

Среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения на высотах области E по данным инструментов ГФО ИСЗФ СО РАН

В.А. Иванова, А.В. Ойнац, А.В. Подлесный, Т.Е. Сыренова, А.Б. Белецкий,
С.Н. Пономарчук, А.А. Рыбкина

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Динамические процессы в атмосфере Земли вызывают неизменный интерес на протяжении нескольких десятилетий. В последнее время, в связи с интенсивным развитием современных средств диагностики верхней атмосферы и методов автоматической обработки результатов наблюдений, исследование ионосферных неоднородностей вышло на новый технический уровень [*Pederick L.H., Cervera M.A., Harris T.J. Interpreting Observations of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances by Ionospheric Sounders // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2017. Vol. 122. N 12. P. 12556-12569. Altadill D., Segarra A., Blanch E., Juan J.M., Paznukhov V.V., Buresova D., Galkin I., Reinisch B.W., Belehaki A. A method for real-time identification and tracking of traveling ionospheric disturbances using ionosonde data: first results // Journal of Space Weather and Space Climate. 2020. Vol. 10. N 2*]. В Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (пос. Торы, Бурятия) в течение десяти лет успешно действует ионозонд «Моностат-МС» с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [*Подлесный А.В., Брынько И.Г., Куркин В.И., Березовский В.А., Киселев А.М., Петухов Е.В. Многофункциональный ЛЧМ ионозонд для мониторинга ионосферы // Гелиогеофизические исследования. 2013. Вып. 4. С. 24–31*].

Современные ЛЧМ-ионозонды работают в диапазоне 1-30 МГц, со скоростями перестройки 100-2000 кГц/с. ЛЧМ-ионозонд за счет использования цифровой обработки сигнала и непрерывных сигналов со сложной фазовой модуляцией имеет излучаемую мощность порядка десяти ватт, что позволяет добиться более высокой электромагнитной совместимости по сравнению с другими типами ионозондов. Интервалы между сеансами вертикального зондирования составляют 1 мин - 15 сек. Ранее в ИСЗФ СО РАН были разработаны программы автоматической интерпретации данных ЛЧМ-ионозонда [*Grozov V.P., Ilyin N.V., Kotovich G.V., Ponomarchuk S.N. Software system for automatic interpretation of ionosphere sounding data // Pattern recognition and image analysis. 2012. Vol. 22. N 3. P. 458-463*], а также оценены их точностные характеристики [*Ivanova V.A., Ponomarchuk S.N., Podlesnyi A.V. Accuracy characteristics of the automatic interpretation of vertical sounding data // Proc. SPIE. 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2020. V. 11560. P. 115608Q*]. Среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (СМ ПИВ) по данным вертикального КВ-радиозондирования на высотах области F наблюдаются в виде «каспов», или «петель». На высотах области E в качестве индикатора ночных волновых возмущений при автоматической интерпретации данных можно рассматривать критическую частоту слоя Es (foEs). Статистическая связь между ночными СМ ПИВ и foEs была показана в [*Otsuka Y., Tani T., et al. Statistical study of relationship between medium-scale traveling ionospheric disturbance and sporadic E layer activities in summer night over Japan // 2008. Vol. 70. P. 2196-2202*].

Использованные данные

В работе использовались данные, полученные на ЛЧМ-ионозонде «Моностаг-МС» и помощью оптической системы КЕО Sentinel, центр полосы пропускания интерференционного фильтра 630 нм, с 2014 по 2021гг. Оба прибора функционируют в ГФО ИСЗФ СО РАН в пос. Торы (51°48 с.ш., 103°04 в.д.). Данные «Моностага-МС» за 2018-2019 гг. обрабатывались с помощью программы автоматической интерпретации, а остальные интервалы времени – в полуавтоматическом режиме.

Таблица 1.

Месяцы 2019 г.	Вероятность появления Es (%)
1	7.0
2	2.9
3	0.4
4	1.4
5	11.8
6	7.5
7	18.5
8	20.4
9	12.9
10	5.9
11	4.0
12	7.3

В таблице приведены вероятности регистрации слоя Es для 2019 г. Видно, что чаще всего слой Es наблюдается в летних условиях, однако в декабре и в январе вероятность регистрации слоя Es также увеличивается по сравнению с переходными весенне-осенними месяцами.

В июне 2019 г. по техническим причинам были обработаны данные с 1 по 12 июня, поэтому общее количество данных в июне меньше и вероятность регистрации слоя Es ниже по сравнению с маем и июлем 2019 г.

Общее количество регистраций слоя Es в 2019 г. – 303786. Интервал между зондированиями в этот период составлял 15 секунд.

Сопоставление данных

По данным, полученным на оптическом приборе КЕО Sentinel, был проведен автоматический анализ перемещающихся возмущений с горизонтальной длиной волны 150 км [Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В., Михалев А.В. Морфология параметров перемещающихся возмущений в излучении атмосферных эмиссий в регионе Восточной Сибири // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 2019 год. XVII.D.377]. В ходе работы для выбранных при помощи анализа оптических данных дней устанавливались интервалы регистрации слоя Es, которые сопоставлялись с интервалами наблюдения перемещающихся возмущений по данным оптического прибора.

