

УДК 535.11 + 550.388

DOI: 10.26907/rwp29.2025.110-113

ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ КНЧ/ОНЧ-ШУМОВ И ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ STEVE/PICKET FENCE НА ЯКУТСКОМ МЕРИДИАНЕ

Р.Р. Каримов, Д.Г. Баишев, С.Г. Парников, А.Ю. Гололобов, Г.А. Макаров,
И.Б. Иевенко

*Институт космofизических исследований и аэрoнoмии им. Ю.Г. Шaфepa Сибирского
oтделения Российской aкaдeмии наук, Якутск, Россия
E-mail: ikfia@ysn.ru*

Аннотация. Рассмотрено 11 одновременных наблюдений на Якутском меридиане возмущений в КНЧ-ОНЧ диапазоне, регистрируемых на станции Ойбенкель, и оптических явлений STEVE и Picket Fence (PF) по данным наблюдений на станции Маймага в период с 2015 по 2022 годы. Одновременные проявления STEVE/PF и КНЧ-ОНЧ-возмущений в основном были зарегистрированы при значениях индекса $K_p \geq 4$ ($A_p \geq 22$ нТл), что вероятно обусловлено смещением положения плазмопаузы в период развития суббури на субавроральные широты до ст. Маймага. Во временном интервале развития STEVE/PF были синхронно зарегистрированы КНЧ-ОНЧ плазмoсферные шипения, хоровые излучения и свистящие атмосферикки. Свистовые волны играют важную роль в процессах ускорения и высыпания частиц из радиационных поясов. Предполагается, что высыпания частиц связаны с формированием STEVE/PF.

Ключевые слова: свистовые волны КНЧ-ОНЧ диапазона, STEVE, Picket Fence, высыпания частиц

SIMULTANEOUS OBSERVATIONS OF ELF/VLF NOISES DISTURBANCES AND STEVE/PICKET FENCE OPTICAL PHENOMENA ON THE YAKUT MERIDIAN

R.R. Karimov, D.G. Baishev, S.G. Parnikov, A.Yu. Gololobov, G.A. Makarov, I.B. Ievenko

Abstract. The 11 simultaneous observations on the Yakut meridian of disturbances in the ELF-VLF range recorded at the Oibenkel station and the optical phenomena STEVE and Picket Fence (PF) based on observations at the Maymaga station in the period from 2015 to 2022 are considered. Simultaneous manifestations of STEVE/PF and ELF/VLF disturbances were mainly recorded at K_p index values ≥ 4 ($A_p \geq 22$ NT), which is probably due to a shift in the position of the plasmapause during the substorm to subauroral latitudes up to the Maymaga station. In the time interval of the STEVE/PF development, ELF/VLF plasmaspheric hisses, chorus, and whistlers were synchronously recorded. Whistling waves play an important role in the acceleration and precipitation of particles from radiation belts. It is possible that the particles precipitation is associated with the formation of STEVE/PF.

Keywords: ELF-VLF band whistling waves, STEVE, Picket Fence, particles precipitation

Введение

С повышением качества и доступности современных цифровых высокочувствительных фотоаппаратов фотографы-любители со всего мира чаще и чаще стали сообщать о регистрации узкой и вытянутой ленты свечения лилового оттенка на десятки километров в направлении север-юг и на тысячи километров в направлении восток-запад. Это свечение, часто сопровождается зелеными образованиями в виде штакетника («Picket Fence», PF). В работе [1] показано, что новое субавроральное свечение вызвано сильным повышением скорости теплового излучения (Strong Thermal Emission Velocity Enhancement - STEVE), а также является оптическим проявлением узкой полосы быстрого дрейфа ионов на запад - поляризационного джета (ПД) или SAID (Subauroral Ion Drift).

Были предложены различные механизмы генерации STEVE/PF и роль высыпаний частиц из магнитосферы в формировании STEVE и/или PF. Например, в работе [2] проведено сопоставление наземных наблюдений с пролетами спутника POES-17 и установлено, что STEVE не связан с высыпаниями заряженных частиц. С другой стороны свидетельства о механизме PF, связанного с высыпанием электронов, например, приведено в работе [3], где

детально рассмотрено событие STEVE и PF по наземным и спутниковым (Van Allen Probes) измерениям.

