

Наблюдения естественных СНЧ/ОНЧ сигналов во время экспедиции «Северный Полюс — 41»

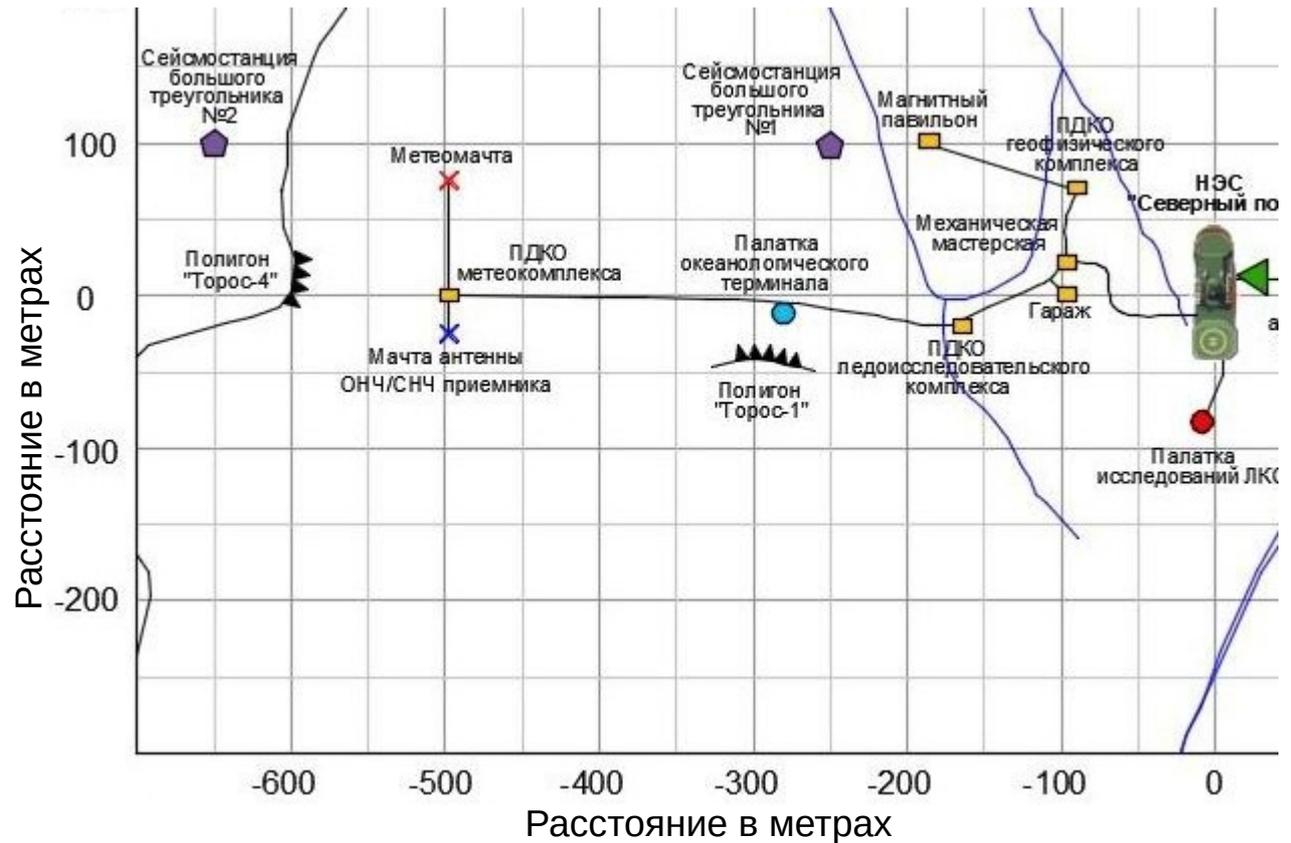
Никитенко А.С.¹, Пильгаев С.В.¹, Ларченко А.В.¹, Благовещенская Н.Ф.²,
Калишин А.С.², Борисова Т.Д.², Стрибный О.Ю.², Филатов М.В.¹,
Кузнецова М.В.¹, Федоренко Ю.В.¹

