

ми [31]. В работах [29, 30] применялся робастный линейный регрессионный анализ по методу "усеченного среднего" [32]. Было показано, что такой анализ позволяет примерно вдвое сузить оценочные доверительные интервалы, а также на порядок уменьшить систематический сдвиг, связанный с нелинейной зависимостью α_z/α_0 от λ . Данные по каждому из шести ионов обрабатывались отдельно. Для контроля влияния качества данных анализировались подвыборки линий с разным спектральным разрешением. Применимость линейной регрессионной модели проверялась на основе раздельного анализа данных из разных интервалов красных смещений.

Проведенный анализ показал отсутствие статистически значимого изменения α . Получена оценка $\alpha^{-1}d\alpha/dz = (-0,6 \pm 2,8) \cdot 10^{-4}$. В пересчете на современную эпоху это дает $|\dot{\alpha}/\alpha| < 4 \cdot 10^{-14}$ год⁻¹ (на уровне значимости 95%). Хотя это ограничение слабее предела $|\dot{\alpha}/\alpha| < 1,4 \cdot 10^{-15}$ год⁻¹, приведенного в [18], оно имеет независимое значение, так как относится к более ранней космологической эпохе (вплоть до $z \sim 3$) и к более далеким областям Вселенной, которые не были причинно связаны в эпоху формирования наблюдаемых спектров.

Независимый интерес представляют также оценки возможного изменения с космологическим временем отношения массы электрона к массе протона $R_6 = m_e/m_p$, основанные на анализе электронно-колебательно-вращательных спектров поглощения молекулы H_2 . Впервые на возможность таких измерений по спектрам внегалактических объектов указал Томпсон [33]. В настоящее время известна одна надежно установленная система линий поглощения N_2 лаймановских и вернеровских полос, обнаруженная при $z = 2,811$ в спектре квазара PKS 0528—250 [34, 35]. Предварительная оценка [35] давала ограничение $|\Delta R_6/R_6| < 2 \cdot 10^{-4}$. Однако более детальный анализ этих данных, сделанный в работе [36], привел к величине $|\Delta R_6/R_6| < 2 \cdot 10^{-3}$, что соответствует $|\dot{R}_6/R_6| \lesssim 10^{-13}$ год⁻¹.