Характеристики события STEVE и PF, впервые зарегистрированного на субавроральной станции Маймага 1 марта 2017 года, подробно описано в работе [4]. Целью данной работы является анализ одновременных наблюдений на Якутском меридиане возмущений электромагнитного излучения в КНЧ-ОНЧ-диапазоне и событий STEVE/PF в интервале с 2015 по 2022 годы.

Аппаратура

Излучение магнитной компоненты КНЧ-ОНЧ-шумов (магнитная вертикальная рамочная антенна, ориентированная в направлении «восток-запад») регистрируется с частотой 1 Гц в непрерывном режиме с 1972 года в диапазоне от 0.4 до 8.7 кГц на радиофизической станции Ойбенкель (61.9°N, 129.4°E), расположенной в 20 км к югу от г. Якутска и в 130 км от оптической станции Маймага (63°N, 130°E). С ноября 2018 года на ст. Ойбенкель начата регистрация электрической компоненты КНЧ-ОНЧ излучения (вертикальный электрический «штырь») с частотой дискретизации 40 кГц.

Оптические наблюдения STEVE/PF проводились на ст. Маймага. Регистрация свечения осуществлялась с помощью камеры всего неба «Keo Sentry» с шестью интерференционными светофильтрами, центрированными на длины волн 557,7 и 630,0 [OI], 470,9 (N2+), 486,1 (H β), 620,0 (континуум), 480,0 (континуум) нм.

Результаты

На верхней панели рис. 1 представлены вариации амплитуды КНЧ-ОНЧ шумов на ст. Ойбенкель во время суббури 1 марта 2017 года, в период которой наблюдались субавроральные свечения на ст. Маймага [4]. На нижней панели представлены кадры камеры всего неба в фоновой красной области 620.0 нм. Регистрация всплесков КНЧ-ОНЧ возмущений совпали с наблюдениями STEVE 1 марта 2017 г. во временном интервале 1323-1440 UT.

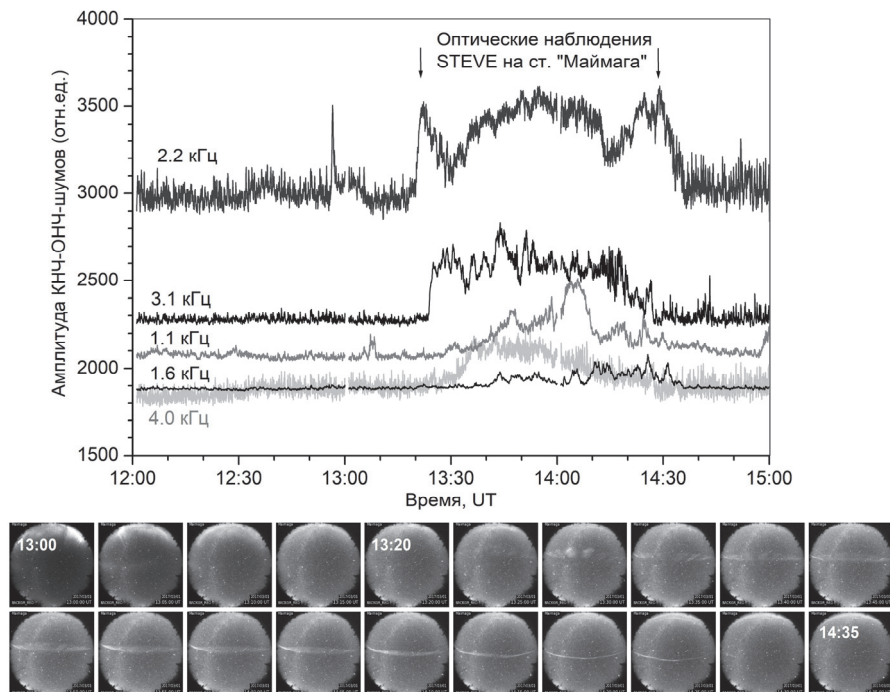


Рис. 1. Вариации амплитуды КНЧ-ОНЧ-шумов на ст. Ойбенкель во время суббури 1 марта 2017 г. (верхняя панель) и кадры камеры всего неба в фоновой красной области 620.0 нм на ст. Маймага [4] (нижняя панель)