1 Полярный Геофизический Институт, Апатиты, Россия

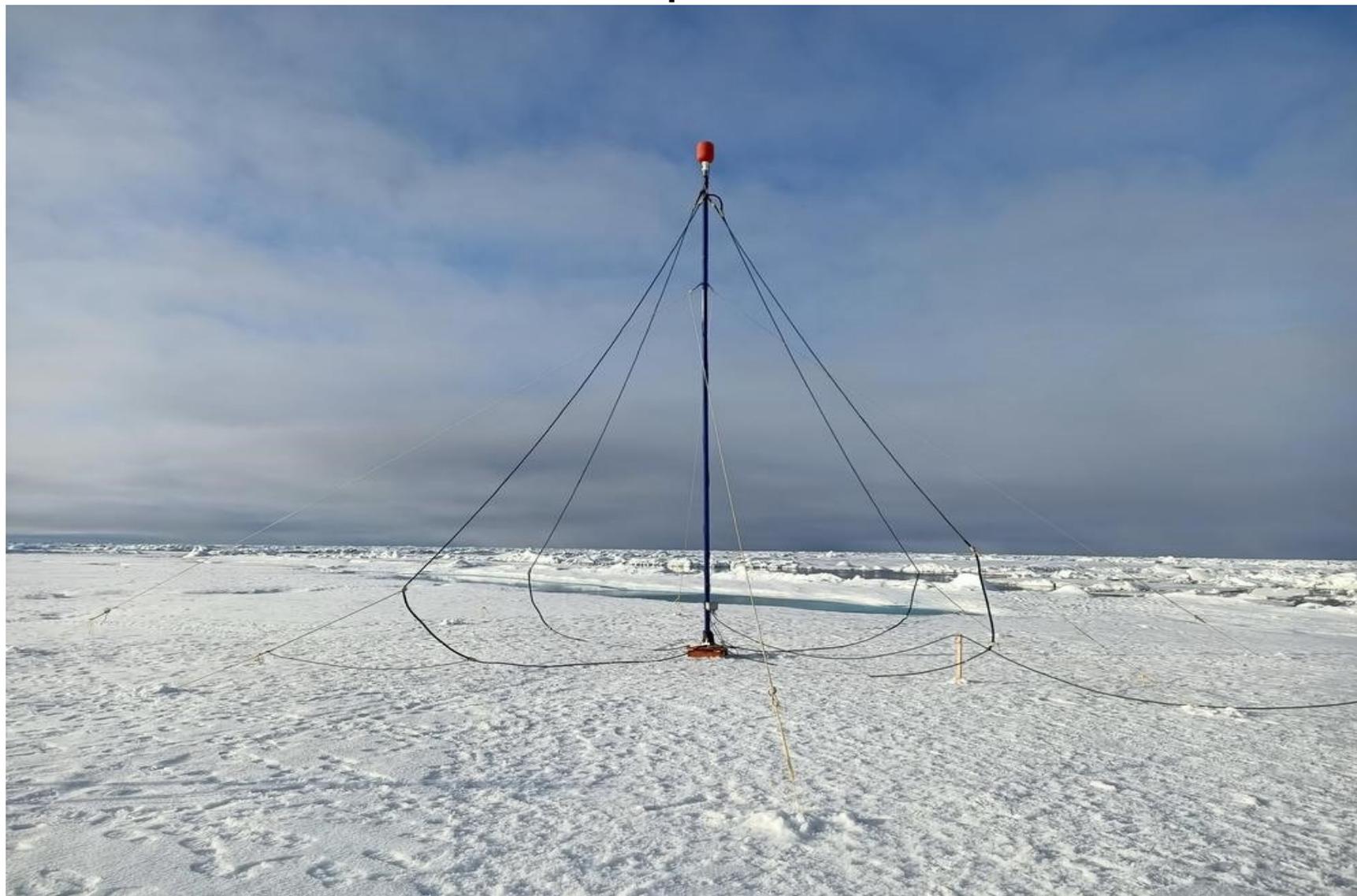
2 Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Расположение приемных антенн СНЧ/ОНЧ приемника

Антенны СНЧ/ОНЧ приемника расположены на расстоянии 500 м от основного источника помех – ледостойкой самодвижущейся платформы. Несмотря на достаточное удаление от источника помех, примерно 1/4 всех СНЧ/ОНЧ записей была испорчена помехой неизвестного происхождения, что заставляет более внимательно рассмотреть электромагнитную совместимость геофизических приборов, примененных в экспедиции СП-41



