

К.ф.-м.н. В.А. Воробьев (ИГКЭ)

Комментарии к докладу А.В. Елисеева «ВЛИЯНИЕ ВНЕЗЕМНЫХ ФАКТОРОВ НА КЛИМАТ: ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ»

4 декабря 2013 г., Семинар ИГКЭ

В представленном докладе приводится подробный обзор механизмов воздействия внеземных факторов на климат и их вклад в климатические вариации последних столетий и XXI века. Доклад очень четкий, хорошо структурирован. Как обзор, доклад охватывает большинство важнейших достижений, полученных в современной науке об изменении климата. Поэтому, в основном, в качестве комментария к докладу напому только о нескольких, на мой взгляд, важных экспериментальных работах, позволивших получить необходимые данные для изучения проблемы изменения климата. А также о некоторых экспериментальных результатах и теоретических разработках, которые пока обсуждаются научным сообществом. Их роль в глобальных процессах еще не очевидны, а некоторые вызывают серьезные возражения.

Следует отметить, что автор доклада принимал непосредственное участие в разработке климатической модели ИФА РАН и им проведении многочисленных расчётов. В частности, были получены оценки влияния вариаций солнечной активности на изменения климата последующих нескольких столетий. При этом была использована оригинальная методика построения сценариев будущих вариаций солнечной активности, основанная на приближении временных рядов авторегрессионным процессом. Оценки автора и других исследователей показали, что вклад изменения солнечной постоянной на климатические изменения не превышает 0.02 К/столетие /1,2/.

На рис. 1 показаны значения ΔT и R_z в зависимости от времени. Из сопоставления этих кривых можно сделать вывод об отсутствии корреляции между изменениями глобальной температуры ΔT и солнечной активности R_z (число солнечных пятен) /11/.

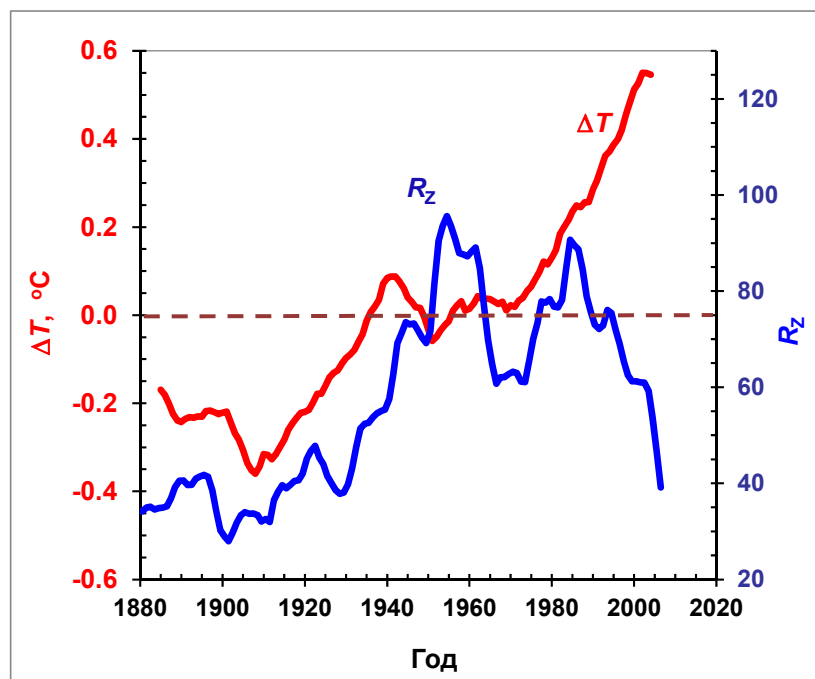


Рис. 1. Временные изменения среднегодовых значений ΔT и R_z (красная и синяя кривые, соответственно). Значения ΔT и R_z были сглажены скользящим 11-летним средним.

