

УДК 550.388.2

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОНЧ-НАБЛЮДЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ПОЛЯРНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ “ТРАНСАРКТИКА 2019”

© 2020 г. С. В. Пильгаев¹, Ю. В. Федоренко¹, Н. Г. Клейменова²,
Ю. Маннинен³, А. С. Никитенко¹, А. В. Ларченко¹, М. В. Филатов¹,
О. М. Лебедь¹*, И. Е. Фролов⁴, Б. В. Козелов¹

¹Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Апатиты (Мурманская обл.), Россия

²Институт физики Земли РАН (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия

³Геофизическая обсерватория Соданкюля, г. Соданкюля, Финляндия

⁴Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ),
г. Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: olga.m.lebed@gmail.com

Поступила в редакцию 25.08.2019 г.

После доработки 15.09.2019 г.

Принята к публикации 26.09.2019 г.

Представлены первые результаты наблюдений ОНЧ-излучений (1–15 кГц), проведенных в полярных широтах во время специальной комплексной экспедиции “Трансарктика 2019”, организованной Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом. Наблюдения проводились на судне “Академик Трёшников” с помощью высокочувствительной аппаратуры, разработанной в Полярном геофизическом институте. В течение 13 из 26 дней наблюдений были зарегистрированы всплески ОНЧ-излучений типа аврорального хисса. Эти всплески одновременно наблюдались и в обс. Баренцбург, расположенной на ~600 км западнее и ~160 км южнее. Однако эти всплески не регистрировались в более низких, авроральных широтах на том же меридиане, в обс. Ловозеро и финской ст. Каннуслахто. Подробно рассмотрен один из наиболее типичных случаев – авроральный ОНЧ хисс 11 апреля 2019 года. Сделан вывод, что область выхода исследуемого аврорального хисса из ионосферы к земной поверхности была локальной и ограниченной по широте.

DOI: 10.31857/S0016794020020121

1. ВВЕДЕНИЕ

Первый этап морской экспедиции “Трансарктика 2019”, организованной Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ), проводился с 20 марта по 20 мая 2019 года. Научно-экспедиционное судно “Академик Трёшников” было введено в лед севернее архипелага Земля Франца-Иосифа, откуда начало свой дрейф. Одной из целей экспедиции было исследование пространственно-временной структуры наблюдаемых на земной поверхности СНЧ/ОНЧ-излучений магнитосферного происхождения. Исследования геофизических процессов по данным наземных наблюдений электромагнитных полей СНЧ/ОНЧ-диапазонов в приполюсных широтах Арктики представляют большой интерес для понимания физических процессов в дневном полярном каспе и полярной шапке, где имеется прямой доступ плазмы солнечного ветра к ионосфере. Это необходимо как для улучшения прогноза космической погоды, так и для изучения влияния гелиогеофизических возмущений на качество коротковолно-

вой (КВ) и сверхнизкочастотной (СНЧ) радиосвязи в этом районе Арктики.

Исследованию структуры и морфологических характеристик авроральных шипений (хиссов) посвящено большое число публикаций, например, обзоры [Makita, 1979; Sazhin et al., 1993; LaBelle and Treumann, 2002], а также работы [Narang, 1968; Mosier and Gurnett, 1972; Beghin et al., 1989; Sonwalkar, 1995; Ozaki et al., 2008; Spasojevic, 2016]. В то же время в полярной Арктике на столь высоких широтах подобных измерений до сих пор не проводилось.

Целью данной работы является представление первых результатов наблюдений ОНЧ-излучений типа аврорального хисса, выполненных на научно-экспедиционном судне “Академик Трёшников” в полярных широтах. Для исследования особенностей генерации и распространения зарегистрированных ОНЧ-излучений типа аврорального хисса было проведено их сопоставление с одновременными ОНЧ-наблюдениями на стационарных российских станциях Полярного геофизического института: Баренцбург (78.07° N,

