

Б.Л.КАЩЕЕВ, д-р техн. наук, А.Н.ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук,
В.Н. ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КВАЗИДВУХСУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ОБЛАСТИ МЕЗОПАУЗЫ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ

Впервые квазидвухсуточные колебания скорости ветра в области мезопаузы-нижней термосферы были обнаружены Советской экваториальной экспедицией в Сомали (2 с.ш., 45 в.д.), проводившейся с августа 1968 года по июль 1970 года. О факте обнаружения этих колебаний и их параметрах было сообщено в докладе Б. Кащеева на XV Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза (Москва, август 1971 г.) [1] и на XIII Пленуме Комиссии по кометам и метеоромам Астросовета АН СССР (Киев, ноябрь 1971 г.) [2] и позднее в работах [3-6] и других. Было показано, что период этих колебаний может отличаться от 48 часов на несколько часов, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Причина и условия возникновения квазидвухсуточных колебаний до сих пор фактически не установлена, что вызывает пристальный интерес к этому явлению.

Эксперименты, проведенные в различных пунктах земного шара показывают, что квазидвухсуточные колебания в области мезопаузы-нижней термосферы носят глобальный характер. Квазидвухсуточные колебания были зафиксированы, кроме экватора, в северном и в южном полушариях [7,8]. В [9] высказано предположение, что квазидвухсуточные колебания являются бегущей в зональном направлении планетарной волной, а в [10] приведены результаты их теоретического исследования на основе численной модели атмосферных колебаний. Волновая природа квазидвухсуточных колебаний подтверждена рядом синхронных наблюдений, проведенных в пунктах, разнесенных по долготе, а именно: в Харькове и Хабаровске в июле-октябре 1973 г. [5,11,12], в Обнинске и Хабаровске в июне-июле 1980 г. [10], в Харькове, Обнинске и Колме (Германия) в июле-августе 1998 г.

Экспериментальные данные, полученные в Харькове и Хабаровске летом-осенью 1973 г. подвергались фильтрации для исключения влияния межсуточных колебаний скорости ветра, а затем проводился скользящий гармонический анализ для выделения двухсуточных колебаний [12]. На рис. 1 представлены двухсуточные колебания скорости зонального ветра с 8 по 24 августа 1973 г.

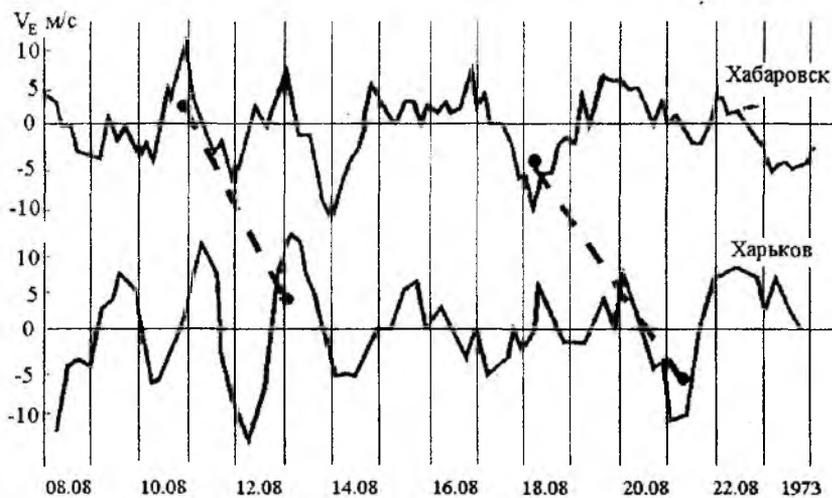


Рис. 1

Анализируя эти графики можно заметить, что характер временных вариаций зонального ветра 17-21 августа в Хабаровске повторяется в Харькове 19-23 августа. То есть зональный ветер в Харькове на высотах метеорной зоны аналогичен ветру в Хабаровске со сдвигом более, чем двое суток (62-65 часов). Такой временной сдвиг соответствует зональному волновому числу 4,8. По измерениям, выполненным в Харькове, Обнинске и Колме летом 1998 г. был получен аналогичный результат — волновое число, рассчитанное по разности фаз двухсуточных колебаний, что составило 4,4-4,5. Следует заметить, что по некоторым другим исследованиям, в частности [10,13], зональное волновое число равнялось 3. Причины такого различия полученных результатов предстоит еще выяснить.

