

# **Отзыв**

официального оппонента

на диссертационную работу Боровского Александра Николаевича

"Спектрометрические измерения содержаний диоксида азота и формальдегида в атмосфере и характеристики их временной изменчивости",

на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук

по специальности - физика атмосферы и гидросферы (25.00.29).

Актуальность диссертационной работы Боровского А.Н. не вызывает сомнения. Проблема изменения климата, связь погоды с циклами солнечной активности, влияние океана на климат, экологические изменения в таком мегаполисе как Москва. Все перечисленные проблемы связаны с исследованиями диссертанта, и в той или иной степени его исследования сделали определенный шаг в понимании перечисленных проблем. Дело в том, что диоксид азота и формальдегид, исследованию которых посвящена работа Боровского А.Н., несмотря на то, что эти вещества являются малыми составляющими атмосферы, являются своеобразными трассерами изменений, происходящих в атмосфере.

Уникальные данные измерений общего содержания  $\text{NO}_2$  в атмосфере, полученные на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) в период с 1979 по 2008 г., позволяют отслеживать изменение стрatosферного  $\text{NO}_2$  и выявлять его связь с различными геофизическими процессами и солнечной активностью. При этом проведенный диссертантом анализ позволил ему получить ряд важных и интересных результатов. Так, диссертант получил оценки изменчивости общего содержания  $\text{NO}_2$  и их связи с вулканическими извержениями и солнечной активностью, а также с крупномасштабными атмосферными циркуляциями, такими как КДЦ и Эль-Ниньо. Обнаруженные отрицательные тренды общего содержания  $\text{NO}_2$  возможно свидетельствуют о понижении температуры стратосферы, хотя диссертант очень склонен к интерпретации своих результатов. Истощение озона, несмотря на некоторое уменьшение содержания ряда хлорных соединений в атмосфере, остается актуальной темой, тем более,

что возможные дальнейшие изменения климата могут привести к уменьшению стратосферных температур и, как результат, уменьшению озона в стратосфере.

В то же время, на Звенигородской научной станции получен при непосредственном участии Боровского А.Н. уникальный, единственный в России ряд измерений интегрального содержания формальдегида в пограничном слое атмосферы в период с 2009 по 2016 годы. При этом анализ вариаций формальдегида позволил выявить зависимость содержания формальдегида от температуры, и, что важно, связать вариации формальдегида с возможным влиянием Московского мегаполиса на качество воздуха в Звенигороде.

Для получения указанных важных, полезных и интересных результатов автор диссертации проделал большую методическую и практическую работу. Диссертантом подготовлен современный измерительный комплекс, который может использоваться для измерения общего содержания  $\text{NO}_2$  в атмосфере и интегрального содержания НСНО в пограничном слое атмосферы. Им разработана процедура контроля качества измеренных спектров поглощения прямого солнечного излучения на предмет детектирования полупрозрачной облачности при определении содержания  $\text{NO}_2$  на КВНС. Боровским А.Н. усовершенствованы и развиты алгоритмы для определения общего содержания  $\text{NO}_2$  в атмосфере из измерений спектров ослабления прямого солнечного излучения на КВНС, а также интегрального содержания НСНО в пограничном слое атмосферы (ПСА) из измерений спектров ослабления рассеянного солнечного излучения в направлении зенита в безоблачных условиях на Звенигородской научной станции. Последняя методика в настоящее время разрабатывается для получения данных в условиях облачности.

Достоверность и обоснованность этих методик, а также результатов измерений подтверждается валидацией измерений и сопоставлением этих измерений с данными других исследований, в том числе с данными ряда международных научных коллективов.

Полученные результаты и разработанные методики определяют практическую ценность работы и могут быть использованы в дальнейшем в моделях климата, в

фотохимических и транспортных моделях в различных научных коллективах ИФА РАН, ИПГ, ЦАО, МГУ, НПО Тайфун и других институтах России.

Диссертация не лишена некоторых недостатков.

