

УДК 523.165,537.591

## ВОЗМОЖНЫЙ ВКЛАД ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ ЮПИТЕРА И САТУРНА В 60-ЛЕТНЮЮ ВАРИАЦИЮ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

© 2020 г. М. Г. Огурцов<sup>1,2,\*</sup><sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru

Поступила в редакцию 15.02.2019 г.

После доработки 21.10.2019 г.

Принята к публикации 23.01.2020 г.

Рассмотрена возможная связь между 60-летней вариацией глобальной температуры с амплитудой  $0.35^{\circ}\text{C}$  и соответствующим циклом в расположении Юпитера и Сатурна. Показано, что гравитационное возмущение земной орбиты Юпитером и Сатурном способно дать вариацию глобальной температуры лишь в  $0.012^{\circ}\text{C}$ . Показано, что модуляция потока космической пыли, поступающего в атмосферу Земли, гравитационным полем Юпитера и Сатурна является более перспективным механизмом передачи влияния гигантских планет на земной климат. Для того, чтобы глобальная температура испытала вариацию с амплитудой  $0.3^{\circ}\text{C}$ , Юпитер и Сатурн должны обеспечить вариацию потока внеземного вещества в земной атмосфере с амплитудой 16%. Выяснение вопроса о том, способны ли эти две планеты обеспечить такую вариацию, представляет значительный интерес для климатологии.

DOI: 10.31857/S001679402003013X

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Недавно в работах [Scafetta, 2010, 2012] была отмечена возможная связь между 60-летней вариацией глобальной температуры и соответствующим циклом в расположении планет Юпитер и Сатурн. Scafetta обратил внимание на то, что положение Юпитера и Сатурна в Солнечной системе повторяется каждые 60 лет, и предположил, что этот гравитационный цикл способен влиять на климат Земли. Однако какой-либо физический механизм подобного влияния предложен не был.

С другой стороны, в последнее время появились исследования возможного влияния на климат Земли потоков внеземного вещества, поступающего в атмосферу. Ermakov et al. [2009] предположили, что пыль и аэрозольные частицы космического происхождения способны служить ядрами конденсации (ЯК) и, следовательно, влиять на облачный покров Земли. Различные аспекты возможного влияния космической пыли на климат Земли были рассмотрены в работе [Огурцов и Распопов, 2011]. В работе [Zessa and Chiari, 2009] было показано, что потоки космической пыли, связанной с кометой Галлея, способны охлаждать Землю на  $0.08^{\circ}\text{C}$ . Это позволяет предположить, что Юпитер и Сатурн, воздействуя своими гравитационными полями на поток частиц

в гелиосфере, способны повлиять и на 60-летнюю вариацию климата Земли. В данной работе рассмотрена эта возможность наряду с двумя другими возможными эффектами — приливным воздействием и изменением расстояния между Землей и Солнцем под действием гравитации двух планет-гигантов.

### 2. 60-ЛЕТНЯЯ ВАРИАЦИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

На рисунке 1 показана глобальная среднегодовая аномалия температуры (отклонения от среднего за 1961–1990 гг.) (а), измеренная термометрами глобальная температура после удаления линейного тренда (б) и ее Фурье-спектр (в). Ясно видно, что мощная 60-летняя вариация присутствует в глобальной температуре. Ее амплитуда близка к  $0.35^{\circ}\text{C}$ . Эта вариация имеет максимумы в 70-е гг. XIX века, 30–40-е гг. XX и в начале XXI века. Минимумы этой вариации приходятся на начало XIX века и 60–70-е гг. XX века. Можно отметить, что 60-летняя периодичность значительно сильнее, чем 21-летняя. Отметим, что если бы обе вариации являлись результатом приливного воздействия планет, то 21-летняя вариация (связанная с 18.3-летним солнечно-лунным циклом) должна быть значительно сильнее. Действительно, сила притяжения Юпитера слабее лунной

на ~6 порядков. Поэтому вряд ли обе периодичности как-либо связаны с приливным воздействием планет на атмосферу Земли. Однако две гигантские планеты способны своим тяготением возмущать вращение Земли вокруг Солнца и изменять расстояние между Землей и Солнцем. Рассмотрим этот эффект.

