

УДК 53.05

ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОЧАСТОТНОГО АВРОРАЛЬНОГО ХИССА, ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И ИРРЕГУЛЯРНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ОБСЕРВАТОРИИ “ЛОВОЗЕРО”

© 2024 г. А. С. Никитенко¹*, Ю. В. Федоренко¹, Н. Г. Клейменова²

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

“Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской академии наук”, Москва, Россия

E-mail: alex.nikitenko91@gmail.com

Поступила в редакцию 24.08.2023

После доработки 13.11.2023

Принята к публикации 30.11.2023

Представлены результаты анализа всплесков аврорального хисса и геомагнитных пульсаций, зарегистрированных в обсерватории “Ловозеро”. Динамика положения области на земной поверхности, засвеченной всплесками аврорального хисса, сопоставлена с динамикой полярных сияний, сопровождающих возникновение излучений. Обнаружены случаи, когда всплески хисса и пульсаций возникают одновременно с возникновением сияний либо с увеличением их яркости. На основании проведенного анализа предложен механизм возможной связи между наблюдаемыми явлениями.

DOI: 10.31857/S0367676524030081, EDN: QMOFAP

ВВЕДЕНИЕ

Одним из типов магнитосферных ОНЧ-излучений (очень низкочастотные, 3–30 кГц), регистрируемых у земной поверхности в высоких широтах, является авроральный хисс. Механизм генерации хисса включает возникновение в потоке высыпающихся электронов некогерентного черенковского излучения и его усиления за счет развития пучково-плазменной неустойчивости на резонансе Ландау [1]. Согласно многочисленным спутниковым наблюдениям всплески аврорального хисса коррелируют с потоками электронов с энергиями ниже 1 кэВ, например [2], поэтому электроны этих энергий рассматриваются как источник генерации аврорального хисса.

Волновые векторы генерируемых волн ориентированы под большими углами к нормали к земной поверхности, близкими к резонансному конусу [1]. Для электрической (E) и магнитной (B) компонент волны, волновая нормаль которых лежит вблизи резонансного конуса, выполняется условие $E \gg B$. Такие волны принято называть квазиэлектростатическими [3].

Квазиэлектростатические волны не способны выйти к земной поверхности из-за отражения на высоте, где частота волны становится равной локальной частоте нижнегибридного резонанса [4].

Считается, что это отражение преодолевается за счет рассеяния на мелкомасштабных (< 100 м) неоднородностях электронной концентрации в ионосфере [5]. Рассеянные волны имеют широкий пространственный спектр, из которого часть волн с малыми углами падения достигают земной поверхности.

Необходимость наличия условий для выхода аврорального хисса к земной поверхности подтверждается разницей в частоте его появления на спутниках и на земной поверхности. Авроральный хисс регистрируется на низкоорбитальных спутниках практически при каждом их пересечении авроральных широт в вечернее и ночное время [6]. У земной поверхности наблюдения хисса происходят гораздо реже. Так, согласно выводам работы [7] на станции “Каннуслехто” (Финляндия, испр. геом. широта $\Phi = 64.6^\circ$) из 302 дней наблюдений всплески аврорального хисса наблюдались 132 дня. При этом наиболее часто хисс регистрировался в интервале 20–01 MLT.

Многие авторы отмечают, что наземные наблюдения аврорального хисса зачастую сопровождаются возникновением полярных сияний (см. [8, 9] и ссылки там). По данным многочисленных наблюдений аврорального хисса на станции “Южный Полюс” была исследована связь между положением его ионосферной области выхода

и сопровождающих хисс полярных сияний [8]. Показано, что отдельные иррегулярные всплески хисса длительностью от одной до нескольких минут возникают в окрестности станции, когда фронт активного яркого полярного сияния находится практически в зените. Появление длительных всплесков (длительность 15—20 мин и более) сопровождается возникновением статичной дуги на гораздо более высоких широтах. Авторы предполагают, что область выхода иррегулярных всплесков может быть более локализованной, чем область длительных всплесков.

Возникновение аврорального хисса тесно связано с развитием магнитосферной суббури. Наземная регистрация хисса типична для подготовительной фазы (growth phase) суббури [7, 10]. При этом отмечены события, когда всплески ОНЧ внезапно прекращаются с началом суббури (break-up-сияний). Исследование связи между возникновением хисса на финской станции “Каннуслехто” и усилением продольных токов в ионосфере по данным спутников проекта AMPERE показало, что во время регистрации хисса точка наблюдений находилась в окрестности области увеличения этой активности [10]. При этом не каждое усиление продольных токов сопровождалось возникновением хисса, но каждое событие регистрации хисса сопровождалось усилением продольных токов.

