

Сопоставление свистящих атмосфериков с грозовой активностью

ЧЕРНЕВА Н. В.¹, АГРАНАТ И.В.¹, СИВОКОНЬ В.П.¹, ВОДИНЧАР Г.М.¹,
LICHTENBERGER J.²

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Россия

²Eotvos University, Венгрия
nina@ikir.ru

Исследование свистящих атмосфериков (вистлеров), возникающих в результате излучения молниевых разрядов после прохождения через ионосферу вдоль силовой линии магнитного поля Земли, имеет большое значение для изучения грозового процесса, для выявления новых связей между явлениями и процессами в ионосфере и магнитосфере.

Для ведения статистики разработан алгоритм автоматического распознавания вистлеров [1]. Работа детектора в данной системе основывается на двумерной корреляции спектра исходного сигнала и спектра сигнала-эталона. Необходимо отметить, что имеющаяся аппаратура не позволяет регистрировать носовую частоту, но диапазон частот от 2.5 до 7 кГц может быть полезным для статистического анализа, т.к. захватывает часть вистлера и в тоже время является наименее зашумленным. Моделирование сигнала-эталона происходит в результате аппроксимации пика атмосферика в текущий момент времени функцией, соответствующей плотности нормального распределения и аппроксимации зависимости частоты от времени экспоненциальной функцией. Этот метод был предложен основателем сети автоматического определения и анализа вистлеров (AWDAnet) Dr. J. Lichtenberger [2]. Система, основанная на этом методе, состоит из детектора и решающего фактора-адаптивного порога.

Детектор выполняет двумерную корреляцию спектра фрагмента сигнала длительностью 4 секунды и смоделированного идеального спектра. Адаптивный порог представляет некоторую усредненную величину, при превышении “нормального уровня” которого формируется вывод о том, что в сигнале присутствует вистлер.

Необходимо отметить, что большую погрешность (до 50 % ложных срабатываний) вносят атмосферика (грозовые разряды), которые видны в спектре как вертикальные линии. Для уменьшения их влияния на результат вводятся дополнительные процедуры, выполняемые по превышению порога:

1. Выполняется проверка, на сколько процентов превышен порог. Если это превышение не достигает заданного пользователем значения (10-15 %), формируется сигнал “0” (нет вистлера).
2. Выполняется проверка, в течение какого времени наблюдалось превышение над порогом. Поскольку длительность вистлера находится в пределах 0.5-2 секунд, то свистящий атмосферик определяется тем, как длительность сигнала укладывается в эти пределы.
3. После обработки 4-х секундного фрагмента детектор обрабатывает следующий фрагмент, сдвинутый относительно предыдущего на 0,2 секунды, за счет чего происходит дополнительное уточнение результата.

Полученные промежуточные результаты автоматического детектирования свистящих атмосфериков были сопоставлены с данными международной сети определения местоположения гроз (World Wide Lightning Location Network - WWLLN), проанализирована связь роста числа принятых вистлеров с увеличением грозовой активности в магнито-сопряженных точках (Камчатка, Россия и Канберра, Австралия).

Например, при сравнении потока вистлеров и грозовой активности в период с 01:30 по 08:12 UT 22.02.2012 и в период с 08:00 до 16:00 UT 02.05.2012 было обнаружено одновременное увеличение потока вистлеров и грозовой активности в сопряженной точке (рис.1). Откуда можно сделать вывод о том, что изменение потока вистлеров в основном определяется грозовой активностью в сопряженной точке.