В пунктах, разнесенных в меридиональном направлении квазидвухсуточные колебания возникают, как правило, одновременно. Для иллюстрации на рис. 2 пунктирной линией представлены ква-

зидвухсуточные колебания с одинаковой начальной фазой, зафиксированные одновременно в среднеширотном и экваториальном пунктах наблюдений, разнесенные на 53° по широте.

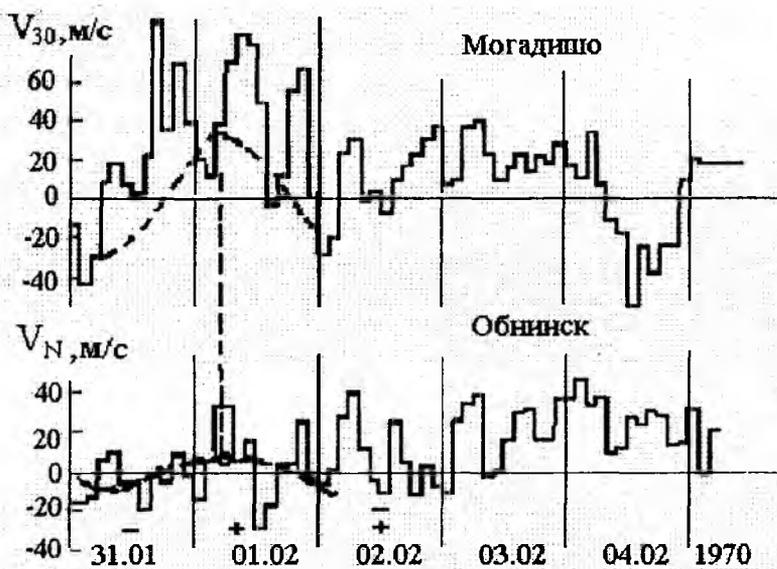


Рис. 2

Большой интерес представляет высотная структура квазидвухсуточных колебаний скорости ветра. Во время проведения исследований в экваториальной зоне в 1968-1970 гг. для высотного разделения метеорных отражений использовался амплитудно-фазовый высотомер, который позволял определить высоту с погрешностью 2 км. Измерялась меридиональная составляющая скорости дрейфа, так как на этих широтах она является доминирующей. Было установлено, что амплитуда квазидвухсуточных колебаний в пределах высот 80-100 км, как правило, возрастает с увеличением высоты, а поведение начальной фазы, возникающей

двухсуточной волны указывает на то, что процессы начинаются раньше в верхних слоях.

С 1976 г. в Харькове проводятся измерения высоты на автоматическом угломере метеорной РЛС системы МАРС (АУ МРЛС) [14-16]. АУ МРЛС обеспечивает измерение угловых координат, наклонной дальности и радиальной скорости дрейфа, отражающей области метеорного следа. Наиболее эффективным для определения угловых координат, отражающей области метеорного следа, является фазовый метод моноимпульсной радиолокации, реализованный в автоматическом угломере. Автоматический угломер метеорной РЛС представляет собой фазовую многоканальную систему, предназначенную для измерения координат и радиальной скорости дрейфа метеорных следов в реальном масштабе времени. Антенная система АУ МРЛС состоит из пяти антенн типа волновой канал, расположенных крестом и образующих двухбазовую измерительную систему с размерами баз 3,5 и 4 длины волны, что обеспечивает высокую точность определения угловых координат. Все антенны ориентированы на восток. Каждая антенна подключена к собственному фазостабильному радиоприемному устройству. Для уменьшения динамических фазовых ошибок полоса пропускания приемников несколько превышает оптимальную и составляет 60 кГц, при длительности импульсов 30 мкс. В АУ МРЛС предусмотрена предварительная обработка сигналов и система защиты от помех. Цифровая измерительная часть АУ включает в себя цифровые импульсные фазометры и измеритель дальности. Фазометры АУ МРЛС выполнены по схеме с непосредственным измерением разности фаз в радиоимпульсе и устранением ошибок, вызванных разрывом фазовой характеристики фазометра методом деления частоты. Для исключения систематической ошибки измерения разности фаз, возникающих при прохождении принятых отраженных сигналов через радиоприемные тракты предусмотрена оперативная калибровка фазовых каналов путем подачи на входы всех приемников калибровочных сигналов с известной начальной фазой. Выявленный таким образом фазовый сдвиг, вносимый непосредственно аппаратурой каждого фазового канала, учитывается при проведении окончательного расчета на ЭВМ. Одновременно при этом частично компенсируется динамическая ошибка. Частичная компенсация динамической ошибки обусловлена тем, что огибающая пачки сигнала калибровки не повторяет форму АВХ отраженного сигнала, а имеет постоянную амплитуду.

