

Частный случай, когда  $\alpha=1$ , соответствует равномерному распределению барьеров по энергиям.

Таким образом, предложенная модель описывает экспериментально наблюдаемые особенности спектра флуктуаций намагниченности тонкой магнитной пленки при ее циклическом перемагничивании и дает физическое представление о механизме возникновения магнитного шума с характерным спектром типа  $1/f^\alpha$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Колачевский Н. Н. Магнитные шумы. М.: Наука, 1971. [2] Бузько А. М., Потемкин В. В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1974, 15, № 3, с. 352. [3] Бузько А. М., Потемкин В. В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1977, 18, № 1, с. 65. [4] Колачевская В. В., Колачевский Н. Н. и др. Радиотехн. и электроника, 1971, 16, № 7, с. 1211. [5] Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1969, т. 1. [6] Вандер Зил А. Шумы при измерениях. М.: Мир, 1979. [7] Stacey F. D. Austr. J. Phys., 1960, 13, N 3, p. 599.

Поступила в редакцию  
28.12.81

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, т. 24, № 1

УДК 551.513

#### О НЕКОТОРЫХ ПЕРИОДИЧНОСТЯХ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

А. Х. Хргиан, Е. Д. Астахова

(кафедра физики атмосферы)

Изучение периодичности атмосферной циркуляции имеет большое значение как для познания физических основ движения воздушных масс, так и для прогноза погоды.

Количественно циркуляция атмосферы характеризуется значениями индексов циркуляции. Исследование периодичности атмосферной циркуляции на различных высотах с помощью индексов, предложенных Блиновой [1], было проведено в работах [2, 3, 4, 5], в которых отмечено появление периодов в 6—7, 12, 18, 21, 25 и 29 сут. Согласно [2, 3], период 12 сут соответствует естественному синоптическому периоду Мультиановского, а период 25 сут — известному «циклу индекса».

Известно, что вращение Солнца вокруг своей оси вызывает соответствующие вариации характеристик солнечной активности с периодами  $T=27$  сут и  $T=13,5$  сут [6, 7, 8, 9]. Исследования последних лет обнаружили интересные проявления аналогичных периодов в нижней атмосфере, например в вариациях высоты изобарической поверхности 500 мбар в авроральной зоне [10] и в стратосферной циркуляции на уровне 10 мбар [11].

В работах [2, 3, 4, 5] период  $T=27$  сут в циркуляции не обнаружен. Возможно, это связано с тем, что индекс Блиновой характеризует движение всей атмосферы относительно Земли, а характер воздействия солнечной активности на тропосферу и стратосферу должен зависеть от района земного шара [12, 13]. Поэтому представляется целесообразным провести количественный анализ циркуляции атмосферы отдельно для различных секторов земного шара. Такое исследование, выполненное для разных высот, важно для изучения вопросов воздействия солнечной активности на воздушные массы, а также для рассмотрения связи верхней и нижней атмосферы.

Для объективного количественного описания циркуляции атмосферы мы использовали индексы зональной ( $I_3$ ) и меридиональной ( $I_m$ ) циркуляции по Кацу [14], определяемые для различных секторов земного шара, за период с марта 1977 г. по декабрь 1979 г. [15]. При поисках периодичностей мы рассматривали ряды значений индексов «подряд», не разбивая их на сезоны или более короткие интервалы.

В целях сравнения различных географических областей циркуляции (в которых, в частности, могут по-разному проявляться солнечные эффекты) были выбраны два крупных долготных сектора: I — Атлантико-Европейский — от  $45^\circ$  з. д. до  $95^\circ$  в. д. и III — Американский — от  $165^\circ$  з. д. до  $45^\circ$  з. д. [15]. В обоих секторах рассматривалась широтная зона  $50-70^\circ$  с. ш.

Анализ периодичности зональной циркуляции (рядов  $I_3$ ) проводился для двух основных изобарических поверхностей стратосферы: 30 мбар (приблизительная высота 24 км) и 10 мбар ( $\sim 31$  км). Для сравнения был рассмотрен средний уровень тропосферы — 500 мбар ( $\sim 5,5$  км). Таким образом, наш анализ охватил и среднюю стратосферу, и тропосферу. Меридиональная циркуляция изучалась при помощи индекса  $I_m$  на уровне 30 мбар.