Таким образом, для космологической эпохи, соответствующей красному смещению $z \approx 3$ (10—15 млрд. лет назад), нами впервые получены оценки верхних пределов относительного изменения постоянной тонкой структуры, $|\Delta\alpha/\alpha| < 0,2\%$, и отношения массы электрона к массе протона, $|\Delta(m_e/m_p)/(m_e/m_p)| < 0,2\%$ (на уровне статистической значимости 95%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dirac P.A.M. Nature. 1937, 139, 323.
2. Teller E. Phys. Rev. 1948, 73, 801.
3. Landau L.D. On the quantum theory of fields. — Niels Bohr and the Development of Physics. Ed. W. Pauli. London: Pergamon Press, 1955.
4. Brans C., Dicke R.H. Phys. Rev. 1961, 124, 925.
5. De Witt B.S. Phys. Rev. Lett. 1964, 13, 114.
6. Gamow G. Phys. Rev. Lett. 1967, 19, 759.
7. Dyson F.J. The fundamental constants and their time variation. — Aspects of Quantum Theory. Eds. A. Salam, E.P. Wigner. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1972.
8. Chodos A., Derweiler S. Phys. Rev. 1980, D21, 2167.
9. Bekenstein J.D. Phys. Rev. 1982, D25, 1527.
10. Fremd P. Nucl. Phys. 1982, B209, 146.
11. Marciano W.J. Phys. Rev. Lett. 1984, 52, 459.
12. Wu Y., Wang Z. Phys. Rev. Lett. 1986, 57, 1978.
13. Окунь Л.Б. УФН. 1991, 161: № 9, 177.
14. Hellwig H. Proc. of the 28th Annual Symposium on Frequency Control. Washington: Electronic Industries Ass., 1974. P. 315.
15. Домнин Ю.С., Малимон А.Н., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С. Письма ЖЭТФ. 1986, 43: № 4, 167.
16. Бугаев С.Р., Клементьев В.М., Чеботаев В.П. Письма ЖЭТФ. 1987, 45: № 2, 67.
17. Shlyakhter A. Nature. 1976, 264, 340.
18. Sisterna P., Vucetich H. Phys. Rev. 1990, D41, 1034.
19. Savedoff M.P. Nature. 1956, 178, 688.
20. Wolfe A.M., Brown R.L., Roberts M.S. Phys. Rev. Lett. 1976, 37, 179.
21. Wolfe A.M., Davis M.M. Astron. J. 1979, 84, 699.
22. Tubbs A.D., Wolfe A.M. Astrophys. J. Lett. 1980, 236, 105.
23. Briggs F.H., Wolfe A.M., Liszt H.S. Astrophys. J. 1989, 341, 650.
24. Bahcall J.N., Sargent W.L.W., Schmidt M. Astrophys. J. Lett. 1967, 149, 11.
25. Bahcall J.N., Schmidt M. Phys. Rev. Lett. 1967, 19, 1294.
26. Levshakov S.A. ESO Conf. Proc. 1992, 40, 139.
27. Levshakov S.A. Proc. of Symposium on Quantum Physics and the Universe, Tokyo, Aug. 19—22, 1992 (in press).
28. Левишаков С.А. Астрон. ж. 1993 (направлено в печать).
29. Потехин А.Ю., Варшалович Д.А. Препринт ФТИ РАН № 1590. С-Петербург, 1992.
30. Potekhin A.Yu., Varshalovich D.A. Astron. and Astrophys. 1993 (submitted).
31. Леман Э. Теория точечного оценивания. М.: Наука, 1991.
32. Ruppert D., Carroll P. J. Am. Stat. Ass. 1980, 75, 828.
33. Thompson R.I. Astrophys. Lett. 1975, 16, 3.
34. Levshakov S.A., Varshalovich D.A. Mon. Not. Roy. Astron. Soc. (London). 1985, 212, 517.
35. Foltz C.B., Chaffee F.H., Black J.H. Astrophys. J. 1988, 324, 267.
36. Варшалович Д.А., Левишаков С.А. Письма ЖЭТФ. 1993 (направлено в печать).

М.И. Пудовкин, О.М. Распопов. Физический механизм воздействия солнечной активности и других геофизических факторов на состояние нижней атмосферы, метеопараметры и климат.

1. Известно, что солнечная активность и обусловленные ею возмущения межпланетной среды влияют на самые разнообразные процессы во всех оболочках Земли, включая магнитосферу, атмосферу, литосферу и биосферу. На факт воздействия солнечных вспышек на состояние нижней атмосферы обратил внимание в 1882 г. Г. Вильд [1]. С тех пор опубликованы сотни работ, в которых обсуждаются различные проявления солнечной активности в вариациях погоды и климата Земли, в изменении климата Земли, в изменении параметров нижней атмосферы. Однако в ряде работ, например в [2], указанные работы подвергаются критике.

Основным аргументом противников воздействия солнечной активности на метеопараметры являются возражения энергетического плана. Атмосферные процессы характеризуются мощностью порядка 10^{26} — 10^{27} эрг/день. В то же время поступление энергии из солнечного ветра в магнитосферу и