Для сведения к минимуму систематических ошибок измерения разности фаз, возникающие в фидерном тракте приемной системы, производится измерение и коррекция электрических длин фидеров (с точностью до $0,5^\circ$), которая осуществляется каждый сезон. С целью уменьшения влияния изменения температуры окружающей среды на электрическую длину, фидеры закопаны в грунт на глубину 1,2 м.

Измеритель дальности построен с использованием двухшкального метода измерения дальности

и фиксации временного положения импульсов по двум фронтам, что позволяет эффективно производить усреднение шумовых ошибок и однозначно определять наклонную дальность.

Программное обеспечение АУ включает программы первичной и вторичной обработки данных, выполняемых в реальном масштабе времени. Программа первичной обработки включает прием массива данных точной и грубой дальности, прием и обработку массивов фазовых сдвигов измерения и калибровки, компенсацию систематических и динамических ошибок, устранения неоднозначностей фазовых шкал угломера, оценки угловых координат наклонной дальности и радиальной скорости дрейфа метеорного следа.

Вторичная обработка данных обеспечивает расчет в реальном масштабе времени динамических параметров атмосферы в метеорной зоне: амплитуды и фазы суточных и полусуточных приливов гармоник, и квазидвухсуточных колебаний, получение их высотных профилей или временных рядов параметров на отдельных высотах. Основные технические параметры АУ МРЛС системы МАРС:

– рабочая частота, МГц	около 31;
– импульсная мощность передатчика, кВт	300;
– динамический диапазон приемного устройства, дБ	50;
– среднеквадратическая погрешность определения угловых координат	0, 28°;
– среднеквадратическая погрешность определения наклонной дальности, м	200;
– среднеквадратическая погрешность определения высоты, км	1;
– среднеквадратическая погрешность определения радиальной скорости ветра, м/с	3;
– статистическая обеспеченность результатов измерений регистраций метеоров в сутки	5000-6000.

Для выявления высотной структуры динамических параметров атмосферы вся зона, обзореваемая метеорной РЛС разбивается на слои толщиной 6 км. В пределах каждого высотного слоя проводится гармонический анализ с временным интервалом 48 часов. Полученные параметры динамического режима относят к середине высотного слоя и временного интервала. Подобный анализ повторяется со сдвижкой по высоте 2 км и сдвижкой во времени 6 часов.

Тенденция увеличения амплитуды квазидвухсуточных колебаний с высотой, выявленной в экваториальной зоне, прослеживается и на средних широтах. В экваториальной зоне средняя амплитуда квазидвухсуточных колебаний превосходит значения амплитуд на средних широтах более чем в два раза. Характерной особенностью для экваториальной зоны является также превышение амплитуды меридиональной составляющей квазидвухсуточных колебаний над зональной составляющей.

На рис. 3 представлена высотная структура среднемесячных значений зональной составляющей