Для выявления возможных периодичностей мы применили следующий метод обработки статистического материала [16]. Пусть имеется выборка значений  $I(t)$  и пусть  $T$  — исследуемый (предполагаемый) период. Тогда, как известно, ряд

$$\bar{I}(t) = \left( \sum_{k=0}^{N-1} I(t + kT) \right) / N, \text{ где } t = 1, \dots, T,$$

при достаточно большом  $N$  не будет содержать ни случайных вариаций, ни вариаций с периодом, отличным от  $T$ . В нашем случае при  $T=10$  сут  $N=103$ , а при  $T=27$  сут  $N=38$ .

Мы исследовали значения  $T$  от 10 до 35 сут. Результаты расчетов доказали наличие ряда периодов: в табл. 1 приведены значения  $T$ , для которых отношение  $A$  амплитуды сглаженной кривой  $\bar{I}(t)$  к среднему стандартному отклонению больше 1,2 для уровней 10 и 30 мбар и больше 2,0 для уровня 500 мбар. При этом в скобки заключены значения  $T$ , для которых  $1,2 < A < 1,3$  для уровней 10 и 30 мбар и  $2,0 < A < 2,2$  для уровня 500 мбар. Характерный вид зависимости  $A$  от  $T$  представлен на рис. 1, где для удобства полагали  $A=1$  при  $A \leq 1$ .

Анализ полученных результатов показал, что в обоих секторах в зональной циркуляции преобладают периоды 25 и 27 сут. При этом в III секторе 25-суточный цикл выражен лучше, чем 27-суточный, а в I секторе — наоборот. Периодичность в 27 сут преобладает на более высоких уровнях, значительно слабее выражена она в тропосфере (так, на уровне 500 мбар в III секторе колебание зональной циркуляции с периодом 27 сут, по-видимому, вообще отсутствует).

Анализ периодичности  $I_3$  на различных изобарических поверхностях дал возможность оценить зависимость эффекта от высоты. Для этого использовалась величина  $\Delta I_3$  — разность между максимумом и минимумом кривой  $I_3(t)$  и относительная величина амплитуды  $\Delta I_3 / \bar{I}_3$ , где  $\bar{I}_3$  — среднее значение индексов  $I_3$  по всему ряду на данном уровне. Численные результаты для периода 27 сут приведены в табл. 2. Там же приведены характерные скорости геострофического ветра, полученные с использованием значения  $I_3$  в максимуме и минимуме кривых, аналогичных приведенным на рис. 2.

Таблица 1

Периоды, обнаруживающиеся в ходе индексов зональной ( $I_3$ ) и меридиональной ( $I_M$ ) циркуляции

Уровень, мбар	Сектор	Периоды, сут
Зональная циркуляция		
10	I	27, (29)
	III	(23), 25, 27, 28, 30, (31), (34), (35)
30	I	25, 27, (29), (31)
	III	(15), 23, 25, 27, (28), 29, (31)
500	I	15, 16, 19, 25, 26, 27, (33), 34
	III	10, (15), 16, 25, (26), 28, (32)
Меридиональная циркуляция		
30	I	13, 15, (23), 26
	III	(15), 19, (21), 25, 26, 28, (30), 32

Таблица 2

Проявление 27-суточной периодичности зональной циркуляции на различных уровнях

Уровень, мбар	Сектор	$\bar{T}_3$	$\Delta \bar{T}_3$	$\Delta \bar{T}_3 / \bar{T}_3$	$V_{\max}$ , м/с	$V_{\min}$ , м/с	$\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$ , м/с
10	I	1,37	0,70	0,51	13,43	7,76	5,67
30	I	1,11	0,50	0,45	3,44	2,14	1,30
500	I	1,24	0,22	0,18	0,24	0,20	0,04
10	III	0,78	0,83	1,61	8,74	2,02	6,72
30	III	0,73	0,61	0,83	2,53	0,94	1,59
500	III	1,12	—	—	—	—	—