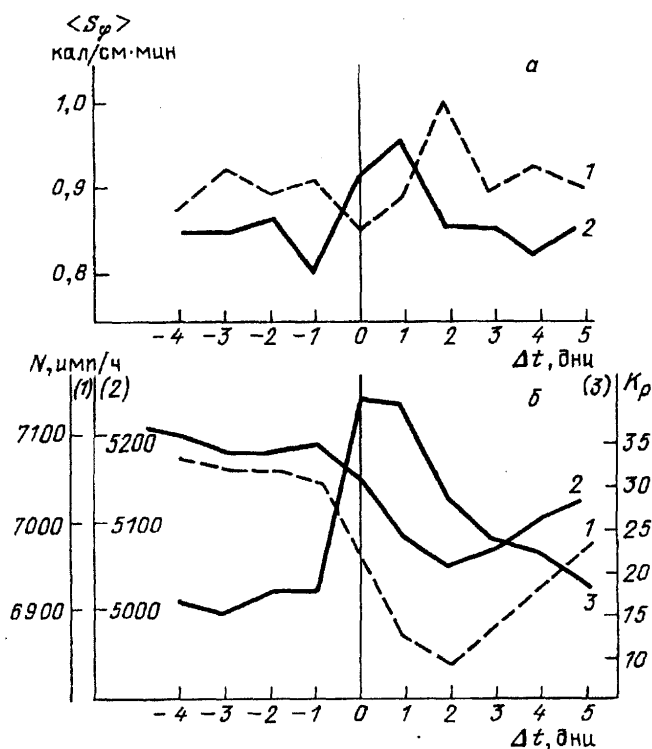


Рис. 1. *a* — Средние значения потоков прямой солнечной радиации относительно нулевых моментов t_0 начала интенсивных геомагнитных возмущений для обсерваторий, расположенных в авральной (7) и субавральной зонах (2). *б* — Средний временной ход индекса геомагнитной активности K_p (3) и скоростей счета нейтронных мониторов в обс. Апатиты (7) и обс. Красная Пахра (2)

последующие процессы в магнитосфере и ионосфере имеют порядок 10^{23} эрг/день, что на 3–4 порядка меньше.

Однако, по мнению авторов, возможен и иной подход к рассматриваемой проблеме. Для этого достаточно считать, что солнечный ветер не является энергетическим источником атмосферных возмущений, но модулирует каким-то образом поступление энергии от какого-либо другого, более мощного источника, каковым, несомненно, является Солнце, ибо другого достаточно мощного источника в окрестности Земли не имеется. Можно утверждать, что в этом случае модуляция поступающей в нижнюю атмосферу энергии обусловлена в основном изменением оптических свойств атмосферы, ее прозрачности. При этом может быть назван агент, эффективно воздействующий на физико-химические процессы в атмосфере, вариации которого, в свою очередь, следуют вариациям солнечной активности. Таким агентом являются космические лучи солнечного и в первую очередь галактического происхождения, содержащие протоны с энергиями 10^8 – 10^9 МэВ. Такие лучи эффективно воздействуют на процессы в атмосфере на высотах 10–20 км и испытывают сильные вариации в десятки процентов, совпадающие с циклами солнечной активности и в ходе индивидуальных возмущений после вспышек на Солнце.