В данной работе приведены результаты анализа всплесков аврорального хисса, зарегистрированных в обсерватории “Ловозеро” одновременно с геомагнитными пульсациями в диапазоне ниже 1 Гц (Pi1B-диапазон [11]), которые являются одним из признаков начала суббури [12] и ассоциируются с флуктуациями ионосферных продольных токов, обусловленных электронными высыпаниями [13]. Обсерватория “Ловозеро” расположена практически на одной геомагнитной широте ($\Phi = 64.7^\circ$) со станцией “Каннуслехто” и в 400 км к востоку от нее. Динамика аврорального хисса сопоставлена также с результатами наблюдений полярных сияний all-sky камерами, которые установлены в обсерватории “Ловозеро” и обсерватории “Верхнетуломский”, расположенной в 150 км к северо-западу от обсерватории “Ловозеро”.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В работе используются результаты наблюдений сезона осень 2018 г. — весна 2019 г. Было отмечено 64 события одновременного появления всплесков аврорального хисса и геомагнитных пульсаций Pi1B. Стоит отметить, что при наличии погодных условий в обсерватории “Ловозеро” и (или) “Верхнетуломский” возникновение всплесков хисса и пульсаций всегда сопровождалось регистрацией авроральных форм или изменением их структуры. За исследуемый период было отмечено 41 такое событие.

Мы сравнивали динамику положения области на земной поверхности, засвеченной всплесками аврорального хисса (далее засвеченная область) [14], с динамикой сопровождающих хисс сияний. Для оценки динамики положения засвеченной области мы рассчитывали плотности распределения азимутальных углов вектора, обратного вектору Пойнтинга, и индекса круговой поляризации. Расчеты проводились в диапазоне частот 4—10 кГц, который включает максимум интенсивности хисса [1]. Максимум распределения азимутальных углов показывает наиболее вероятное направление прихода волн в точку наблюдений [15, 16]. Максимум распределений индекса круговой поляризации показывает преобладающую поляризацию регистрируемых волн. Для анализа динамики положения засвеченной области во времени эти распределения рассчитывались для коротких интервалов (1 с). Полученные распределения транспонировались в столбцы и располагались друг за другом, формируя временную развертку рассматриваемого параметра.

Индекс круговой поляризации принимает значения от -1 до $+1$ [17]. При этом положительные (отрицательные) значения означают правую (левую) поляризацию регистрируемых волн. При равенстве нулю этого индекса поляризация линейная или отсутствует. Абсолютное значение индекса, равное единице, означает круговую поляризацию волн.

Для сопоставления положения сияний с положением засвеченной области снимки, представленные в данной работе, зеркально отражены по горизонтали, так что их ориентация согласуется с положением сторон света.

Ниже рассмотрены примеры регистрации хисса, демонстрирующие связь его динамики с динамикой полярных сияний.

19 декабря 2018 г. в 22:06—22:09 UT

Рассмотрим пример одновременной регистрации всплесков аврорального хисса и Pi1B-пульсаций 19 декабря 2018 г. в 22:05—22:09 UT. На рис. 1а и 1б представлены спектрограммы X-компоненты геомагнитного поля в Pi1B-диапазоне 0.03—1 Гц и горизонтальной компоненты магнитного поля в ОНЧ-диапазоне 2—14 кГц. Серия всплесков аврорального хисса возникла одновременно с геомагнитными пульсациями в 22:06 UT. Регистрация хисса прекратилась примерно в 22:08 UT. При этом пульсации продолжались некоторое время после этого.

На рис. 1г представлены снимки all-sky камеры в обсерватории “Верхнетуломский”, сделанные за интервал 22:05:00—22:08:30 UT с шагом 30 с (в обсерватории “Ловозеро” небо в это время было затянуто облаками). Как видно из рисунка, между

