

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.034.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК.

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18 июля 2017 г. № 6

О присуждении Криволуцкому Алексею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Воздействие солнечных протонных вспышек на среднюю атмосферу Земли» по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера принята к защите 05 апреля 2017 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 003.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126-а, а/я 291, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ № 105нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Криволуцкий Алексей Александрович 1946 года рождения, защитил диссертацию "Исследование волновых процессов с периодом, близким к 27 суткам, в земной атмосфере" на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук 23 сентября 1983 г. Защита диссертации состоялась на заседании специализированного совета К 024.08.01 Центральной аэрологической обсерватории Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Специальность 01.04.12 геофизика. В настоящее время А.А. Криволуцкий работает в должности заведующего лабораторией химии и динамики атмосферы в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Центральная аэрологическая обсерватория» Росгидромета (ФГБУ «ЦАО»).

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера выполнена в лаборатории химии и динамики атмосферы в ФГБУ «ЦАО» Росгидромета.

Официальные оппоненты:

1. Антонова Елизавета Евгеньевна, доктор физико-математических наук, профессор, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скobelьцына Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), главный научный сотрудник отдела космических наук,

2. Мирошниченко Леонтий Иванович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное учреждение науки «Институт земного магнетизма и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкина Российской академии наук (ИЗМИРАН), главный научный сотрудник, отдел физики Солнца и солнечно-земных связей,

3. Троицhev Олег Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ААНИИ), заведующий отделом Геофизики дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), в своем положительном заключении, подготовленным Пулинцом Сергеем Александровичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником и подписанным директором ИКИ, академиком Л.М. Зеленым, указала, что соискателем выполненен большой объем научной работы на основе использования глобальных численных моделей атмосферы Земли и анализа данных наблюдений со спутников, получены новые важные результаты в области солнечно-земной физики и физики атмосферы, опубликованные в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, а также прошли апробацию на международных и российских симпозиумах и конференциях высокого уровня и представляют интерес для таких научных организаций России, как ИФА РАН, ИЗМИРАН, ИПГ Росгидромета, ААНИИ Росгидромета ПГИ РАН, ИДГ РАН, ИСЗФ СО РАН.

Соискатель имеет 80 публикаций, в том числе по теме диссертации 41 общим объемом 2009 страниц, включая монографию, из которых 14 включены в перечень российских рецензируемых научных изданий и 13 опубликованы в рецензируемых иностранных научных журналах. В этих работах дано детальное обоснование, описание, анализ результатов выполненных исследований, позволивших установить новые физические закономерности формировании отклика атмосферы и нижней ионосфера на воздействие солнечных протонных событий.

К наиболее важным работам, в которые автор внес преобладающий вклад, следует отнести:

- 1) А.А. Криволуцкий, А.И. Репнев. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. М.: ГЕОС, 382 с., 2009.
- 2) А.А. Криволуцкий, Т.Ю. Вьюшкова, Л.А. Черепанова, А.А. Куколева, А.И. Репнев, М.В. Банин. Трехмерная глобальная фотохимическая модель CHARM. Учет вклада солнечной активности. // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, N1. С. 64-93.

