

## ПРОБЛЕМЫ КЛИМАТА КАК ЗАДАЧА СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ

С.В. Авакян

### CLIMATE PROBLEMS AS A TASK OF SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS

S.V. Avakyan

Рассматривается микроволновое излучение ионосферы, возмущенной в периоды солнечных вспышек и магнитных бурь, как фактор влияния на тропосферные характеристики. Предложена следующая схема нового радиооптического трехступенчатого триггерного механизма солнечно-магнитосферных – погодно-климатических связей:

- трансформация в ионосфере поглощенных потоков солнечного ионизирующего излучения и корпускулярных потоков, выпадающих из радиационных поясов и прямо из магнитосферы (как факторов влияния солнечной и геомагнитной активности), в поток микроволн (через возбуждение ридберговских состояний), которые свободно проникают до земной поверхности;
- регулирование микроволновым ионосферным излучением скоростей образования и развала кластерных ионов водяных паров на тропосферных высотах;
- вклад кластеров в образование облачности, контролирующей поступление солнечного излучения в тропосферу и уход теплового излучения подстилающей поверхности в космос.

We consider microwave radiation of the ionosphere, disturbed during solar flares and magnetic storms, as a factor influencing the troposphere. We propose the following scheme of the three-stage radiooptical trigger mechanism of solar-magnetospheric – weather-climate relations:

- the ionospheric transformation of absorbed fluxes of solar ionizing radiation and corpuscles from the radiation belts into a flux of microwaves through the excitation of Rydberg states;
- the regulation of the rates of formation and destruction of water cluster ions by microwave radiation in the troposphere;
- the contribution of clusters to the formation of clouds affecting the energy flux of solar radiation in the troposphere and the heat flux from the underlying surface.

#### Введение

Одной из главных задач современного естествознания является определение роли солнечного влияния в наблюдаемом в последние десятилетия процессе глобального потепления приземного воздуха. Можно говорить даже о вызове солнечно-земной физике [Авакян, 2009], поскольку, с одной стороны, нет убедительных доказательств, что вклад антропогенного воздействия достаточен для нынешних изменений климата, с другой стороны, успехи космических исследований, проводимых уже более полувека, позволяют ожидать от современной космофизики весомых результатов при прогнозировании явлений окружающей среды. Действительно, уже несколько десятилетий в проблеме «Солнце – погода и климат» физика солнечно-атмосферных связей оперирует одними и теми же подходами и гипотезами о физических механизмах [Солнечно-атмосферные..., 1974; Герман, Голдберг, 1981; Солнечно-земные..., 1982; Пудовкин, Распопов, 1992; Benestad, 2002], которые связываются с воздействием космических лучей на прозрачность атмосферы и облачность либо на атмосферное электричество и далее на облакообразование. Однако потоки космических лучей галактического происхождения ничтожны, их вариации незначительны, а потоки солнечных космических лучей редко проникают в тропосферу [Pudovkin, 1995; Авакян, 2008], поэтому выводы о корреляции между интенсивностью потока космических лучей и облачностью [Вольфендейл и др., 2009] также считаются неопределенными.

В то же время при обсуждении энергетических проблем солнечно-магнитосферного воздействия на погодно-климатические характеристики обычно предлагался поиск не прямых [Willis, 1976] либо триггерных [Авдюшин, Данилов, 2000] механизмов

передачи эффектов вариаций солнечно-геомагнитной активности в тропосферу. Поскольку все энергетически наиболее значимые потоки от солнечных вспышек и в периоды геомагнитных бурь полностью диссипируют по энергии в земной ионосфере, то наиболее естественным и действенным элементом триггерного механизма солнечно-атмосферных связей следует считать именно ионосферу Земли [Авакян, 2008]. Ранее нами была показана существенная роль ионосферы в гелиогеобиокорреляциях [Авакян, 2005; Avakyan, 2006] благодаря введению в рассмотрение ионосферного микроволнового излучения, возникающего в переходах между высоковозбужденными ридберговскими состояниями всех ионосферных компонентов [Авакян, 1994].

Данное исследование опирается на опыт моделирования возмущений в ионосфере под действием солнечных вспышек, высыпаний электронов из радиационных поясов в период геомагнитной бури и при различных искусственных воздействиях. Эти возмущения отчетливо проявляются при регистрации степени ионизации верхней атмосферы методом радиозондирования и при оптических исследованиях, в том числе при визуально-инструментальных наблюдениях ионосферного свечения с борта пилотируемых космических аппаратов [Авакян и др., 1984]. Для построения более точных и совершенных моделей возмущений ионосферы мы ввели известные из физики атомных столкновений процессы высокой пороговой энергии: эффект Оже, двукратная фотоионизация наружной электронной оболочки и возбуждение ридберговских состояний ударом энергичных ионосферных электронов (фотоэлектронов, вторичных электронов и электронов Оже). Роль этих процессов при солнечных вспышках и

магнитных бурях резко возрастает из-за ужесточения спектра потока квантов и электронов, ионизирующих верхнюю атмосферу [Avakyan, 2004; Авакян, 2005].

### Радиооптический трехступенчатый триггерный механизм солнечно-тропосферных связей

В последние годы нами предложен новый радиооптический трехступенчатый триггерный механизм солнечно-магнитосферного управления погодно-климатическими явлениями [Avakyan, 2004; Avakyan, Voronin, 2006, 2008, 2011; Авакян, Воронин, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012]. Механизм позволяет учитывать вклад вариаций солнечного потока ионизирующего излучения в крайнем УФ и рентгене, в том числе при вспышках на Солнце. Механизм точно так же позволяет учитывать вклад корпускулярных потоков, выпадающих из радиационных поясов и прямо из магнитосферы при геомагнитных возмущениях, в том числе в периоды геомагнитных бурь.

В задачу работы входит обоснование предложенного механизма и иллюстрация его возможного вклада в современное изменение климата, прежде всего в наблюдаемое в последние десятилетия глобальное потепление приземного воздуха. При этом учитывается одно из основополагающих воззрений Владимира Ивановича Вернадского [Вернадский, 1991]: «Основная и решающая часть научного знания – факты и их крупные и мелкие эмпирические обобщения. Научные теории и гипотезы не входят, несмотря на их значение в текущей научной работе, в основную и решающую часть научного знания. Основное значение гипотез и теорий – кажущееся». Схема радиооптического механизма приведена на рис. 1. Поясним, что первая часть термина «радиооптический» подразумевает, что, во-первых, в физику ионосферы вводится новый (ридберговский) механизм генерации радиоизлучения земной ионосферы в микроволновом (от миллиметрового до дециметрового) диапазоне длин волн, возмущенной ионизирующим излучением вспышки на Солнце или электронами, выпадающими в ионосферу при магнитных бурях (полярных сияниях). Это излучение наблюдалось 40 лет назад в НИРФИ [Троицкий и др., 1973], но его природа – излучение в дипольных переходах между высоковозбужденными (ридберговскими) уровнями с  $n \sim 10-20$  и с изменением орбитального квантового числа на 1 – показана впервые в наших работах середины 1990-х гг. [Авакян, 1994; Авакян и др., 1997]. В 2002 г. важная роль этого «ридберговского механизма» подтверждена впервые экспериментально в том же НИРФИ на нагревном стенде «Сура», когда была дана физическая интерпретация наблюдаемого микроволнового излучения ионосферы на частоте 600 МГц [Грач и др., 2002; Grach et al., 2002; Leyser, Wong, 2009].