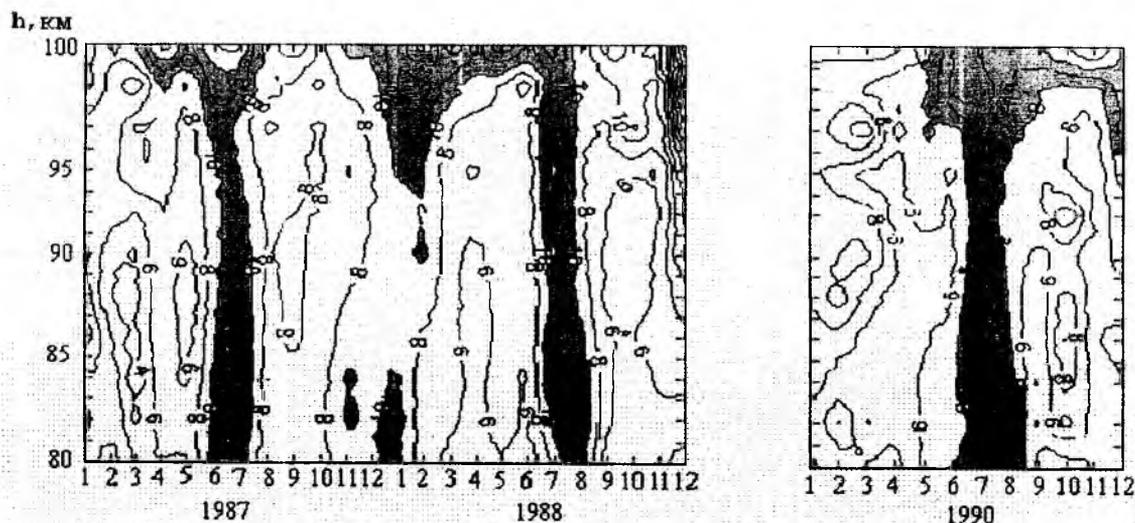


Рис. 3

амплитуды квазидвухсуточных колебаний над Харьковом в 1987-90 гг. Из рисунка видно, что на средних широтах наибольшая интенсивность квазидвухсуточных колебаний отмечается летом в июле месяце. Второй максимум активности квазидвухсуточных колебаний, но с меньшей амплитудой, иногда отмечается зимой в январе месяце. Изменения амплитуды квазидвухсуточных колебаний от месяца к месяцу хорошо описывается суммой среднегодовой, годовой и полугодовой компонент. Например, для 1987-1988 гг. в Харькове среднегодовая зональная амплитуда на высотах 80-95 км составляла 6,5-8 м/с и нарастала с градиентом по высоте 0,1-0,2 м/с км. На высотах выше 95 км высотный градиент увеличивается и составляет 0,6-0,8 м/с км. Годовая и полугодовая компоненты составляют 2-3 м/с.

На рис. 4 приведена высотная структура амплитуды квазидвухсуточных колебаний зональной ско-

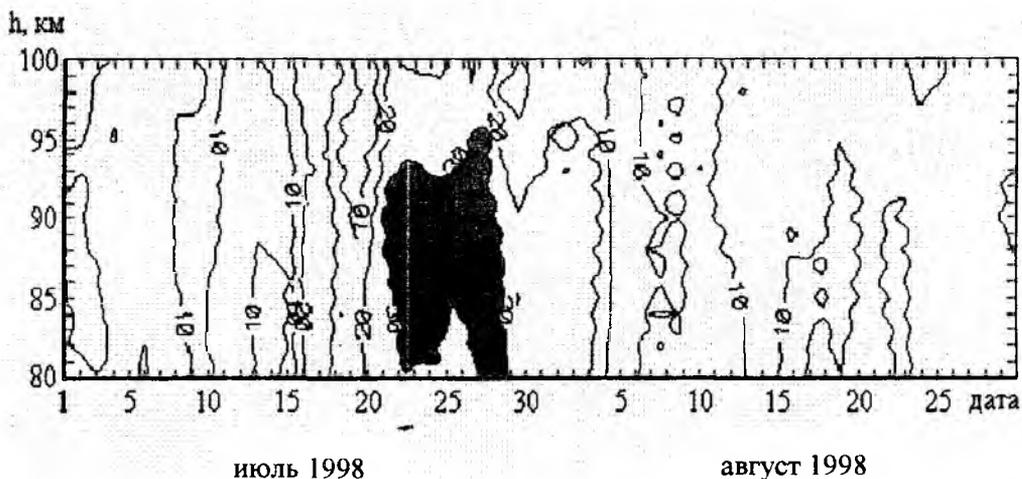


Рис. 4

ости ветра в июле и августе 1998 г. в Харькове, когда наблюдалась аномально высокая амплитуда квазидвухсуточных колебаний (22-28 июля), доходившая до 38-39 м/с.