### 3. ГРАВИТАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЮПИТЕРА И САТУРНА

Помимо приливного воздействия, планеты способны своим тяготением возмущать движение Земли по орбите и изменять расстояние между Солнцем и Землей [Иванов, 2002], что, в свою очередь, приводит к изменению потока солнечного света, приходящего на Землю. Иванов [2002] утверждал, что в рамках этого механизма гравитация Венеры способна привести к вариации глобальной температуры в  $0.3^\circ\text{C}$ .

Гравитационное влияние планеты  $i$  на расстояние между Солнцем и Землей можно оценить, добавляя соответствующее возмущение в уравнение, описывающее вращение Земли вокруг Солнца.

$$m_E w^2 R(\delta F_i) = \frac{Gm_E M_\odot}{R(\delta F_i)^2} + \delta F_i, \quad (1)$$

где  $m_E = 6.0 \times 10^{27}$  г – масса Земли;  $w = \frac{2\pi}{T} = 2 \times 10^{-7}$  с $^{-1}$  – угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца;  $T = 3.15 \times 10^7$  с – период обращения Земли вокруг Солнца;  $R(\delta F_i)$  – расстояние между Землей и Солнцем, с учетом гравитационного возмущения;  $\delta F_i$  – гравитационное возмущение, вносимое планетой  $i$ ;  $G = 6.7 \times 10^{-8}$  – гравитационная постоянная;  $M_\odot = 2.0 \times 10^{33}$  г – масса Солнца.

Теперь оценим гравитационное возмущение, вносимое Юпитером и Сатурном. Оно достигает максимума, когда обе планеты находятся на одной линии с Землей. В этот момент имеем

$$\delta F_V = \frac{Gm_E m_J}{r_{EJ}^2} + \frac{Gm_E m_S}{r_{ES}^2}, \quad (2)$$

где  $r_{EJ}$  – расстояние между Землей и Юпитером;  $m_J = 1.9 \times 10^{30}$  г – масса Юпитера;  $r_{ES}$  – расстояние между Землей и Сатурном;  $m_S = 5.6 \times 10^{29}$  г – масса Сатурна.

Для оценки были взяты минимальные значения  $r_{EJ} = 5.9 \times 10^{13}$  см,  $r_{ES} = 1.2 \times 10^{14}$  см. В этом случае уравнение (1) примет вид

$$w^2 R(\delta F_V)^3 - GR(\delta F_V)^2 \left( \frac{m_J}{r_{EJ}^2} + \frac{m_S}{r_{ES}^2} \right) - GM_\odot = 0. \quad (3)$$

Решив уравнение (3) численно, получаем

$$\frac{R(0)}{R(\delta F_V)} = 1.000022. \quad (4)$$

С учетом (4) окончательно получим  $\delta R_V = R(0) - R(\delta F_V) \approx 3.3 \times 10^3$ , в км.

Таким образом, совместное гравитационное воздействие двух планет-гигантов способно изменить расстояние Земля–Солнце лишь на 3300 км. Эта вариация, в свою очередь, вызывает изменение потока электромагнитной энергии, достигающего Земли на величину, выраженную в Вт м $^{-2}$ :

$$\delta I_E = S_0 \frac{2\delta R_V}{R(0)} = 0.06, \quad (5)$$

где  $S_0 = 1370$  Вт м $^{-2}$  – полная солнечная радиация. Соответствующий радиационный форсинг (возмущение, вносимое данным фактором в радиационный баланс атмосферы) составляет  $0.01$  Вт м $^{-2}$ . Если взять максимальную климатическую чувствительность  $\lambda_c = 1.20^\circ\text{C}$  Вт $^{-1}$  м $^2$ , принятую IPCC [2013], (увеличение температуры на  $4.5^\circ\text{C}$  при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли), то получим, что вариация орбиты Земли, вызванная Юпитером и Сатурном, способна вызвать вариацию глобальной температуры до  $0.012^\circ\text{C}$ . Что касается Венеры, то производимое ею возмущение оказывается еще меньшим. Действительно, поскольку наименьшее расстояние между Венерой и Землей ( $r_{EV} = 3.8 \times 10^{12}$  см) в 15.5 раз меньше, чем минимальное расстояние между Юпитером и Землей, а масса Венеры ( $m_V = 3.8 \times 10^{27}$  см) в 390 раз меньше массы Юпитера, гравитационное возмущение, вносимое Венерой, получается почти вдвое меньшим, чем возмущение, вносимое Юпитером. Очевидно, что гравитационные возмущения, производимые другими планетами Солнечной системы, будут еще более слабыми.