«Оптическая» часть предложенного механизма связана с учетом воздействия на содержание паров воды в столбе атмосферы как вспышек на Солнце, так и солнечных микроволновых радиовсплесков, обнаруженного при высокогорных наблюдениях (на высоте 2.1 км) под Кисловодском в 1980-х гг. сотрудниками кафедры физики атмосферы ЛГУ [Крауклис

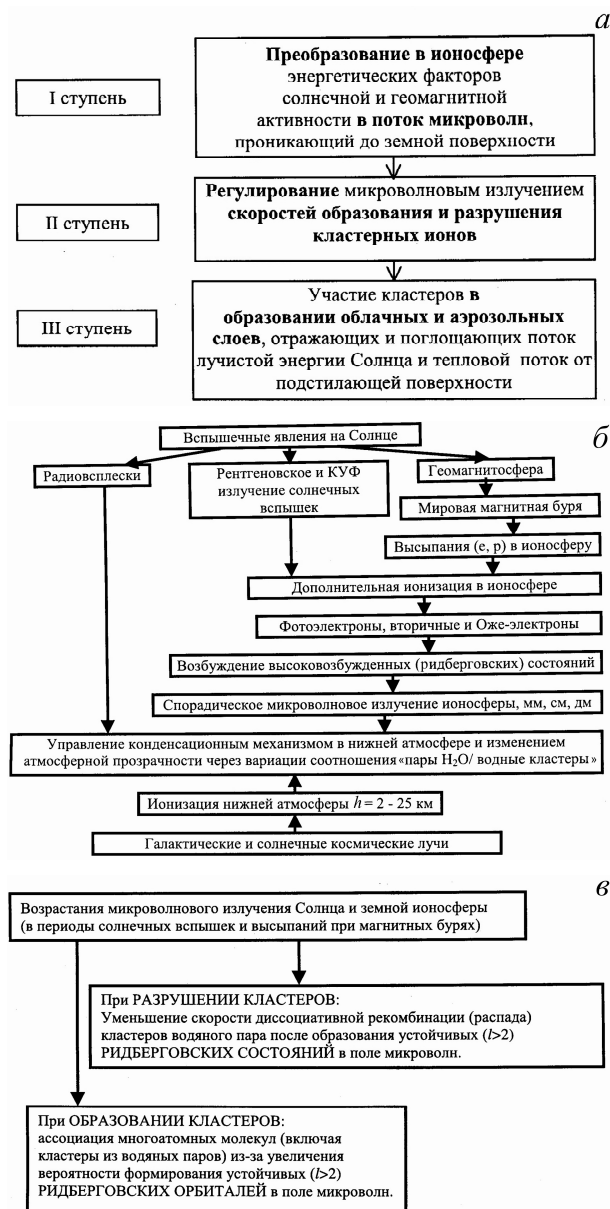


Рис. 1. Общая схема радиооптического трехступенчатого триггерного механизма воздействия факторов солнечно-геомагнитной активности на тропосферные характеристики (а); детальная схема контроля конденсационного механизма солнечно-геомагнитными возмущениями (б); управление конденсационным механизмом в нижней атмосфере и изменением атмосферной прозрачности через вариации соотношения «пары воды/водные кластеры»; ( $l > 2$ ) – орбитальное квантовое число для непроникающей орбиты электрона (в).

и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991]. Наблюдения были интерпретированы самими авторами как включение конденсационно-кластерного механизма с образованием кластерных комплексов из паров воды. Это подтверждалось регистрацией увеличенного поглощения атмосферы в появляющихся и углубляющихся кластерных полосах поглощения на длинах волн 320–330, 360, 380–390, 410 и 480 нм. Интересно, что остаточная оптическая плотность, т. е. ослабление солнечной радиации, в годы максимума солнечной активности (конец 1989 г.) была примерно в четыре раза выше, чем в минимуме (середина 1986 г.), что соответствует нашему механизму вклада микроволн в

увеличение (через индуцированное поглощение) количества ридберговских уровней с высокими орбитальными квантовыми числами  $\ell$ , а значит, с сильным замедлением скорости основной реакции разрушения кластерных ионов – столкновительной диссоциативной рекомбинации [Bates, 1981].

Итак, на основе работ [Крауклис и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991], а также работ, подтверждающих большую роль высоковозбужденных ридберговских состояний в процессах ассоциации больших молекул и кластеров и диссоциативной рекомбинации кластерных ионов [Bates, 1981; Biondi, 1982; Dabrowski, Herzberg, 1980; Gallas, 1985], можно констатировать, что микроволновый поток способствует росту концентрации кластеров, образующихся из паров воды, что далее приводит к возникновению оптически тонкой облачности.

Действительно, вновь зарождающаяся после солнечных вспышек и геомагнитных бурь облачность является в своем первоначальном виде конденсационной дымкой, т. е. средой, которая пропускает до 90 % приходящего потока солнечного излучения, но при этом задерживает более половины уходящего в космос теплового излучения подстилающей поверхности [Liou, Gebhart, 1982]. Вот почему такая оптически тонкая облачность является даже в дневное время суток разогревающей. Ее увеличенное образование после вспышек на Солнце и мировых магнитных бурь в периоды высокой солнечно-геомагнитной активности, согласно нашему радиооптическому механизму, – основная причина современного глобального потепления, связанного с эпохой максимума вековых (квази столетнего и квазидвухсотлетнего) циклов гелиогеофизической активности.

В работе [Кондратьев, Биненко, 1988] подчеркивалась необходимость изучения оптически тонкой перистой облачности, «особенно тонких и невидимых перистых облаков», и в первую очередь их жидко-капельной фракции, поскольку именно на этой стадии облачный слой вызывает существенное прогревание подоблачного слоя атмосферы. Генерации такого рода облаков предшествует, согласно радиооптическому механизму, как раз образование практически невидимой конденсационной дымки при кластеризации паров воды в поле микроволн из ионосферы в периоды солнечных вспышек и магнитных бурь.

Предложенный механизм появления при солнечных вспышках и геомагнитных бурях зарождающейся оптически тонкой облачности типа перистой позволяет наметить пути влияния мощных эффектов солнечно-геомагнитной активности на циклогенез. Действительно, согласно [Борисенков и др., 1989], задание в расчетных моделях присутствия перистой облачности площадью  $\sim 1.2 \times 1.2$  км, например, в тылу антициклона сильнее всего (до 2 гПа) уменьшает приземное атмосферное давление и, главное, смещает его дальнейшую траекторию. Так происходит на умеренных широтах, а для субарктической зоны наибольшее влияние на подобное изменение пути дальнейшего движения антициклона оказывает появление перистой облачности в центре и передней части антициклона. По [Борисенков и др., 1989] для

изменения циркуляционного режима атмосферы, связанного с генерацией кинетической энергии атмосферных движений, необходимо затратить энергию  $2.5\text{--}5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , в то время как такого же ее количества совершенно недостаточно, чтобы существенно изменить тепловой режим атмосферы. Таким образом, при появлении оптически тонкой облачности тепловой режим может существенно не измениться, но динамика атмосферы (интенсивность циклонов и антициклонов) изменится заметно как раз в рамках локальной области.

