

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Семенова Владимира Семеновича  
на диссертацию в виде научного доклада Мироновой Ирины Александровны на  
тему  
«Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия

Проблемы глобального потепления и истощения атмосферного озона часто связываются с деятельностью человека, хотя существуют и другие гипотезы. Среди них одной из главных является влияние космических факторов (прежде всего солнечной активности) на погоду и климат. Эту трудную и актуальную задачу и рассматривает И. А. Миронова в своей диссертации, в которой исследуется ионизация атмосферы потоками энергичных заряженных частиц (космических лучей и частиц магнитосферного происхождения), а также воздействие возникшей ионизации на атмосферные параметры.

К числу наиболее значимых новых результатов, представленных в диссертации И. А. Мироновой, можно отнести:

1. Модель высыпаний в ионосферу энергичных электронов в диапазоне 30 кэВ - 10 МэВ магнитосферного происхождения, позволяющую определять скорости ионизации атмосферы по данным спутниковых и баллонных наблюдений. Выведен критерий, по которому можно определять, при каких условиях потоки энергичных электронов дойдут до высот нижней стратосферы. Показано, что, несмотря на сильную изменчивость, скорости ионизации на высотах от 25 до 120 км зависят в основном от геомагнитных возмущений.
2. Показано, что истощение мезосферного озона линейно зависит от скорости ионизации атмосферы во время высыпаний энергичных электронов, которые связаны с геомагнитными возмущениями. Обнаружено, что осенью и весной максимальное истощение мезосферного озона может достигать 20% во время средней и сильной геомагнитной активности, тогда как летом в присутствии УФ-излучения полярный мезосферный озон не может быть разрушен под воздействием высыпаний энергичных электронов. Однако, в зимнее время максимальное истощение мезосферного озона может достигать 80% при сильных геомагнитных возмущениях.
3. Модель распространения в атмосфере солнечных протонов в диапазоне энергий от 10 МэВ до 100 ГэВ и соответствующего увеличения скорости ионизации атмосферы во время эруптивных солнечных протонных событий типа GLE (Ground Level Enhancement). Используя модельные расчеты скоростей ионизации был исследован ряд GLE событий и показано, что формирование стратосферного аэрозоля происходит в зимний сезон при достаточно низкой температуре и, главное, при существенном (более, чем в два раза) увеличении скорости ионизации в полярной стратосфере.

4. Обнаружено, что во время Форбуш понижений галактических космических лучей концентрация радикалов оксида водорода (НОх) в зимней полярной стратосфере уменьшается примерно в два раза, хотя устойчивый отклик в азотном семействе (NOx) и озоне не обнаруживается, также как и эффект от Форбуш понижений в летнее время в южной полярной стратосфере.
5. Показано, что во время экстремальных солнечных протонных событий возросшие скорости ионизации атмосферы приводят к значительному увеличению токов хорошей погоды в глобальной электрической цепи, а величина эффекта зависит от местоположения и может превышать фоновое значение более чем в 10 раз в высоких широтах. Показано, что энергичные электроны во время геомагнитных возмущений способны модулировать резонанс Шумана в высоких широтах и влиять на глобальное электронное содержание во время геомагнитных возмущений. Вместе с тем, изучение влияния Ву компоненты межпланетного магнитного поля через глобальную электрическую цепь не подтвердило заметного воздействия на приземные метеорологические параметры.
6. Изучено воздействие электромагнитного излучения (альтернативного механизма, не связанного с высыпанием энергичных частиц) во время солнечных вспышек на химический состав атмосферы и озон. Показано, что электромагнитное излучение от наиболее мощных солнечных вспышек класса X может привести к значительному увеличению концентрации семейств оксидов азота (NOx) в экваториальных широтах. Однако, это увеличение не влияет на изменение содержания озона в тропической стратосфере, а изменение химического состава атмосферы в полярных регионах незначительно.

Работа не лишена недостатков.

Из результатов диссертации следует, что используемый механизм связи космических факторов (Ву компоненты ММП или потоков галактических и солнечных космических лучей) с приземными атмосферными параметрами через образование облачности малоэффективен и не способен объяснить наблюдаемые атмосферные эффекты. Не ясно, какими же должны быть космические факторы, чтобы они вызывали заметное изменение температуры (скажем, на градус) и давления (на 5%) в приземном слое атмосферы.

Это замечание не умаляет общей высокой оценки работы И. А. Мироновой, которая содержит целый ряд новых, интересных результатов уже заслуживших международное признание. Новизна и научная значимость диссертационной работы И. А. Мироновой не вызывают сомнений.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Достоверность полученных результатов обусловлена корректной постановкой задач и целым рядом модельных экспериментов, необходимых для получения статистически значимых результатов, тщательным анализом полученных данных. Все основные результаты опубликованы в высокорейтинговых журналах (Space Science Reviews, Geophysical Research Letters, Journal of Geophysical Research, Atmospheric Chemistry and Physics, Science of the Total Environment, Frontiers in Earth Science, Remote Sensing). Всего опубликовано 37 статей в рецензируемых журналах по теме диссертации за 2013-2023 гг. Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях, причем многие из них в качестве приглашенных заказных докладов, что говорит об

уровне и значимости научной работы соискателя. Миронова И.А. руководила пятью грантами РФФИ и РФФИ фондов. В этом 2023 году под ее руководством успешно защищена кандидатская диссертация А.В. Карагодиным на тему «Воздействие космических факторов на процессы в глобальной электрической цепи».

Диссертация в виде научного доклада Мироновой Ирины Александровны на тему: «Воздействие энергичных частиц на атмосферу Земли» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Миронова Ирина Александровна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук, профессор СПбГУ



Семенов В.С. .

02.12.2023