С этих позиций и был проведен ряд экспери-

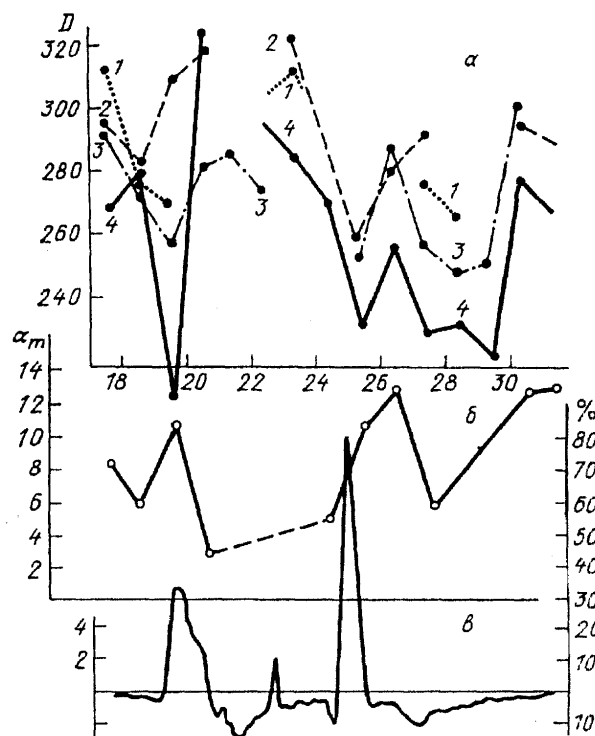


Рис. 2. *a* — Изменение полного содержания озона во время развития солнечных протонных событий в октябре 1989 г. 1 — обс. Соданкюля, 2 — обс. Осло, 3 — обс. Архангельск, 4 — обс. Рейкьявик, *б* — Вариации индекса меридиональной циркуляции α_m атмосферы, *в* — Данные нейтронного монитора в обс. Апатиты

ментальных исследований и численных оценок, подтвердивших высказанные выше соображения о физической природе воздействия солнечной активности и других космофизических факторов на состояние нижней атмосферы, метеопараметры и климат [3].

2. Изложим кратко результаты экспериментальных исследований и численных оценок. Прежде всего был проанализирован ряд средних зимних температур в С.-Петербурге за период 1775–1982 гг. [4]. Результаты анализа свидетельствуют о наличии периодичности средних зимних температур с периодами, совпадающими с 11- и, в значительной степени, с 22-летним циклами солнечной активности.

Температура зим в Петербурге обусловлена воздействием атлантических циклонов. Поэтому следующим этапом был анализ изменения зональной циркуляции атмосферы во время интенсивных геомагнитных бурь [5]. Результаты анализа свидетельствуют о том, что через 1–2 дня после солнечной вспышки происходит заметное усиление зональной циркуляции атмосферы, а через 3–4 дня — заметное ее ослабление. Оценка энергии, необходимой для полученного изменения атмосферной циркуляции, дала значения порядка 10^{26} – 10^{27} эрг/день.

Изменение зональной циркуляции должно вызываться изменением атмосферного давления.