### 4. ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ВНЕЗЕМНОГО ВЕЩЕСТВА НА КЛИМАТ

#### 4.1. Космическая пыль в атмосфере Земли

В земную атмосферу непрерывно поступает значительное количество твердых космических тел – микрометеороидов (размер 25–1000 мкм) и метеороидов (размер от тысячи мкм до нескольких метров). Основной источник этих объектов – продукты разрушения кометных ядер и дробления астероидов. В результате атмосфера Земли непрерывно подвергается влиянию потоков внеземного вещества. Различные оценки приходящего на Землю космического вещества перечислены в таблице. Из таблицы следует, что в оценках потоков космического вещества есть неопределенность, достигающая, по крайней мере, фактора 10.

На высоте 80–130 км космические тела, поступающие в атмосферу Земли, разрушаются и испа-

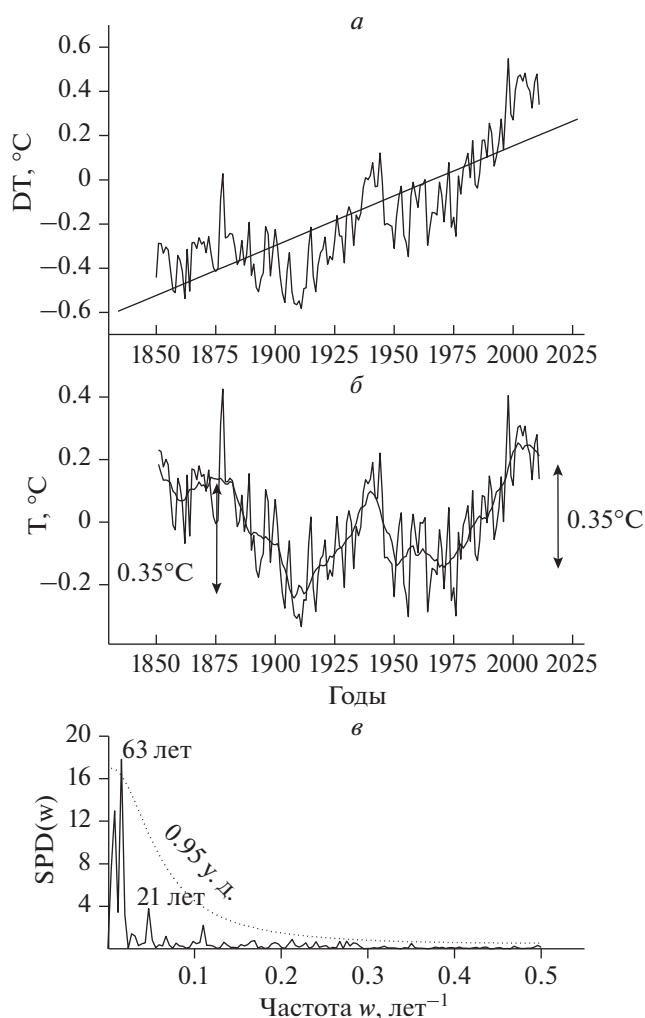
ряются. Ряд исследователей [Rosinski and Snow, 1961; Hunten et al., 1980; Plane, 2012] предположили, что испарившийся метеорный материал в верхней атмосфере вновь конденсируется, вследствие чего образуются частицы размером в несколько нанометров и возникает метеорная дымка. Частицы с размерами 2–5 нм (0.002–0.005 мкм) действительно были обнаружены на высотах 70–90 км [Rapp et al., 2007]. Оценки массы вещества, поступающего в атмосферу Земли в виде метеорного пара, также сильно различаются. В работе [Kane and Gardner, 1993] была получена оценка в 2.0 кг/г, а в работе [Lal and Jull, 2002] – 30 кг/г. Используя эту максимальную оценку, Огурцов и Распопов [2011] оценили полную массу внеземного вещества в атмосфере Земли в 4.5 мегатонн ( $4.5 \times 10^{12}$  г). Это вещество может влиять на климат двумя способами: а) прямым образом – рассеянием и поглощением падающего на атмосферу света; б) косвенным образом – изменением концентрации ядер конденсации в атмосфере [Ermakov et al., 2009].