Антенна СНЧ/ОНЧ приемника



Наблюдения аврорального хисса

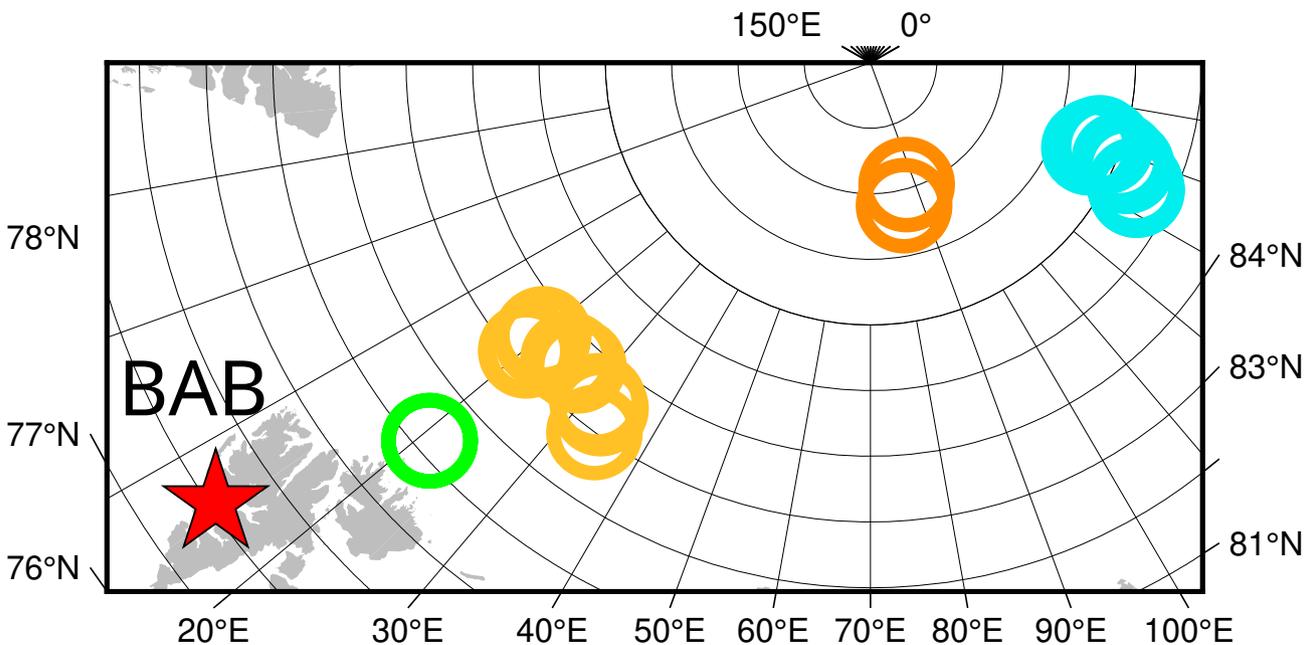
Одним из типов естественных ОНЧ излучений магнитосферного происхождения является авроральный хисс, возникающий в магнитосфере вследствие черенковского резонанса и распространяющийся в виде квазиэлектростатических волн. Вследствие того, что модуль горизонтальной компоненты волнового вектора этих волн много больше единицы, выход хисса к земной поверхности возможен только после рассеяния на мелкомасштабных неоднородностях электронной концентрации в верхней ионосфере. Отметим, что наличие таких неоднородностей оказывает влияние на точность спутниковых навигационных систем, а факт прохождения рассеянных волн аврорального хисса к земной поверхности указывает на отсутствие возмущений нижней ионосферы.

Для того, чтобы наземные станции зарегистрировали всплески аврорального хисса, необходимо выполнение следующих условий.

- Присутствие потоков высыпающихся электронов с энергиями от 100 эВ до нескольких кэВ для обеспечения оптимальных условий черенковского резонанса;
- Плотность распределения электронов по энергиям должна иметь возрастающий участок в этом диапазоне энергий;
- На высотах, превышающих высоту нижнегибридного резонанса, должны присутствовать мелкомасштабные неоднородности с размерами меньше нескольких десятков метров
- Необходимым, но не достаточным условием прохождения к земной поверхности волн, рассеянных на мелкомасштабных ионосферных неоднородностях, является отсутствие высыпающихся электронов с энергиями более 20 кэВ, которые могут привести к возникновению слоя повышенной концентрации электронов, и, как следствие, поглощению аврорального хисса в нижней ионосфере;
- Выполнение этих условий наиболее вероятно для обл. Баренцбург, но, на первый взгляд, мало вероятно в приполюсных областях, где дрейфующая станция СП-41 находилась в начале 2023 года. Наблюдения естественных ОНЧ излучений в этих областях носят эпизодический характер, поэтому проведенные на СП-41 измерения очень важны для понимания процессов генерации и распространения ОНЧ волн в полярной шапке.