Подчеркнем, что все ступени предложенного механизма имеют экспериментальное подтверждение:

- Обнаружено микроволновое излучение ионосферы, усиливающееся во время солнечных вспышек и магнитных бурь [Троицкий и др., 1973].
- Доказана определяющая роль именно ридберговского механизма возбуждения микроволнового ионосферного излучения (прямые радиофизические активные воздействия на ионосферу Земли учеными НИРФИ при экспериментах на нагревном стенде «Сура», Нижний Новгород) [Грач и др., 2002; Grach et al., 2002; Leyser, Wong, 2009].
- Зарегистрировано регулирование влажности на высотах более 3 км как микроволновым излучением Солнца, так и солнечными вспышками [Крауклис и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991].
- Четко фиксируется непосредственное влияние солнечных вспышек и магнитных бурь на общую облачность [Дмитриев, Ломакина, 1977; Дмитриев и др., 1990; Веретененко, Пудовкин, 1996].

### О причинах современного глобального потепления

Очевидно, что для обоснования действующего механизма солнечно-атмосферных связей необходимо объяснить наблюдаемую зависимость погодно-климатических эффектов от цикличности активности Солнца. Метеорологи, да и некоторые геофизики, проводят исследования корреляций погодно-климатических характеристик с общепринятыми параметрами солнечной активности – числами Вольфа, связанными с пятнообразовательной деятельностью Солнца, и с временными вариациями полного потока электромагнитной солнечной радиации – солнечной постоянной. Результат оказывается отрицательным: ни числа Вольфа, ни солнечная постоянная не показывают значимой корреляции с метеорологическими параметрами. Это дало основание для скептической оценки самой возможности влияния солнечно-геомагнитной активности на погоду и климат [Монин, 1969; Хромов, 1973; Питток, 1982]. Действительно, в [Колесникова, Монин, 1968; Benestad, 2002] при исследовании корреляции температуры приземного воздуха (соответственно в Москве – Ленинграде и в Осло) с числами Вольфа получено, что температура не испытывает колебаний с периодом одиннадцать лет – основным циклом солнечной активности, а вместо этого наблюдаются устойчивые вариации в диапазоне 2–5.5 лет. В рамках нашего трехступенчатого триггерного механизма такой результат вполне понятен: увеличение разогревающей оптически тонкой облачности происходит

благодаря возросшему потоку микроволн из ионосферы как под действием солнечных вспышек, так и во время магнитных бурь. В 11-летнем цикле имеются два максимума вероятности появления этих вспышек и бурь, и они совпадают лишь частично [Авакян и др., 1994]. В результате в течение одиннадцати лет происходят два наиболее мощных микроволновых воздействия на содержание водяного пара в тропосфере (с коагуляцией кластеров) – в периоды магнитных бурь и от солнечных вспышек в интервалах между максимумами геомагнитных бурь (такое влияние, как правило, менее интенсивно). Этим и объясняется разброс периодов от 2 до 5.5 лет в температурных максимумах, наблюдаемых в Осло, Ленинграде и Москве. Важный для понимания межгодовых колебаний гидрологических процессов результат получен в работе [Румянцев, Трапезников, 2012], где выделен, в частности, тот же квази-2–4-летний период, связываемый авторами с гравитационным воздействием пары Юпитер–Венера. Заметим, что периоды в диапазоне 2–6 лет для осадков в Осло проявляются и по данным более ранней работы [Benestad, 2002]. Каналы влияния цикличности солнечно-геомагнитной активности на гидрологические процессы в рамках радиооптического механизма следует, по-видимому, искать прежде всего с учетом эффекта стимулирования осадков из нижележащей облачности при возникновении после вспышек и магнитных бурь оптически тонкой облачности. Как представлено в [Борисенков и др., 1989], перистые облака – аналог такой облачности – могут «засевать» своими кристаллами нижележащие облака и вызывать осадки.

Интересно, что в [Шарков, Афонин, 2012] с использованием индекса  $F10.7$ , хорошо описывающего вариации потока ионизирующего электромагнитного излучения Солнца [Авакян и др., 1994], обнаружен отклик глобального циклогенеза на внешнее воздействие с 27-суточным периодом солнечной активности. Это подтверждает, что именно ионизирующее верхнюю атмосферу Земли солнечное электромагнитное излучение, а не солнечный ветер является главным агентом солнечно-атмосферных связей, поскольку в вариациях солнечного ветра 27-суточный период отсутствует.

Кроме 11-летнего цикла солнечной активности существуют, как известно, более длительные циклы. В работах [Авакян, Воронин, 2010, 2011; Avakyan, Voronin, 2011] мы обосновали решающее влияние вековых циклов солнечно-геомагнитной активности на наблюдаемое в последние десятилетия глобальное повышение температуры приземного воздуха («глобальное потепление»). Это удалось сделать на основе радиооптического трехступенчатого триггерного механизма, при этом были проанализированы, во-первых, тренды основных индексов солнечной и геомагнитной активности, во-вторых, экспериментальные результаты по глобальному распределению облачного покрова, полученные со спутников начиная с первой половины 1980-х гг. Оказалось [Авакян, Воронин, 2010, 2011; Avakyan, Voronin, 2011], что все ключевые эффекты совокупного векового (квазистолетного и квазидвухсотлетнего) цикла

солнечно-геомагнитной активности находят свое отражение в поведении глобальной облачности (рис. 2). Так, максимум глобальной облачности в 1985–1987 гг. приходится на максимум электромагнитной (1985 г.) и корпускулярной (1987 г.) активности Солнца [Lockwood, Frohlich, 2007], а второй максимум (конец 2003 г.) совпадает с абсолютным максимумом  $aa$ -индекса геомагнитной активности и количества геомагнитных бурь за весь период наблюдений (более 100 лет). Уменьшение распространенности облачности в глобальном масштабе после 1987 и 2003 гг. соответствует в рамках радиооптического механизма снижению солнечной (по потоку в мягком рентгеновском и КУФ-диапазонах) и геомагнитной – буревой (по потоку высыпавшихся из радиационных поясов электронов) активности (рис. 3). Действительно, ослабление этих потоков уменьшает интенсивность микроволнового излучения ионосферы и, следовательно, замедляет конденсационно-кластерный механизм в тропосфере – генератор облачности. Подтверждением этого механизма является зарегистрированный в 1986–1999 гг. рост содержания водяных паров в столбе тропосферы [Арефьев и др., 2006]. С 1999–2000 гг. эта величина вновь стала падать, а глобальная облачность – возрастать. При этом важно, что данные о соотношении количества нижней и верхне-средней облачности за 2000–2004 гг. [Palle, 2004, 2006] показали резкое (вдвое) увеличение вклада в общую облачность именно облаков верхнего и среднего ярусов в сравнении с периодом 1985–1999 гг., что тоже согласуется с увеличением вклада радиооптического механизма в преобразование паров воды в кластеры под действием потока микроволн из ионосферы, возросшего в период

