

Академик В. Б. ШУЛЕЙКИН

САМОВОЗБУЖДАЮЩИЕСЯ КОЛЕБАНИЯ ЗОНАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В АТМОСФЕРЕ

В нескольких наших предыдущих исследованиях ⁽¹⁾ было установлено наличие стоячих термобарических волн в атмосфере. Было показано, что смена погоды может вызываться автоколебательными процессами в системе океан — атмосфера — материк.

Моделируя тепловые автоколебательные системы, Н. Л. Бызова обнаружила чрезвычайно интересные самовозбуждающиеся колебания конвекционных потоков в экспериментальном сосуде ⁽²⁾ с водой (размерами $10 \times 30 \times 40$ см). Источником тепла служила половина дна, подогреваемая снизу; стоком тепла — другая половина, охлаждаемая льдом, и свободная поверхность воды.

Самовозбуждающиеся колебания температуры были неразрывно связаны с колебаниями скорости конвекционного потока и протекали без затухания. Период колебаний оказался в точности равным тому времени, которое требуется потоку для обхода всего замкнутого контура. Температура поверхности дна практически оставалась постоянной или монотонно росла, если отводимое количество тепла было меньше количества тепла, поступающего от нагревателя. Турбулентные явления непосредственно над нагревателем, разумеется, не могли давать колебания с периодом порядка 4—10 мин. Следовательно, возбуждение колебаний было связано только с периодически повторяющимся прохождением водных масс над нагревателем.

Исходя из законов подобия, Бызова полагает, что явление, открытое ею, должно ослабевать при уменьшении размеров колебательной системы и усиливаться при увеличении размеров.

В связи с этим возникает вопрос: нельзя ли отметить наличие родственных явлений в атмосфере, где существуют некоторые замкнутые системы воздушных потоков?

В настоящей статье мы покажем, что в атмосфере действительно происходят самовозбуждающиеся колебания скоростей потоков, совершенно аналогичные тем, которые обнаружила Бызова в своих лабораторных опытах.

Представим себе зональный поток в средних широтах северного полушария. Воздушные массы, увлекаемые этим потоком, периодически проходят над «нагревателем», каковым является Северное Атлантическое течение, и над «холодильником», каковым зимой являются соединенные материки Европы и Азии (Северная Америка мало на него влияет).

По аналогии с моделью Бызовой следует ожидать, что при этом в зональном потоке должны возникать колебания скоростей (и температур), самовозбуждающиеся с периодом, равным времени обхода воздушных масс вокруг Земли по соответствующей параллели.

Анализ аэрологических материалов, собранных германскими обсерваториями, показывает, что на всех исследованных ими высотах (до 5 км) происходят колебания зонального потока, которые можно разложить на основную синусоиду, на вторую и третью гармоники. Четвертая гармоника практически отсутствует, но зато пятая проявляется чрезвычайно резко.

На рис. 1 воспроизведена диаграмма, построенная германскими авторами для этой пятой гармоники, но никак не истолкованная ими. Эллипсы представляют собой годографы векторов, которые необходимо прибавлять к соответствующему вектору средней годовой скорости ветра на данной высоте. Чтобы не затемнять чертеж, последний на него не нанесен. Для округления промежутки между точками отмечены цифрами, отличающимися от соседних на 6 суток.

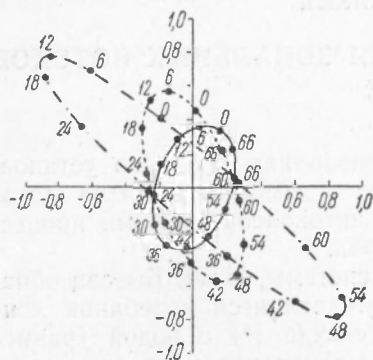


Рис. 1

В действительности период пятой гармоники равен, очевидно, не 72, а 73 суткам.

Эллипс, вычерченный жирной линией (самый малый), соответствует колебаниям скоростей у самой поверхности Земли; эллипс, нанесенный пунктиром, — колебаниям на высоте 2 км; эллипс, вычерченный штрих-пунктиром, соответствует колебаниям скоростей на высоте 5 км.

За нуль отсчета времен принято время наступления максимального отклонения скорости от средней в самом нижнем слое. Как видим, максимальное отклонение скорости от средней на высоте 2 км запаздывает примерно на 7 суток. Максимальное отклонение от средней скорости на высоте 5 км опаздывает примерно на 14 суток по сравнению с приземным слоем.

Совершенно очевидно, что колебания должны возбуждаться именно в приземном слое, который испытывает возмущения под воздействием подстилающей поверхности: практически в слое трения, толщиной 0,5 км. Амплитуда колебаний нарастает в направлении снизу вверх по той же причине, по какой нарастают в этом направлении все возмущения, например вызванные переходом воздушных потоков через холмы, через горные цепи.

Для самовозбуждения колебаний по схеме Бызовой средняя за год скорость ветра \bar{u} в слое трения должна удовлетворять условию:

$$\bar{u} = 2\pi \frac{T}{R} \cos \varphi,$$

где через T обозначен период колебаний, R — радиус Земли в средних широтах, φ — широта места.

Подставим числовые значения: $T = 73$ суток, $R = 6366$ км, $\varphi = 52,5^\circ$. Тогда получим по формуле:

$$\bar{u} = 3,89 \text{ м/сек}$$

И действительно, по материалам тех же обсерваторий, средняя за год скорость потока в слое трения составляет 3,5—4,0 м/сек. Значит, условие, необходимое для самовозбуждения колебаний, удовлетворяется. Вообще говоря, период самовозбуждающихся колебаний может не равняться пятой доле года или какой-то иной округленной его доле.

Но необходимо принять во внимание, что при геометрическом суммировании векторов, соответствующих отклонениям скорости ветра от

средней за много лет, сумма может отличаться от нуля только тогда, когда самовозбуждающиеся колебания характеризуются какой-то гармоникой (подобно тому, как в рассматриваемом случае).

На рис. 1 видно, что векторные приращения, обусловленные пятой гармоникой, достигают в нижнем слое около 0,4 м/сек., т. е. 10% от модуля средней скорости. Но ведь совершенно очевидно, что в природе эти колебания происходят с неточно фиксированной фазой, смещающейся из года в год.

При осреднении за много лет геометрическое суммирование векторов неизбежно повело к сильному уменьшению суммарного вектора, послужившего для вычисления средней величины приращений. Сумма могла бы оказаться даже совсем близкой к нулю, если бы в природе не существовали характерные даты, мало смещающиеся в пределах года и отмечающие особо сильные импульсы: например, даты «майских холодов».

Отсюда следует, что фактические амплитуды самовозбуждающихся колебаний скоростей значительно превышают 10% от среднего за год модуля скорости потока. Это находится в полном соответствии с опытами Бызовой, где наблюдались колебания скоростей порядка $\pm 30\%$ от средней величины.

Весьма замечательно, что период 73 суток, резко проявляющийся на материалах германских аэрологических наблюдений, хорошо совпадает с одним из «ритмов» Мультановского, открытых им более тридцати лет тому назад при качественных исследованиях погоды. По Б. П. Мультановскому, этот «ритм» характеризуется 75 ± 2 сутками.

Сейчас нам удалось установить физический смысл этого «ритма».

Морской гидрофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
3 IV 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Шулейкин, Физика моря, 1941, стр. 426; ДАН, 52, № 3 (1946).
² Н. Л. Бызова, ДАН, 72, № 4 (1950).