В таблице 1 представлено описание зарегистрированных возмущений КНЧ-ОНЧ шумов и событий STEVE/PF. В 11 из 14 событий, когда наблюдались STEVE и/или PF, были

зарегистрированы всплески КНЧ-ОНЧ шумов в диапазоне от 0.4 кГц до 4.0 кГц. Одновременные проявления STEVE/PF и КНЧ-ОНЧ-возмущений наблюдались при значениях индекса $K_p \geq 4$ ($A_p \geq 22$ нТл), что вероятно обусловлено смещением положения плазмопаузы в период взрывной фазы суббури на субавроральные широты до ст. Маймага. В остальных случаях всплески КНЧ-ОНЧ-шумов не были зарегистрированы или их интенсивность была низкой. Частотный диапазон КНЧ-ОНЧ-всплесков от события к событию не имеет какой-либо зависимости, но большие величины амплитуды всплесков КНЧ-ОНЧ шумов наблюдались при более высоком уровне геомагнитной активности. Кроме того, в те дни, когда были зарегистрированы всплески КНЧ-ОНЧ-шумов, в основном одновременно наблюдались STEVE и PF.

Таблица 1. Статистическое описание одновременно наблюдаемых возмущений магнитной компоненты КНЧ-ОНЧ-шумов на ст. Ойбенкель и событий STEVE/PF на ст. Маймага с 2015 по 2022 годы

№	Дата	Временной интервал STEVE, UT	Временной интервал PF, UT	Частотный диапазон (кГц)	K_p (A_p)
1	10.11.2015	1116-1220	1127-1207	0.4 - 2.2	5+ (56)
2	11.03.2016	1439-1459	1446-1503	2.2 - 4.0	5+ (56)
3	08.12.2016	–	1521-1619	0.8 – 2.2	4 (27)
4	01.02.2017	1544-1550	1552-1625	0.8 - 1.6	5 (48)
5	01.03.2017	1323-1426	1320-1440	1.1 - 4.0	5- (39)
6	02.03.2017	1405-1433	1350-1456	0.4 - 1.6	5- (39)
7	28.02.2019	1344-1526	1339-1533	2.2 - 4.0	4+ (32)
8	07.04.2021	–	1512-1519	0.8 - 2.2	4+ (32)
9	03.02.2022	1229-1244	1234-1237	0.8 – 8.1	4 (27)
10	05.03.2022	1332-1410	–	0.8 - 3.1	5- (39)
11	09.04.2022	–	1636-1658	1.1 - 3.1	4- (22)

На рис. 2 представлен пример динамического спектра КНЧ-ОНЧ-шумов, зарегистрированных на ст. Ойбенкель во время суббури 5 марта 2022 года, в период которой наблюдались субавроральные свечения на ст. Маймага. В диапазоне от 2 до 3 кГц зарегистрированы непрерывные плазмосферные шипения, а в диапазоне от 3 до 4 кГц – дискретные хоровые структуры. Кроме шипений и хоровых излучений, во время проявлений STEVE и PF, могут наблюдаться ОНЧ-свистящие атмосферерики. Например, 3 февраля 2022 года, во время наблюдений STEVE, было зарегистрировано на ст. Ойбенкель большое количество свистящих атмосферериков в диапазоне до 8 кГц на фоне непрерывных плазмосферных шипений.

Таким образом, можно предположить, что одновременные проявления 11 событий STEVE/PF на ст. Маймага и возмущений КНЧ-ОНЧ-шумов на ст. Ойбенкель, при уровне геомагнитной активности $K_p \geq 4$ -, генерируются одними и теми же процессами вблизи плазмопаузы во время развития суббурь, а источники наблюдаемых всплесков в КНЧ-ОНЧ-диапазоне связаны с повышенной генерацией свистовых волн в магнитосферной плазме на субавроральных широтах и смещением плазмопаузы к широте ст. Маймага. Волны свистовой моды, такие как непрерывные плазмосферные шипения, дискретные хоровые излучения и свистящие атмосферерики, существенно влияют на динамику околоземной плазмы и играют важную роль в процессах ускорения и высыпания частиц из магнитосферы. Возможно, что высыпания частиц из радиационных поясов во время взрывной фазы суббури связаны с формированием STEVE и PF.