Зарегистрированные на СП-41 всплески хисса

Date	Latitude, ° N	Longitude, ° E
2023-01-21 11:00:00	85.54	134.16
2023-01-21 12:00:00	85.54	134.18
2023-01-22 04:00:00	85.59	134.87
2023-01-22 05:00:00	85.59	134.93
2023-01-24 12:00:00	85.83	137.70
2023-01-25 04:00:00	85.96	138.57
2023-01-27 09:00:00	86.23	140.10
2023-01-28 13:00:00	86.33	140.54
2023-01-30 09:00:00	86.40	139.51
2023-01-30 10:00:00	86.41	139.48
2023-01-30 13:00:00	86.41	139.38
2023-01-30 14:00:00	86.41	139.35
2023-02-01 13:00:00	86.45	138.54
2023-03-28 12:00:00	88.06	86.35
2023-03-31 13:00:00	87.76	83.07
2024-02-02 12:00:00	83.00	33.56
2024-02-06 18:00:00	83.34	32.34
2024-02-07 17:00:00	83.36	31.98
2024-02-08 12:00:00	83.40	31.53
2024-02-08 16:00:00	83.40	31.39
2024-02-27 18:00:00	83.62	26.35
2024-02-28 19:00:00	83.59	24.95
2024-02-28 21:00:00	83.59	24.75
2024-03-01 19:00:00	83.49	20.48
2024-03-02 13:00:00	83.53	19.99
2024-03-02 14:00:00	83.54	19.97
2024-03-02 17:00:00	83.56	19.95
2024-03-06 16:00:00	83.55	20.14
2024-03-12 16:00:00	83.26	20.39
2024-03-13 17:00:00	83.20	20.25
2024-04-01 14:00:00	81.21	20.92
2024-04-01 15:00:00	81.21	20.92
2024-04-01 16:00:00	81.21	20.93
2024-04-01 18:00:00	81.21	20.92
2024-04-02 12:00:00	81.21	20.91



В таблице приведены даты зарегистрированных на ледовой самодвижущейся платформе (ЛСП) всплесков хисса и координаты ЛСП, соответствующие этим датам. Координаты ЛСП также показаны на карте. Кластеры событий обозначены одинаковым цветом на карте и в таблице. Они образованы вследствие того, что ряд наблюдений не является непрерывным, наблюдения прерывались из-за разных причин, например, подвижки льдов.

Наблюдения аврорального хисса в полярной шапке и в авроральной зоне

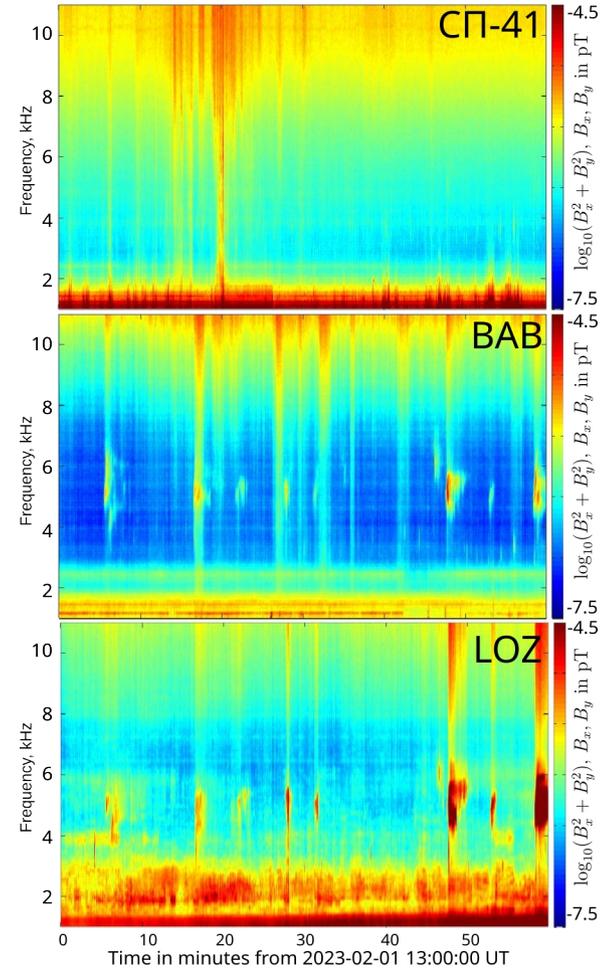
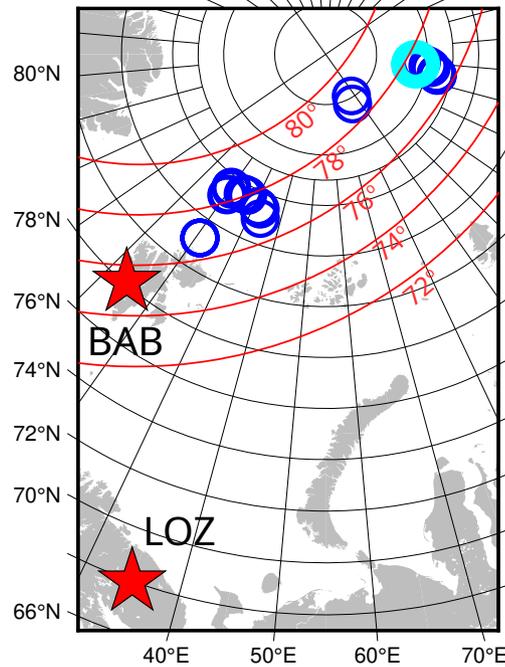
2023-02-01 13:00 UT

