 2019), с максимальным изменением озона в нижней тропосфере средних широт Северного полушария. Это создавало потенциальную угрозу для окружающей среды и человека, включая дальнейший рост температуры земной поверхности и негативное воздействие на здоровье людей. Изучение проблемы тропосферного озона ведется по ряду направлений, включающих такие аспекты, как новые химические механизмы образования и разрушения тропосферного озона, изучение элементарных гомогенных и гетерогенных химических реакций, вовлеченных в этот процесс, медицинские исследования влияния озона на здоровье людей, а также перенос озона из стратосферы и верхней тропосферы к поверхности Земли и его разрушение в результате стока на подстилающую поверхность.

В этом ряду особое место занимает проблема вклада региональных и удаленных источников атмосферных загрязнений, а также предшественников озона, в региональный баланс приземного озона. В настоящее время решению этой проблемы уделяется недостаточное внимание, что объясняется

как недооценкой ее важности, так и рядом объективных обстоятельств, в том числе дефицитом экспериментальных данных по фоновому составу приземного воздуха, необходимых для валидации численных моделей, являющихся единственным инструментом, который может быть использован в данном случае. Несомненной заслугой автора диссертации является то, что он не только сумел детально разобраться в непростой проблеме влияния источников на приземный озон, но и внес заметный вклад в решение этой важной задачи.

Говоря о конкретных научных достижениях автора диссертации, нужно прежде всего отметить освоение им глобальной трехмерной транспортно-химической модели атмосферы GEOS-Chem, предполагающей использование дополнительных моделей и баз данных. В модели учитываются все основные химически активные газы (53 компоненты) и 236 химических реакций. Расчеты могут выполняться на сетках с ячейками  $5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ , либо  $0.5^{\circ} \times 0.666^{\circ}$ , с переменным шагом по высоте в диапазоне высот от земной поверхности до мезосферы. Перед выполнением основных расчетов была выполнена валидация модели с использованием многолетних данных наблюдений (2007-2011 гг.) за приземной концентрацией  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и озона на высотной (высота 300 м) станции ZOTTO, расположенной на восточной окраине Западно-Сибирской равнины в 600 км к северу от Красноярска. При этом была получена хорошая корреляция между данными наблюдений и расчетными данными для озона и  $\text{CO}$ .

С помощью описанной модели были получены все расчетные данные, связанные с изучением вклада региональных источников в тропосферный озон в Северной Евразии. Из большого числа полученных результатов выделим наиболее важные.

1. Проведено исследование влияния климатически значимых региональных источников эмиссий  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и биогенных летучих органических соединений на содержание озона в нижней тропосфере для всей территории Северной Евразии.

2. Проведена количественная оценка вкладов климатически значимых природных и антропогенных источников эмиссий в Северной Евразии в наблюдаемую сезонную изменчивость СО и О<sub>3</sub> в центральной Сибири по данным измерений на высотной мачте ZOTTO.
3. Для рассматриваемых регионов Северной Евразии получены количественные оценки вклада процессов фотохимического производства, стока на подстилающую поверхность, зонального, меридионального и вертикального переноса в региональный баланс тропосферного озона на сезонном масштабе.
4. Для Центральной Сибири выполнена валидация транспортно-химической модели (ТХМ) GEOS-Chem на основе данных наблюдений приземных концентраций СО, NO<sub>x</sub> и озона на станции ZOTTO.

Особо следует подчеркнуть, что все эти данные были получены впервые.

Помимо этого Юрий Александрович внес определенный вклад в теорию тропосферного озона. Имеются в виду впервые полученные количественные оценки величины эффективности производства озона и пространственного распределения данной величины над континентом.

По диссертации имеются следующие замечания.

1. При валидации модели были получены существенно различающиеся результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных для СО, О<sub>3</sub> и NO<sub>x</sub>, коэффициенты корреляции которых составили, соответственно, 0,77; 0,79 и 0,31. Но никаких комментариев по поводу этих различий не было дано.
2. При выборе СО в качестве объекта исследования во второй главе говорится о его значительной роли в балансе тропосферного озона. Но из литературных данных следует, что рост тропосферного озона во второй половине XX-го века обусловлен ростом метана, а не СО. Почему же все-таки выбран СО?

3. Хотя изучению роли CO в тропосферной химии посвящена целая глава, о его тропосферной химии ничего не сказано. В третьей главе при описании химических циклов образования озона указывается, что ЛОС можно рассматривать как CO. Но механизмы с ЛОС и CO различаются, поэтому имело смысл привести механизмы образования и разрушения озона с участием CO.
4. На с. 63 диссертации говорится, что присутствие в атмосфере молекул NO<sub>x</sub> катализирует процесс окисления летучих органических соединений и является важнейшим фактором, определяющим длину цепи и тем самым скорость производства озона. А на с. 64 сообщается, что лимитирующей стадией реакций продолжения цепи является реакция RH + OH + O<sub>2</sub>, что противоречит сказанному выше о решающей роли NO<sub>x</sub>.
5. В списке литературы ссылки пронумерованы, а в тексте диссертации указываются только фамилии авторов, что мешает знакомству с работой.

Сделанные замечания не имеют принципиального значения и не влияют на выводы диссертации.

Диссертационная работа Ю.А.Штабкина выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Получены новые важные результаты, расширяющие современные представления о проблеме тропосферного озона.

Работа прошла апробацию на отечественных и международных конференциях, школах и семинарах. По теме диссертации опубликовано 22 научные работы, из которых 4 вышли в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах.

Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Оценивая диссертацию Ю.А.Штабкина в целом, можно заключить, что она является законченным научным исследованием и по своему содержанию, актуальности, научной новизне, выводам, достоверности и практическому значению полученных результатов соответствует пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а ее автор – Штабкин Юрий Александрович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий лабораторией  
Института энергетических проблем  
химической физики им. В.Л. Тальрозе  
ФИЦ химической физики им. Н.Н.  
Семёнова РАН



Ларин  
Игорь Константинович

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

01.03.2021.



Ларин И.К.

Подпись Ларина Игоря Константиновича  
заверяю  
Ученый секретарь ФИЦ  
химической физики им. Н.Н. Семёнова  
РАН, кандидат физико-математических наук



М.Н.Ларичев

01.03.2021.