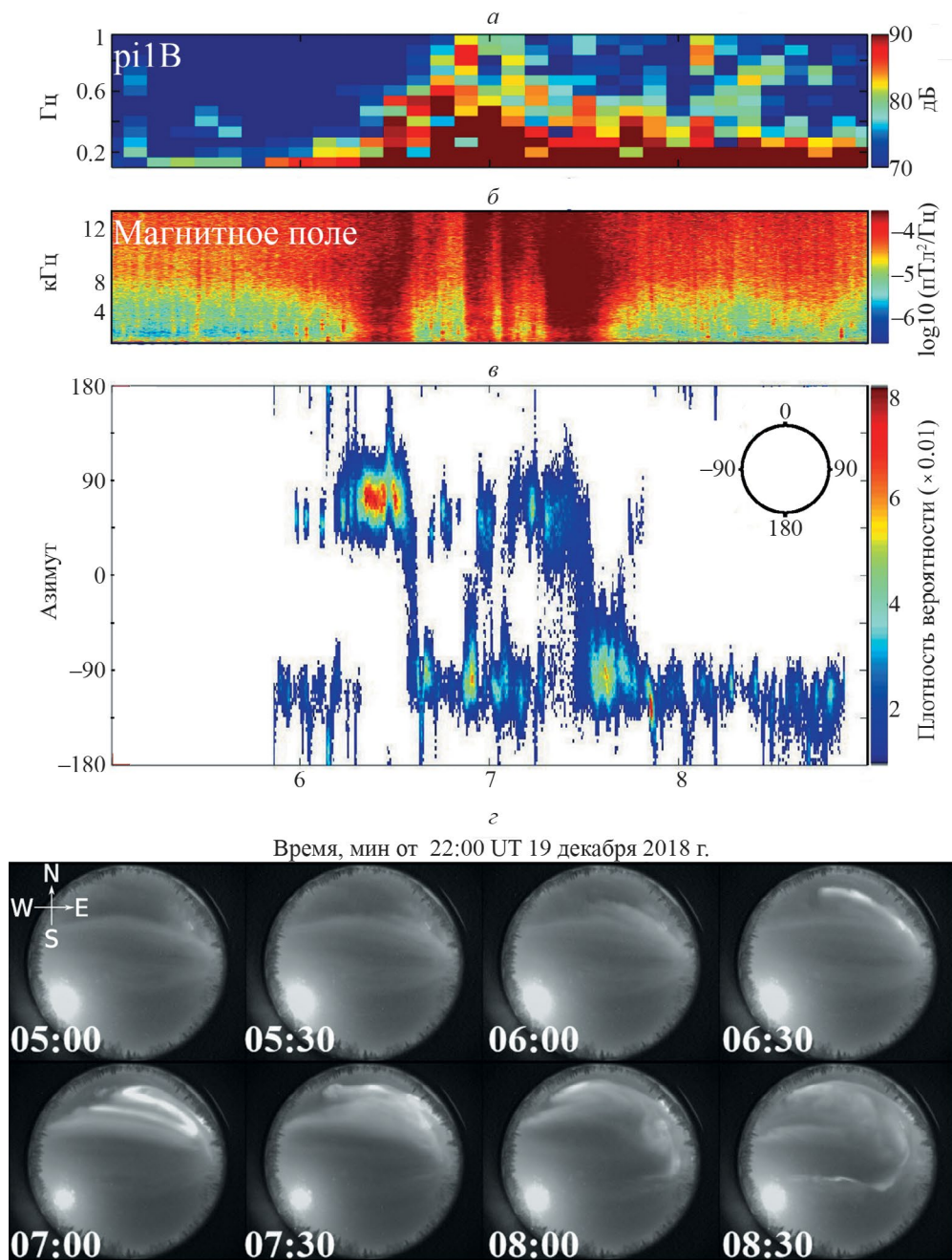


Рис. 1. Событие 19 декабря 2018 г. в 22:06–22:09 UT. Спектрограммы X -компоненты геомагнитного поля Pi1B-пульсаций в диапазоне 0.03–1 Гц (а) и горизонтальной компоненты магнитного поля ОНЧ в диапазоне 2–14 кГц (б), распределения азимутального угла вектора, обратного вектору Пойнтинга (в), снимки all-sky камеры по данным наблюдений в обсерватории “Верхнетуломский” (г).

22:06:00–22:06:30 UT, когда появились всплески аврорального хисса, на северо-востоке от обсерватории “Верхнетуломский” возникло пятно полярных сияний, вытянутое по долготе (см. рис. 1г, снимок 06:30). Точное время его появления установить довольно сложно, поскольку яркость сияний нарастала довольно плавно. Положение и форма пятна практически не менялись примерно до 22:07 UT. В 22:07 UT оно пропало и возникли диффузные

сияния с отдельными пятнами умеренной яркости (см. рис. 1г, снимки 07:00–08:30).

Первый всплеск аврорального хисса возник почти одновременно с ярким пятном полярных сияний, которое наблюдалось на северо-востоке от обсерватории “Верхнетуломский” (см. рис. 1г, снимок 06:30), и прекратился, когда оно пропало и появились диффузные сияния (см. рис. 1г,

снимки 07:00—08:30). На рис. 1*в* представлены распределения азимутальных углов прихода для рассматриваемого события. Из рисунка видно, что первый всплеск аврорального хисса приходит в точку наблюдений с востока (азимут около 90°). Поляризация излучений была близка к правой круговой (данные не приведены). Наблюдаемые параметры поля указывают на положение центра засвеченной области практически на одной широте с обсерватории “Ловозеро”, но восточнее, на расстоянии, не превышающем 50—100 км от этой точки [15, 16]. Расстояние по широте от предположительного положения центра засвеченной области до пятна сияний не превышает 1° — 2° .

Направление прихода последующих всплесков, которые возникли с появлением диффузных сияний и отдельных пятен (после 22:07 UT), меняется скачкообразно, преимущественно с восточного на западное и обратно. Поляризация ОНЧ-волн также была близка к правой круговой. По-видимому, в этот момент в окрестности обсерватории “Ловозеро” стали появляться отдельные “очаги” с мелкомасштабными неоднородностями, на которых происходило рассеяние хисса.