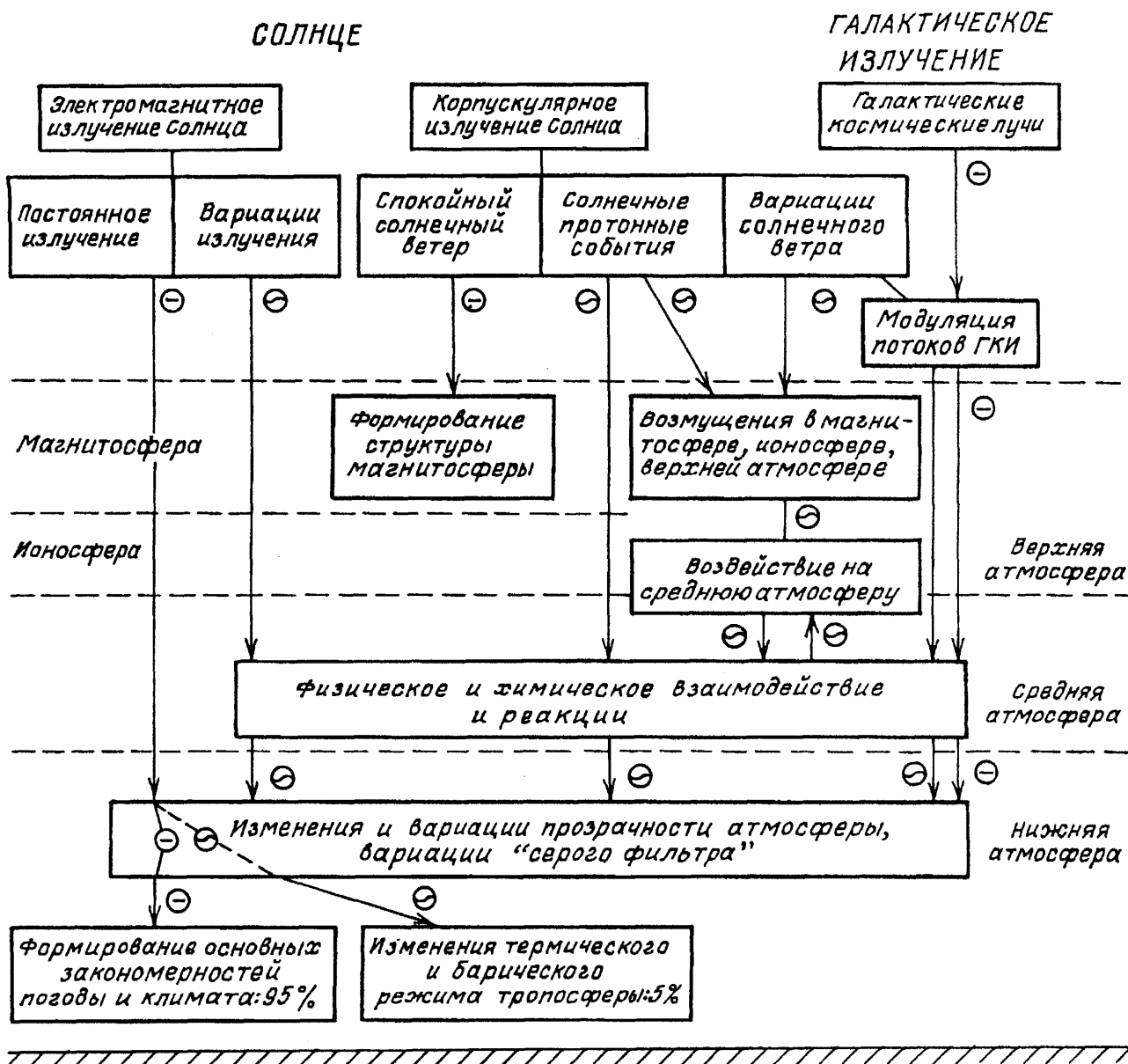


Рис. 3. Схема воздействия солнечной и геомагнитной активности, а также других космофизических факторов на процессы в нижней атмосфере, на метео- и климатические параметры

Поэтому было проведено специальное исследование вариаций меридионального профиля зонального (осредненного вдоль параллели) атмосферного давления в ходе развития интенсивных магнитных бурь [6]. Результаты действительно подтвердили факт заметного изменения давления в диапазоне широт от 55° до 90° .

Как указывалось, перечисленное изменение атмосферных параметров (температура, циркуляция, давление) может быть связано с изменением прозрачности атмосферы во время возмущений. На рис. 1 приведены результаты исследования изменения средних значений потоков прямой солнечной радиации $\langle S_\varphi \rangle$ относительно нулевых моментов t_0 начала интенсивных геомагнитных возмущений для пунктов, расположенных в зоне полярных сияний и субавроральной зоне. График получен методом наложения эпох для 27 интенсивных геомагнитных возмущений за период 1961—1978 гг. Как видно,

изменения $\langle S_\varphi \rangle$ могут достигать $0,11$ кал/см \cdot мин, т.е. 13 % среднего значения радиации на данной широте [7]. Оценка дополнительной энергии, поступающей в сутки в нижнюю атмосферу за счет указанного изменения прозрачности, дает значения порядка $(1,5-2) \cdot 10^5$ эрг/сут, и для магнитной бури, длящейся 3—4 дня, полное количество дополнительной энергии может достигать 10^{27} эрг. Эта величина соизмерима с энергией, необходимой для изменения зональной циркуляции атмосферы.

Заметим, что при обработке вышеуказанных экспериментальных данных оценивалась статистическая значимость получаемых результатов, которая составляла порядка 90 %.

