

противоположного полушария и возвратившийся после отражения от Земли тем же путем (длинный свист). Когда молния и приемник находятся в разных полушариях, сферик отсутствует, и сразу же регистрируется свистящий атмосферик (короткий свист). В обоих случаях часто наблюдаются многократные эхо (до 20 отражений) с соотношениями интервалов 2 : 4 : 6... — для длинных и 1 : 3 : 5... — для коротких свистов (см. рис.3).

Предположение о распространении вдоль геомагнитных линий естественным образом объясняет также и такие особенности свистов, как возрастание времени задержки сигналов с географической (точнее, с магнитной) широтой места наблюдения и редкие появления свистов в низких широтах. Важным подтверждением высказанной гипотезы явились эксперименты с искусственными источниками, выполненные впервые в 1958 году. Сигналы передатчика, работающего на частоте 15,5 кГц, принимались в другом полушарии с задержкой $t \approx 0,7$ с, свистящие атмосферик, зарегистрированные на той же трассе и частоте, имели такую же задержку. Она соответствовала расчетной длине геомагнитной линии.

Наблюдаемую задержку можно объяснить с помощью ранее полученных результатов. Напомним, что сигнал распространялся в плазме с групповой скоростью $v_{гр}$, которая вычисляется по формуле (7). Если воспользоваться упрощенным выражением (12) для коэффициента преломления свистовой волны, то легко убедиться, что

$$\omega \frac{dn}{d\omega} = -\frac{n_1}{2},$$

и

$$v_{гр} = 2v_{ф} = \frac{2c}{n_1} = \frac{2c\sqrt{\omega\omega_B}}{\omega_p}.$$

Длина трассы L и время задержки t связаны друг с другом обычным соотношением $L = v_{гр}t$. Однако следует учесть, что значения ω_B и ω_p меняются вдоль трассы, а вместе с ними изменяется и величина $v_{гр}$. Поэтому в приведенной выше формуле надо взять некоторое среднее значение $v_{гр}$. Можно ориентироваться на следующие, характерные для высот в несколько тысяч километров, величины индукции магнитного поля и электронной концентрации: $B_0 \sim 40$ мкТл, $N_0 \sim 10^9$ м⁻³. Взяв также частоту

$\omega \sim 10^4$ с⁻¹, найдем $n_1 \sim 10$ и $v_{гр} \sim 6 \cdot 10^7$ м·с⁻¹. Если учесть, что длина магнитной линии между магнитосопреженными точками в рассматриваемом эксперименте была равна $L \approx 40$ тыс. км, то найденной выше групповой скорости соответствует время задержки $t = L/v_{гр} \sim 0,67$ с, что хорошо согласуется с наблюдениями и подтверждает предположение о том, что свистящий атмосферик — это те самые спиральные волны в магнитоактивной плазме, о которых мы ранее рассказывали.

Не представляет труда рассчитать и функциональную связь между временем задержки и частотой сигнала. Для этого подставим в формулу $t = L/v_{гр}$ найденное ранее значение $v_{гр}(\omega)$. В результате получим $t = L\omega_p / (2c\sqrt{\omega\omega_B})$. Эту формулу обычно записывают в виде

$$t = \frac{D}{\sqrt{f}}$$

где $D = L\omega_p / (2c\sqrt{2\pi\omega_B})$. Коэффициент D не зависит от частоты, но зависит от параметров плазмы и длины трассы, по которой проходит атмосферик. Этот коэффициент носит название дисперсии свиста. Его определяют экспериментально, анализируя зависимости $f(t)$, т.е. спектрограммы свистящих атмосфериков (рис.4). Потом по найденному значению D делают выводы о величине электронной концентрации и индукции магнитного поля.

Связь свистящих атмосфериков с разрядами молний не вызывает сомнения, но существует кажущееся противоречие, которое следует разъяснить. На земном шаре бушуют одновременно приблизительно 2000 гроз и вспыхивают в среднем около 100 молний в секунду. В то же время темп регистрации свистов в средних широтах характеризуется единицами в минуту. Почему же столь различно число молний и число свистов? Дело вот в чем. Не каждый разряд порождает свистящий атмосферик, который можно обнаружить в данном пункте наблюдения. Для обнаружения необходимо, чтобы приемник располагался не очень далеко либо от места разряда, либо от его магнитосопреженной точки. Однако грозы распределены на земном шаре очень неравномерно. Чаще всего они происходят в экваториальных районах, но именно там свисты не наблюдаются из-за неподходящей геометрии геомагнитного поля (магнитные линии мало удаляются от поверхности Земли). Существует еще одна причина снижения темпа регистрации. Свистящий атмосферик возникает только тогда, когда радиоимпульс захватывается магнитной линией — «прилипает» к ней. Но для этого нужны особые условия, которые отнюдь не всегда реализуются. Для «прилипания» необходимо, чтобы существовали плазменные неоднородности, вытянутые вдоль магнитного поля. Правда, даже в однородной магнитоактивной плазме направление потока энергии