На стр.14 диссертации делается вывод: в отсутствие других компонент атмосферы в дневное время между образовавшимися окислами азота и существующим в стратосфере озоном быстро устанавливается фотохимическое равновесие (R1.1.1- R1.1.3, 1.1). В реальности такое равновесие вряд ли устанавливается в стратосфере, т.к. в формулах неучтен ряд фотохимических и динамических процессов. Из формулы (1.1) следует, что окислы азота определяют концентрацию озона в стратосфере, что несправедливо для этой области атмосферы. Количество окислов  $\text{NO}_x$  в стратосфере  $\sim 1 \text{ ppb}$ . Даже если все эти окислы  $\text{NO}_2$  подвергнуть диссоциации, то получится  $\sim 10^9 \text{ молекул}/\text{см}^3$  атомарного кислорода, который может привести такое же количество молекул озона  $\text{O}_3$ . В то же время, концентрация озона  $\text{O}_3$  в нижней стратосфере составляет  $\sim 10^{12} \text{ молекул}/\text{см}^3$ , что намного превосходит количество всех  $\text{NO}_x$  в стратосфере. Источником  $\text{O}_3$  как отмечалось выше, может быть УФ излучение с длиной волны меньшей 242,4 нм, а также динамические процессы. Так же заметный вклад в убыль озона может внести известный азотный каталитический цикл. Указанные фотохимические реакции и процессы не учтены в уравнениях R1.1.1- R1.1.2, а также и в R1.1.3. В то же время следует отметить корректность и справедливость указанных фотохимических процессов в тропосфере.

На стр.27 автор диссертации говорит об использовании модели переноса излучения для оценки коэффициентов воздушной массы. Однако никакой информации о модели переноса излучения не приводит. Следовало бы, по крайней мере, указать является ли модель сферической, т.к. ряд измерений проводится при достаточно больших зенитных углах Солнца  $\sim 70$  градусов. Учитывает ли модель рефракцию в атмосфере, недоучет ее также может привести к дополнительным погрешностям в измерениях.

На стр.96 указано: "При анализе зависимости содержания формальдегида от направления ветра в расчет принимались только те случаи, когда скорость ветра была более 2 м/с. В этом случае воздушные массы от Москвы могут достигать ЗНС за время менее чем 5.3 часа". Непонятно, принималась ли эта задержка во внимание при выборке измерений. Очевидно, что при смене направления ветра необходимо брать только

измерения с определенной задержкой, при скорости 2 м/с это 5.3 часа при условии, что ветер сохранится в течение этого или большего срока.

В трендах на рис. 4.4 при определении зависимостей ИС формальдегида от температуры воздуха наблюдается “разрыв” при температуре 5 градусов. Возможно, чтобы этого избежать, можно было бы провести нелинейные тренды во всем температурном диапазоне или сделать “средневзвешенное” осреднение по определенному количеству точек.

Уместно также сделать следующее замечание. Учитывая, что на ЗНС имеются также измерения тропосферного  $\text{NO}_2$ , было бы полезным провести такой же анализ влияния Московского Мегаполиса для  $\text{NO}_2$  (или если он имеется, то использовать уже проведенный анализ) как и для формальдегида. Возможно, одновременный анализ с использованием двух соединений выявил бы некоторые дополнительные особенности в фотохимии и динамике загрязнений, например, удалось бы разделить фотохимические и динамические факторы влияния Московского Мегаполиса.

Кроме того, в диссертации замечены некоторые опечатки и неудачные выражения.

Например, на стр.6 автор диссертации пишет: “С помощью концентрационных измерений также можно получить информацию о содержании  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ”. Неудачное выражение, лучше вместо “концентрационных измерений” употребить ”измерений концентрации”.

На той же странице: “Под зенитным методом измерений понимаются измерения спектров поглощения рассеянной в зените солнечной радиации”. Неудачное выражение, лучше так: под зенитным методом измерений понимаются измерения спектров поглощения рассеянной солнечной радиации в направлении зенита.

В автореферате диссертации произошел скачок в нумерации литературы: после номера 11 сразу идет номер 14 в списке литературы. Однако это не нарушило соответствие нумерации литературных источников.

Указанные недостатки, на мой взгляд, не являются принципиальными.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор проявил достаточную профессиональную подготовку. Работа отвечает требованиям п. 2 "Положения о порядке присуждения учёных степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор Боровский Александр Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Заведующий лабораторией отдела №3

Института Прикладной Геофизики им. академика Федорова Е.К.

доктор физико-математических наук

*Беликов* / Беликов Ю.Е./

7 июня 2017 г.

Подпись Беликова Ю.Е. заверяю

ученый секретарь ИПГ

*Хотенко* Е.Н./