Следует обратить внимание на один интересный факт [12]. Существует взаимосвязь между появлением квазидвухсуточных колебаний скорости ветра с большой амплитудой и моментом смены знака межпланетного магнитного поля, причем после момента смены знака должен быть интервал времени 5-6 дней с неизменным значением знака межпланетного магнитного поля. Подтверждением этого являются высокая корреляция сезонных вариаций максимальных амплитуд квазидвухсуточных колебаний на различных широтах и сезонных вариаций параметра, характеризующего количество дней в каждом месяце, когда полярность межпланетного магнитного поля остается неизменной в течение 5 дней и более. Механизм влияния межпланетного магнитного поля пока неизвестен, но факт их взаимосвязи на наш взгляд убедителен.

Данная статья подготовлена в рамках программы International association for promotion of cooperation with scientists from new independent state of the former Soviet Union N 96-1696.

Список литературы: 1. *V.V. Fedynsky, P.B. Babadzhanyan, B.L. Kashcheyev et al.* The circulation of the atmosphere in the lower thermosphere at the equator and midlatitudes of the northern hemisphere // Program and abstracts for the XV IUGG General Assembly, Moscow, M.: 1971, P. 484. 2. *Кащеев Б.Л., Кальченко Б.В., Лизогуб В.В. и др.* Дрейф в метеорной зоне над экватором в 1968-1969 гг. / В кн.: XIII Пленум комиссии по кометам и метеорам 1-5 ноября 1971 г., Киев. Тезисы докладов. М.: 1971. С. 29-30. 3. *Бабаджанов П.Б., Кальченко Б.В., Кащеев Б.Л. и др.* О движении воздушных масс в нижней термосфере вблизи экватора / Докл. АН СССР, 1973. Т. 208, № 6. С. 1334-1337. 4. *Кальченко Б.В., Булгаков С.Б.* Исследование периодических компонент скорости ветра в нижней термосфере над экватором. Геомагнетизм и аэрономия, 1973. Т. 13, № 6. С. 1125-1126. 5. *Б.В. Кальченко, Б.Л. Кащеев, В.В. Федьнский.* Двухсуточные возмущения дрейфа метеорных следов / Докл. АН СССР, 1978, Т. 242, № 5. С. 1038-1041. 6. *Muler H.G.* Long-period meteor wind oscillations - Phil. Trans. Roy. Soc. 1972, V. A271, P. 585-598. 7. *Clark R.R.* Meteor wind measurements of Durrham, New Hampshire (43 N, 71 W) T. Atmos. Sci, 1975, Vol. 32. P. 1689-1693. 8. *Craig R.Z., Vincent R.A., Fraser G.T., Smith M.T.* The quasi 2-day wave in the Southern Hemisphere mesosphere. Nature, 1980, Vol. 287, N 5780. P. 319-320 9. *Glass M., Fellous T.L.,*

Massebcuf M., Spizzichino A., Lysenko I.A., Portnyagin Yu.I. Comparison and interpretation of the results of simultaneous wind measurements in the lower thermosphere at Garchy (France) and Obninsk (USSR) by meteor radar technique. T. Atmos. Terr. Phys., 1975, Vol. 37, P. 1077-1087. 10. Кайдалов О.В., Макаров Н.А., Портнягин Ю.И. Квазидвухсуточное колебание скорости ветра в нижней термосфере. Изв. АН СССР. ФАО. 1984, Т. 20, N 3. С. 227-233. 11. Кальченко Б.В., Кащеев Б.Л., В.Д. Кастромин. Синхронные наблюдения дрейфа метеорных следов в Харькове и Хабаровске. Метеорные исследования, 1978, N 5. С. 14-20. 12. Кальченко Б.В. Квазидвухсуточные колебания скорости ветра в верхней атмосфере. Метеорные исследования, 1984, N 9. С. 79-88. 13. Muller H.G., Nelson L.A. Travelling quasi 2-day wave in the meteor region. T. Atmos. Terr. Phys., 1978, Vol. 44. P. 761-766. 14. Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И., Ткачук А.А. и др. Метеорная автоматизированная радиолокационная система. Метеорные исследования, 1977, № 4. С. 11-61. 15. Кащеев Б.Л., Жуков В.В. Автоматический угломер. Сообщение 1. Принципы построения / В кн. Радиотехника. Вып. 47. Харьков, 1978. С. 3-9. 16. Жуков В.В., Олейников А.Н., Олейников В.Н., Автоматический угломер. Сообщение 2. Предварительная обработка сигналов / В кн. Радиотехника. Вып. 47. Харьков, 1978. С. 9-17.

*Харьковский государственный технический
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 23.12.99