За последние годы, достигнут определенный прогресс в изучении самого процесса поглощения солнечного излучения в атмосфере и соответствующего влияния на изменение регионального (Арктика) и глобального климата. Показано, что хорошо поглощающие углеродсодержащие частицы, так называемый «черный углерод», могут индуцировать особый эффект нагрева, связанный с нагревом воздуха и приводящий к испарению облаков, который может изменять вертикальный профиль температур и динамическую структуру облаков. Наблюдается также эффект уменьшения радиуса облачных капель, что приводит к понижению скорости осаждения и более длительному времени жизни облаков и, тем самым, к более высокому облачному покрытию (эффект времени жизни). В результате глобальным эффектом может являться увеличение отражения солнечного излучения от этих облаков и, следовательно, охлаждение атмосферы. А нагрев приземного слоя в Арктике, покрытого снегом или льдом, обусловленный выпадением «черного углерода» из загрязнённых воздушных масс, может достигать $1\div 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более [3/.

- Важный шаг в разработке климатических моделей был сделан благодаря применению метода Монте Карло (MACR), где был введен детальный учет взаимодействия солнечного излучения с облаками и аэрозолями с учетом физико-химических процессов, что существенно повысило точность и оценку поглощения в атмосфере с $67 \pm 5 \text{ W m}^{-2}$ [4/.
- Значительная часть доклада посвящена косвенному механизму климатического воздействия солнечной активности, связанной с влиянием ультрафиолетового

излучения и потока энергетических частиц на содержание O_3 в атмосфере. Эти механизмы хорошо подтверждены экспериментально. В настоящее время существуют экспериментальные версии климатических моделей, учитывающие фотохимический озонный цикл. Обзор наиболее существенных работ и ссылки на них приведены в докладе.

- Реальное экспериментальное изучение влияния Солнечных космических лучей СКЛ на процессы в стратосфере, в частности на O_3 , стало возможным только после создания в СССР в марте 1969 г. (ИПГ) системы полярных ИСЗ «Метеор» /5/. Впервые был осуществлен непрерывный мониторинг галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ) в околоземном космическом пространстве, позволивший детально изучить влияние вторжений СКЛ от мощных солнечных вспышек на динамику содержания озона в атмосфере.
- Ещё один косвенный механизм, рассмотренный в докладе, связан с возможным влиянием космических лучей на число ядер конденсации в атмосфере и, следовательно, на характеристиках облачности.

В 2012 г. мировая научная общественность широко отметила 100-летие со дня открытия космических лучей австрийским ученым Виктором Хессом, поднимавшимся на воздушном шаре с ионизационной камерой.

Существенную роль в изучении ионизации атмосферы до высот 30 км сыграло создание сети наземных и судовых станций радиометрического стратосферного зондирования Госкомгидромета (ИПГ совместно с ЦАО) и станций ФИАН.

В 1957 г. в СССР был впервые проведены измерения космических лучей в атмосфере с помощью радиозонда с приемом телеметрической информации на радиоприемник /6/. В 1968 г. был разработан радиометрический радиозонд РРЗ с приемом телеметрической информации штатной аппаратурой аэрологических станций Госкомгидромета /7/.

На научных станциях ФИАН и на сети наземных и судовых аэрологических станций Госкомгидромета был организован мониторинг космических лучей, позволивший впервые получить планетарное распределение вторгающихся ионизирующих потоков и исследовать вариации космического излучения с циклом солнечной активности. Разрабатывались важнейшие научные направления, связанные с изучением влияния космического излучения на ионизацию атмосферы и грозовую активность, а также отклика облачного покрова на вариации ионизирующих потоков и соответственно их возможного влияния на климат /8,9/.

Начиная с пионерской работы Свенсмарка, появилось несколько десятков публикаций, в которых обсуждалось возможное влияние потоков космических лучей на облачность и земной климат /10/. Вводились многочисленные поправки в спутниковые данные и уточнения широтных зон, высотного распределения и типа облачного покрова,

позволявшие в ряде случаев для некоторого периода показывать хорошую корреляцию интенсивности космического излучения и изменения глобальной температуры.

Однако, анализ временных зависимостей $\Delta T(t)$ и $N_m(t)$ приводит к заключению, что связь между этими величинами отсутствует, что можно видеть из рис.2 /11/. Хотя для корректного сравнения необходимо было бы введение поправок на влияние антропогенного фактора.