Всплески аврорального хисса наблюдались на трех станциях одновременно:

- Обс. Ловозеро 67.98 N, 35.08 E
- Обс. Баренцбург 78.09 N, 14.2 E
- СП-41 86.45 N, 138.54 E
- Расстояние от обс. Ловозеро до обс. Баренцбург: 1300 км
- Ловозеро – СП41: 2580 км
- Баренцбург – СП41: 1590 км

На спектрограммах приведена спектральная плотность мощности всплесков аврорального хисса (PSD), на карте синими окружностями показано положение СП-41 во время всех зарегистрированных случаев с 12 января 2023 г. по 2 апреля 2024 г., голубым - положение СП-41 во время регистрации данного события. Красные линии – параллели геомагнитных координат, геомагнитная широта указана цифрами.

В настоящее время трудно предположить, какие механизмы генерации и распространения аврорального хисса определили синхронное появление всплесков на столь взаимно удаленных станциях



Всплески хисса и высыпания электронов.

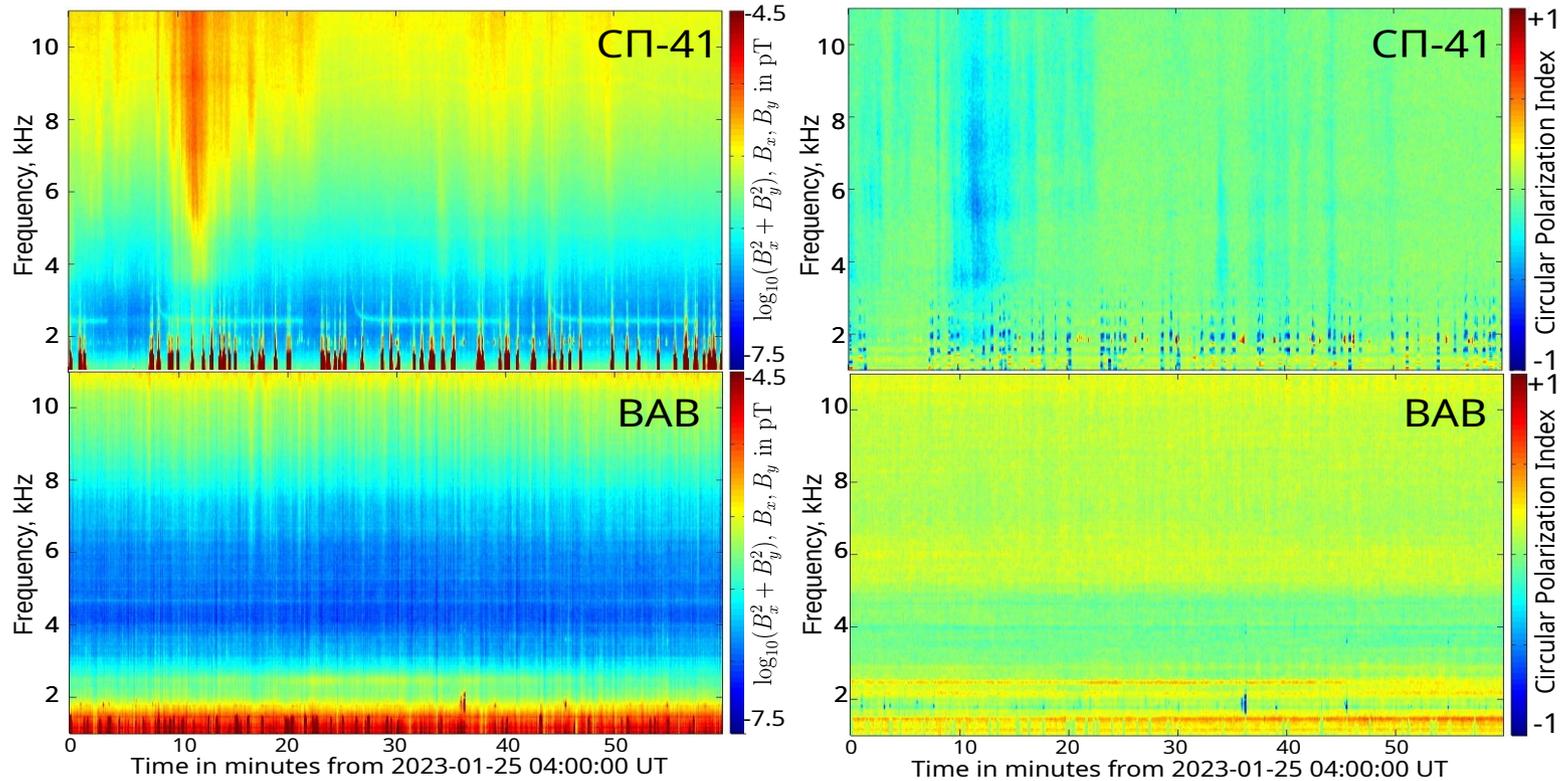
Далее мы рассмотрим два всплеска хисса 2023-01-25 04:00:00 UT и 2023-01-25 12:00:00 UT, которые были разделены по времени на 8 часов. Первый всплеск был зарегистрирован СНЧ/ОНЧ приемником на ледовой самодвижущейся платформе (ЛСП), которая в это время имела координаты 86.0 N, 138.6 E, причем в Баренцбурге (78.09 N, 14.2 E) хисс не наблюдался. Через 8 часов второй всплеск хисса был зарегистрирован таким же, как и на ЛСП, СНЧ/ОНЧ приемником в Баренцбурге, причем в этом случае хисс не наблюдался на ЛСП. Координаты ЛСП за 8 часов практически не изменились. Геомагнитные условия в течение этих восьми часов 2023-01-25 были спокойными: индекс Dst = -3 и усредненный за час индекс AL = -25 в 04:00 UT (хисс наблюдался только на ЛСП); индекс Dst = -7 и усредненный за час индекс AL = -100 в 12:00 UT (хисс наблюдался только в Баренцбурге).

