

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Куликова Михаила Юрьевича «Исследование физико-химических процессов на высотах мезосферы и нижней термосферы», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Диссертационная работа М.Ю.Куликова посвящена изучению физико-химических процессов, протекающих в мезосфере и нижней термосфере (МНТ). Важность изучения этих процессов обусловлена их связью с эволюцией атмосферы, а также с процессами, протекающими в нижележащих атмосферных слоях. Кроме того, эта область и в настоящее время остается наименее изученной по сравнению с другими атмосферными областями и это при том, что физико-химические процессы с участием малых примесей (МП) МНТ обладают уникальными свойствами, проявляющимися в возникновении периодических и хаотических осцилляций МП, что открывает возможность оценить такие неизмеряемые параметры МНТ, как коэффициенты турбулентной диффузии по вертикали и горизонтали и другие характеристики и особенности МНТ.

Содержание работы изложено в трех главах, включает введение и заключение, а также список литературы (231 ссылка) и список работ автора по теме диссертации.

В первой главе представлены результаты аналитического исследования двухсуточных фотохимических осцилляций и реакционно-диффузионных волн в виде фазовых перепадов этих осцилляций, а также результаты поиска основных индикаторов этого феномена, необходимых для их экспериментальной регистрации. Было показано, что двухсуточные осцилляции в области мезопаузы возникают в результате неустойчивости вынужденных фотохимических осцилляций с периодом 1 сутки. Показано также, что этот же механизм ответственен за генерацию всех бифуркаций удвоения периода и последовательного «мягкого» возбуждения

субгармонических осцилляций с периодом 4, 8, 16 и т.д. суток. Кроме того, определены основные условия для возникновения нелинейного отклика на внешнее периодическое воздействие в фотохимии других областей атмосферы. Показано, в частности, что наиболее выраженной особенностью двухсуточных осцилляций является значительная (на несколько порядков величины) разница между двумя последовательными значениями концентрации N в конце ночи.

Во второй главе сообщаются результаты лабораторного исследования физико-химических процессов с участием частиц полярных мезосферных облаков при воздействии солнечного ВУФ излучения. Эксперименты проводились в лаборатории химии атмосферы Института Альфреда Вегенера с помощью специальной установки, созданной на базе рефрижератора-криостата и ИК-Фурье спектрометра. Данная аппаратура включала цилиндрическую вакуумную камеру объемом в 2000 см^3 , в которой с помощью турбомолекулярных насосов создавалось давление 10^{-8} миллибар. Ледяные образцы создавались посредством напыления на специальное зеркало с помощью системы газонапуска. Было показано, что облучение чистого водяного льда Лайман- α фотонами в вакуумных условиях приводит к образованию перекиси водорода при температурах ниже 60 К . В случае льда $\text{H}_2\text{O}:\text{O}_2$ H_2O_2 образуется при температурах ниже 140 К в результате реакции псевдопервого порядка. Квантовый выход образования H_2O_2 в результате облучения льда $\text{H}_2\text{O}:\text{O}_2$ существенно зависит от температуры. Если частицы полярных мезосферных облаков содержат $\sim 0.1\% \text{ O}_2$ или больше, то концентрация H_2O_2 в твердой фазе будет достигать или заметно превышать типичные газофазные величины перекиси водорода на высотах мезопаузы.

В третьей главе сообщаются результаты, связанные с разработкой новых методов восстановления ключевых характеристик МНТ и их приложения к данным спутникового зондирования. Проведено исследование корректности приближения химического равновесия ночного озона на высотах МНТ,

широко используемого для восстановления пространственно-временных распределений ночных концентраций О и Н по данным ракетных и спутниковых измерений в диапазоне высот 80–100 км. Было показано, что условие химического равновесия ночного озона хорошо выполняется выше некоторой границы, которая зависит от координат и времени и отсекает заметную часть высотно-широтной области, где это условие широко применяется для восстановления распределений отношений концентраций О и Н по данным ракетных и спутниковых измерений. Среднемесячная граница равновесия ночного озона лежит в диапазоне высот 77–86 км в зависимости от года, сезона и широты, и является чувствительным индикатором эволюции средней атмосферы. Показано также, что восстановление ночных О и Н с помощью условия химического равновесия ночного озона ниже границы, где это условие не выполняется, приводит к значительной недооценке концентрации О в диапазоне высот 80–85 км, но практически не сказывается на качестве восстановления атомарного водорода.

Работа М.Ю.Куликова в целом оставляет чрезвычайно сильное впечатление – как по разнообразию и совершенству экспериментальных и аналитических методов исследования, так и по полученным результатам, существенно расширившим наши представления о мезосфере и нижней термосфере.

Одно замечание. Дело в том, что на высотах мезосферы помимо нейтральных компонент образуются и участвуют в химических реакциях заряженные частицы, как в виде простых ионов, так и в виде ионных кластеров. Эти процессы достаточно полно описаны в монографии G. Brasseur and S. Solomon, *Aeronomy of the Middle Atmosphere: Chemistry and Physics of the Stratosphere and Mesosphere*, 3rd ed. (Springer, Montreal, Canada). При этом в этой книге есть раздел, который называется «Effect of Ionic Processes on Neutral Constituents»,

где речь идет о компонентах семейств O_x и NO_x – главных героях работы М.Ю.Куликова. Из автореферата следует, что ионы в работе не учитывались. Вопрос же о том, следует это делать или нет, остается открытым.

Это замечание не умаляет несомненных достоинств работы и большого значения полученных в ней результатов. Это даёт основание заключить, что диссертационная работа М.Ю.Куликова «Исследование физико-химических процессов на высотах мезосферы и нижней термосферы», представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Михаил Юрьевич Куликов, безусловно заслуживает присуждения ему искомой учёной степени доктора физико-математических наук.

Заведующий лабораторией Химической физики атмосферы
Института энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе
Федерального исследовательского центра химической физики им.
Н.Н. Семенова Российской академии наук,
д.ф.-м.н., профессор

 И.К.Ларин

13.09.2021

Игорь Константинович Ларин
адрес: 141400 г. Химки, Московской обл., ул. Московская, д. 12, кв. 54.
телефон: +7(967)2294836, email: iklar@yandex.ru

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Подпись д.ф.-м.н., профессора Ларина И.К. заверяю.

*Жар. с/к инт. эк. и.ч. В. Л. Тальрозе
ФЦХФ РАН*



Н. В. Пухов