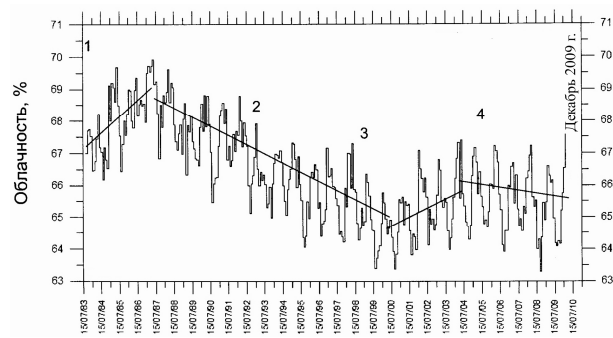


Рис. 2. Изменение площади глобальной облачности по наблюдениям со спутников [http://isccp.giss.nasa.gov/climate/anal7.html]. Предложенная линейная аппроксимация подтверждает влияние вековых трендов отдельных характеристик солнечно-геомагнитной активности: потока крайнего УФ и мягкого рентгеновского излучения Солнца,  $aa$ -индекса (рис. 3, а, б, в, г) – и воздействия их совместного падения после конца 2003 г.: 1 – период с 1983 по 1985/87 гг.: увеличение облачности в связи с возрастанием коротковолновой активности Солнца [Lockwood, Frohlich, 2007] и увеличением  $aa$ -индекса геомагнитной активности, как и числа мировых магнитных бурь; 2 – период с 1987 по 2000 г.: падение потока КУФ-излучения Солнца [Lean, 2005] и числа вспышек на Солнце [Белов и др., 2005]; 3 – период с 2000 по 2003 г.: рост  $aa$ -индекса, продолжающийся вплоть до конца 2003 г.; 4 – период с 2004 г.: общее падение  $aa$ -индекса, числа мировых магнитных бурь и коротковолновой электромагнитной активности Солнца.

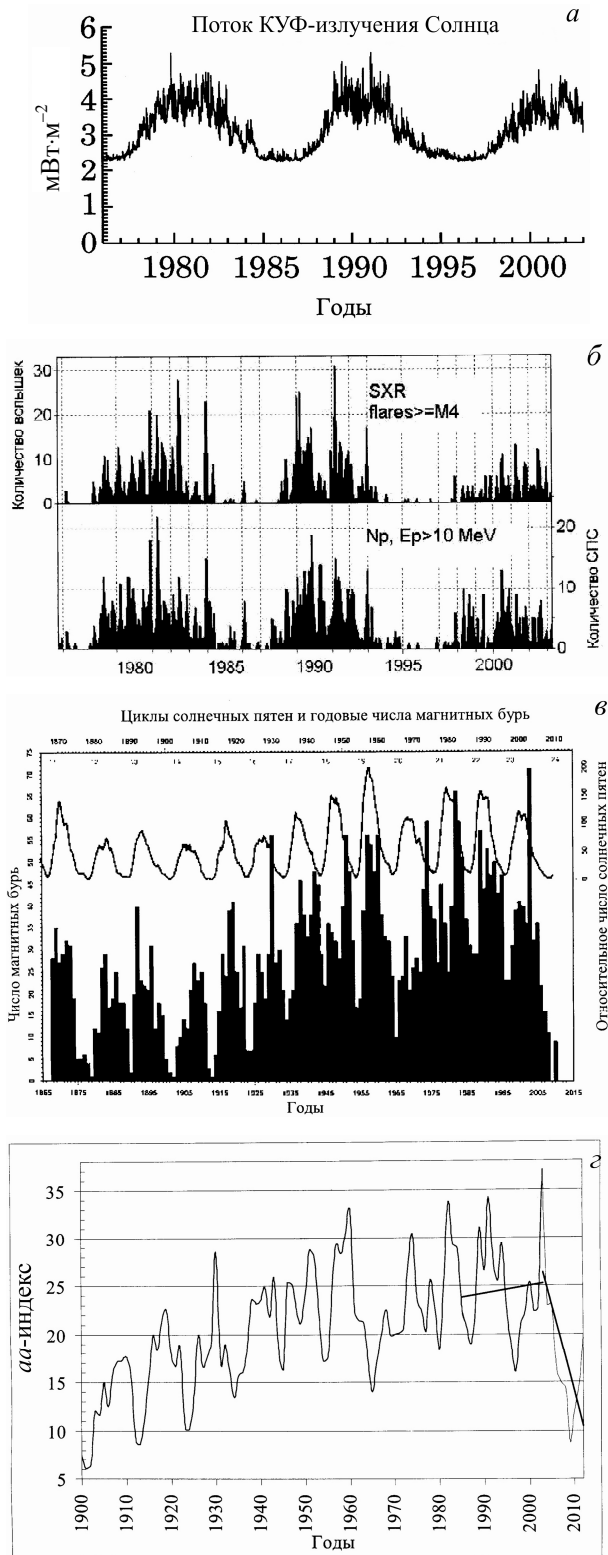


Рис. 3. Изменения в 1976–2003 гг. текущего потока ионизирующего крайнего УФ-излучения Солнца [Lean, 2005] (а); временные вариации количества вспышек балла  $\geq M4$  и солнечных протонных событий ( $>10$  МэВ), наблюдавшихся за месяц в 1975–2003 гг. [Белов и др., 2005] (б); относительные числа солнечных пятен (числа Вольфа), сглаженные за месяц (верхняя кривая), и ежегодное число магнитных бурь (гистограмма внизу) [http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html] (в); вековой ход  $aa$ -индекса и линейная его аппроксимация [Авакян, Воронин, 2011] с 1985 г. (после начала падения электромагнитной солнечной активности в вековых циклах) по 2003 г. и после 2003 г. (г).

повышения (до абсолютного векового максимума) числа геомагнитных бурь (рис. 3, в). Следовательно, в отсутствие данных прямых измерений оптической толщины глобальной облачности данные [Palle, 2004, 2006] о постоянном превышении верхне-средней облачности над нижней можно считать свидетельством того, что зафиксированное с 1987 г. снижение общей глобальной облачности (рис. 2) обусловлено прежде всего уменьшением количества оптически тонких облаков, а это и определяет падение вклада эффектов солнечно-геомагнитной активности в потепление приземного воздуха.

Действительно, согласно [Головко, 2003] именно с 1985/86 гг. началось существенное возрастание потока длинноволновой радиации, уходящей в космос с подстилающей поверхности. А это, согласно радиооптическому механизму, свидетельствует о сокращении в основном как раз оптически тонкой облачности, так как такая зарождающаяся под действием солнечных вспышек и геомагнитных бурь облачность, задерживая тепловое излучение Земли, пропускает наибольшую часть отраженного коротковолнового излучения. В этом ее отличие от плотной облачности, кардинально задерживающей именно коротковолновую радиацию.