Для оценки положения зон высыпаний мы использовали разработанную в ПГИ модель авроральных высыпаний (Vorobjev, Yagodkina, 2005), (Vorobjev, Yagodkina, 2007); <http://apm.pgia.ru>.

Vorobjev V.G., Yagodkina O.I. Effect of magnetic activity on the global distribution of auroral precipitation zone // Geomagnetism and Aeronomy. V. 45. № 4. P. 438-444. 2005.

Vorobjev V.G., Yagodkina O.I. Auroral precipitation dynamics during strong magnetic storms // Geomagnetism and Aeronomy. V. 47. № 2. P. 185-192. 2007.

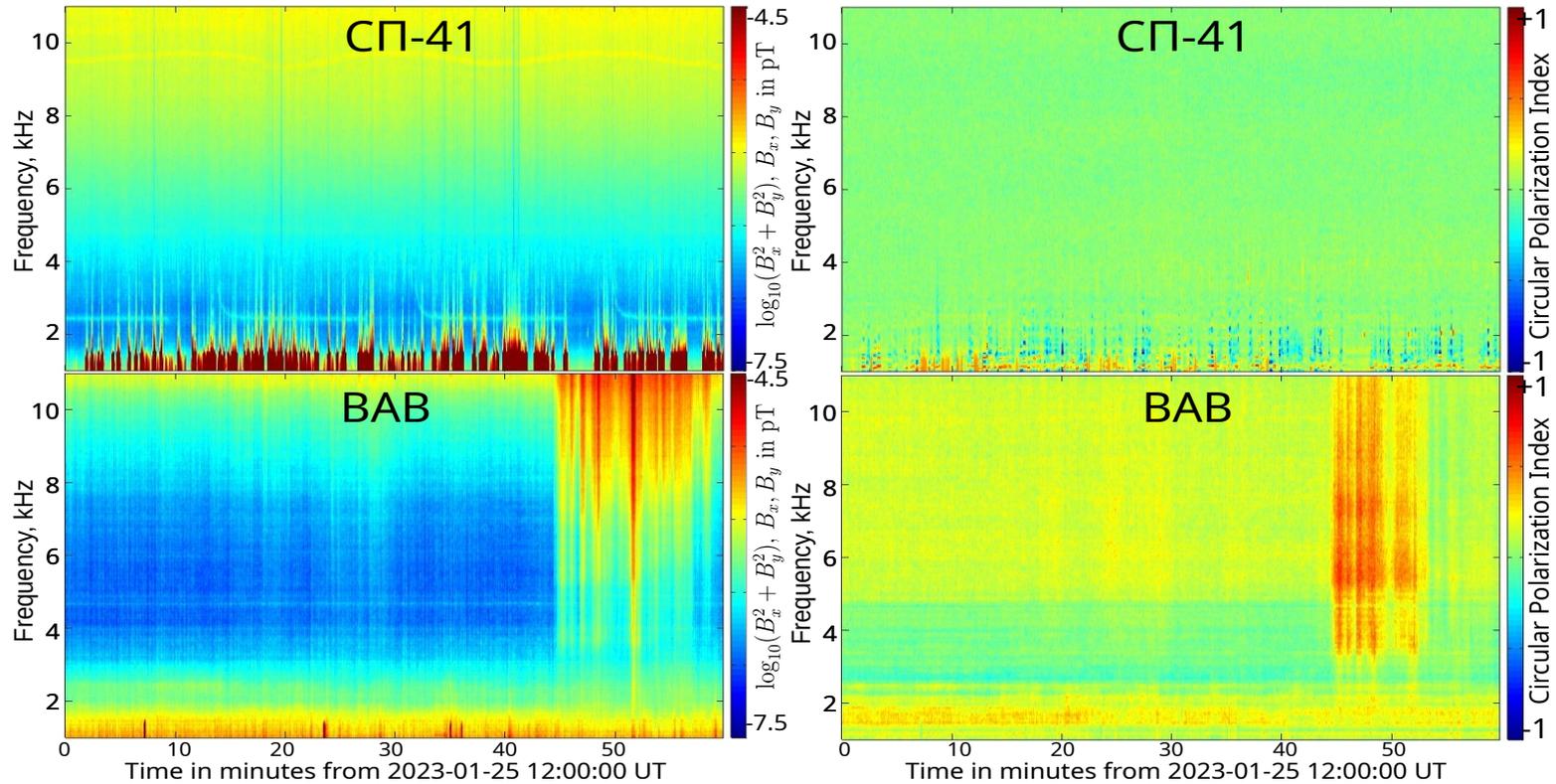
Хисс 2023-01-25 04:00 UT



