«Гелиогеофизические исследования в Арктике». Труды второй всероссийской конференции, Мурманск, 24-26 сентября 2018, . 71-74
© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт», 2018

DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-381-8.71-74

АНАЛИЗ АВРОРАЛЬНОГО ОНЧ ХИССА В ОБС. ЛОВОЗЕРО И ВБЛИЗИ ОБС. СОДАНКЮЛЯ

А.С.Никитенко[1], О.М.Лебедь[1], Ю.В.Федоренко[1], Н.Г.Клейменова[2,3], Ю.Маннинен[4], Л.И.Громова[5], Т Турунен[4].

[1] *Полярный Геофизический институт РАН, Апатиты, Россия,*
[2] *Институт физики Земли РАН, Москва, Россия,*
[3] *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия,*
[4] *Геофизическая обсерватория Соданкюля, Финляндия,*
[5] *ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия*

Аннотация. Разработана методика вычисления положения области выхода ОНЧ волн из ионосферы на основе данных 3-х компонентной цифровой регистрации волн. Проведено опробование предложенного метода к анализу ОНЧ излучений типа аврорального хисса. Выполнен анализ нескольких событий, регистрируемых одновременно в обс. Ловозеро (LOZ) и финской ст. Каннуслехто (KAN, 40 км от обс.Соданкюля), расположенных на близкой широте на расстоянии около 400 км по долготе. Показано, что, как правило, всплески аврорального хисса регистрируются в LOZ и KAN одновременно и связаны с уярчением полярных сияний, наблюдающихся севернее точки ОНЧ наблюдений, однако область ионосферного выхода волн располагается южнее ОНЧ приемников, что объясняется в рамках разработанного метода.

Abstract. The method has been developed for calculating the location of the ionospheric exit region of VLF waves based on the data of the 3-component digital wave registration. The proposed method has been tested for an analysis of the VLF auroral hiss type emissions. The analysis of several VLF events has been performed. The considered VLF events have been simultaneously recorded at Russian Lovozero station (LOZ) and Finnish Kannuslehta station (KAN) located at similar latitude in the longitudinal distance of 400 km. It was found that, as a rule, the auroral hiss bursts occurred simultaneously and associated with visible aurora brightening observed northward from these stations. However, the VLF ionospheric exit region was found to be located southward from the stations. The developed method has been applied to explain this situation.

Материалы и методы

В работе использованы данные регистраторов ОНЧ излучений, расположенных в обс. Ловозеро (LOZ) и финской станции Каннуслехто (KAN, 40 км от обс. Соданкюля). Точки наблюдений находятся на близких L-оболочках и разнесены на 400 километров по широте (рис. 1). Оба регистратора оснащены взаимно ортогональными рамочными антеннами, способными измерять горизонтальные компоненты напряженности магнитного поля. Помимо этого дипольная антенна в Ловозеро позволяет регистрировать вертикальную компоненту электрического поля. Фотография регистратора горизонтальных компонент напряженности магнитного поля и вертикальной компоненты напряженности электрического поля представлена на рисунке 1. Измерение трех компонент поля делает возможным определение обратного азимута вектора Пойнтинга φ_S , т.е. угла прихода излучений в точку наблюдений [Маннинен и др., 2014; Клейменова и др., 2015].

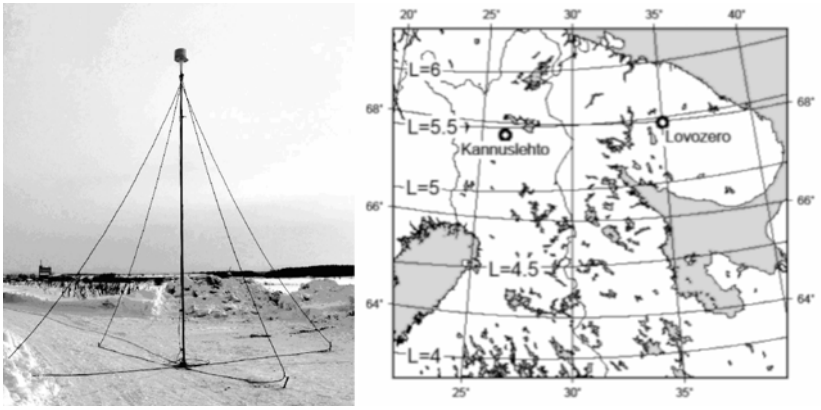

Рис. 1. Слева — регистратор ОНЧ излучений в обс. Ловозеро. Справа — карта расположения станций