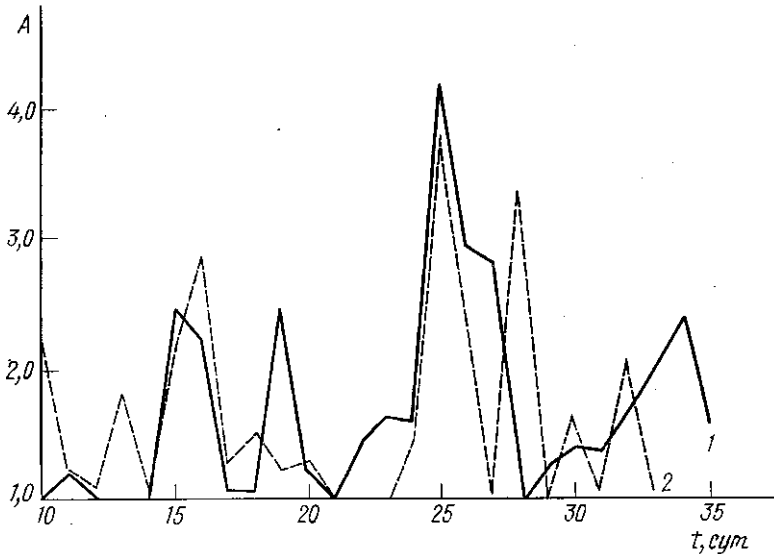


Рис. 1. Периодичность атмосферной циркуляции на уровне 500 мбар: отношение амплитуды сглаженной кривой  $\bar{I}_e(t)$  к среднему стандартному отклонению для I (1) и III (2) сектора

Из табл. 2 видно, что как  $\Delta I_3$  и  $\Delta V$ , так и  $\Delta I_3/I_3$  растет с увеличением высоты, т. е. на больших высотах 27-суточная периодичность проявляется ярче.

На рис. 2—3 представлены кривые  $I_3(t)$  для  $T=25$  сут и  $T=27$  сут для уровня 30 мбар. Амплитуда их заметно превышает величину стандартного отклонения, соответствующего индексу  $I_3$  (величина среднего стандартного отклонения для ряда  $I_3$  на уровне 30 мбар составляет 0,27). Так что можно утверждать, что эти колебания являются реальными. Замечательно, что в III секторе на уровнях 10 и 30 мбар они находятся в противофазе с колебаниями в I секторе.

Вместе с тем можно показать, что 27-суточные колебания в III

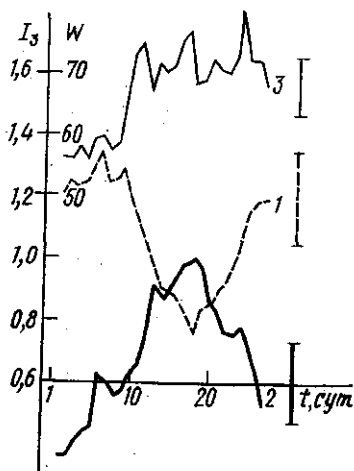


Рис. 2. Проявление периода  $T=27$  сут (уровень 30 мбар): средний ход индекса  $I_3$  в I (1) и III (2) секторах; средний ход чисел Вольфа  $W$  (3). Вертикальными линиями справа обозначены средние значения величин стандартных отклонений

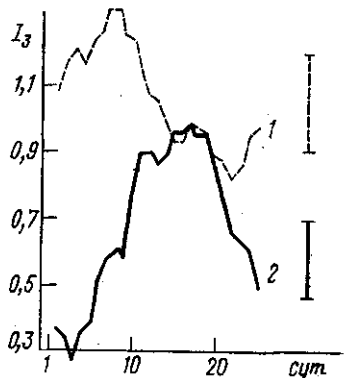


Рис. 3. Проявление периода  $T=25$  сут (уровень 30 мбар). Использованы обозначения рис. 2

секторе находятся в фазе с ходом солнечной активности. В качестве характеристики солнечной активности были избраны числа Вольфа ( $W$ ). Данные за период 1976—1979 гг. [17] были обработаны по методике, описанной выше, и полученный график сопоставлен с аналогичными кривыми для атмосферной циркуляции (см. рис. 2). Такое сравнение показало, что рост солнечной активности в пределах 27-суточного цикла способствует усилению зональной циркуляции в Американском и ее ослаблению в Атлантико-Европейском секторе.