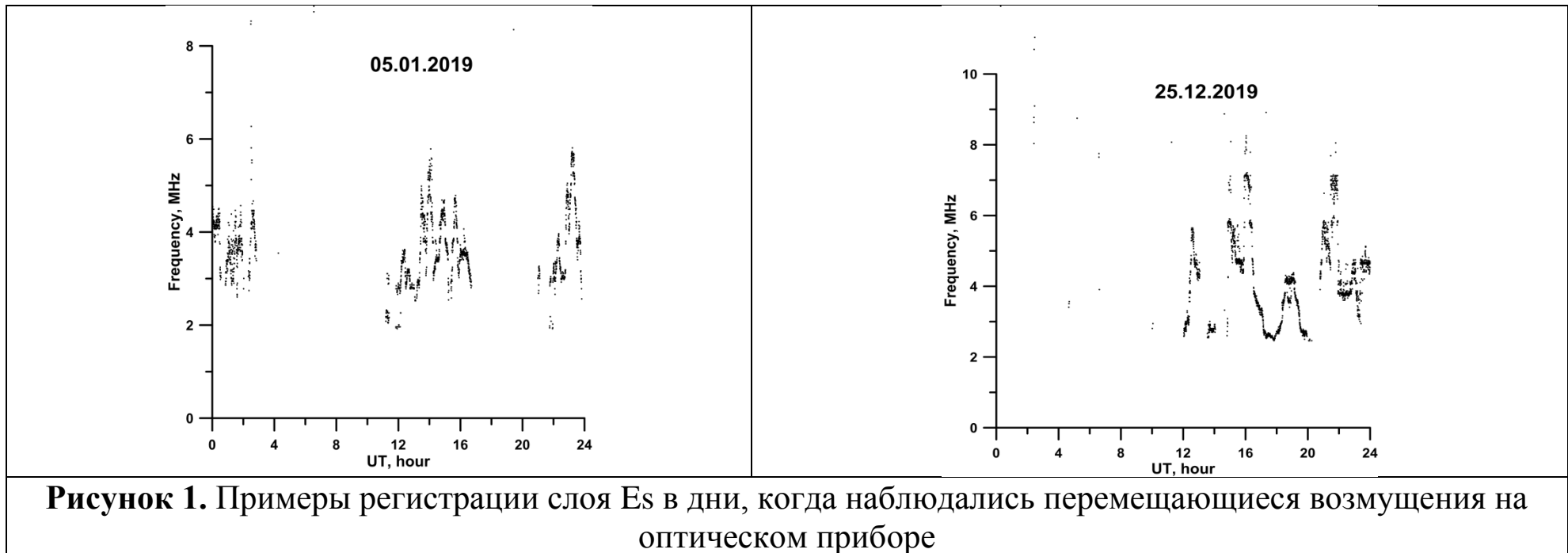


Таблица 2. Сопоставление интервалов регистрации слоя Es с временем регистрации перемещающихся возмущений по данным оптического прибора

Дата	Начало регистрации Es	Окончание регистрации Es	Начало регистрации ПИВ	Окончание регистрации ПИВ	Дата	Начало регистрации Es	Окончание регистрации Es	Начало регистрации ПИВ	Начало регистрации ПИВ
27.02.2014	10.95	12.98	12.167	19.035	19.02.2018	17.9	18.25	13.144	21.468
22.01.2015	13	15.58	16.055	16.287	12.04.2018	12.48	17.75	13.864	18.154
18.05.2015	12.41	20.13	16.217	18.34	07.11.2018	13.22	13.6	11.669	13.602
05.11.2015	12.75	17.13	13.653	18.001	08.11.2018	12.51	18.9	12.526	21.681
06.01.2016	14.7	15.15	12.15	21.328	04.01.2019	12.95	15.51	12.14	13.142
08.01.2016	13.68	19.15	12.123	20.003	05.01.2019	11.19	23.81	10.841	23.088
10.01.2016	14	21.55	12.296	21.361	24.11.2019	11.35	12.31	12.13	22.831
03.04.2016	17.43	18.05	15.663	18.86	25.12.2019	12.04	24.00	11.651	18.498
05.06.2016	16.06	19.66	16.804	17.844	22.01.2020	10.28	23.68	12.816	21.188
30.10.2016	8.633	21.73	12.137	20.868	26.01.2020	10.35	23.98	11.526	22.649
04.12.2016	20.18	20.28	14.227	20.354	22.03.2020	10.6	17.96	12.854	21.28
28.12.2016	15.35	20.65	13.121	20.839	15.04.2020	17.13	20.35	14.371	20.23
29.12.2016	9.966	21.11	13.448	20.862	16.04.2020	10.85	19.8	13.939	15.909
05.01.2017	21.86	23.86	17.294	22.693	21.04.2020	9.183	20.23	13.901	20.084
28.01.2017	14.01	14.3	11.748	22.801	22.04.2020	9.333	20.48	13.967	20.099
29.01.2017	13.06	18.11	11.938	22.301	23.04.2020	11.41	14.45	14.008	20.021
31.01.2017	11.06	19.08	12.13	22.256	16.05.2020	0	19.13	15.12	18.993
27.03.2017	17.93	21.56	13.185	19.854	26.06.2020	14.45	20.45	16.152	17.783
31.03.2017	18.65	21.18	16.196	20.666	25.07.2020	9.066	18.46	17.034	18.562
23.04.2017	18.16	20.18	14.659	19.011	13.02.2021	11.7	13.53	12.142	22.225
14.11.2017	14.16	15.73	11.422	21.579	10.03.2021	11.13	17.38	13.217	21.867

Выводы

Из 73 суток, когда регистрировались среднemasштабные перемещающиеся ионосферные возмущения с горизонтальной длиной волны 150 км по данным оптической системы КЕО Sentinel, волновые возмущения в слое Es наблюдались 42 дня при условии, что время регистрации волновых возмущений на обоих инструментах частично совпадало.

В отдельные дни регистрация слоя Es предшествовала наблюдению перемещающихся возмущений на волне 630 нм.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 19-05-00889 А «Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным когерентных декаметровых радаров и приемников GPS/ГЛОНАСС». Данные получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Ангара" (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>).