Положение центра засвеченной области первого всплеска южнее сопровождающей его дуги полярных сияний объясняется особенностями распространения аврорального хисса к земной поверхности в отсутствие дактов электронной плотности в ионосфере. Такой эффект был впервые описан в работе [8]. Квазиэлектростатические волны аврорального хисса рассеиваются на мелкомасштабных неоднородностях электронной концентрации в верхней ионосфере, где коэффициент преломления n принимает значения от $n = 5$ и более. Из закона Снеллиуса следует, что выйти к земной поверхности (в атмосфере $n = 1$) способны только волны с волновыми нормальными, близкими к вертикали. Пучки электронов, возбуждающие авроральный хисс, проходят в атмосферу, где вызывают полярные сияния, вдоль линий геомагнитного поля. Из-за этого эффекта авроральный хисс будет зарегистрирован на меньших широтах, чем сопровождающие его сияния.

При этом одновременные резкие изменения в структуре сияний и изменения направления прихода ОНЧ-волн с выделенного на скачкообразное указывают на возможную связь динамики положения засвеченной области и сияний в рассматриваемом событии.

1 февраля 2019 г. в 19:20—19:55 UT

Другой пример одновременной регистрации всплесков аврорального хисса, геомагнитных пульсаций и полярных сияний представлен на рис. 2. Это событие 1 февраля 2019 г. в 19:20—19:55 UT. В рассматриваемый интервал регистрируются три серии коротких всплесков аврорального

хисса (рис. 2*в*). Каждая из этих серий сопровождается возникновением геомагнитных пульсаций Pi1B (рис. 2*б*). Поскольку верхняя частота пульсаций не превышает 0.5 Гц, для наглядности спектрограмма X-компоненты геомагнитного поля рассчитана в диапазоне 0.03—0.5 Гц.

Согласно результатам наблюдений all-sky камеры в обсерватории “Ловозеро” появление всплесков хисса и геомагнитных пульсаций также может сопровождаться увеличением яркости полярных сияний. На рис. 2*а* представлена кеограмма полярных сияний и отдельные снимки, сделанные во время интервалов наблюдения всплесков аврорального хисса и в перерывах между их появлением.

В промежутках между всплесками хисса регистрируются диффузные сияния с отдельными пятнами (см. рис. 2*а*). Первые две серии всплесков сопровождаются возникновением яркой дуги севернее обсерватории “Ловозеро”, которая пропадает с окончанием серии. Во время третьей серии всплесков хисса наблюдается яркая дуга и отдельные пятна сияний. Примерно в 19:52:30 UT происходит break-up. Интенсивность хисса при этом быстро падает.

Анализ азимутальных углов аврорального хисса показал (данные не приведены) преимущественное направление прихода волн в точку наблюдений с юга и юго-запада. При этом волны имеют правую эллиптическую поляризацию. Эллиптическая поляризация ОНЧ аврорального хисса наблюдается на расстояниях 150—200 км от центра засвеченной области [16]. Таким образом, центр этой области находился на гораздо меньших широтах, чем обсерватория “Ловозеро” и полярные сияния, сопровождающие возникновение хисса. Полученный результат можно объяснить тем, что рассеяние аврорального хисса происходило гораздо выше, чем в предыдущем примере.

28 февраля 2019 г. в 19:11—19:14 UT

На рис. 3*а* и 3*б* представлены спектрограммы X-компоненты геомагнитного поля Pi1B на частотах менее 1 Гц и горизонтальной компоненты магнитного поля ОНЧ в диапазоне 2—14 кГц. Всплеск аврорального хисса начался в 19:11:30 UT и длился примерно 1 мин. Всплеск пульсаций возник одновременно с хиссом, а его длительность составила около 2 мин.

Для анализа направления прихода аврорального хисса мы рассматривали только максимумы распределений, из которых формируются временная развертка азимутальных углов прихода (см. рис. 1*в*) и временная развертка индекса круговой поляризации, поскольку распределения этих параметров в рассматриваемом случае имеют выраженный максимум.