Различную реакцию зональной циркуляции в разных секторах земного шара на изменение общего уровня солнечной активности можно объяснить, полагая, что космическим агентом, воздействующим на циркуляцию, является корпускулярное излучение Солнца.

Действительно, допустим, что чистое нагревание верхней атмосферы за счет захвата частиц солнечного ветра определяет характер зональной циркуляции. Как известно, действие магнитного поля Земли фокусирует корпускулярные потоки, идущие от Солнца, преимущественно в авроральных зонах. Несовпадение магнитного и географического полюсов Земли приводит к тому, что в Американском секторе пояс  $50-70^\circ$  находится в авроральной зоне, тогда как в Атлантико-

Европейском секторе зона полярных сияний и фокусировки корпускул расположена севернее. Поэтому края рассматриваемого широтного пояса будут нагреваться по-разному в I и III секторах. Используя данные об относительных частотах появления полярных сияний в Северном полушарии [18], можно предположить, что в Американском секторе район пятидесятой широты за счет захваченных солнечных частиц нагреется больше, чем район семидесятой широты. Температурный градиент экватор — полюс в поясе 50—70° с. ш. увеличится, что приведет к усилению зональной циркуляции (термический ветер). В Атлантико-Европейском секторе зона около 70° нагреется существенно сильнее, чем район 50°, и зональная циркуляция в I секторе станет слабее.

Полученный нами ход зональной циркуляции (см. рис. 1) можно принципиально объяснить, исходя из предположения, что вариации солнечной активности вызывают изменения температуры атмосферы, зависящие от геомагнитной широты рассматриваемой области, а следовательно и изменения широтного градиента температуры. Следствием этого являются вариации термического ветра, т. е. зональной циркуляции. Так как лишь после этого происходит перестройка меридиональных движений, то становится объяснимым и отсутствие 27-суточной периодичности в индексе  $I_M$ .

При объяснении полученных периодичностей в циркуляции необходимо учитывать, что некоторые колебания могут быть следствием наложения двух процессов. Рассмотрим колебания относительно высокой частоты (соответствующий период  $T_1$ ) с амплитудой, медленно меняющейся по гармоническому закону с периодом  $T_2$ . Такое колебание можно представить как сумму двух волн с близкими периодами:

$$2\cos(2\pi/T_2)\cos(2\pi/T_1) = \cos(2\pi/T_3) + \cos(2\pi/T_4). \quad (1)$$

Пусть  $T_1=27$  сут (период вращения комплексов активности Солнца), а  $T_2=365$  сут (период обращения Земли вокруг Солнца). Тогда из (1) можем получить колебания с периодами 25,1 и 29,2 сут (ср. с табл. 1). Таким образом, исходя из гипотезы солнечного влияния на циркуляцию атмосферы, можно объяснить наиболее выраженные ее периоды на высотах более 10 км.

Рассматривая возможность непосредственного влияния солнечной активности на динамику атмосферы, мы, однако, не предполагаем, что оно однозначно сводится к элементарному нагреву атмосферы просто за счет захвата солнечных частиц. Весьма вероятно, что это влияние более разнообразно и сложно.

Естественно, что солнечная активность — не единственный фактор, определяющий движение воздуха. Несомненно, ряд периодов в зональной циркуляции соответствует «циклу индекса» или естественному синоптическому периоду (или их гармоникам). В пользу этого говорит то, что, несмотря на возможность объяснения периодичности в 25 сут на основе солнечно-земных взаимодействий, данный период проявляется на всех уровнях от 10 до 500 мбар, а не только в верхних слоях.