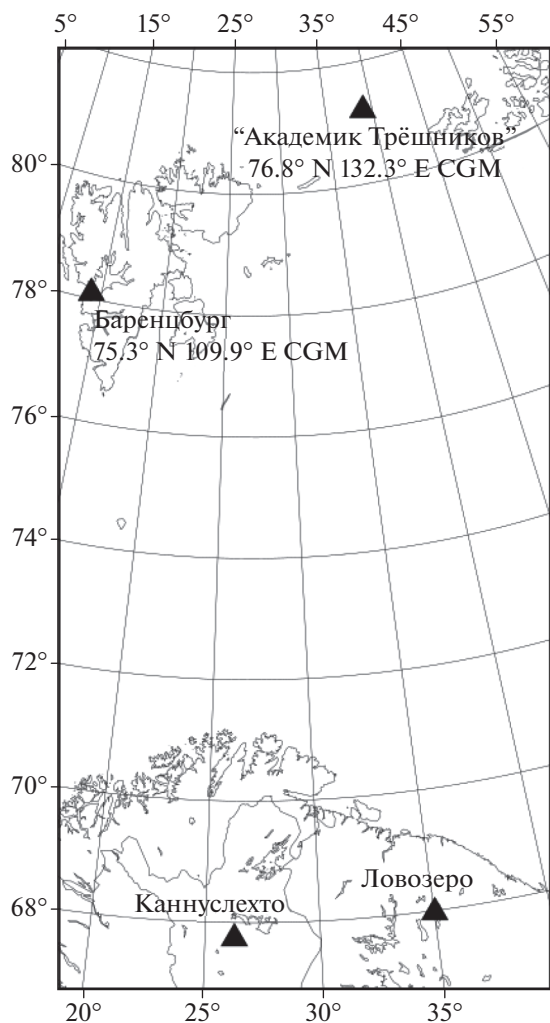


Рис. 1. Взаимное расположение станций Баренцбург, Ловозеро, Каннуслехто и судна “Академик Трёшников”.

14.21° E) и Ловозеро (67.97° N, 35.02° E), а также финской станции Каннуслехто (67.74° N, 26.27° E), расположенной на 400 км западнее obs. Ловозеро. Взаимное расположение станций и судна показано на рис. 1.

2. АППАРАТУРНЫЙ КОМПЛЕКС

Для исследования СНЧ/ОНЧ-излучений на судне “Академик Трёшников” был установлен регистратор горизонтальных компонент напряженности магнитного поля (H_x и H_y) и вертикальной компоненты напряженности электрического поля (E_z). Такие же СНЧ/ОНЧ-приемники установлены в обсерваториях Баренцбург, Ловозеро и Каннуслехто. Все приемники обладают идентичными характеристиками в частотном диапазоне 30–16000 Гц. Регистрация магнитных компонент ведется с использованием двух взаимно перпендикулярных рамочных антенн. Для регистрации

электрической компоненты используется дипольная антенна. Все приемники обладают прецизионной привязкой к мировому времени (ошибка не превышает 1 мкс). Антенны приемников откалиброваны в соответствии с методикой, описанной в работах [Fedorenko et al., 2014; Пильгаев и др., 2018].

Развертывание системы регистрации компонент электромагнитного поля на дрейфующей льдине и ее отладка заняли некоторое время. В результате проведенной работы устойчивая регистрация СНЧ/ОНЧ-излучений осуществлялась с 1 по 26 апреля включительно. Ориентация магнитных рамочных антенн в ходе дрейфа непрерывно контролировалась по сигналу передатчика радионавигационной системы “Омега”, расположенного в Комсомольске-на-Амуре.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Предварительная обработка данных регистрации ОНЧ-излучений на судне “Академик Трёшников” включала в себя, прежде всего, подавление интенсивных импульсных атмосферных помех (sferics) дальних молниевых разрядов [Smith and Jenkins, 1998]. Для этого применялся метод, сводившийся к нахождению по временной форме каждого атмосферика в сигнале, его удалению и замещению образовавшегося зазора отрезком прямой, соединяющей крайние отсчеты сигнала [Munteanu et al., 2016].

В результате анализа спектрограмм, построенных по данным регистрации на судне, из 26 дней наблюдений в 13 днях регистрировались ОНЧ-излучения типа аврорального хисса в виде всплесков длительностью порядка 5–10 мин или последовательности таких всплесков. Всплесков ОНЧ-излучений не наблюдалось в магнито-спокойное время при $Kp = 0–1$ и в магнито-возмущенное время при $Kp \geq 3$. Такая же закономерность отмечалась ранее для авроральных шипений в авроральных широтах [Клейменова и др., 2019].