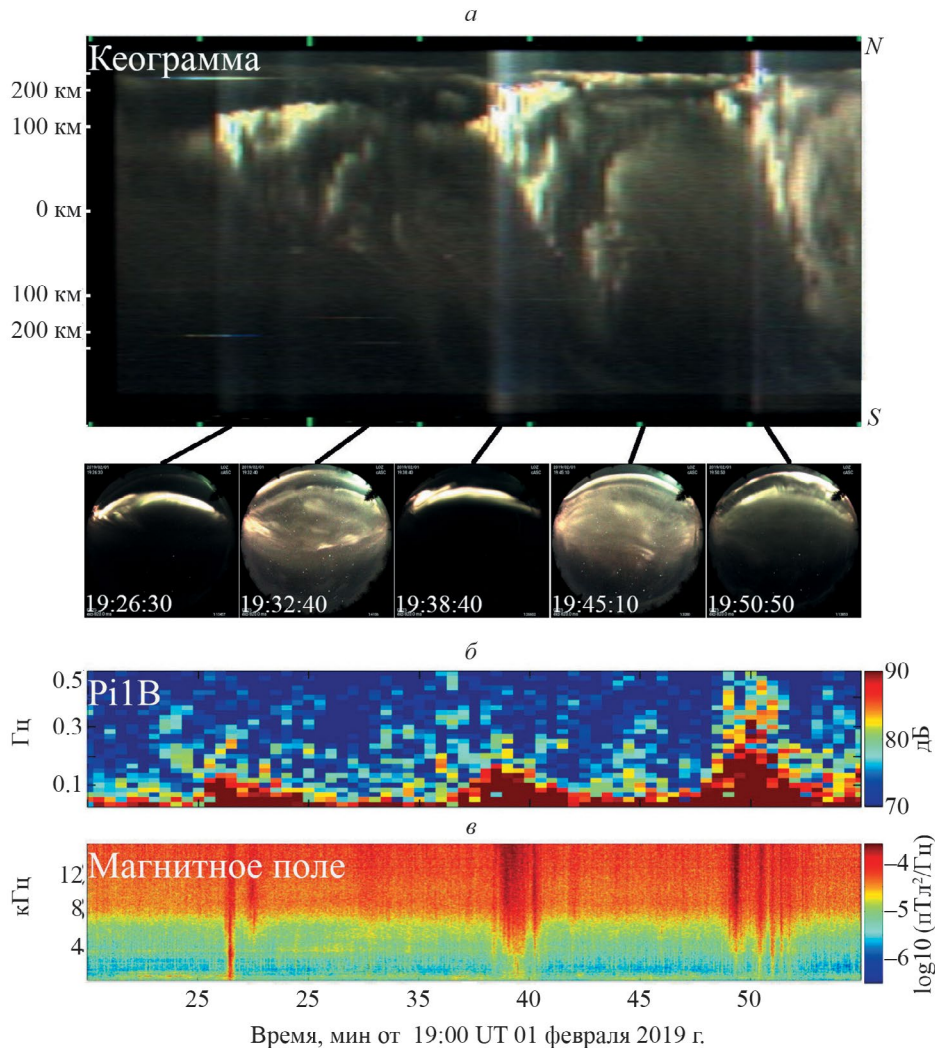


Рис. 2. Событие 1 февраля 2019 г. в 19:20–19:55 UT. Кеограмма полярных сияний по данным наблюдений в обсерватории “Ловозеро” и снимки all-sky камеры во время интервалов наблюдения всплесков аврорального хисса (19:26:30 UT, 19:38:40 UT и 19:50:50 UT) и в перерывах между их появлением (19:32:40 UT и 19:45:10 UT) (а), спектрограммы X -компоненты геомагнитного поля Pi1B-пульсаций в диапазоне 0.03–0.5 Гц (б) и горизонтальной компоненты магнитного поля ОНЧ в диапазоне 2–14 кГц (в).

Значения максимумов распределений индекса круговой поляризации первые 30 с наблюдений не менялись и были равны единице, означая приход ОНЧ-волн с правой круговой поляризацией. Затем поляризация регистрируемых ОНЧ-волн стала изменяться от правой круговой (+1) к линейной (+) и левой эллиптической (–0.5). Такие изменения свидетельствуют о положении центра засвеченной области сначала в окрестности точки наблюдений, а затем о ее удалении от этой точки. Наблюдаемые значения максимумов распределений азимутальных углов прихода показывают, что направление прихода ОНЧ-волн в точку наблюдений меняется в течение наблюдений. В начале всплеска аврорального хисса преобладало направление прихода с севера (азимут 0°), а к концу — с запада (-90°).

Наблюдаемые вариации поляризации магнитного поля и направления прихода показывают, что в начале всплеска область засветки находилась в окрестности обсерватории “Ловозеро”, а затем стала перемещаться в западном направлении. Это перемещение подтверждается результатами наблюдений хисса на станции “Каннуслекто”, расположенной к западу от обсерватории “Ловозеро” (данные не приведены). В этой точке также регистрируется всплеск аврорального хисса, но он заканчивается примерно на 30 с позже, чем в обсерватории “Ловозеро”.