Нами была разработана методика вычисления положения области выхода ОНЧ волн из ионосферы на основе вычисления обратного азимута вектора Пойнтинга. Определение направления прихода ОНЧ волн, зарегистрированных в обсерватории Ловозеро, проводилось по данным измерений распределения реальной части распространяющейся энергии электромагнитного поля S от угла φ_S, рассчитанного по реальной части вектора Пойнтинга. У земной поверхности эти параметры определяются, согласно работе [Tsuruda,1979] как:

$$S = \Re(S_x) + \Re(S_y),\ \varphi_s = \arctan 2\left(\frac{\Re(S_y)}{\Re(S_x)}\right)$$

Здесь $S = -H_y E_z^*$, $S_y = H_x E_z^*$ - горизонтальные компоненты вектора Пойнтинга, H_x, H_y - северная и восточная горизонтальные компоненты магнитного поля, полученные после фильтрации и применения преобразования Гильберта, E_z - вертикальная компонента электрического поля, символ $\Re$ означает взятие реальной части, звездочкой обозначено комплексное сопряжение.

Предложенный метод был применен к анализу ОНЧ излучений типа аврорального хисса, зарегистрованных одновременно в Ловозеро (LOZ) и Каннуслехто (KAN). Помимо ОНЧ наблюдений в настоящей работе использованы также результаты наблюдений полярных сияний, проводимых в этих пунктах.

Для детального исследования положения области выхода волн ОНЧ хиссов из ионосферы записи компонент поля, зарегистрированных в LOZ, были подвергнуты фильтрации гауссовым полосовым FIR-фильтром с центральной частотой $f_c = 8500$ Гц, расположенной в окрестности максимума интенсивности хиссов, и шириной полосы $\delta f = 20$ Гц

Для расчета распределения энергии по углам выбирались интервалы записи, во время которых наблюдались ОНЧ всплески с большим отношением сигнал/шум. Для каждого отсчета данных из интервала рассчитывались значения энергии S и угла прихода φ_S. При построении распределений диапазон всех возможных углов прихода (0 - 360 градусов) был разбит на равные сектора. Затем рассчитывалось среднее значение энергии, приходящей из каждого сектора в точку наблюдений. Результаты представлялись в виде графика зависимости S от φ_S в полярных координатах.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены результаты расчета в разные моменты времени распределения энергии аврорального ОНЧ хисса, зарегистрированного в обсерватории Ловозеро 22 января 2016 года в период 19:27 - 19:33 UT. Как следует из рисунков, значения угла прихода выделенных всплесков в разные моменты времени меняются, что позволяет отслеживать динамику положения области выхода авроральных ОНЧ хиссов. Кроме того, стоит отметить, что во время регистрации рассматриваемых излучений на небе наблюдалась дуга полярных сияний. При этом распределения энергии по углам прихода указывают на то, что область выхода во всех случаях находилась к югу от Ловозеро.