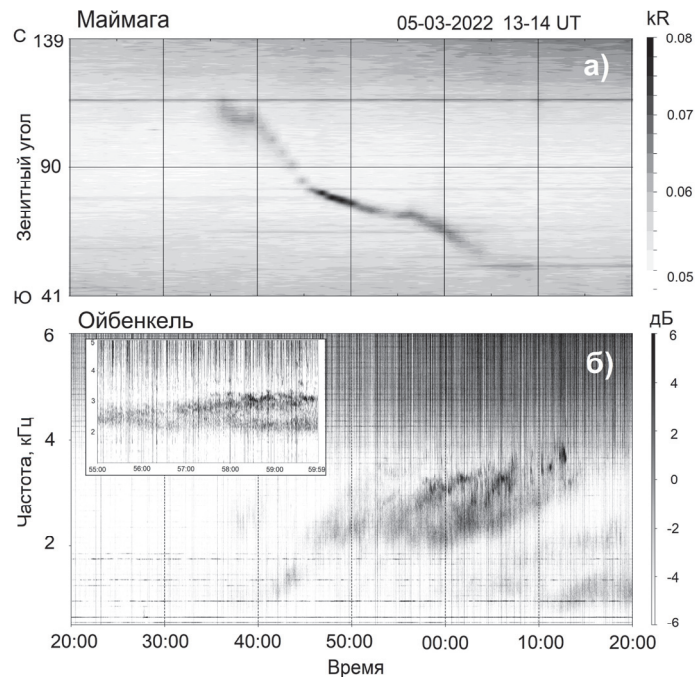


Рис. 2. Кеограмма север-юг фоновой красной области 620.0 нм на ст. Маймага (а) и динамический спектр электрической компоненты КНЧ-ОНЧ-излучения на ст. Ойбенкель (б) во время суббури 5 марта 2022 г.

Заключение

Были рассмотрены одновременные наблюдения возмущений в КНЧ-ОНЧ диапазоне, регистрируемых на станции Ойбенкель и оптических явлений STEVE/PF по данным наблюдений на станции Маймага в период с 2015 по 2022 годы. В 11 событиях оптические явления STEVE/PF на ст. Маймага и возмущения КНЧ-ОНЧ-шумов на ст. Ойбенкель одновременно наблюдались при $K_p \geq 4$, что может быть объяснено смещением положения плазмопаузы в период взрывной фазы суббури на субавроральные широты до ст. Маймага. Во временном интервале развития STEVE/PF в большинстве случаев синхронно регистрируются КНЧ-ОНЧ плазмосферные шипения, хоровые излучения и/или свистящие атмосферерики. Свистовые волны играют важную роль в процессах ускорения и высыпания частиц из радиационных поясов. Результаты работы указывают на то, что высыпания частиц во время взрывной фазы суббури, возможно, связаны с формированием STEVE/PF.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания (госрегистрация: № 122011700182-1 и № 122011700172-2).

Список литературы

1. MacDonald E.A., Donovan E., Nishimura Y., Case N.A., Gillies D.M., Gallardo-Lacourt B., Archer W.E., Spanswick E.L., Bourassa N., Connors M., Heavner M., Jackel B., Kosar B., Knudsen D.J., Ratzlaff C., Schofield I. New science in plain sight: Citizen scientists lead to the discovery of optical structure in the upper atmosphere // *Sci. Adv.* – V. 4. – № 3. eaaq0030. 2018.
2. Gallardo-Lacourt B., Liang J., Nishimura Y., Donovan E. On the origin of STEVE: Particle precipitation or ionospheric skyglow? // *Geophysical Research Letters*. – 2018. – V. 45. – № 16. – P. 7968–7973.
3. Chu X., Malaspina D., Gallardo-Lacourt B., Liang J., Andersson L., Ma Q. et al. Identifying STEVE's Magnetospheric driver using conjugate observations in the magnetosphere and on the ground // *Geophysical Research Letters*. – 2019. – V. 46. – № 22. – P. 12665–12674.
4. Парников С.Г., Иевенко И.Б., Колтовской И.И. Субавроральное свечение STEVE над Якутией во время суббури: Анализ события 1 марта 2017 г. // *Геомагнетизм и аэрономия*. – 2022. – Т. 62. – № 4. – С. 518–527.