Изменение прозрачности атмосферы под воздействием солнечной и геомагнитной активности связано с протеканием физико-химических процессов в атмосфере (включая формирование облачного покрова) под воздействием потоков галактических и

солнечных космических лучей. Для проверки справедливости этого утверждения было проанализировано изменение полного содержания озона в атмосфере в ходе развития солнечных протонных событий и последующих геомагнитных возмущений [8,9]. Было обнаружено, что солнечные протонные события могут изменять в высоких широтах общее содержание озона (до 10–15 %) и окислов азота, что не может не сказаться на оптических свойствах атмосферы. В качестве примера, приведем графики изменения полного содержания озона в атмосфере на цепочке обсерваторий от Рейкьявика до Архангельска (расстояние порядка 3000 км) во время развития протонных событий в октябре 1989 г. — 19, 23 и 25 октября (рис. 2). На рисунке видно, что на долготном расстоянии порядка 3000 км изменение содержания озона происходит практически синхронно и за время развития события уменьшается на 4–19 % [10]. На рисунке также нанесены значения индекса меридиональной циркуляции атмосферы. Отчетливо видно, что солнечные вспышки стимулируют резкое изменение атмосферной конвекции, на что уже указывалось ранее. В заключение рассмотрения экспериментальных результатов укажем, что в [11] было показано изменение индекса облачности в ряде районов северного полушария после рентгеновских вспышек на Солнце. Этот результат также подтверждает факт изменения прозрачности атмосферы при развитии солнечной и геомагнитной активности.

3. В заключение приведем схему воздействия солнечной активности и других космофизических факторов на процессы в нижней атмосфере, метеоро- и климатические параметры (рис. 3) и кратко обобщим рассмотренные в работе проблемы:

а) Исследован физический механизм воздействия солнечной и геомагнитной активности, а также других космофизических факторов на процессы в нижней атмосфере, на метеопараметры и климат, определяющим элементом которого является изменение прозрачности атмосферы под воздействием в основном вариаций галактических и солнечных космических лучей.

б) Предложено экспериментальное подтверждение названного механизма на основе анализа изменения прозрачности, давления и циркуляции атмосферы в ходе развития геомагнитного воз-

мущения, анализа вариаций температуры воздуха в циклах солнечной активности.

в) Изменение прозрачности атмосферы связано с изменением компонентного состава атмосферы: с развитием азотного цикла физико-химических реакций под воздействием вариаций ГКЛ и СКЛ, УФ и рентгеновского излучений и воздействием водородного цикла физико-химических реакций включая стимулирование усиления облачного покрова.

г) Показано, что дополнительная энергия, поступающая в атмосферу при изменении ее прозрачности в ходе возмущения, имеет примерно то же значение, что и энергия возбуждаемых в атмосфере процессов.

Тем самым впервые предложен физический механизм, предусматривающий возможность непрерывного воздействия солнечной и геомагнитной активности на процессы в нижней атмосфере, на метеопараметры и климат.

Предлагаемый физический механизм корректен с энергетической точки зрения, так как предусматривает наличие баланса между дополнительно поступающей в нижнюю атмосферу энергией и энергетикой возбуждаемых в атмосфере процессов,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильд Г. О температуре воздуха в Российской империи. Вып. 2. СПб., 1882.
2. Мониин А.Г. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969.
3. Пудовкин М., Распопов О.М. Геомагн. и аэроном. 1992, 32: № 5, 1.
4. Пудовкин М.И., Любич А.А. Геомагн. и аэроном. 1989, 29: № 3, 359.
5. Пудовкин М.И., Бабушкина С.В. Геомагн. и аэроном. 1991, 31: № 3, 493.
6. Пудовкин М.И., Веретененко С.В. Геомагн. и аэроном. 1991, 32: №1, 118.
7. Пудовкин М.И., Веретененко С.В. Геомагн. и аэроном. 1991, 32: № 1, 148.
8. Шумилов О.И. и др. ДАН, 1991, 318: № 3, 576.
9. Shumilov O.I. et al. Geophys. Res. Lett. 1992, 19: No. 16, 1647.
10. Raspopov O.M. et al. — Conference Proceedings of the 19th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, Kiruna, 1992. IRF Sci. Rep. 209. P.373.
11. Дмитриев А.А., Ломакина Е.Ю. Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 70.