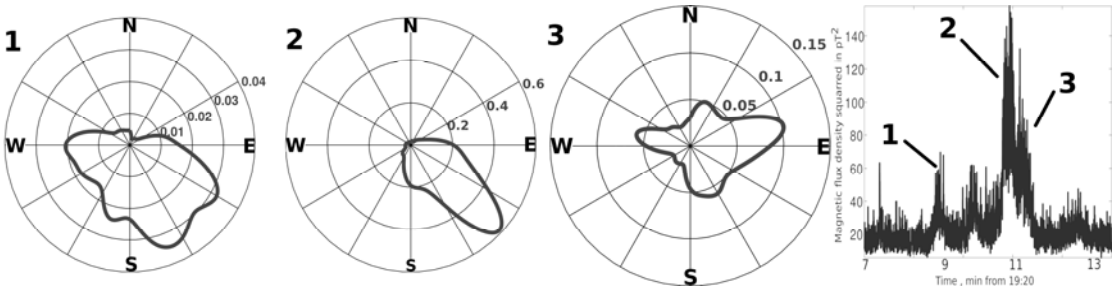

Рис. 2: Распределения энергии от угла прихода авроральных ОНЧ хиссов, зарегистрированных в LOZ 16 января 2016 г. в 19.27-19.33 UT

Для исследования пространственной структуры авроральных ОНЧ излучений и связи их возникновения с возникновением дуги полярных сияний были привлечены данные электромагнитных наблюдений обсерватории Соданкюля. Как показали результаты наблюдений, большинство авроральных хиссов наблюдаются одновременно в обеих точках наблюдения.

Рассмотрим случай одновременной регистрации авроральных хиссов в LOZ и KAN 23 декабря 2016 года 17:00 - 18:00 UT. Излучения наблюдались во время восстановительной фазы суббури в отсутствии сильных возмущений (данные не приведены). На рисунке 3 представлены огибающие магнитного поля, рассчитанные по данным обеих станций, а также распределения энергии по углам прихода для трех выделенных всплесков.

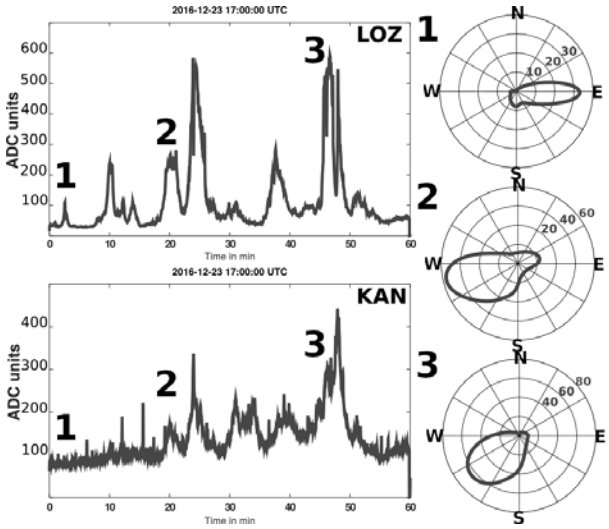

Рис. 3: Слева - огибающие амплитуды магнитного поля авроральных хиссов, зарегистрированных в обс. Ловозеро и обс. Каннуслухто 23 декабря 2016 года 17 — 18 UT. Справа - распределения энергии излучений по углам прихода для выделенных всплесков.

Всплеск №1 наблюдается только в LOZ. Распределение мощности по углам прихода достаточно «узкое» и указывает на восток. Это свидетельствует о том, что область выхода находится далеко на востоке. В этот момент в KAN излучения не наблюдаются, из чего можно сделать вывод, что область выхода локальна. Распределение энергии по углам прихода для всплеска №2 имеет вид области, вытянутой в юго-западном направлении. В этот момент ОНЧ излучения также наблюдаются и в KAN. Такая картина может быть результатом существования в ионосфере вытянутой по долготе области выхода, причем она находится достаточно близко к обеим станциям. Область выхода всплеска №3 находится также к юго-западу от Ловозеро. Этот всплеск также наблюдается в обеих точках наблюдений.