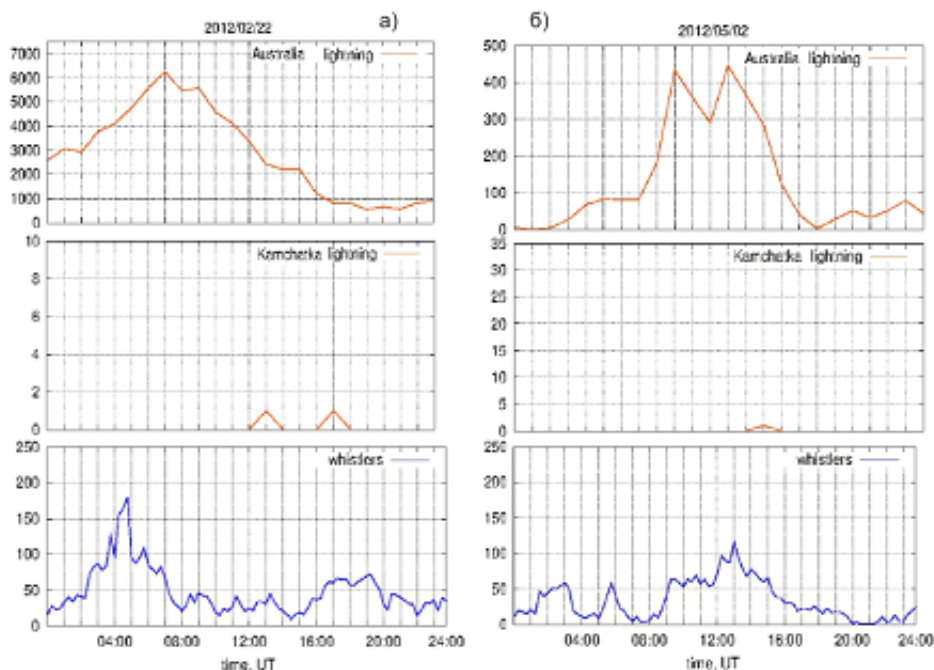


Рис. 1. Сравнение потока вистлеров [число вистлеров/15 минут] с грозовой активностью [число атмосфериков/час] сопряженных точек (Австралия – верхний рисунок, Камчатка – средний рисунок) за 22 февраля 2012 года и 2 мая 2012 года.

Однако, были дни, когда увеличение потока вистлеров явно соответствовало грозовым очагам обеих магнито-сопряженных точек. Так, 10 февраля 2012 года увеличение потока вистлеров откликнулось на грозовой очаг в районе Австралии с 01:00 до 08:00, а с 16:00 до 21:00 в изменении потока вистлеров явно отразилось увеличение грозовой активности в Камчатском регионе (рис.2, а). На рис.2,б наблюдается суммирование обеих грозовых очагов во время одновременной грозовой активности вблизи Австралийского материка и Камчатского полуострова.

Принимая во внимание среду распространения вистлеров (ионосфера, магнитосфера, ионосфера) и их связь с грозовыми разрядами, можно предположить, что антропогенное воздействие на ионосферу также может повлечь за собой рост числа вистлеров. Поскольку активное воздействие на ионосферу оказывает американская система HAARP (High Frequency Active Auroral Research Program), возникает гипотеза о связи результатов работы этой системы и динамики появления вистлеров. Для проверки были сопоставлены спектрограмма процесса нагревания ионосферы антеннами HAARP с количеством вистлеров. Результаты представлены на рис. 3,а. Верхний график – спектрограмма процесса нагрева ионосферы в течение суток, нижний график – изменение числа вистлеров в течение суток. Заметна связь после длительного нагревного воздействия на ионосферу во