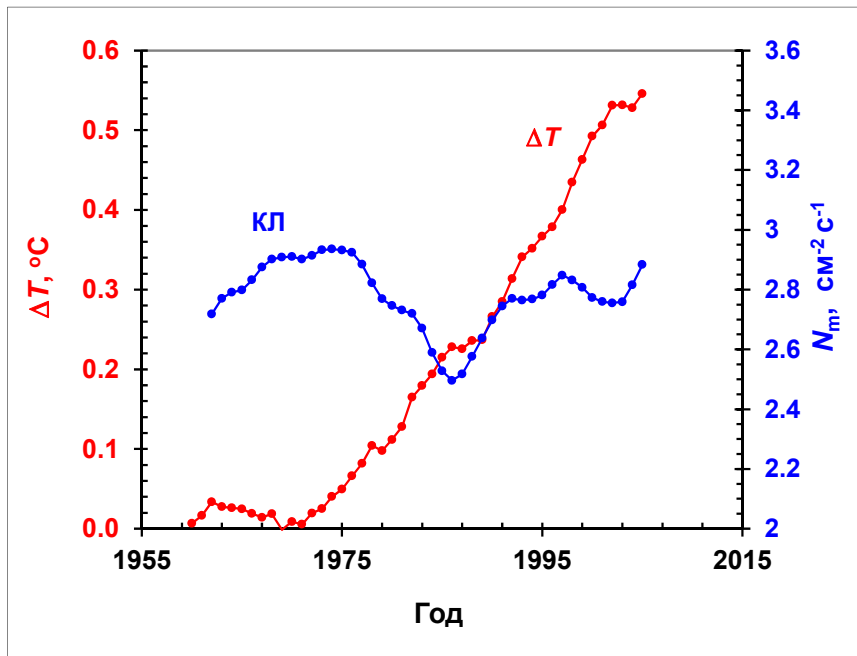


Рис. 2. Временной ход среднегодовых глобальных изменений температуры приземного слоя воздуха ΔT (красные точки, вертикальная ось - слева) и потока космических лучей, измеренного в максимуме кривой поглощения в северных полярных широтах N_m (синие точки, вертикальная ось - справа). Значения ΔT и N_m были сглажены с помощью 11-летнего скользящего среднего, чтобы убрать 11-летнюю периодичность в космических лучах.

Проведение одновременных исследований галактических космических лучей в околоземном космическом пространстве на ИСЗ «Метеор» и в полярной стратосфере с помощью радиометрических радиозондов, по-видимому, позволило обнаружить неизвестное явление «Влияние магнитного цикла Солнца на высотный ход космического излучения в полярной шапке» /12/. В случае подтверждения данного явления его необходимо будет учитывать в оценке ионизации атмосферы в Арктике при переполюсовке магнитного поля Солнца.

В настоящее время, благодаря успехам в ядерной физике, подробно изучены ядерные взаимодействия космического излучения с атмосферой с образованием многочисленных высокоэнергичных новых частиц и электронно-фотонных лавин. Однако совершенно недостаточно изучены процессы нуклеаризации, образования кластеров и ядер конденсации. Поэтому большие надежды возлагаются на международный научный проект CLOUD (облака) – детальные исследования микропроцессов в специальной барокамере, где моделируются условия аналогов атмосферы от уровня земли до стратосферных и ионосферных высот, при облучении ее высокоэнергичными частицами крупнейшего ускорителя в Церне /13/.

- В последние годы, по-видимому, сделано важное открытие механизма образования молний в результате ионизации атмосферы галактическим космическим излучением, в частности, частицами с энергией больше 10^{14} МэВ, генерирующими ШАЛ широкие атмосферные ливни /14/. С помощью спутников обнаружены мощнейшие вспышки в ионосфере во время гроз, получившие название «красных спрайтов» и т.н. «голубые светящиеся струи» над грозовыми облаками /15,16/. Все это позволяет по-новому взглянуть на образование электрических полей и их влияние на глобальные геофизические процессы.
- А.В. Елисеев кратко затронул тему возможной связи минимумов солнечной активности и периодов длительного похолодания. Последнее время на многих международных конференциях обсуждается вероятность в ближайшем будущем глобального похолодания. Один из механизмов предложен Физическим институтом РАН.