Индекс круговой поляризации вычисляется как отношение спектральной плотности мощности поляризованной по кругу компоненты поля к PSD и равен +1 при полной правой поляризации, -1 – при полной левой и 0 при отсутствии поляризованной по кругу компоненты.

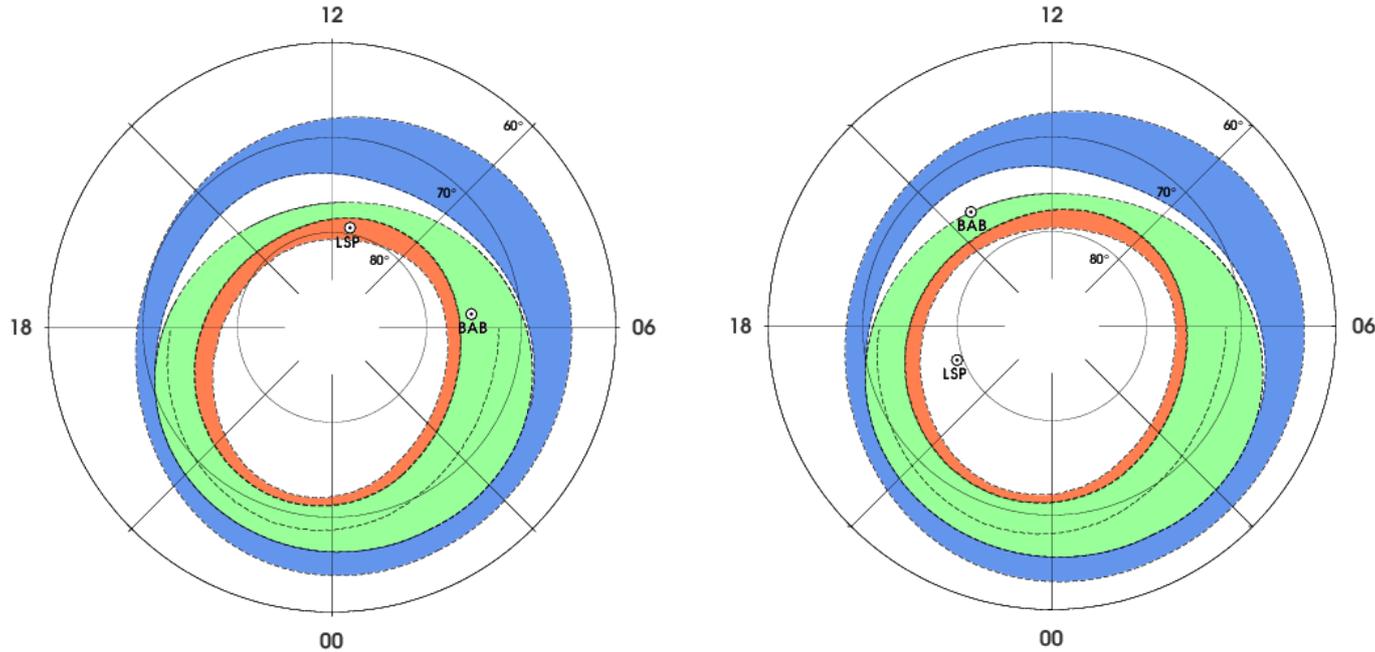
Слева приведена spectroграмма спектральной плотности мощности (PSD), справа – индекс круговой поляризации горизонтальной компоненты магнитного поля. Видно, что горизонтальная компонента магнитного поля **левополяризована**. Левая поляризация, как правило, является индикатором того, что область выхода хисса из ионосферы к земной поверхности находится от точки регистрации на расстоянии не менее 300-400 км.