В [Головко, 2003] представлены следующие данные по энергетике в процессе эволюции общего радиационного баланса Земли в 1985–2003 гг.:

- средний тренд потока уходящей длинноволновой радиации составляет около  $4.4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ /десятилетие;
- за весь период рост потока уходящей длинноволновой радиации составил  $\sim 15 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , а поток уходящей коротковолновой радиации уменьшился примерно на  $10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Это согласуется с нашей оценкой воздействия радиооптического механизма. Действительно, уменьшение общей облачности с момента максимума солнечной активности в 1985/87 гг. по 2000 г. составило 4–5 % (рис. 2). При среднем альбедо облаков 0.5–0.8 и с учетом шарообразности Земли имеем:  $342 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \times 0.04 \times 0.8 = 6.8\text{--}13.7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  – та оценочная величина, на которую уменьшается значение потока уходящей коротковолновой радиации. Она как раз соответствует результатам анализа спутниковых данных, выполненного в [Головко, 2003], хотя в реальности еще необходим учет небольшого вклада излучения освободившейся от облачности площади подстилающей поверхности (с альбедо 0.3). Во всяком случае, «аномальный рост уходящего длинноволнового излучения» свидетельствует, по нашему мнению, не «об устойчивом глобальном потеплении» [Головко, 2003], а, наоборот, о резком снижении вклада оптически тонкой облачности, разогревающей нижние слои тропосферы, и, соответственно, об уменьшении роли векового максимума солнечной активности в эффекте потепления.

В течение последних лет изменилось поведение еще одного из главных космофизических факторов влияния на климат – интенсивности потока ГКЛ, т. е. уменьшение интенсивности потока ГКЛ сменилось возрастанием. ГКЛ могут особенно активно участвовать в образовании оптически плотных облаков нижнего яруса, приводящих, как правило, к охлаждению.

дению приземного воздуха [Kirkby, Laaksonen, 2000; Carslaw et al., 2002]. С этих позиций рост ГКЛ ведет за собой возрастание охлаждающей облачности, а значит, участвует в ослаблении глобального потепления. Рост ГКЛ наблюдается уже по крайней мере с 1999–2000 гг., т. е. с последнего максимума солнечной активности (рис. 4).

Итак, все наблюдения смены знака, отмеченные нами для ряда трендов в последнее десятилетие, могут свидетельствовать об окончании в ближайшее время периода действия вклада солнечного векового (квазистолетного и квазидвухсотлетнего) компонента в регистрируемое глобальное потепление климата [Авакян, Воронин, 2010, 2011; Avakyan, Voronin, 2011].

Современная наука пока не может прогнозировать с достаточной точностью скорость предстоящего похолодания. Это связано с пробелами в знаниях о механизмах вариабельности активности Солнца как в 11-летнем цикле, так и на вековой шкале. Но, главное, считается, что очень большую роль во временных задержках вариаций климата может играть тепло, запасенное в Мировом океане. Согласно [Покровский, 2010], океан оказывает существенное влияние на атмосферу из-за ее сравнительно малой теплоемкости и поэтому может задерживать падение температуры приземного воздуха на 15–18 лет.

Увеличение облачности может приводить к различным эффектам в зависимости от широты, характера подстилающей поверхности и сезона. В [Авакян, 2010] рассмотрен вопрос о роли определенного начального условия – наличия оптически плотной облачности – при воздействии солнечных вспышек и геомагнитных бурь на погодно-климатические характеристики. Эта ситуация является весьма распространенной на высоких и средних широтах, особенно если учесть, что речь идет о плотностях лишь немногим больше единицы. В такие периоды сильно нивелируется влияние солнечных вспышек и геомагнитных бурь на погоду в данном регионе, поскольку в этом случае генезис новой – тонкой облачности – незаметен: весь теплорадиационный баланс для приземного воздуха определяется оптически плотным облачным покровом. На ночной стороне вся облачность – и оптически плотная, сильно связанная с вариациями потока космических лучей, и вновь образуемая под влиянием геомагнитной бури оптически тонкая – особенно в зимний период, фактически вызывает замедление остывания приземного слоя воздуха. Это как раз и ведет, вероятно, к таким



Рис. 4. Среднемесячные значения вариаций космических лучей на ст. Долгопрудный, Московская область [http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm].

плохо понятым до последнего времени [Кондратьев, Ивлев, 2008] эффектам глобального изменения климата, как «преимущественное потепление зим» и «превалирующая последние десятилетия скорость роста (вдвое) ночных (минимальных за сутки) температур приземного воздуха над дневными (максимальными) температурами».

На современный климат, несомненно, оказывает влияние человеческая деятельность. Основная причина роста нестабильности климата – антропогенное превращение «Зеленой Земли» в «Серую» вследствие прогрессирующей абиотизации и иссушения суши. Возможно, именно поэтому увеличение температуры приземного воздуха на высоте 2 м регистрируется уже несколько десятков лет, притом что во всей воздушной толще до уровня 8–9 км с 1979 г. наблюдается почти нулевой прирост температуры, а выше даже холодает (хотя здесь присутствуют не только парниковые газы, но и 99 % паров воды, сосредоточенной во всей толще атмосферы) [Горшков, 2010].

Понятие «Серая Земля» означает в частности, что лесов осталось не более половины, фитомасса суши уменьшилась из-за вмешательства человека на 41.5 % в середине 1970-х гг., а к началу XXI в. пройден рубеж 50 %. Уже есть оценки, что к 2010-м гг. на суше осталось 2/5 природной фитомассы. И если для «Зеленой Земли» на биологический круговорот шло ~10 % радиационного баланса, то сейчас только 4 %, т. е. вне биологического круговорота выделилось 6.3 Вт·м<sup>-2</sup>. По данным [Леонова, Огуреева, 2006], на лесные экосистемы приходится основная часть (до 75 %) запаса аккумулированного углерода в живой природе, но надо понимать, что только в достаточно молодых бореальных лесах накопление углерода через фотосинтез действительно, так как происходит в среднем на 100 лет.

На регистрируемую величину эффекта глобального потепления влияет и современная урбанизация. Во-первых, наибольшая часть (в США, по данным Национального управления атмосферы и океана, до 92 % [Покровский, 2010]) метеостанций мира оказалась в последние три десятилетия в зоне городской застройки или по соседству с ней. По данным [Матвеев, Матвеев, 2005], это может добавлять в показания термометров более 1 °С, что выше, чем весь вклад от наблюдаемого глобального потепления. Кроме того, урбанизация ведет к уменьшению испарения, а это для Москвы в теплый период дает прибавку 6.3 Вт·м<sup>-2</sup> [Горшков, 2010], что в 21 раз больше «виртуального» парникового вклада CO<sub>2</sub> (1.65 Вт·м<sup>-2</sup>). Большие города – это место, где среднегодовая температура на один-два градуса превышает таковую в сельской местности. Вообще, большой город действует на содержание паров воды двояко, но всегда в сторону увеличения температуры приземного воздуха:

- 1) нет затрат тепла на испарение, так как вода уходит в канализацию с улиц, покрытых асфальтом;
- 2) все теплостанции, автомобили и т. п. при сгорании топлива производят водяной пар в весовом количестве, превышающем массу сгоревшего вещества.

А появление водяного пара крайне усиливает парниковый эффект, тем более что, согласно [Капи-

ца, 2010], водяной пар по парниковым свойствам на два порядка превосходит углекислый газ.

### Заключение

Сравнительный количественный анализ энергетики антропогенных и природных факторов современного глобального изменения климата показывает, что этот природный компонент – солнечно-геомагнитная активность – более важен по вкладу в радиационный баланс, чем любое другое, в том числе антропогенное, воздействие.