Всплески авроральных шипений на судне наблюдались преимущественно в вечернее и ночное время (15–23 UT, т.е. 18–02 MLT) и, как правило, сопровождалась развитием высокоширотных магнитосферных суббурь с максимальной амплитудой порядка 200–300 нТл на геомагнитных широтах около 70°. Кроме того, всплески авроральных шипений регистрировались и днем (между 10–15 UT, т.е. в 13–18 MLT). О существовании таких послеполуденных всплесков авроральных шипений в полярных широтах сообщалось ранее в работе [Spasojević, 2016] по данным наблюдений на антарктической obs. Южный Полюс (South Pole) на геомагнитной широте – 74°.

Сопоставление данных, полученных во время экспедиции, с данными, полученными одновре-

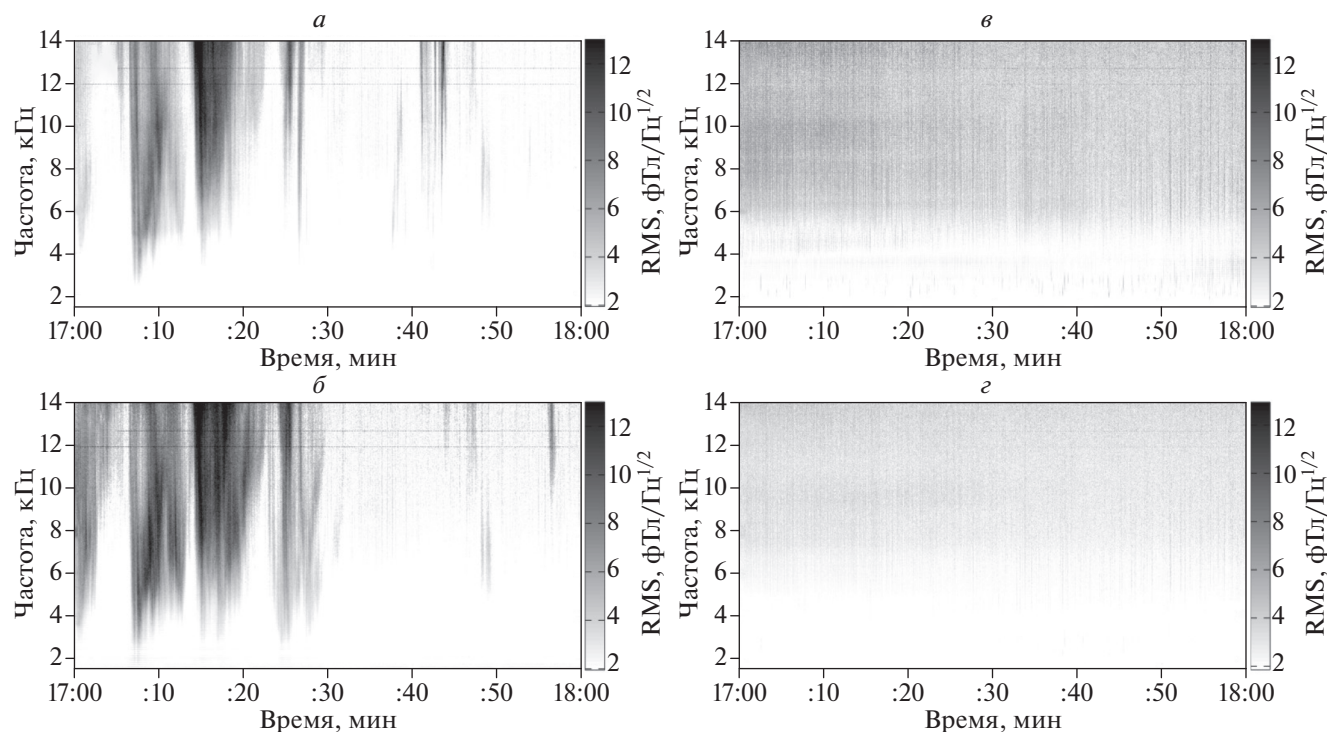


Рис. 2. Спектрограммы горизонтальной компоненты магнитного поля за 11 апреля 2019 г. 17:00–18:00 UT, зарегистрированной (а) на судне “Академик Трёшников”, (б) в obs. Баренцбург, (в) в obs. Ловозеро, (г) в obs. Каннуслехто.

менно в obs. Ловозеро, расположенной в авроральной зоне в ~ 1300 км к югу от судна (рис. 1), показало, что наблюдаемые на судне авроральные хиссы не наблюдаются в авроральной зоне.