Хисс 2023-01-25 12:00 UT



Слева приведена спектрограмма спектральной плотности мощности (PSD), справа – индекс круговой поляризации горизонтальной компоненты магнитного поля. Видно, что горизонтальная компонента магнитного поля **правополяризована**. Правая поляризация, как правило, является индикатором того, что область выхода хисса из ионосферы к земной поверхности находится от точки регистрации на расстоянии менее 300-400 км или, как в этом случае, при значениях индекса поляризации 0.8 и выше, находится в зените точки наблюдения.

Зоны высыпаний и хисс



Синим цветом показана зона диффузных полярных сияний, зеленым – зона высыпаний овала полярных сияний, красным – зона мягких диффузных высыпаний.

Наиболее часто хиссы ассоциируются с зоной высыпаний полярного овала.

Всплеск хисса на ЛСП: ЛСП находится в зоне мягких диффузных высыпаний, а Баренцбург – в зоне высыпаний овала полярных сияний. Отсюда следует, что наиболее вероятно наблюдать хисс в Баренцбурге, что противоречит экспериментальным данным. Можно предположить, что вблизи Баренцбурга не было условий генерации хисса, которые сложились в зоне высыпаний овала южнее ЛСП, а на ЛСП хисс пришел с расстояния 300-400 км по волноводу Земля-ионосфера. В пользу этого предположения свидетельствует левая поляризация поля на ЛСП, которая сформировалась при распространении по волноводу из-за многократных отражений от ионосферы.

Всплеск хисса в ВАВ: ЛСП находится вне зон высыпаний, а Баренцбург – на экваториальной границе зоны высыпаний овала полярных сияний. Отсюда следует, что наблюдать хисс в Баренцбурге вполне реально, а на ЛСП это невозможно, что и подтвердили экспериментальные данные. В Баренцбурге наблюдалась выраженная правая поляризация поля с индексом круговой поляризации 0.7-0.8. Этот факт подтверждает нахождение области выхода хисса из ионосферы вблизи точки наблюдений, в данном случае вблизи Баренцбурга.

Заключение

2 октября 2022 года в 7 часов утра в точке с координатами $82^{\circ}37'$ С.Ш. $155^{\circ}31'$ В.Д. в Северном Ледовитом океане началась работа российской дрейфующей полярной станции «Северный полюс-41», организованной специалистами Арктического и антарктического научно-исследовательского института. На дрейфующей станции был установлен и эксплуатировался в режиме мониторинга СНЧ/ОНЧ приемник с прецизионной привязкой к мировому времени, предназначенный для анализа структуры электромагнитного поля СНЧ/ОНЧ волн магнитосферного происхождения и определения положения и динамики области выхода ОНЧ излучений, а также для измерения амплитуд и разностей фаз гармонических сигналов СДВ передатчиков радионавигационной системы РСДН-20.

В работе приведены результаты наблюдений всплесков ОНЧ излучений магнитосферного происхождения – аврорального хисса как на ледовой самодвижущейся платформе «Северный полюс», так и в обсерваториях ПГИ «Ловозеро» и «Баренцбург». Длительные наблюдения естественных ОНЧ излучений в приполярных областях ранее не проводились, поэтому организованные на СП-41 измерения очень важны для понимания процессов генерации и распространения ОНЧ волн в области полярной шапки и прилегающей к ней авроральной зоны.