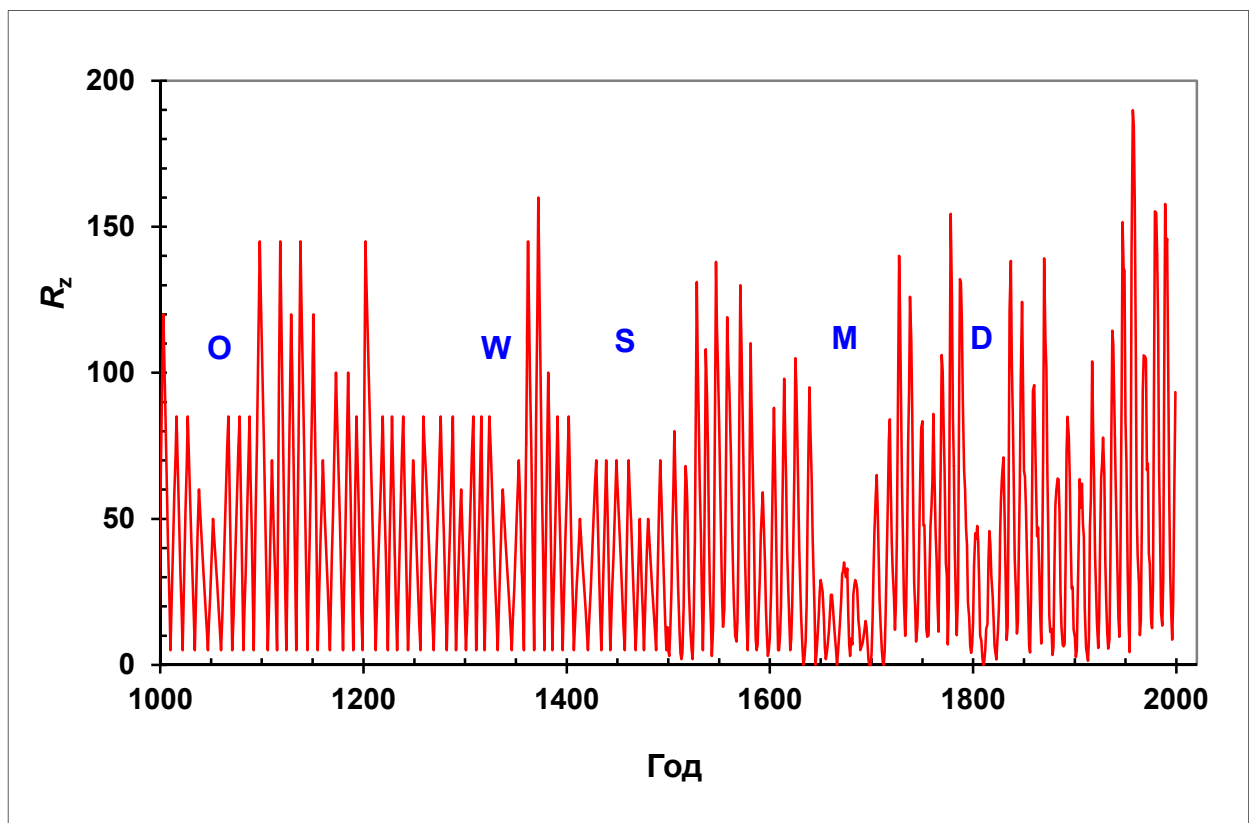


Рис. 3. Среднегодовые значения R_z в зависимости от времени. Показаны гранд-минимумы солнечной активности: O – минимум Оорта, W – минимум Вольфа, S – минимум Шперера, M – минимум Маундера и D – минимум Дальтона.

Важнейшей характеристикой солнечной активности является ее квази-периодическое изменение со средним периодом 11 лет. Эта периодичность прослеживается на шкале времени ~ 2650 лет. Однако иногда на Солнце наступают длительные периоды низкой солнечной активности, так называемые гранд-минимумы /17,18/. Периоды гранд-минимумов, имевшие место за последние 1000 лет, показаны на рис. 3 и в Таблице 1.