Согласно данным all-sky камеры в обсерватории “Ловозеро” (рис. 3д) до возникновения хисса на севере существовала дуга полярных сияний, а в зените регистрировались лучистые сияния. Примерно в 19:11:20 UT, когда возникает хисс, яркость

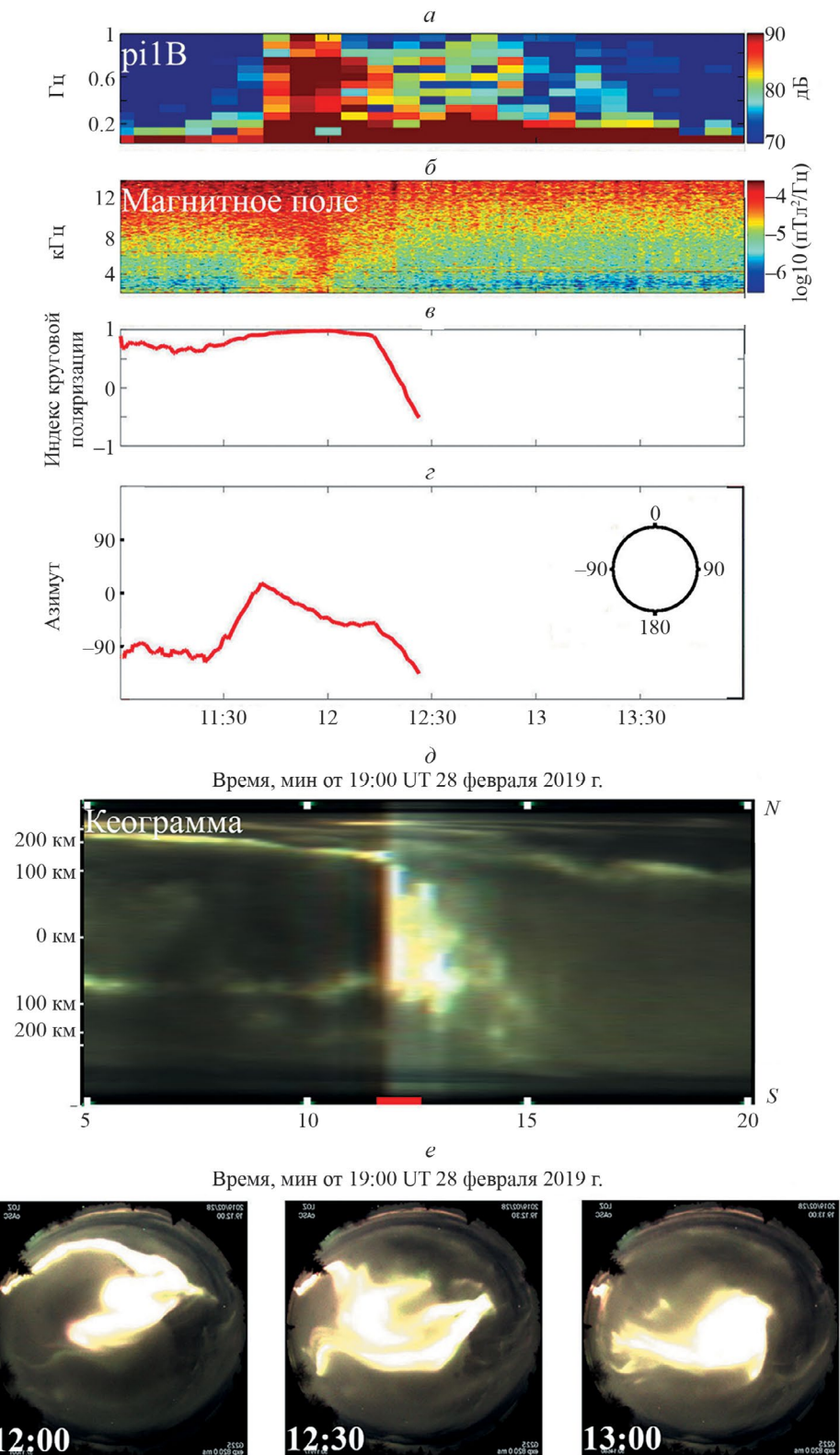


Рис. 3. Событие 28 февраля 2019 г. в 19:11–19:14 UT. Спектрограммы X-компоненты геомагнитного поля Pi1B-пульсаций в диапазоне 0.03–1 Гц (а) и горизонтальной компоненты магнитного поля ОНЧ в диапазоне 2–14 кГц (б); максимумы распределений азимутального угла вектора, обратного вектору Пойнтинга, (в) и индекса круговой поляризации (г); кеограмма полярных сияний, построенная по данным наблюдений в обсерватории “Ловозеро” для интервала 19:05–19:20 UT, красная линия означает время наблюдения аврорального хисса (д); снимки all-sky камеры по данным наблюдений в обсерватории “Ловозеро” (е).