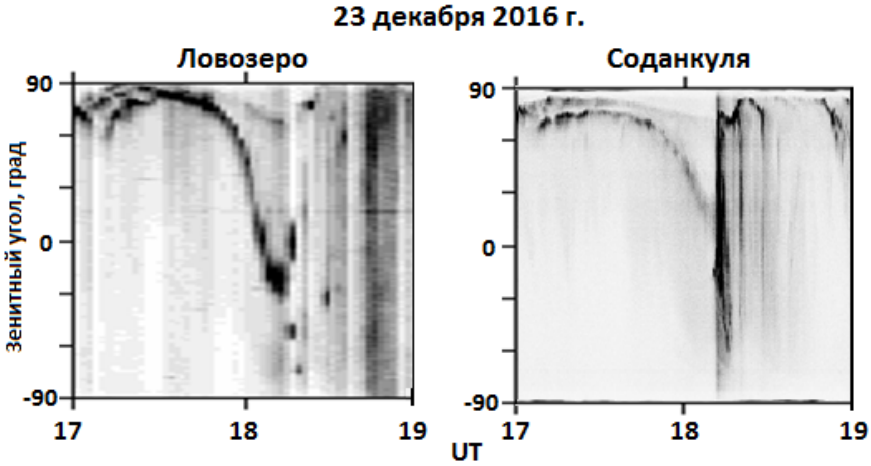

Рис. 4: Кеограммы полярных сияний по данным обс. Ловозеро и обс. Соданкюля

Согласно данным кеограмм полярных сияний для KAN и LOZ в период с 17:00 до 17:40 дуга полярных сияний находится к северу от точек наблюдений. В этот время положения областей выхода авроральных хиссов практически не меняются по широте. Начиная с 17:40 UT, дуга начинает смещаться в южном направлении. Вместе с этим всплески аврорального хисса начинают приходить в точки наблюдений с более низких широт.

Как следует из результатов моделирования [Лебедь и др., 2018], наблюдаемая картина может быть результатом особенностей недактового распространения авроральных хиссов в ионосфере. Частицы, вызывающие полярные сияния, распространяются вдоль силовой линии и высыпаются севернее точки наблюдений. При этом траектории распространения электромагнитных волн на частотах 8-10 кГц отклоняются к югу.

Заключение

1. Разработана методика вычисления положения области выхода ОНЧ волн из ионосферы на основе данных 3-х компонентной цифровой регистрации волн. Предложен метод вычисления обратного азимута вектора Пойнтинга.
2. Выполнен анализ нескольких событий, регистрируемых одновременно в обс. Ловозеро (LOZ) и финской ст. Каннуслехто (KAN, 40 км от обс. Соданкюля), расположенных на близкой широте на расстоянии около 400 км по долготе.
3. Показано, что для рассмотренных случаев регистрации авроральных ОНЧ хиссов область выхода локальна. Вероятность наблюдения ОНЧ всплесков в LOZ или KAN зависит от взаимного расположения области выхода и точки наблюдений. Если излучения наблюдаются только в LOZ, это может быть результатом того, что область выхода находится восточнее точки наблюдений.
4. Во всех рассмотренных случаях одновременной регистрации полярных сияний и авроральных хиссов область выхода излучений находится южнее сияний. Это может быть результатом недактового распространения излучений сквозь магнитосферу и ионосферу к земной поверхности.

Литература

1. Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Никитенко А.С. Моделирование прохождения аврорального хисса к земной поверхности. Настоящий сборник.
2. Tsuruda, K., and K. Hayashi, Direction finding technique for elliptically polarized VLF electromagnetic waves and its application to the low-latitude whistlers, J. Atmos. Terr. Phys., 37, 1193, 1975.
3. Маннинен Ю., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Никитенко А.С. Первые результаты одновременной регистрации ОНЧ излучений в двух близко расположенных пунктах в авроральных широтах // Геомагнетизм и Аэрономия том 54, № 1, с. 36. 2014.
4. Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Громова Л.И., Турунен Т., Федоренко Ю.В., Никитенко А.С., Зелинский Н.Р., Громов С.В. Условия в солнечном ветре и магнитосфере во время всплеска нетипичных онч шипений (08 декабря 2013 г.) // Геомагнетизм и Аэрономия том 55, № 3, с. 323. 2015.