Огурцов и Распопов [2011] показали, что радиационный форсинг, связанный с поглощением света внеземным веществом, составляет всего  $4.6 \times 10^{-3}$  Вт м<sup>-2</sup>. Однако косвенное влияние может оказаться значительным.

#### 4.2. Метеорная дымка и атмосферные процессы

Огурцов и Распопов [2011] показали, что полное количество ЯК в тропосферной колонке площадью 1 см<sup>2</sup> равно  $(1.2–1.6) \times 10^9$ . В то же время количество частиц космического происхождения может достичь  $2.3 \times 10^8$ . Эффективный радиус этих частиц 5–10 нм, т.е. часть из них может служить ядрами конденсации. Таким образом, согласно Огурцову и Распопову [2011], 15–20% ЯК, плавающих в тропосфере, имеют космическую природу. Однако, экспериментальные оценки, полученные в работе Froyd et al. [2009], показали, что в конвективной области (4–12 км) не более 5% аэрозольных частиц имеют метеорное происхождение (см. рис. 4 из работы Froyd et al. [2009]). С другой стороны, в работе Murphy [2001] отмечено, что перенос стратосферного аэрозоля в тропосферу забрасывает метеорную материю преимущественно на средние широты. В нижней стратосфере (высоты < 16.5 км) частицы космического происхождения могут составлять до 50% ЯК согласно теоретическим оценкам [Огурцов и Распопов, 2011] и до 35% согласно измерениям Froyd et al. [2009]. Если мы предположим, что 5–20% ЯК в тропосфере имеют космическую природу, то можно оценить соответствующее количество облачных капель, сконденсировавшихся на этих ЯК:

$$N_d = N_a^\alpha, \quad (6)$$



**Рис. 1.** (а) – наблюдаемые изменения глобальной среднегодовой температуры Земли (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming>), жирная линия – линейный тренд; (б) – глобальная температура после удаления линейного тренда, жирная линия – среднее по 11 годам; (в) – спектр Фурье температуры после удаления тренда. Пунктирной линией показан уровень доверия 0.95, рассчитанный для красного шума с коэффициентом авторегрессии AR(1), равным 0.7. Цифрами показаны периоды вариаций.

где  $N_d$  – число облачных капель;  $N_a$  – число аэрозольных частиц, которые могут служить ЯК;  $\alpha = 0.06–0.7$  [Feingold et al., 2003].

При помощи формулы (6) мы получаем, что 3–14% облачных капель связаны с внеземными частицами. Если мы будем считать площадь облака пропорциональной  $\sqrt{N_d}$ , получим, что 6.5% облачного покрова может быть связано с космическими частицами. Тогда изменение в потоке космической пыли в 16% приведет к изменению в площади облаков в 1%. Так как полный радиационный форсинг, связанный с облачностью, равен 27.7 Вт м<sup>-2</sup>, то такое изменение площади облаков

**Таблица 1.** Оценки потоков внеземного вещества, поступающего в атмосферу Земли

Авторы	Метод оценки	Глобальное поступление вещества, килотонн/год
Yiou et al. [1991]	Исследование концентрации космических сферул в антарктическом льду	1.5 ( $r > 50$ мкм)
Mathews et al. [2001]	Радарные наблюдения	$1.8 \pm 0.7$
Kane and Gardner [1993]	Лидарные наблюдения	$2.0 \pm 0.6$
Maurett et al. [1987]	Исследование частиц пыли в гренландском льду	5 ( $r > 50$ мкм)
Rasmussen et al. [1995]	Исследование концентрации иридия в гренландском льду	$10 \pm 2$
Dohnanyi [1972]	Модельные расчеты	20
Love and Brownlee [1993]	Анализ микрократеров на поверхности мишени, установленной на спутнике	$40 \pm 20$
Nesvorny et al. [2010]	Наблюдения и моделирование зодиакального пылевого облака	98.5

вызовет радиационный форсинг  $\Delta F = 27.7 \times 0.01 = 0.277 \text{ Вт м}^{-2}$ .