Таблица 1. Гранд-минимумов солнечной активности за последние 1000 лет

Название минимума	Минимум Оорта	Минимум Вольфа	Минимум Шперера	Минимум Маундера	Минимум Дальтона
Период	1010 - 1050	1280 - 1350	1460 - 1540	1620 - 1720	1790 - 1835

Имеется несколько гипотез для объяснения этих явлений. Например, их могли бы вызвать стохастические изменения параметров солнечного динамо /19/. Другим является влияние планет. На рис. 4 приведен рассчитанный временной ход расстояния r между центром масс солнечной системы и центром Солнца /20/. В верхней части рис. 4 показаны периоды гранд-минимумов солнечной активности. Видно, что длительные минимумы солнечной активности наблюдаются в периоды, когда значения r испытывают наибольшие флуктуации. В настоящее время мы находимся в новом длительном минимуме солнечной активности, который будет продолжаться в течение следующих нескольких десятилетий

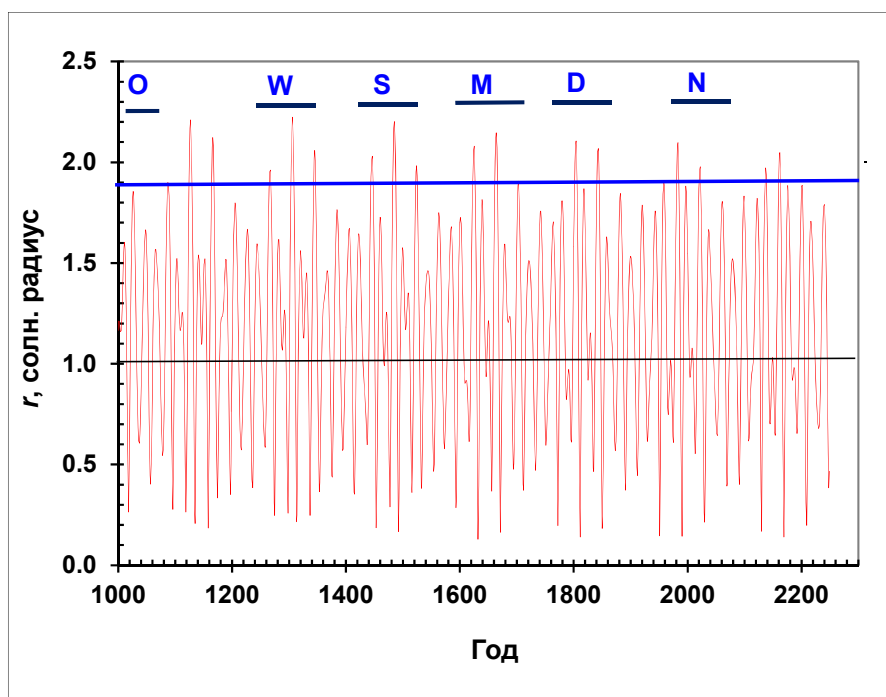


Рис. 4. Расстояние r между центром масс солнечной системы и центром Солнца в зависимости от времени. O – минимум Оорта, W – минимум Вольфа, S – минимум Шперера, M – минимум Маундера, D – минимум Дальтона, N – новый минимум. Горизонтальные отрезки наверху показывают длительность гранд-минимумов.

Ежедневно на Землю выпадает от 4×10^2 до 10^4 тонн космической пыли. Изменение концентрации пылевых частиц в зодиакальном облаке будет влиять на общую массу пыли, попадающую в атмосферу, что, в конечном счете, будет влиять на площадь глобального облачного покрова /22/.

В Таблице 2 представлены периодичности в обращении вокруг Солнца некоторых пар планет /20/.

Таблица 2. Периодичности, найденные в среднемесячных температурных данных ΔT и в движении пар планет.

Амплитуда изменений температуры, °C	Период, год ⁻¹	Пары планет	Период, год ⁻¹
0.3553	198.25	Нептун - Плутон	197.9
0.1976	66.419	Уран - Плутон	62.7
0.0824	33.636	Сатурн - Плутон	33.4
0.0841	21.556	Юпитер - Уран	20.7

Периоды в изменениях ΔT и в обращении пар планет практически совпадают. Отсюда делается вывод о прямой связи изменения ΔT , движения планет и их воздействия на межпланетную среду, в частности, зодиакальное облако.