- 3) А.А. Криволуцкий, Л.А. Черепанова, А.В. Дементьева, А.И. Репнев, А.В. Ключникова. Глобальная циркуляции атмосферы Земли на высотах от 0 до 135 км, рассчитанная с помощью модели ARM. Учет вклада солнечной активности. // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, №6. С. 808-828.
- 4) A.A. Kukoleva, A.A. Krivolutsky. Analysis of variations in the nitrogen oxide content in the polar atmosphere of the Northern Hemisphere during Solar proton flare of July 2000 based on UARS satellite data // Geomagnetism and Aeronomy. 2013. V. 53, N8. P. 932-936.
- 5) Krivolutsky A.A., Cherepanova L.A. Response of global fields of temperature and tropospheric winds and the middle atmosphere to variations in the solar UV radiation flow during a solar activity cycle in the presence of planetary waves (3D modeling) // Geomagnetism and Aeronomy. 2013. V. 53(7). P. 871-875.
- 6) А.А. Криволуцкий, А.И. Репнев. Воздействие космических энергичных частиц на атмосферу Земли (Обзор). Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52, №6. С. 723-754.
- 7) А.И. Репнев, А.А. Криволуцкий. Вариации химического состава атмосферы по измерениям со спутников и их связь с потоками энергичных частиц космического происхождения (Обзор). Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2009. Т. 45, №4. С. 1-13.
- 8) Куколева А.А., Криволуцкий А.А., Ондрашкова А. Изменения химического состава атмосферы в полярных областях Земли после протонной вспышки на Солнце 14 июля 2000 г. (фотохимическое моделирование). Космические исследования, 2010. V. 48, N 1. С. 58-71.
- 9) Криволуцкий А.А., Куминов А.А., Куколева А.В., Репнев А.И., Переяслова Н.К. Протонная активность Солнца в 23-м цикле активности и изменения в озонасфере: численное моделирование и анализ данных наблюдений. // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48, №4. С. 450-464.
- 10) Криволуцкий А. А., Куминов А. А., Вьюшкова Т. Ю., Кузнецов С. Н., Мягкова И. Н. Изменения в озонасфере Земли, вызванные ионизацией высокоширотной атмосферы солнечными протонами в октябре 2003 года. // Космические исследования. 2004. Т. 42, №6. С. 653-662.
- 11) Криволуцкий А.А., Куминов А.А., Репнев А.И., Переяслова Н.К., Назарова М.Н., Базилевская Г.А. Моделирование реакции озонасферы на солнечную протонную вспышку в ноябре 1997 года. // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. 41, №2. С. 243-252.
- 12) I. Mironova, K. Aplin, F. Arnold, G. Bazilevskaya, R. Harrison, A. Krivolutsky, K. Nicoll, E. Rozanov, E. Turunen, I. Usoskin. Energetic Particle Influence on Atmospheric Processes // Space Sci. Rev. 2015. V. 194. P. 1-96. doi:10.1007/s11214-015-0185-4
- 13) B. Funke, A. Baumgaertner, M. Calisto, T. Egorova, C. H. Jackman, J. Kieser, A. Krivolutsky, M. Lopez-Puertas, D. R. Marsh, T. Redmann, E. Rozanov, S.-M.

Salmi, M. Sinnhuber, G. P. Stiller, P. T. Verronen, S. Versick, T. von Clarmann, T. Y. Vyushkova, N. Wieters, and J. M. Wissing. Composition changes after the “Halloween” solar proton event: the High Energy Particle Precipitation in the Atmosphere (HEPPA) model versus MIPAS data intercomparison study // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 9089–9139. doi:10.5194/acp-11-9089-2011

14) Krivolutsky A.A. History of cosmic ray influence on ozone layer – key steps // *Adv. Space Res.* 2003. V. 31. P. 2127-2138.

15) Krivolutsky A., Kuminov A., Vyushkova T., Pereyaslova N., Nazarova M. Proton activity of the sun during 23rd solar maximum and its response in ozonosphere of the Earth // *Adv. Space Res.* 2003. V. 31, N9. P. 2151-2156.

16) Ondrášková, A., Krivolutsky, A.A., Laštovička, J. Changes of the neutral and ionized composition in the D-region after solar proton event in October 1989 (model simulations) // *Adv. Space Res.* 2003. V. 31, N9. P. 2169-2176.

17) Ondrášková A., Krivolutsky A., Kukoleva A., Vyushkova T., Kuminov A., Zakharov G. Response of the lower ionosphere to solar proton event on July 14, 2000. Model simulations over both poles // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2008. V.70. P. 539-545.

18) Krivolutsky A.A., Klyuchnikova A.V., Zakharov G.R., Vyushkova T.Yu., Kuminov A.A. Dynamical response of the middle atmosphere to solar proton event of July 2000: three-dimensional model simulations // *Adv. Space Res.* 2006. V.37. P.1602-1613.

На диссертацию и автореферат **поступили отзывы:**

1. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н., профессором Г.А. Базилевской главным научным сотрудником лаборатории физики Солнца и космических лучей, ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. Отзыв положительный, замечаний по существу нет. Замечания технического характера:

- на стр. 14-15 не указана широта, к которой относятся результаты;
- из текста следует, что моделирование долговременного воздействия заряженных частиц на полярную атмосферу выполнено с помощью модели ARM, но в подписях к рисункам 16, 17 сказано, что они получены с помощью модели CHARM, вероятно, в тексте опечатка;
- не указаны единицы скорости ветра на рис. 19;
- не расшифрована аббревиатура ВГВ.

2. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. В.В. Богдановым заведующим лабораторией физики атмосферы ФГБУН Института Космофизических Исследований и Распространения Радиоволн ДВО РАН.

Отзыв положительный без замечаний. Высказано пожелание автору, чтобы в дальнейшем были использованы данные российских спутников по наблюдению энергичных частиц.

3. Отзыв на автoreферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. Академиком Директором д.ф.-м.н. А.Д. Гвишиани и д.ф.-м.н. гл.н.с. А.А.Лушниковым, ФГБУН Геофизический центр РАН (ГЦ РАН). Отзыв положительный без замечаний.