сияний начинает увеличиваться. К 19:12:00 UT появляется яркое пятно сложной формы, которое затем разделяется на два пятна (рис. 3e). Одно из этих пятен перемещается на запад, в то время как другое не меняет своего положения. Пятно находится на более высоких широтах, чем засвеченная область аврорального хисса, и перемещается одновременно с ней. По-видимому, генерация регистрируемого всплеска хисса происходила в потоке электронов, обуславливающих свечение именно этого пятна полярных сияний.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами выполнен анализ всплесков ОНЧ аврорального хисса, которые были зарегистрированы одновременно со всплесками геомагнитных пульсаций типа Pi1B (ниже 1 Гц). При наличии погодных условий для наблюдения полярных сияний во время всех рассмотренных событий одновременной регистрации всплесков хисса и геомагнитных пульсаций Pi1B all-sky камеры в обсерватории “Ловозеро” или (и) обсерватории “Верхнетуломский” регистрировали полярные сияния. При этом происходило одновременное появление всплеска аврорального хисса и сияний или возникновение всплеска сопровождалось изменением характера сияний, в частности, их интенсификацией. Поскольку и авроральный хисс, и геомагнитные пульсации диапазона Pi1B ассоциируются с высыпаниями авроральных электронов, одновременная регистрация этих процессов позволяет предположить, что они могут быть связаны.

Стоит отметить, что обсуждаемые всплески имеют короткую длительность, а наблюдаемые быстрые изменения во времени распределений азимутального угла вектора, обратного вектору Пойнтинга, и поляризации магнитного поля хисса указывают на локальность области засветки [14]. Полученные результаты согласуются с результатами работы [8], согласно которым область выхода иррегулярных всплесков является локальной.

В схеме выхода хисса к земной поверхности ключевым фактором для его наземных наблюдений является наличие в ионосфере мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации, на которых происходит его рассеяние в конус выхода. Основой для возникновения таких неоднородностей могли стать потоки мягких (~1 кэВ) электронов, с которыми коррелируют всплески аврорального хисса [2].

Авторами [18] было показано, что структурированные потоки мягких электронов являются одним из основных источников возникновения крупномасштабных (десятки километров) неоднородностей в высокоширотной ионосфере. Однако рассеяние на неоднородностях такого масштаба не способно обеспечить попадание волновых нормалей

квазиэлектростатических волн, формирующих авроральный хисс, в конус выхода [19]. Многочисленные наблюдения показывают, например [18, 20], что крупномасштабные неоднородности могут становиться нестабильными и порождать неоднородности гораздо меньших масштабов — десятки и сотни метров. В высокоширотной ионосфере причиной такого “расщепления” является интенсификация продольных ионосферных токов. Так, в работах [18, 20, 21] показано, что основным источником неоднородностей F-области высокоширотной ионосферы в масштабе от десятков метров до нескольких километров являются токово-конвективная неустойчивость (current-convective instability) и дрейфовая неустойчивость (типа $\vec{E} \times \vec{B}$). Геомагнитные пульсации диапазона Pi1B ассоциируются с флуктуациями ионосферных продольных токов, обусловленных электронными высыпаниями [13]. Таким образом, появление Pi1B-пульсаций одновременно с всплесками аврорального хисса указывает на существование условий для возникновения мелкомасштабных неоднородностей и, соответственно, для выхода хисса к земной поверхности.

Связь между геомагнитными пульсациями Pi1B и наличием мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации была также обнаружена авторами [22] по данным наблюдений на антарктической станции “Южный Полюс” ($\Phi \sim 74.7^\circ$). Авторы показали временную, спектральную и пространственную связь между зарегистрированными Pi1B-пульсациями и фазовыми сцинтилляциями GPS-сигнала, наличие которых обусловлено прохождением этого сигнала через неоднородности в ионосфере с масштабами несколько сотен метров [23]. Авторы ассоциировали возникновение неоднородностей с активизацией ионосферных продольных токов, индикатором которой является возникновение Pi1B-пульсаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы всплески аврорального хисса, зарегистрированные в обсерватории “Ловозеро” одновременно со всплесками геомагнитных пульсаций диапазона Pi1B (ниже 1 Гц). На основе измерений азимутальных углов прихода и поляризации выделенных событий ОНЧ аврорального хисса проанализирована динамика положения области на земной поверхности, засвеченной этими излучениями. Выявленные особенности положения этой области были сопоставлены с положением сопровождающих хисс полярных сияний по данным наблюдений в обсерватории “Ловозеро” и расположенной в 150 км к северо-западу обсерватории “Верхнетуломский”.

В рассмотренных случаях выявленная динамика положения центра засвеченной области отражает

динамику положения сопровождающих хисс сияний. Отмечены события одновременного появления аврорального хисса и авроральной дуги, а также перемещения авроральных форм и засвеченной области. Кроме того, обнаружены события увеличения яркости сияний во время регистрации хисса. При этом во всех рассмотренных случаях центр засвеченной области находится на меньших широтах, чем положение сияний, что может быть обусловлено особенностями распространения аврорального хисса к земной поверхности в отсутствие дактов электронной плотности.