Прогноз, основанный на данных спектрального анализа, дает скорое уменьшение значений ΔT со временем, т.е. потепление климата должно смениться его похолоданием. Согласно расчетам процесс похолодания уже начался, и будет продолжаться до ~ 2050 г. /20/. На рис. 5 $\Delta T(t) = T(t) - T_{\text{ср}}$, где $T_{\text{ср}}$ есть среднее значение температуры приземного слоя воздуха, взятое за период 1901 -2000 гг. и усредненное по всему земному шару, $T(t)$ – текущее глобальное среднее значение температуры.

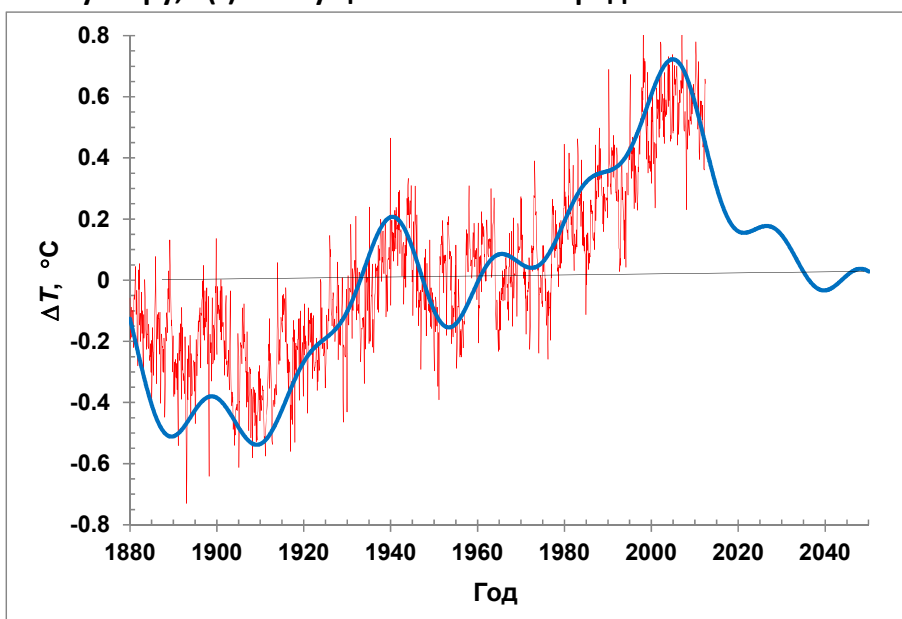


Рис. 5. Среднемесячные значения глобальных изменений температуры приземного слоя воздуха ΔT в зависимости от времени (красная кривая) /21/. Аппроксимация значений ΔT и прогноз ее изменений до 2050 г. (синяя кривая) /22/.

Фактически этот подход не учитывает влияние антропогенного фактора и поэтому не признается большинством специалистов.

К сожалению, в работе /20/ отсутствует описание самого метода расчета, какие методы спектрального анализа использовались. Для расчета спектральных характеристик временного ряда температурные значения ΔT брались с 1880 г., т.е. только за 130 лет. В то же время, в таблице, где приведены основные результаты расчетов, на которых основывается работа, главным периодом в температурном ряде указан период 198.25 лет, что вызывает естественный вопрос. Не исключено, что так же, как и в случае с SVESMARK-ом, анализ на большем временном интервале может существенно изменить результаты. Было бы важно провести независимые расчеты и, используя разработанную автором доклада методику спектрального анализа, сопоставить данные на более длительном периоде времени. Не исключено, что дальнейшие исследования покажут, что зодиакальная космическая пыль, также как и многочисленные другие факторы, вносит свой, хотя и не определяющий вклад в изменение глобального климата.

Последние 5 лет продолжаются активные исследования дополнительных возможных факторов влияющих на изменение климата, особенно в Арктике. Одним из них является короткоживущий климатический фактор - «Черный углерод» (BC – black carbon), существенно влияющий на поглощение солнечного излучения. Опубликовано свыше сотни научных работ, посвященных изучению BC /3/. ЮНЕП активно выступает за снижение выбросов «Черного углерода». Однако, до сих пор BC не является объектом мониторинга и его исследования, особенно на территории России, крайне фрагментарны. В феврале 2012 г. шесть стран подписали Рамочное соглашение о создании коалиции CCAC (The Climate and Clean Air Coalition) по совместным действиям по уменьшению выбросов короткоживущих климатических факторов. Вскоре к ним присоединился еще целый ряд стран, а также Всемирный Банк. Создан Наблюдательный Совет и его рабочие органы: Рабочие группы, Технический Совет и Орган для научных консультаций. 15 августа 2013 в Париже состоялось заседание CCAC по проблеме короткоживущих климатических факторов. На повестке дня стал вопрос о включении короткоживущих климатических факторов в глобальный мониторинг.