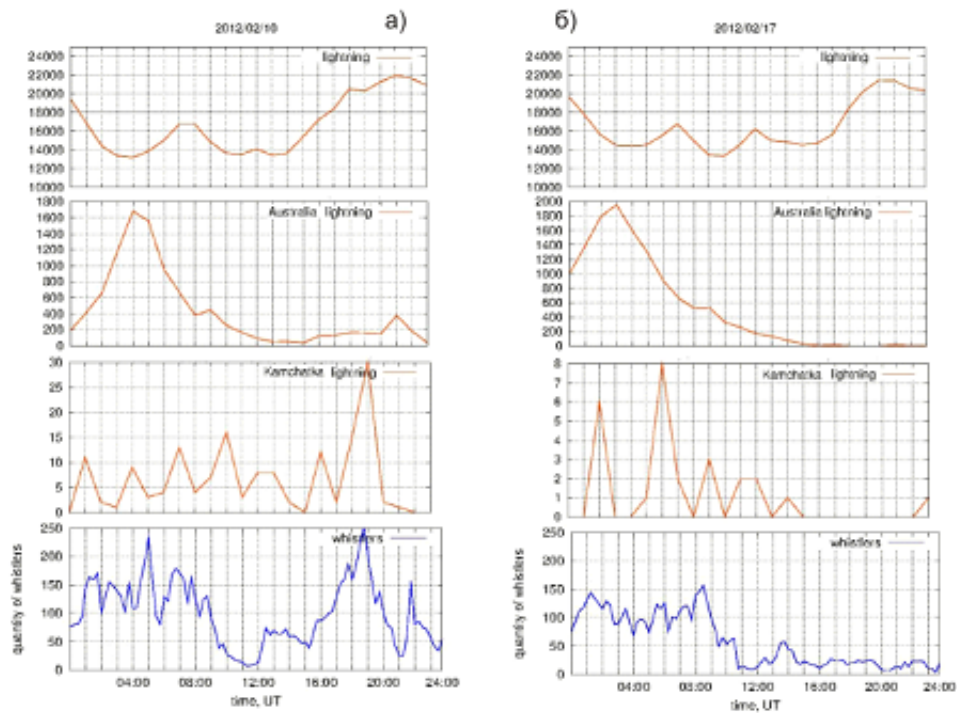


Рис. 2. Сравнение потока вистлеров [число вистлеров/15 минут] с мировой грозовой активностью [число атмосфериков/час] (верхний рисунок) и сопряженных точек (Австралия, Камчатка) за 10 февраля 2012 года и 17 февраля 2012 года.

время работы HAARP (с 01:30 до 08:12 UT 22.02.2012), наблюдается увеличение потока вистлеров (числа вистлеров за 15 минут).

В целях дальнейших исследований проанализирован весь промежуток времени работы HAARP за 2012 год, и проведено сопоставление с грозовой активностью в сопряженных точках, а за февраль месяц и в сравнении с общемировой грозовой активностью. Обнаружено, что в большинстве случаев увеличение числа вистлеров, все таки, имеет прямую связь с увеличением грозовой активности (рис. 1 — а, б). Но в некоторых случаях после длительного воздействия на ионосферу нагревными частотами эта зависимость перестает быть очевидной, а во время работы HAARP наблюдается резкое уменьшение регистрации числа вистлеров, не зависимо от грозовой активности. На рисунке 3,б представлено, как уменьшение в момент проведения экспериментов, так и прямая связь с увеличением грозовой активности в сопряженной точке. Так же было обнаружено, что грозовые разряды, генерирующие атмосферерики в магнито-сопряженной точке, не всегда имеют высокую корреляцию с количеством зарегистрированных на Камчатке или вблизи Австралийского материка вистлеров, число которых достигает нескольких тысяч в течение суток. Возможно, что молниевые удары генерируют свистящие атмосферерики, которые распространяются в волноводе Земля-ионосфера, даже если грозовой очаг находится на значительном расстоянии от сопряженной точки, дрейфуя между силовыми трубками. Необходимо обосновать возможность попадания низкочастотного излучения, сформированного на силовой трубке, предположим, Аляски на силовую оболочку Камчатки. Такая возможность обусловлена неоднородностью распределения концентрации частиц и магнитного поля Земли в магнитосфере, что приводит к изменению коэффициента рефракции и вариациям волнового вектора. Теория этого вопроса была заложена в работе [4], получившая развитие в публикациях Стэндфордского университета [5], в том числе, и в виде анимированной модели. Из этих работ следует, что в зависимости от геофизических условий и частоты электромагнитного излучения свистового диапазона, траектория движения атмосферерика в магни-