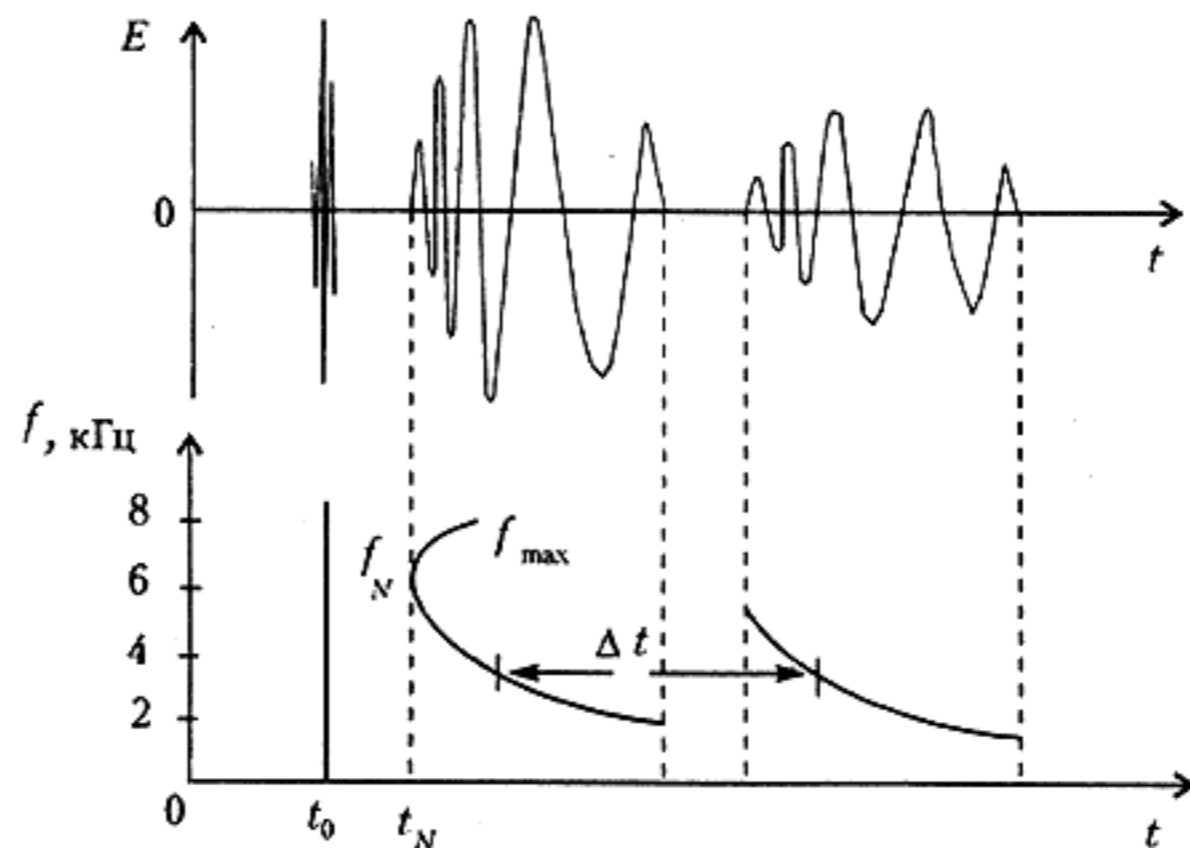


Рис.4. Свистящий атмосферик (сверху) и его спектрограмма. В момент t_0 произошел разряд молнии, который возбудил одновременно все частоты (вертикальная линия на нижнем графике); в момент t_N появился «нос» атмосферика. Спустя некоторое время Δt приходит сигнал, отраженный от магнитосопреженной точки в другом полушарии