Литература

1. Мохов И.И., Безверхний В.А., Елисеев А.В., Карпенко А.А. Модельные оценки возможных климатических изменений в XXI веке при различных сценариях солнечной и вулканической активности и антропогенных воздействий // Космические исследования. 2008. Т. 46. № 4. С. 363-367.
2. Mokhov I.I., Bezverkhny V.A., Eliseev A.V., Nikitina N.G. Impact of statistically extrapolated changes in total solar irradiance on results of 21st-23rd projections with a global climate model under RCP scenarios // 3rd International Conference on Earth System Modelling. Hamburg: Copernicus Gesellschaft, 2012. 3ICESM-63
3. Report to congress on black carbon EPA-450/R-001 2012
4. Dohyeong Kim, V. Ramanathan JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, V. 113, D02203, doi:10.1029/2007JD008434, 2008
5. В.А. Воробьев, В.П.Кричикова, А.Б.Малышев О привязке к геомагнитным (В, L) координатам потоков заряженных частиц для ИСЗ с круговой орбитой. Вопросы радиационной космофизики вып. 1, 44-49, 1970
6. Чарахчян А.Н. УФН, 83, 35, 1964
7. Воробьев В.А., Гаврилов П.Ф., Переяслова Н.К., Плотников Г.А., Трифонов Г.П., Чуканов А.А. Автоматизированный комплекс радиационно-ветрового зондирования атмосферы. // Метеорология и гидрология 1985; №7; 117-119
8. Стожков Ю.И. Космические лучи в стратосфере и в околоземном космическом пространстве . ФИАН, т.28
9. Воробьев В.А. Сети станций радиометрического стратосферного зондирования Госкомгидромета - 40 лет. // Метеорология и гидрология 2012; № 5; 120-122.
10. H. Svensmark and E. Friis Christensen. Variation of cosmic ray flux and global coverage – a missing link in solar-climate relationship. J. Atm. and Solar-Terrest. Physics, 1997, 59, 1225.
11. Stozhkov Y. Proceedings of the international symposium FORGES 2008 Yerevan 12 ,2009.
12. V.A. Vorobyev Journal of international scientific publication «Ecology and Safety», V.4, P.3, 436-444 2012
13. Jasper Kirkby и др.
Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation Nature doi:10.1038/nature10343

14. Препринт ФИАН 2004, №2
15. Rodger C.J Red sprites, upward lighting, and VLF perturbations // Rev.Geophysics, 1999, v.37, No. 3, 317-336
16. Sentman D.D., Wescott T.M. Red sprites and blu jets: yigh-altitude optical emissions linked to lightning. // EOS, 1982,v.77, No.1, 1-4
17. Shove D.J. J. Geophys. Res., 1995, 60, No. 2, 127.
18. Ермаков В.И., Охлопков В.П., Стожков Ю.И. Спектральный анализ данных о пятнообразовательной деятельности Солнца за последние 2650 лет. Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, 2002, № 10, с. 12-17.
19. Usoskin I.G., Sokoloff D., Moos D. Solar Physics, 254, 345, DOI 10.1007/s11207-008-9293-6 2009
20. Ю.Стожков, В.Охлопков Солнечная активность, космические лучи, глобальные изменения климата. Космические лучи и гелиоклиматологи, серия «Космические лучи» 28, 2012, 62-86.
21. ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/annual.land_ocean.90S.90N.df_1901-2000mean.dat
22. Ермаков В.И., Охлопков В.П., Стожков Ю.И. Влияние пыли космического происхождения на облачность, альбедо и климат Земли. Вестник Московского университета, сер. 3, физика, астрономия, 2007, № 5, с. 41-45;