Выявленная связь между динамикой положения области засветки аврорального хисса и авроральных форм, а также одновременное наблюдение хисса и P11В-пульсаций позволяет ассоциировать эти два процесса. Возможен следующий механизм связи. Высыпания мягких электронов, которые генерируют авроральный хисс, обуславливают возникновение в авроральной ионосфере неоднородностей электронной концентрации с масштабами > 10 км. В результате развития токово-конвективной неустойчивости и (или) дрейфовой неустойчивости (типа $\vec{E} \times \vec{B}$), обусловленных усилением продольных электрических токов, эти неоднородности становятся нестабильны и происходит их "расщепление" на неоднородности гораздо меньших масштабов (десятки и сотни метров). Наличие мелко-масштабных неоднородностей создает условия для выхода аврорального хисса к земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sazhin S.S., Bullough K., Hayakawa M.* // Planet Space Sci. 1993. V. 41. No. 2. P. 153.
2. *Hoffman R.A., Laaspere T.* // J. Geophys. Res. 1972. V. 77. No. 4. P. 640.
3. *Bell T.F., Ngo H.D.* // J. Geophys. Res. 1988. V. 93. No. A4. P. 2599.
4. *Kimura I.* // Radio Sci. 1966. V. 1. No. 3. P. 269.
5. *Sonwalkar V.S., Harikumar J.* // J. Geophys. Res. 2000. V. 105(A8). P. 18867.
6. *Gurnett D.A.* // J. Geophys. Res. 1966. V. 71. No. 23. P. 5599.
7. *Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Громова Л.И. и др.* // Геомагн. и аэроном. 2019. Т. 59. № 3. С. 291; *Kleimenova N.G., Manninen J., Gromova L.I. et al.* // Geomagn. Aeronomy. 2019. V. 59. No. 3. P. 272.
8. *Makita K.* // Mem. Nat. Inst. Polar Res. Ser. A. 1979. V. 16. P. 1.
9. *LaBelle J., Treumann R.* // Space Sci. Rev. 2002. V. 101. No. 3. P. 295.
10. *Manninen J., Kleimenova N., Kozlovsky A. et al.* // J. Geophys. Res. 2020. V. 47. No. 6. Art. No. E2019GL086285.
11. *Heacock R.R.* // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. No. 15. P. 3905.
12. *Troitskaya V.A.* // J. Geophys. Res. 1961. V. 66. No. 1. P. 5.
13. *Wilhelm K., Munch J.W., Kremser G.* // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. No. 19. P. 2705.
14. *Никитенко А.С., Маннинен Ю., Федоренко Ю.В. и др.* // Геомагн. и аэроном. 2022. Т. 62. № 3. С. 336; *Nikitenko A.S., Manninen J., Fedorenko Yu.V. et al.* // Geomagn. Aeronomy. 2022. V. 62. No. 3. P. 209.
15. *Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю. и др.* // Геомагн. и аэроном. 2019. Т. 59. № 5. С. 618; *Lebed O.M., Fedorenko Yu.V., Manninen J. et al.* // Geomagn. Aeronomy. 2019. V. 59. No. 5. P. 577.
16. *Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85. № 3. С. 398; *Nikitenko A.S., Lebed O.M., Fedorenko Yu.V. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2021. V. 85. No. 3. P. 287.
17. *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1976.
18. *Kelley M.C., Vickrey J.F., Carlson C.W. et al.* // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. No. A6. P. 4469.
19. *Kuzichev I.V.* // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. No. A6. Art. No. A06325.
20. *Tsunoda R.T.* // Rev. Geophys. 1988. V. 26. No. 4. P. 719.
21. *Vickrey J.F., Rino C.L., Potemra T.A.* // Geophys. Res. Lett. 1980. V. 7. No. 10. P. 789.
22. *Kim C.R., Clauer K., Deshpande M.R. et al.* // J. Atmos. Solar. Terr. Phys. 2014. V. 114. P. 1.
23. *Kintner P.M., Ledvina B.M., de Paula E.R.* // Space Weather. 2007. V. 5. No. 9. Art. No. S09003.

Simultaneous observations of very low frequency auroral hiss, aurora, and irregular geomagnetic pulsations at the Lovozero observatory

A. S. Nikitenko^{1, *}, Yu. V. Fedorenko¹, N. G. Kleimenova²

¹Polar Geophysical Institute, Apatity, 184209 Russia

²Schmidt Institute of Physics of Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia

**e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com*

We presented the results of the analysis of the auroral hiss bursts and geomagnetic pulsations recorded at the Lovozero Observatory. The dynamics of the location of the region on the Earth's surface, illuminated by the auroral hiss, is compared with the dynamics of the aurora accompanying the occurrence of the hiss. We found events when hiss bursts and pulsations occur simultaneously with the appearance of aurora or with an increase in their brightness. Based on the analysis, we proposed a mechanism of possible connection between the observed phenomena.

Keywords: auroral hiss, geomagnetic pulsations, aurora