Действительно, общая облачность с момента векового максимума солнечной электромагнитной активности по 2000 г. (см. рис. 2) уменьшилась на 4–5 %. Одновременно, согласно спутниковым данным, представленным в [Головки, 2003], увеличился на  $15 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  поток уходящего в космос теплового излучения Земли, причем, согласно нашему анализу (см. предыдущий раздел), это явление как раз и связано с вкладом оптически тонкой разогревающей облачности, ранее больше задерживающей тепло от нижележащей атмосферы и подстилающей поверхности (через радиооптический трехступенчатый триггерный механизм регулирования вековыми циклами солнечно-геомагнитной активности) в теплорадиационный перенос эффекта уменьшения количества. Все другие эффекты, связанные с уменьшением после 1985/87 гг. глобальной облачности (рис. 2), дают как минимум в 1.5 раза меньший энергетический вклад [Головки, 2003; Palle et al., 2004, 2006].

Тогда оценочно можно считать, что вековое снижение с 1985/87 гг. солнечной, а с 2004 г. и геомагнитной активности так уменьшило энергетику радиационного воздействия на климатическую систему Земли, что эта величина ( $15 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  [Головки, 2003]):

- в ~ 6 раз больше, чем чистый эффект от парниковых газов ( $2.63 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ );
- в 3–6 раз превышает тот диапазон эффективных потоков ( $2.5\text{--}5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ), которые уже способны изменить циркуляционный режим атмосферы [Борисенков и др., 1989];
- в 2–2.3 раза превышает эффект лесосведения [Горшков, 2010], составляющий  $6.3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Подчеркнем, что задача о влиянии гелиогеофизической активности и ионосферной возмущенности на погодно-климатические характеристики, а также биосферу, включая человека, является настолько междисциплинарной, что метеорологам, даже с участием географов, ее самостоятельно не решить. Вот пример распространенной ошибки. Во многих метеорологических и географических публикациях о природе глобальных климатических вариаций рассматриваются известные астрономические эффекты (например, тренд скорости вращения Земли, изменения положения Солнечной системы в Галактике и др.). Заметим, что астрономические (орбитальные) эффекты действительно могут быть актуальны для климата Земли на долгопериодной шкале (от  $10^3$  до  $10^6$  лет [Большаков, Капица, 2011]), и их рассмотрение не входит в задачу настоящей работы. Для меньших периодов обычно учитывают положение Земли относительно остальных планет, включая планеты-гиганты Юпитер и Сатурн. Но для указанных

гравитационных солнечно-планетных эффектов известна гипотеза о резонансной структуре Солнечной системы [Молчанов, 1966, 1973; Molchanov, 1968; Лазарев и др., 1981], проявляющейся наиболее сильно как раз в вариабельности солнечной активности (числе мощных вспышек). Из этой гипотезы следует [Лазарев и др., 1981], что такая нелинейная колебательная система, как Солнце и его планеты, в процессе достаточно длительной динамической эволюции стремится выйти на синхронный режим, в котором частоты отдельных процессов (будь то, например, активность вспышечной деятельности Солнца или изменение различных параметров планетной системы) находятся в простых кратных отношениях между собой. Так, казалось бы, несущественное из-за малости энергии гравитационного взаимодействия планетной системы и Солнца по сравнению с энергетикой солнечной активности влияние периодического движения планет на вспышки на Солнце имеет глубокую физическую причину. Определенные Молчановым резонансные направления в Солнечной системе хорошо соответствуют обнаруженной путем статистической обработки многолетних данных анизотропии солнечных вспышек числу регистраций солнечных космических лучей [Козелов, 1971, 1975; Козелов, Мингалева, 1975]. Тогда следует констатировать, что положение планет-гигантов проявляется в статистическом временном распределении моментов повышенной солнечной активности и нет необходимости искать пути отдельного учета этих астрономических эффектов. А ведь без учета этого экспериментально доказанного проявления резонансной структуры Солнечной системы в периодичности активности Солнца ряду авторов приходится допускать возможность прямого гравитационного влияния Юпитера и Сатурна через формирование квазишестидесятилетнего «атмосферного» цикла. В научной литературе отмечается рассогласованность сведений о таком планетарно-обусловленном квазишестидесятилетнем цикле атмосферно-климатических процессов [Монин и др., 2004; Монин, Сонечкин, 2005; Поиск путей..., 2010]. Действительно, если в [Алексеев, 2007] утверждалось, что вековое уменьшение солнечной активности началось после 1970 г., то по [Поиск путей..., 2010], наоборот, в 1970-е гг. был последний в XX в. минимум активности Солнца и, по мнению автора реплики, по данной причине в рамках концепции наличия 60-летних циклов климат «сейчас переживает очередной экстремум и замедление потепления». В реальности вековой максимум электромагнитной активности Солнца пришелся на 1985 г. [Lockwood, Frohlich, 2007], а максимальная геомагнитная активность (в том числе наибольшее количество магнитных бурь с появлением среднеширотных полярных сияний) за более чем столетний период регистрации наблюдалась еще позднее – только в конце 2003 г.

Следует подчеркнуть, что разработка физического механизма воздействия факторов солнечной и геомагнитной активности на погодно-климатические характеристики может оказаться ключом к методам искусственного управления погодой и климатом [Робертс, 1982; Авакян, Воронин, 2008].