Если возьмем оценки климатической чувствительности, принятые IPCC [2013],  $-\lambda_c = 0.40\text{--}1.20^\circ\text{C Вт}^{-1} \text{ м}^2$  (рост температуры на  $1.5\text{--}4.5^\circ\text{C}$  при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$ ), то получим, что этот форсинг может привести к росту глобальной температуры на  $0.11\text{--}0.33^\circ\text{C}$ . Таким образом, если Юпитер и Сатурн своим тяготением вызывают изменение в потоке космической пыли на 16%, то соответствующее изменение глобальной температуры может достичь  $0.3^\circ\text{C}$ . Таким образом, выяснение вопроса о том, способны ли эти две планеты обеспечить такую вариацию, представляет значительный интерес для климатологии. Можно отметить, что значительные (в три раза) временные вариации были зафиксированы в потоке межзвездной пыли [Landgraf et al., 2003; Kasatkina et al., 2007], которая является составной частью пыли космической.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Показано, что космическая межпланетная пыль может служить агентом, переносящим влияние Юпитера и Сатурна на земной климат. Изменения облачного покрова, связанные с изменением количества ядер конденсации внеземного происхождения, могут влиять на глобальную температуру Земли. Связь между внеземным веществом и метеорологическими процессами отмечена в ряде работ. В работе [Voigt et al., 2005] исследовались полярные стратосферные облака и была отмечена значительная роль метеорных частиц в их формировании. Метеорные частицы также способствуют образованию серебристых облаков [Rapp and Thomas, 2006; Plain, 2012]. Свидетельства влияния метеорной пыли на атмо-

сферные осадки были приведены в работах [Яковлев, 1991; Granitsky and Borisevich, 2000]. Для того, чтобы обеспечить 60-летнюю вариацию с амплитудой  $0.30^\circ\text{C}$ , близкой к реально наблюдаемой, соответствующая вариация потока космической пыли должна быть не менее 16%. Однако трудно оценить, способны ли Юпитер и Сатурн обеспечить такую вариацию, так как распределение космической пыли в Солнечной системе точно не известно. В работе Sykes et al. [2004] отмечено, что источник и динамика зодиакального пылевого облака далее 5 а.е. известны весьма приблизительно. Экспериментальные измерения космической пыли между Юпитером и Сатурном, проведенные детекторами космических аппаратов Pioneer и Cassini, дали различные результаты [Altobelli et al., 2007]. Недостаток нашего знания приводит к значительному разбросу в оценках массы космической пыли, поступающей в атмосферу Земли, достигающему как минимум фактора 10 (см. табл. 1). Выяснение амплитуды и временного хода потока внеземного вещества в атмосфере Земли необходимо для ответа на вопрос о гравитационном влиянии на климат. Очевидно, что космическая пыль, присутствующая в атмосфере Земли, заслуживает дальнейшего изучения, как потенциальный климатообразующий фактор.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа поддержана грантами РФФИ № 18-02-00583, № 19-02-00088.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

— Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата // УФН. Т. 172. С. 777–811. 2002.