4. Отзыв на автoreферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. профессором заведующим лабораторией ФГБУ Институт прикладной геофизики им. Федорова А.Д. Данилова. Отзыв положительный без замечаний.

5 .Отзыв на автoreферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. А.В. Елисеевым ведущим научным сотрудником Лаборатории теории климата ФГУБН Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской Академии наук. Отзыв положительный, содержит следующие редакционные замечания:

- в численных экспериментах третьей главы работы не указано, какие метеорологические поля использовались;
- На ряде рисунков работы использованы англоязычные подписи (напр., на рис. 5), а в названии оси ординат рис. 4 - смесь кириллицы и латиницы.

6. Отзыв на автoreферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. ФГБУН Полярный Геофизический Институт РАН Е. А. Касаткиной. Отзыв положительный. В отзыве содержатся следующие замечания:

- для некоторых анализируемых автором протонных (GLE) событий не рассмотрена возможность гетерогенной химии;
- примененный автором метод расчета скорости ионизации, основанный на предположении о степенном характере спектра частиц не позволяет в полной мере учесть высокоэнергичный «хвост» при GLE событиях.
- предположение об изотропности потоков частиц, использованное автором при расчетах ионизации, может отличаться от реального распределения в случае GLE событий.

7. Отзыв на автoreферат, подписанный д.ф.-м.н. профессором И.К. Лариным заведующим лабораторией химической физики атмосферы ФГБУ Институт энергетических проблем химической физики РАН им. В.Л. Тальрозе. Отзыв положительный. Имеются некоторые замечания:

- при общем качественном представлении иллюстрационного материала некоторые из рисунков имеют незначительные размеры, что затрудняет их понимание (см. рис. 3, 10, 11, 13);
- при изложении содержания третьей главы указывается, что более длительное (по сравнению с озоном) затухание отклика NO обусловлено большим временем жизни этой химической компоненты. Что касается времени жизни семейства NO_y (которому автор приписывает большое время жизни), то согласно литературным источникам, время жизни NO_y в средней атмосфере не превышает одного месяца.

8. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный к.ф.-м.н. старшим научным сотрудником Санкт-Петербургского Университета (СПБУ) И.А. Мироновой. Отзыв положительный, без замечаний.

9. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. профессором Ю.М. Михайловым заведующим лабораторией ФГБУН ИЗМИРАН. Отзыв положительный, без замечаний.

10. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.т.н. главным конструктором направления А.А. Романовым и к.т.н. ведущим научным сотрудником А.А. Талановым АО «Российские космические системы». Отзыв положительный, высказаны следующие замечания:

- отдавая должное важности и трудности при создании численных моделей для той области, в которой долгое время отсутствовали измерения, следует отметить появление новых (томографических) методов, о которых автор не упоминает.

- проведенное автором сравнение результатов моделирования и спутниковых наблюдений, говорит скорее о качественном (визуальном) согласии. Нужно было бы ввести количественную меру.

11. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. профессором Директором Института Глобального Климата и Экологии Росгидромета/РАН С. М. Семеновым и ведущим научным сотрудником этого института к.ф.-м.н. Д.А. Северовым. Отзыв положительный, содержит следующие замечания:

- представляется, что использован неудачный оборот о «генерации дополнительных атомов азота» вместо молекул окиси азота;
- без пояснений используется аббревиатура ВГВ, СКЛ.

12 . Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. профессором гл.н.с. ФГБУ Гидрометцентр РФ Росгидромета Н.С.Сидоренковым.

Отзыв положительный. Делается замечание о том, что в автореферате нет описания используемой в работе модели общей циркуляции ARM.

13. Отзыв на автореферат диссертации, который подписал д.ф.-м.н. заместитель директора Филиала «Пущинская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Виткевича» ФГБУН Физического Института им. П.Н. Лебедева РАН (ПРАО АКЦ ФИАН). И.В. Чашей. Высказаны следующие замечания по оформлению:

- представляется целесообразным на стр. 22 и 26 привести наиболее важные химические реакции из тех, которые упоминаются;
- было бы лучше представить рисунки 2, 14 и 15 в цвете (аналогично другим рисункам);
- в тексте отсутствует общепринятая нумерация формул.