Верификация предложенного подхода к механизму солнечно-магнитосферного влияния на погоднo-климатические характеристики должна опираться в ближайшие годы на развитие совокупности экспериментов [Троицкий и др., 1973; Крауклис и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991; Грач и др., 2002; Grach et al., 2002], результаты которых лежат в основе радиооптического трехступенчатого триггерного механизма. Подчеркнем, что все указанные эксперименты выполнялись пока только в нашей стране и зарубежные исследователи не обладают подобным опытом. Проводимые в ЦЕРНе по программе CLOUD [<http://cloud.web.cern.ch/cloud/>] эксперименты для повышения результативности следует, с учетом радиооптического конденсационно-кластерного механизма, дополнить исследованиями с подключением микроволновых генераторов, имитирующих поток микроволн из ионосферы. Наконец, наши энергетические оценки в рамках радиооптического механизма показали, что мощности нагревного стенда НААРП (США) вполне достаточно, чтобы искусственно вызывать конденсационно-кластерные процессы в тропосфере (соответствующие эффектам от солнечных вспышек) на уровнях, зарегистрированных в [Крауклис и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991], и поэтому следует организовать целенаправленные эксперименты по регистрации содержания паров воды в столбе атмосферы и изменения атмосферной прозрачности как при вспышках, так и во время магнитных бурь. Предлагаемая верификация позволит, по-видимому, с большей определенностью считать введенный радиооптический трехступенчатый триггерный механизм солнечно-магнитосферных – погоднo-климатических связей важным и в естественных условиях, и во время таких активных экспериментов, как стимулирование высыпаний из радиационных поясов в период работы мощных навигационных радиопередатчиков [Авакян, Воронин, 2008], а также при нагреве ионосферы стендами типа НААРП. В заключение отметим, что еще М.В. Ломоносов так описывал наблюдаемые в детстве в Холмогорах полярные сияния: «Сияние чаще приходилось видеть в ветреную погоду сквозь прерывистые облака» [Алексеева, 1985]. Это прямо соответствует гипотезе о связи циклонического типа погоды (ветер и облака) с корпускулярными высыпаниями – причиной возбуждения сияния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авакян С.В. Новый фактор в физике солнечно-земных связей – ридберговские состояния атомов и молекул // Тез. докл. Междунар. конф. по физике солнечно-земных связей. Алматы: Наука, 1994. С. 3–5.
- Авакян С.В. Роль новых процессов высокой пороговой энергии в физике верхних атмосфер планет // Оптический журнал. 2005. Т. 72, № 8. С. 33–41.
- Авакян С.В. Микроволновое излучение ионосферы как фактор воздействия солнечных вспышек и геомагнитных бурь на биосистемы // Оптический журнал. 2005. Т. 72, № 8. С. 41–48.
- Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэрoномия. 2008. Т. 48, № 4. С. 1–8.
- Авакян С.В. Вызов солнечно-земной физике и перспективы ответа, позволяющего решить насущные проблемы // Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: «Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика – 2009» СПб.: ГАО, 2009. С. 27–29.
- Авакян С.В. Каналы воздействия космофизических факторов на погоднo-климатические характеристики // Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика–2010». (3–9 октября 2010 г.). СПб.: ГАО, 2010. С. 19–22.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду // Оптический журнал. 2006. Т. 73, № 4. С. 78–83.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. О возможном физическом механизме воздействия солнечной и геомагнитной активности на явления в нижней атмосфере // Исследование Земли из космоса. 2007. № 2. С. 28–33.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. Ридберговское микроволновое излучение ионосферы при высыпаниях электронов из радиационных поясов, вызванных радиопередатчиками // Оптический журнал. 2008. Т. 75, № 10. С. 95–97.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. О радиооптическом и оптическом механизмах влияния космических факторов на глобальное потепление климата // Оптический журнал. 2010. Т. 75, № 2. С. 90–93.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. Роль космических и ионосферных возмущений в глобальных климатических изменениях и коррозии трубопроводов // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С. 14–29.
- Авакян С.В., Воронин Н.А. Современные изменения солнечной и геомагнитной активности и их влияние на жизнедеятельность северных территорий // Развитие социокультурной, экономической и геоэкологической деятельности в северных регионах России: Коллектив. моногр. / Под ред. И.В. Григорьевой. СПб.: ГПА, 2012. С. 49–94. (Раздел 1.2).
- Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф. Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве: Справочник. СПб.: Гидрометеoиздат, 1994. 501 с.
- Авакян С.В., Воронин Н.А., Серова А.Е. Роль ридберговских атомов и молекул в верхней атмосфере // Геомагнетизм и аэрoномия. 1997. Т. 37, № 3. С. 99–106.
- Авакян С.В., Коваленок В.В., Солоницына Н.Ф. Ночная F-область ионосферы в период вспышек на Солнце. Алма-Ата: Наука, 1984. 150 с.
- Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему: Обзор // Геомагнетизм и аэрoномия. 2000. Т. 40, № 5. С. 3–14.
- Алексеев В.А. Некоторые особенности климатических изменений на Земле и возможная их связь с вариациями солнечной активности // Астрономический вестник. 2007. Т. 41, № 6. С. 568–576.
- Алексеева Л.М. Небесные сполoхи и земные заботы. М.: Знание, 1985. 160 с.
- Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Семенов В.К. и др. Водяной пар в толще атмосферы Северного Тянь-Шаня // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 6. С. 803–815.
- Белов А., Гарсия Х., Курт В., Мавромичалаки Е. Протонные события и рентгеновские вспышки за последние три цикла // Космические исследования. 2005. Т. 43, № 3. С. 171–185.
- Большаков В.А., Капица А.П. Уроки развития орбитальной теории палеоклимата // Вестник РАН. 2011. Т. 81, № 7. С. 603–612.
- Борисенков Е.П., Базлова Т.А., Ефимова Л.Н. Перистая облачность и ее влияние на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеoиздат, 1989. 119 с.
- Веретененко С.В., Пудовкин М.И. Вариации общей облачности в ходе всплесков солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэрoномия. 1996. Т. 36, № 1. С. 153–156.



- Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. С. 45.
- Вольфендейл А., Делаи Д., Ерлыкин А.Д. и др. О природе корреляции между интенсивностью космических лучей и облачностью // Известия РАН. Сер. физическая. 2009. Т. 73, № 3. С. 408–411.
- Герман Д.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода, климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 220 с.
- Головко В.А. Глобальное перераспределение составляющих радиационного баланса Земли // Исследование Земли из космоса. 2003. № 5. С. 3–13.
- Горшков С.П. Причины глобального потепления и усиления неустойчивости климата. Возможности противодействия не по сценарию Киотского протокола // Устойчивое развитие: Проблемы и перспективы. Вып. 4: Рациональное природопользование: Международные программы, российский и зарубежный опыт. М.: Изд-во КМК, 2010. С. 82–103.
- Грач С.М., Фридман В.М., Лифшиц Л.М. и др. Дециметровое электромагнитное излучение, стимулированное КВ-нагревом ионосферы // Труды XX Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Нижний Новгород, 2002. С. 303–304.
- Дмитриев А.А., Ломакина Т.Ю. Облачность и рентгеновское излучение космоса // Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 70–77.
- Дмитриев А.А., Скляров Ю.А., Шабельников А.В. и др. Изменчивость осадков, температуры и солнечная активность. Саратов: Изд-во СГУ, 1990. 112 с.
- Капица А.П. Европу ждет похолодание // Газпром. 2010. № 12. С. 11–12.
- Козелов В.П. О гравитационном влиянии планет на ход активности Солнца // Геофизические исследования в зоне полярных сияний. Апатиты: Полярный геофизический ин-т, 1971. С. 128–129.
- Козелов В.П. О сезонном ходе вспышечной активности Солнца // Суббури и возмущения в магнитосфере. Л.: Наука, 1975. С. 274–282.
- Козелов В.П., Мингалева Г.И. Анизотропия вспышечной деятельности Солнца в инерциальном пространстве и резонансность солнечной системы // Суббури и возмущения в магнитосфере. Л.: Наука, 1975. С. 264–274.
- Колесникова В.Н., Монин А.С. О спектрах метеорологических, синоптических и климатических колебаний метеорологических полей // Метеорологические исследования. М.: Наука, 1968. № 16. С. 30–56.
- Кондратьев К.Я., Биненко В.И. Перистые облака, радиация и климат // Итоги науки и техники. Сер. «Метеорология и климатология». М.: ВИНТИ, 1988. Т. 18. 138 с.
- Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С. Климатология аэрозолей и облачности. СПб.: Изд-во «ВВМ», 2008. 555 с.
- Крауклис В.Л., Никольский Г.А., Сафронова М.М., Шульц Э.О. Об условиях возникновения аномальных особенностей аэрозольного ослабления ультрафиолетового излучения при высокой прозрачности атмосферы // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3, № 3. С. 227–241.
- Лазарев А.И., Коваленок В.В., Иванченков А.С., Авакян С.В. Атмосфера Земли с «Салюта-6». Л.: Гидрометеиздат, 1981. 207 с.
- Леонова Н.Б., Огуреева Г.Н. Лесная растительность умеренного пояса в условиях глобальных изменений окружающей среды // Современные глобальные изменения природной среды. М.: Научный мир, 2006. Т. 2. С. 422–436.
- Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Облака и вихри – основа колебаний погоды и климата. СПб.: РГМУ, 2005. 326 с.
- Молчанов А.М. Резонансы в многочастотных колебаниях // Докл. АН СССР. 1966. Т. 168, № 2. С. 284–287.
- Молчанов А.М. О резонансной структуре солнечной системы // Современные проблемы небесной механики и астродинамики. М.: Наука, 1973. С. 32–42.
- Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.
- Монин А.С., Берестов А.А., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. О климате за последние 150 лет // Доклады Академии наук. 2004. Т. 399, № 2. С. 253–256.
- Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 191 с.
- Никольский Г.А., Шульц Э.О. Спектрально-временные вариации остаточного ослабления в ближней ультрафиолетовой области спектра // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4, № 9. С. 961–966.
- Питток А.Б. Связь солнечных циклов и погоды – не результат ли удачных опытов самовнушения? // Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормака и Т. Селиги. М.: Мир, 1982. С. 209–221.
- Поиск путей адаптации к климатическим изменениям: обсуждение научного сообщения // Вестник РАН. 2010. Т. 80, № 8. С. 690–693.
- Покровский О.М. Климат: мифы и реальность // Государственное управление ресурсами. 2010. № 1/55. С. 6–11.
- Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры: Обзор // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32, № 3. С. 1–22.
- Робертс В.О. О связи погоды и климата с солнечными явлениями: Обзор // Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормака и Т. Селиги. М.: Мир, 1982. С. 45–57.
- Румянцев В.А., Трапезников Ю.А. Обоснование механизма формирования короткопериодных климатических циклов гидрометеорологических процессов // Известия РГО. 2012. Т. 144, № 3. С. 9–17.
- Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды / Под ред. Э.Р. Мустеля. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 319 с.
- Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормака и Т. Селиги. М.: Мир, 1982. 376 с.
- Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Бондарь Л.Н. и др. Поиск спорадического радиоизлучения из космоса на сантиметровых и дециметровых волнах // Изв. вузов. Радиофизика. 1973. Т. 16, № 3. С. 323–341.
- Хромов С.П. Солнечные циклы и климат // Метеорология и гидрология. 1973. № 9. С. 93–110.
- Шарков Е.А., Афонин В.В. Глобальный тропический циклогенез и 27-суточные вариации солнечной активности // Исследование Земли из космоса. 2012. № 1. С. 21–28.
- Avakyan S.V. New processes in aeronomy: Auger effect – 30 years later, multiple photoionization – 25 years later, Rydberg excitation – 10 years later // Proc. of 5<sup>th</sup> Intern. conf. «Problems of Geocosmos». SPb.: SPbSU, 2004. P. 191–195.
- Avakyan S.V. Microwave ionospheric emission as a new factor of solar-biosphere relations // Proc. 4<sup>th</sup> Int. Workshop «Biological effects of electromagnetic fields». Crete. 2006. V. 2. P. 1513–1522.
- Avakyan S.V., Voronin N.A. Condensation process in the low atmosphere and microwave radiation of the Sun and ionosphere // Proceeding of the VI International Conference «Problem of Geocosmos». SPbSU, 2006. P. 24–28.
- Avakyan S.V., Voronin N.A. Trigger mechanism of solar-atmospheric relationship and the contribution of the anthropogenic impact // Proc. of the 7<sup>th</sup> Intern. Conf. «Problems of Geocosmos». SPbSU, 2008. P. 18–23.
- Avakyan S.V., Voronin N.A. The ionospheric possible mechanism of warming and its influence today // Proceeding of the VIII International Conference «Problems of Geocosmos». SpbSU, 2010. P. 23–30.

- Avakyan S.V., Voronin N.A. The role of space and ionospheric disturbances in the global climate change and pipeline corrosion // *Izvestija. Atmospheric and Oceanic Physics*. Springer, 2011. V. 47, N 9. P. 1143–1158.
- Bates D.R. Electron-ion recombination in an ambient molecular gas // *J. Phys. B*. 1981. V. 14, N 18. P. 3525–3535.
- Benestad R.E. *Solar Activity and Earth's Climate*. Springer-Praxis, 2002. 287 p.
- Biondi M.A. Electron-ion recombination in gas phase // *Appl. Atomic. Collision Phys.* / Eds. E.W. McDaniel, W.L. Nighan. 1982. V. 3. P. 173–189.
- Carlsaw K.S., Harrison R.G., Kirkby J. Cosmic rays, clouds, and climate // *Science*. 2002. N 5599. P. 1732–1737.
- Dabrowski I., Herzberg G. The electronic emission spectrum of triatomic hydrogen. I. Parallel bands of H<sub>3</sub> and D<sub>3</sub> near 5600 and 6025 Å // *Canadian J. Phys.* 1980. V. 58, N 8. P. 1238–1249.
- Gallas J.A.C., Leuch G., Wallher H., Figger H., Rydberg atom: High-resolution spectroscopy and radiation interaction – Rydberg molecules // *Adv. Atom. Mol. Phys.* 1985. V. 20. P. 413–466.
- Grach S.M., Fridman V.M., Lifshits L.M., et al. UHF electromagnetic emission stimulated by HF pumping of the ionosphere // *Annales Geophys.* 2002. V. 20, N 10. P. 1687–1691.
- Kirkby J., Laaksonen A. Solar variability and clouds // *Space Sci. Rev.* 2000. V. 94, N 1/2. P. 397–403.
- Lean J. Living with a variable Sun // *Physics Today*. 2005. June. P. 32–38.
- Leyser T.B., Wong A.Y. Powerful electromagnetic waves for active environmental research in geospace // *Rev. Geophys.* 2009. V. 47. P. 1–33.
- Liou K.N., Gebhart R.L. Numerical experiments on the thermal equilibrium temperature in cirrus cloudy atmospheres // *J. Meteor. Soc. Japan*. 1982. V. 60. P. 570–582.
- Lockwood M., Frohlich C. Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature // *Proc. Roy. Soc. A*. 2007. doi:10.1098/r5sspa. 2007. P. 1880.
- Molchanov A.M. The resonant structure of the Solar System. The law of planetary distances // *ICARUS*. 1968. V. 8, N 1. P. 203–215.
- Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P., Koonin S.E. Changes in Earth's reflectance over the past two decades // *Science*. 2004. V. 304. P. 1299–1301.
- Palle E., Goode P.R., Montañés-Rodríguez P., Koonin S.E. Can the Earth's albedo and surface temperatures increase together? // *EOS*. 2006. V. 87, N 4. P. 37–43.
- Pudovkin M.I. Energy transfer in the solar-terrestrial system // *Rep. Prog. Phys.* 1995. V. 58, N 9. P. 929–976.
- Willis D.M. The energetics of Sun–weather relationships: magnetospheric processes // *J. Atm. and Terr. Phys.* 1976. V. 38. P. 685–698.
- Cloud-Type Monthly Global Mean Deviations from Long-Term Global Mean. <http://isccp.giss.nasa.gov/climanal7.html> (дата обращения 15.07.2012).
- Cosmics Leaving OUtdoor Droplets. <http://cloud.web.cern.ch/cloud/> (дата обращения 31.07.2012).
- Moscow Neutron Monitor. <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm> (дата обращения 15.07.2012).
- <http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html>.
- <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>.

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова,  
Санкт-Петербург, Россия  
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург, Россия