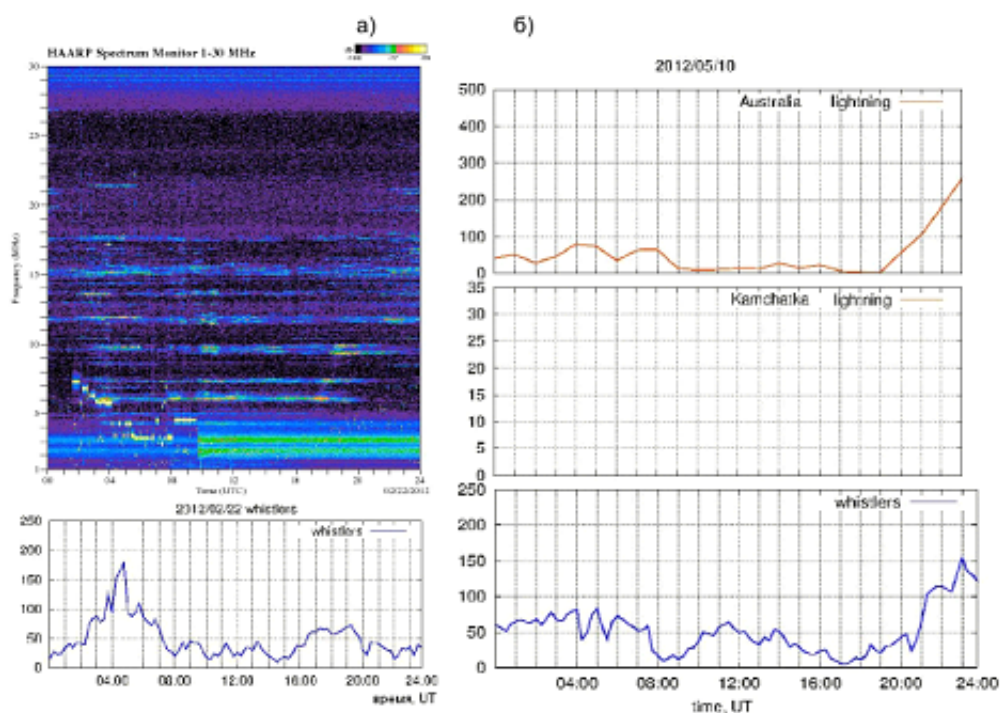


Рис. 3. Сопоставление спектрограммы нагрева ионосферы антеннами HAARF и изменение потока вистлеров [число вистлеров/15 минут] в течение 22 февраля 2012.

тосфере может пересекать несколько силовых оболочек, объясняя, в некоторых случаях, отсутствие прямой связи между потоком вистлеров, зарегистрированных на Камчатке, и грозовой активностью в магнитосопреженных точках. Для более точного установления связи потока вистлеров в сопоставлении с изменением грозовой активности и получения достоверных результатов зависимости антропогенного воздействия (нагревного эксперимента) на магнитосферу, и как следствие, на изменение потока вистлеров, необходимо продолжать исследования в этом направлении.

Заключение

Слабый характер возмущений в ионосфере, магнитосфере и геофизических полях не позволяет сделать определенный вывод об эффективности радиофизических воздействий на ионосферу и значимости их проявлений в районе наблюдений. Однако совершенствование технологий воздействия и использования энергии природных процессов могут привести к более значительным уровням проявления возмущений в ионосфере, магнитосфере и геофизических полях. Поэтому необходимы дальнейшие исследования и регулярные наблюдения в стратегически важных для России дальневосточном и северо-восточном регионах.

Литература

1. Чернева Н. В., Агранат И.В. Автоматическое детектирование свистящих атмосфериков и их сопоставление с грозовой активностью // Сборник трудов . Т.2. VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012 г. Санкт-Петербург. С.45-46.
2. Lichtenberger, J., Automatic Whistler Detector and Analyzer system, J. Geophys. Res., 113, A12201, doi: 10.29/2008JA013467, 2008.

3. *Cherneva N.V., Sivokon' V.P., Agranat I.V.* Spectral characteristics of whistlers // IX Int. Conference "Problems of Geocosmos", Proc. of the 9th Intern. Conf. "Problems of Geocosmos"(St. Petersburg, Russia, 8-12 October 2012). P.212-217.
4. *Kimura I.*, Effect of ions on whistler-mode ray tracing, *Radio Science*. 1 (3). P.263–283. 1966.
5. *Inan, U., and T. Bell*, The plasmopause as a VLF wave guide, *J. Geophys. Res.* V. 82., P.2819–2827. 1977
6. http://nova.stanford.edu/vlf/research_topics/raytracing/raytracing.mp4

Comparison of whistlers with lightning activity

Cherneva N.V.¹, Agranat I.V.¹, Sivokon' V.P.¹, Vodinchar G.M.¹, Lichtenberger J.²

¹ *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

² *Eötvös University, Hungary*

Investigation of whistlers, appearing in the result of lightning discharge radiation after propagation through the ionosphere along the Earth magnetic field line, has been carried out to detect new relations between phenomena and processes in the ionosphere and magnetosphere. For automatic whistler detection, a recognition algorithm has been developed and realized in the basis of which is a two-dimensional correlation of initial signal and etalon signal spectra obtained in the result of approximation of non-stationary spectrum of dependence of a big number of whistlers by exponential function. Applying the obtained approximation, etalon signal spectrum, similar to received whistler spectrum, has been plotted.

The obtained intermediate results for automatic detection of whistlers have been compared with the data of World Wide Lightning Location Network (WWLLN). The relation of increase of the registered whistler number with the increase of lightning activity in magnetically conjugated points (Kamchatka, Russia, and Canberra, Australia) has been analyzed. It has been discovered that lightning discharges, generating atmospheric in the magnetically conjugated point, do not always have high correlation with whistler number registered in Kamchatka, this number may reach up to several thousands. It is possible that lightning discharges generate whistlers, which propagate in the Earth-ionosphere waveguide, even if a lightning source is at a considerable distance from the conjugated point.