14. Отзыв на автореферат диссертации, подписанный д.ф.-м.н. старшим научным сотрудником Физико-Технического Института им. А.Ф. Иоффе М.Л. Шматовым. Отзыв положительный, в нем содержатся следующие замечания:

- представляется, что приведенная в разделе «Научная новизна» формулировка «При реализации численных сценариев обнаружена возможность долговременных последствий воздействия СПС 28.10. 2003 на озон и температуру», должна быть откорректирована поскольку здесь не приводится сравнения с наблюдениями;
- во второй главе диссертации, где описываются результаты воздействия СПС на нижнюю ионосферу, говорится, что модель является стационарной и в то же время без пояснений приводится временной ход изменений электронной концентрации;
- во второй главе говорится, что при расчете скорости ионизации частицами, вся энергия расходуется на ионизацию, хотя известно, что часть энергии идет на диссоциацию и возбуждение молекул;
- «корабельные» ракетные эксперименты, проведенные в период СПС 19 октября 1989 года, следует называть не российскими, а советскими.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными и авторитетными учеными в области солнечно-земной физики, физики ионосферы и верхней атмосферы, имеющие научные труды, близкие к проблеме исследования, а ведущая организация является ведущим институтом в России, проводящим комплексные исследования в области солнечно-земной физики, непосредственно связанные с темой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан и создан комплекс численных моделей, описывающих состояние средней атмосферы и получены количественные характеристики, характеризующие ее крупномасштабные возмущения, вызываемые протонными вспышками на Солнце;
- предложен механизм формирования возмущений термодинамического режима в нижней термосфере полярных широт во время солнечных протонных событий (СПС);
- доказана необходимость учета процессов в полярной средней атмосфере, вызванных ионизацией частицами высоких энергий в периоды СПС для корректного описания фотохимии и динамики в этой области.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

на основании численного моделирования исследована трехмерная структура изменений химического состава и термодинамического режима средней атмосферы в период протонных вспышек;

выявлены возможности распространения рассматриваемых возмущений за пределы полярных шапок;

предложена концепция крупномасштабной трехмерной структуры отклика озоносферы, циркуляции и температурного режима средней

атмосферы, в которой впервые корректно учтены нелинейные эффекты взаимодействия космической плазмы и вещества атмосферы Земли в полярных широтах;

на основе численного моделирования дано теоретическое описание сезонной структуры отклика полярной атмосферы на воздействие СПС различной мощности.

Практическое значение работы заключается в создании технологии, основанной на использовании глобальных численных моделей химического состава и динамики средней атмосферы, а также спутниковой информации о солнечных корпускулярных потоках, которая является основой для мониторинга и прогноза изменений в озонасфере и нижней ионосфере Земли, вызванных Солнцем. Результаты использовались при выполнении плановых НИР целевой научно-технической программы (ЦНТП) Росгидромета и, проектов РФФИ, а также в рамках участия в международных проектах НЕРРА, SolarMIP, ROSMIC.

Диссертационная работа выполнялась в рамках НИР ЦНТП Росгидромета «Разработка, испытание и внедрение новых технологий и методов анализа и прогноза состояния верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли, околоземного космического пространства. Обеспечение подготовки и доведения до потребителей диагностической и прогностической гелиогеофизической продукции» (№ регистрации карты 01201250289) и НИР ЦНТП Росгидромета «Разработка новых моделей и методов для совершенствования технологий диагноза и прогноза состояния верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли, околоземного космического пространства (космической погоды)» (№ регистрации карты 01201462498). Результаты диссертации использовались при подготовке отчетов по НИР ЦНТП Росгидромета.

Оценка достоверности результатов исследования:

Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением результатов моделирования в рамках проекта НЕРРА, сравнением результатов моделирования с данными спутниковых наблюдений и ракетных экспериментов, а также экспертизой результатов в процессе публикаций в отечественных и зарубежных реферируемых журналах.

Личный вклад соискателя:

Результаты, представленные в работе, получены под руководством автора и при его личном участии в последние 15 лет в лаборатории химии и динамики атмосферы ФГБУ «ЦАО», которой он руководит. Автор внес решающий вклад в постановку задач, их реализацию, обсуждение полученных результатов, подготовку публикаций и представление материалов в виде докладов на отечественных и зарубежных симпозиумах и конференциях.

Выполненный под руководством автора цикл работ является уникальным в мировой практике по широте охвата проблемы и новизне полученных результатов, большая часть которых вошла в монографию автора «Воздействие космических факторов на озоносферу Земли» (в соавторстве с А.И. Репневым).

На заседании 18 июля 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Криволуцкому А.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности 25.00.29, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней нет.

Зам. председателя
диссертационного совета Д 003.034.01,
член-корр. РАН



Григорьев В.М.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.034.01,
кандидат физико-математических наук



Поляков В.И.

18 июля 2017 г.