В данной работе с помощью простого и наглядного метода была изучена периодичность атмосферной циркуляции в различных областях земного шара. Показано, что на уровнях 10 и 30 мбар имеются 27-суточные колебания зональной циркуляции, амплитуды которых выходят за пределы случайных ошибок, а также проявляется периодичность в 25 сут. Колебания  $I_3$  происходят в противофазе в I и III секторах циркуляции.

На более низком уровне (500 мбар) 27-суточная периодичность исчезает в III секторе и значительно ослабевает в I секторе. 25-суточные колебания сохраняются в обоих секторах, причем фаза их в I и III секторах становится одинаковой. В меридиональной циркуляции периодичность в 27 сут не обнаружена, а 25-суточные колебания индекса  $I_m$  имеются только в III секторе.

В работе сделана попытка объяснить часть полученных результатов исходя из гипотезы солнечного воздействия на атмосферную циркуляцию. Предложено учесть наложение колебаний для объяснения ряда наблюдавшихся периодичностей. Отметим, что, используя наложение колебаний и определив совокупность факторов, влияющих на циркуляцию, можно определить все периоды ее изменения. Обратное также верно, т. е. для окончательного заключения о природе причин, определяющих циркуляцию атмосферы, необходимо более точное определение значений ее характерных периодов. Для этого необходимо проведение анализа индексов Каца на возможно большем объеме статистических данных и использование методов спектрального анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Блинова Е. Н. ДАН СССР, 1943, 39, № 7, с. 284. [2] Монин А. С. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1956, № 4, с. 452. [3] Монин А. С. In: Proc. of symposium on time series analysis. N. Y.—L., 1963, p. 144. [4] Добрышман Е. М., Машкович С. А., Чубукова А. Л. В кн.: Тр. Всесоюз. науч. метеорол. сов. Л.: Гидрометеониздат, 1963, т. 2, с. 130. [5] Машкович С. А., Добрышман Е. М., Хейфец Я. М. Характеристики зональной циркуляции. М.: Гидрометеониздат (отделение), 1958. [6] Поток энергии Солнца и его изменения / Под ред. О. Уайта. М.: Мир, 1980. [7] Heath D. F., Wilcox J. M. et al. Solar Physics, 1975, 45, p. 79. [8] Abdel Wahab S. M., Girgis A. H. et al. Fizika, 1980, 12, N 3, p. 241. [9] Wigley T. M. L. Nature, 1980, 288, N 5789, p. 317. [10] King J. W. Nature, 1973, 245, N 5426, p. 443. [11] Ebel A., Bätz W. Tellus, 1977, 29, p. 41. [12] Са-зонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л.: Гидрометеониздат, 1969. [13] Мустель Э. Р. Научные информации Астросовета АН СССР, 1972, вып. 24, с. 5. [14] Кац А. Л. Метеорология и гидрология, 1959, № 5, с. 3. [15] Индексы атмосферной циркуляции / Под ред. Н. В. Столыпной. М.: Гидрометцентр СССР, 1977—1979 гг. [16] Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. [17] Космические данные. М.: Наука, 1976—1979 гг. [18] Физика верхней атмосферы / Под ред. Дж. Ратклиффа. М.: ИЛ, 1963.

Поступила в редакцию  
15.12.81

УДК 524.3

#### ОБ УРАВНЕНИЯХ ДВИЖЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУХ ТЕЛ С ПЕРЕМЕННЫМИ МАССАМИ

Л. Г. Лукьянов

(ГАИШ)

1. Задача двух тел с переменными массами недостаточно четко освещена в литературе [2—4]: почти во всех работах по задаче двух тел с переменными массами исследуются уравнения относительного движения различной формы.

В общей задаче двух тел с постоянными массами доказывается, что, используя 6 интегралов движения центра масс, можно понизить порядок системы дифференциальных уравнений движения в абсолютной системе координат с 12-го до 6-го и записать их в виде дифференциальных уравнений относительного движения [1]. Зная общее или