Рассмотрим более подробно один из наиболее типичных случаев – авроральный хисс, зарегистрированный на судне 11 апреля 2019 г. во время небольшой (~ 100 нТл) магнитосферной суббури, наблюдаемой на геомагнитных широтах выше 70° . На рис. 2а приведена спектрограмма горизонтальной компоненты магнитного поля ОНЧ-излучений, зарегистрированных на судне в 17:00–18:00 UT. Из рисунка видно, что с 17:00 до 17:30 UT наблюдались мощные всплески аврорального хисса в полосе частот 3–14 кГц. Было проведено сопоставление этих данных с одновременными ОНЧ-наблюдениями на идентичной регистрирующей аппаратуре в obs. Баренцбург (рис. 2б), расположенной в ~ 600 км к западу и ~ 160 км к югу от судна “Академик Трёшников” (рис. 1). Как видно из рис. 2б, в obs. Баренцбург в это время также наблюдались подобные всплески аврорального хисса.

Поскольку на судне “Академик Трёшников” использовался регистратор трех компонент электромагнитного поля H_x , H_y и E_z , то помимо амплитуды горизонтальной компоненты магнитного поля мы могли оценить азимутальный угол прихода ОНЧ-излучений без неопределенности в $\pm 180^\circ$, присутствующей в obs. Баренцбург, где

вертикальная компонента электрического поля ОНЧ-волн не регистрировалась. Результаты измерений азимутального угла для рассматриваемого хисса 11 апреля 2019 г. показали, что излучение приходит преимущественно с юга. Этот факт свидетельствует о том, что область рассеяния электростатических волн в ионосфере, приводящая к прохождению аврорального хисса в волновод Земля–ионосфера, располагалась южнее точки регистрации [Лебедь и др., 2018]. Направление азимутального угла испытывало вариации порядка $\pm 60^\circ$. Широкий разброс углов показывает, что область рассеяния находилась близко к точке наблюдения, в противном случае разброс азимутальных углов был бы гораздо меньше.

Для исследования пространственной структуры данного аврорального хисса результаты ОНЧ-наблюдений на судне были сопоставлены с подобными одновременными наблюдениями в obs. Ловозеро и финской ст. Каннуслехто, расположенных на близкой авроральной широте и разнесенных по долготе на ~ 400 км (рис. 1). Спектрограммы горизонтальных компонент магнитного поля ОНЧ-излучений в этих точках приведены на рис. 2в, г. Видно, что в указанный период времени авроральный хисс на этих станциях не наблюдался. Из рисунка также видно, что уровень помехи от атмосфериков в obs. Ловозеро и, в меньшей степени, в Каннуслехто превышает

уровень помехи в Баренцбурге и на корабле, где она практически отсутствует. По-видимому, это связано с различием в затухании волн из-за разницы в расстояниях около 1300 км при распространении атмосфериков от экватора к авроральным и полярным широтам.

Генерацию аврорального хисса обычно связывают с потоком высыпающихся низкоэнергичных электронов, вызывающих полярные сияния, см., например, работы [Jørgensen, 1968; Laaspere and Hoffman, 1976; Sazhin et. al., 1993; LaBelle and Treumann, 2002]. Область высыпания авроральных электронов обычно представляет собой длинную полосу, вытянутую в направлении восток-запад на несколько десятков километров. Можно предположить, что область рассеяния электростатических волн связана с высыпающимися электронами и также вытянута по долготе, следовательно, пространственное положение области регистрации аврорального хисса также должно быть вытянуто вдоль геомагнитной параллели. Этот факт подтверждается одновременной регистрацией аврорального хисса на судне и в обс. Баренцбург, находящихся на относительно близкой геомагнитной параллели 75° – 76° , но разнесенных по долготе, и отсутствием этих излучений в находящихся на более низких широтах обс. Ловозеро и ст. Каннуслехто.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены первые результаты наблюдений ОНЧ-излучений типа авроральный хисс, проведенных в полярных широтах во время морской экспедиции “Трансарктика 2019”. Рассмотрен один из наиболее типичных случаев – авроральный хисс, зарегистрированный на судне “Академик Трешников” 11 апреля 2019 г. Проведено сравнение одновременной ОНЧ-регистрации аврорального хисса на корабле и в обс. Баренцбург, расположенной на близкой геомагнитной широте, но на ~600 км западнее, а также в обс. Ловозеро и Каннуслехто (Финляндия), расположенных в авроральной зоне на ~1300 км южнее. Показано, что рассматриваемый авроральный хисс наблюдался в обеих полярных обсерваториях, но отсутствовал в авроральных широтах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что область выхода таких ОНЧ-излучений локальна и ограничена по широте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

– Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г. Моделирование прохождения аврорального хисса к земной поверхности // Гелиогеофизические исслед. в Арктике. Т. 2. С. 59–62. 2018. <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-381-8.59-62>

– Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Громова Л.И., Громов С.В., Турунен Т. Всплески ОНЧ-излучений типа

“авроральный хисс” на земной поверхности на $L \sim 5.5$ и геомагнитные возмущения // Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 59. № 3. С. 291–300. 2019. <https://doi.org/10.1134/S00167940190300880>

– Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Филатов М.В., Федоренко Ю.В., Лебедь О.М. Генератор сигналов специальной формы для калибровки регистраторов электромагнитного поля // Приборы и техника эксперимента. № 6. С. 49–55. 2018. <https://doi.org/10.1134/S0032816218060125>

– Beghin C., Rauch J.L., Bosqued J.M. Electrostatic plasma waves and HF auroral hiss generated at low altitude // J. Geophys. Res. V. 94. P. 1359–1378. 1989.

– Fedorenko Y., Tereshchenko E., Pilgaev S., Grigoryev V., Blagoveshchenskaya N. Polarization of ELF waves generated during “beating-wave” heating experiment near cutoff frequency of the Earth-ionosphere waveguide // Radio Sci. V. 49. P. 1254–1264. 2014. <https://doi.org/10.1002/2013RS005336>

– Harang L. VLF emissions observed at stations close to the auroral zone and at stations on lower latitudes // J. Atmos. Terr. Phys. V. 30. № 6. P. 1143–1160. 1968.

– Jørgensen T.S. Investigation auroral hiss measured on OGO-2 and Byrd station in terms of incoherent Cherenkov radiation // J. Geophys. Res. V. 73. P. 1055–1069. 1968.

– LaBelle J., Treumann R. Auroral Radio Emissions, 1. Hisses, Roars, and Bursts // Space Sci. Rev. 101(3). P. 295–440. 2002.

– Laaspere T., Hoffman R.A. New results on the correlation between low-energy electrons and auroral hiss // J. Geophys. Res. V. 81. P. 524–530. 1976. <https://doi.org/10.1029/JA081i004p00524>

– Makita K. VLF-LF hiss emissions associated with aurora // Mem. Nat. Inst. Polar Res. Tokyo. Ser. A. № 16. P. 1–126. 1979.

– Mosier S.R., Gurnett D.A. Observed correlation between auroral and VLF emissions // J. Geophys. Res. V. 77. № 7. P. 1137–1145. 1972.

– Munteanu C., Negrea C., Echim M., Mursula K. Effect of data gaps: comparison of different spectral analysis methods // Ann. Geophys. V. 34. P. 437–449. 2016. <https://doi.org/10.5194/angeo-34-437-2016>

– Ozaki M., Yagitani S., Nagano I., Hata Y., Yamagishi H., Sato N., Kadokura A. Localization of VLF ionospheric exit point by comparison of multipoint ground-based observation with full-wave analysis // Polar Sci. V. 2. P. 237–249. 2008.

– Sazhin S.S., Bullough K., Hayakawa M. Auroral hiss: a review // Planet. Space Sci. V. 41. № 2. P. 153–166. 1993.

– Smith A.J., Jenkins P.J. A survey of natural electromagnetic noise in the frequency range $f = 1$ –10 kHz at Halley station, Antarctica: 1. Radio atmospherics from lightning // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. V. 60. P. 263–277. 1998.

– Sonwalkar V.S. Magnetospheric LF-, VLF-, and ELF-waves. Handbook of Atmospheric Electrodynamics. CRC Press. Boca Raton. Fla. P. 407–462. 1995.

– Spasojevic M. Statistics of auroral hiss and relationship to auroral boundaries and upward current regions // J. Geophys. Res. Space Physics. V. 121. P. 7547–7560, 2016. <https://doi.org/10.1002/2016JA022851>