- Огурцов М.Г., Распопов О.М. О возможном влиянии на климат Земли потоков межпланетной и межзвездной пыли // Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 51. № 2. С. 278–286. 2011.
- Яковлев Б.А. Атмосферные осадки в связи с метеорными потоками и кометами // Изв. Всесоюзн. Геогр. Общ. Вып. 5. С. 419–424. 1991.
- Altobelli N., Dikarev V., Kempf S., et al. Cassini cosmic dust analyzer in situ dust measurements between Jupiter and Saturn // J. Geophys. Res. V. 112. A07105. 2007. <https://doi.org/10.1029/2006JA011978>
- Dohnanyi J.S. Interplanetary objects in review: Statistics of their masses and dynamics // Icarus. V. 17. P. 1–48. 1972.
- Ermakov V.I., Okhlopkov V.P., Stozhkov Yu.I. Influence of cosmic rays and cosmic dust on the atmosphere and Earth's climate // Bull. Rus. Acad. Sci.: Physics. V. 73. P. 416–418. 2009.
- Hunten D.M., Turco R.P., Toon O.B. Smoke and dust particles of meteoric origin in the mesosphere and stratosphere // J. Atmos. Sci. V. 37. P. 1342–1357. 1980.
- Feingold G., Eberhard W.L., Veron D.E., Previdi M. First measurements of the Twomey indirect effect using ground-based remote sensors // Geophys. Res. Lett. V. 30. № 6. P. 1287–1299. 2003. <https://doi.org/10.1029/2002GL016633>
- Froyd K.D., Murphy D.M., Sanford T.J. et al. Aerosol composition of the tropical upper troposphere // Atmos. Chem. Phys. V. 9. P. 4363–4385. 2009.
- Granitsky L.V., Borisevich A.N. Research of influence of the meteoric stream on the weather condition: preliminary consideration / Proc. SPIE, the International Society for Optical Engineering. V. 4341. P. 563–570. 2000.
- IPCC, Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press. 1535 p. 2013.
- Kane T.J., Gardner C.S. Lidar observations of the meteoric deposition of mesospheric metals // Science. V. 259. P. 1297–1300. 1993.
- Kasatkina E.A., Shumilov O.I., Lukina N.V. Stardust component in tree rings // Dendrochronologia. V. 24. P. 131–135. 2007.
- Lal D., Jull A.J.T. Atmospheric cosmic dust fluxes in the size range  $10^{-4}$  to 10 centimeters // Astrophys. J. V. 576. P. 1090–1097. 2002.
- Landgraf M., Kruger H., Altobelli N., Grun E. Penetration of the heliosphere by the interstellar dust stream during solar maximum // J. Geophys. Res. V. 108. № A10. P. 8030–8043. 2003. doi 10.10292003JA009872
- Love S.G., Brownlee D.E. A direct measurement of the terrestrial mass accretion rate of cosmic dust // Science. V. 262. P. 550–553. 1993.
- Marsh N., Svensmark H. Cosmic rays, clouds and climate // Space Sci. Rev. V. 94. № 1–2. P. 215–230. 2000.
- Mathews J.D., Janches D., Meise D.D., Zhou Q.-H. The micrometeoroid mass flux into the upper atmosphere: Are-cibo results and a comparison with prior estimates // Geophys. Res. Lett. V. 28. P. 1929–1932. 2001.
- Murette M., Jehanno C., Robin E., Hammer C.U. Characteristics and mass distribution of extraterrestrial dust from the Greenland ice cap // Nature. V. 328. P. 699–702. 1987.
- Murphy D.M. Extraterrestrial material and stratospheric aerosols. Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's history. P. 129–142. 2001.
- Nesvorný D.P., Jenniskens H.F., Levison W.F. et al. Cometary origin of the zodiacal cloud and carbonaceous micrometeorites: Implications for hot debris disks // Astrophys. J. V. 713. № 2. P. 816–836. 2010.
- Plane J.M.C. Cosmic dust in the earth's atmosphere // Chem. Soc. Rev. V. 41. P. 6507–6518. 2012.
- Rapp M., Strelnikova I., Gumbel J. Meteoric smoke particles: Evidence from rocket and radar techniques // Adv. Space Res. V. 40. P. 809–817. 2007.
- Rapp M., Thomas G.E. Modeling the microphysics of mesospheric ice particles: assessment of current capabilities and basic sensitivities // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 68. P. 715–744. 2006.
- Rasmussen K.L., Clausen H.B., Kallemeyn G.W. No iridium anomaly after the 1908 Tunguska impact: evidence from a Greenland ice core // Meteoritics. V. 30. P. 634–638. 1995.
- Rosinski J., Snow R.H. Secondary particulate matter from meteor vapors // J. Meteorology. V. 18. P. 736–745. 1961.
- Scafetta N. Empirical evidence for a celestial origin of the climate oscillations and its implications // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 72. P. 951–970. 2010.
- Scafetta N. Testing an astronomically based decadal-scale empirical harmonic climate model versus the IPCC (2007) general circulation climate models // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 80. P. 124–137. 2012.
- Sitarski G. Secular acceleration in the motion of the periodic comet Wolf-Harrington // Acta Astronomica. V. 20. P. 271–279. 1970.
- Sykes M.V., Grün E., Reach W.T., Jenniskens P. The interplanetary dust complex and comets / Comets II. Eds. Festou M., Keller U., Weaver H. Tucson: Univ. of Arizona Press. P. 677–693. 2004.
- Voigt C., Schlager H., Luo B. P. et al. Nitric Acid Trihydrate (NAT) formation at low NAT supersaturation in Polar Stratospheric Clouds (PSCs) // Atmos. Chem. Phys. V. 5. P. 1371–1380. 2005.
- Yiou F., Raisbeck G.M., Jehanno C. The micrometeorite flux to the Earth during the last 200 000 years as deduced from cosmic spherule concentration in Antarctic ice cores // Meteoritics. V. 24. № 4. P. 412–426. 1991.
- Zecca A., Chiari L. Comets and climate // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 71. № 17–18. P. 1766–1770. 2009.