

## **Регистрация волновых возмущений на высотах слоя Es по данным «Ионозонда-МС» и оптических инструментов ГФО ИСЗФ СО РАН в 2018 г.**

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*

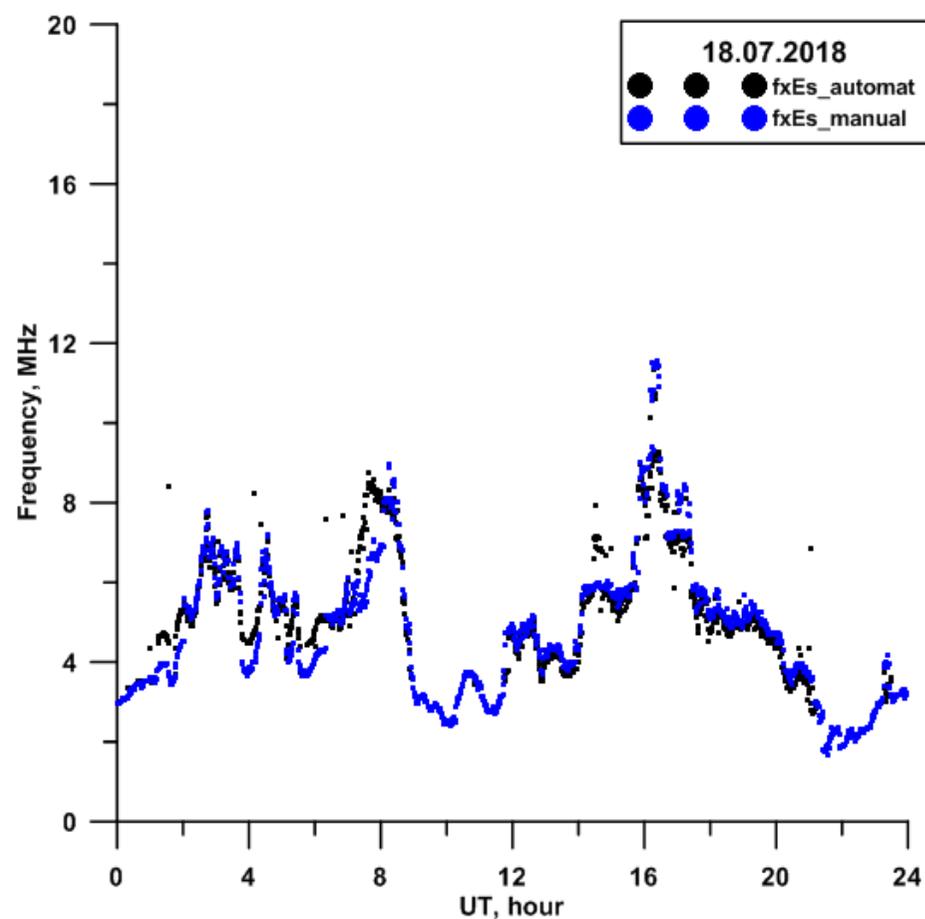
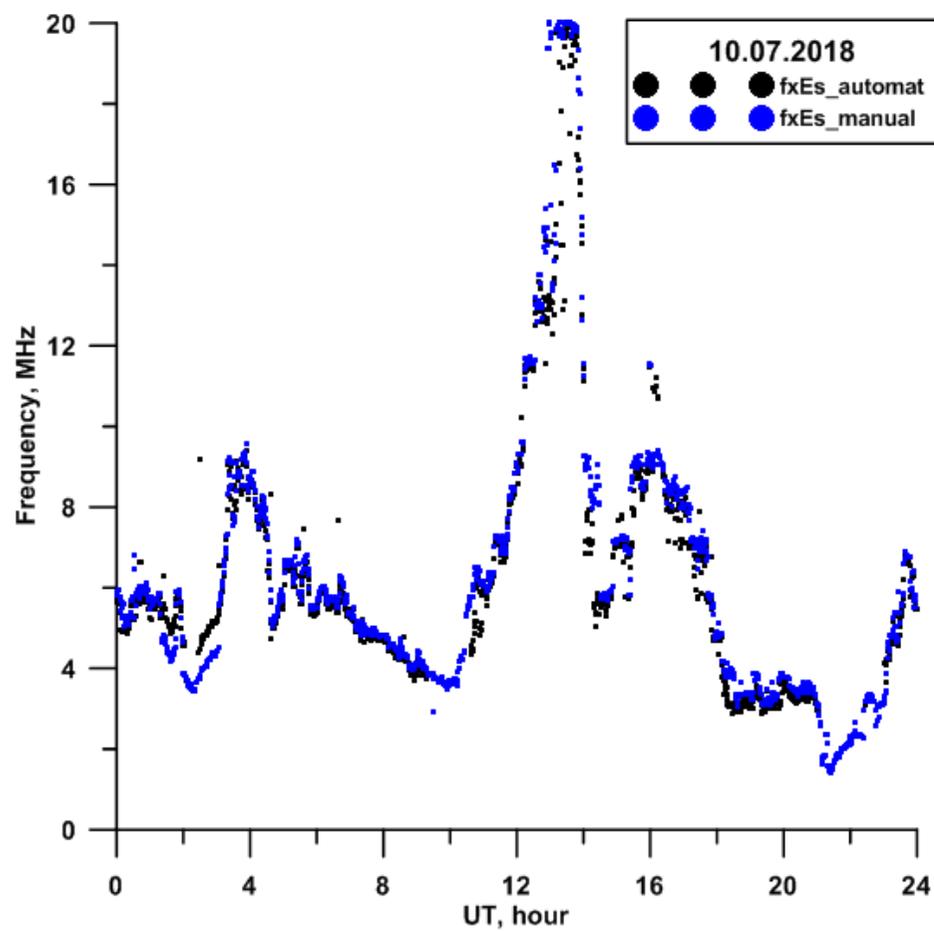
Волновые возмущения ионосферных параметров определяются как перемещающиеся ионосферные возмущения разных масштабов, физическая природа которых связана либо с движением внутренних гравитационных волн [*Hines C.O. Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights // Canadian Journal of Physics. 1960. Vol. 38. N 11. P. 1441-1481*], либо имеет электродинамический характер [*Cosgrove R.B., Tsunoda R.T. Instability of the E-F coupled nighttime midlatitude ionosphere // J. Geophys. Res. 2004. Vol. 109. A04305*]. Исследования волновых процессов на современных ионозондах вызывает повышенный интерес благодаря усовершенствованию экспериментальной базы и возможности получить новые данные по параметрам ионосферы, связанные с существенным сокращением временных интервалов между зондированиями.

Начиная с 2011 г. на территории Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (пос. Торы, Бурятия) успешно функционирует установка вертикального зондирования (ВЗ) в коротковолновом диапазоне «Ионозонд-МС» с интервалом между зондированиями 1 мин. С августа 2018 г. этот интервал сокращен до 15 секунд, что предоставляет уникальную возможность для детального исследования волновых возмущений спорадического слоя Es.

В ИСЗФ СО РАН к настоящему моменту разработан комплекс автоматической интерпретации данных ЛЧМ-зондирования, основанный на использовании моделей долгосрочного прогноза и последующем масочном подходе для выделения высотно-частотной характеристики на ионограмме ВЗ и дальнейшего построения профиля электронной концентрации [Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Михайлов С.Я. *Обработка и интерпретация ионограмм вертикального и наклонного зондирования для диагностики ионосферы на базе ЛЧМ-ионозонда // Вестник Сибирского Государственного Аэрокосмического университета им. Академика М.Ф. Решетнева. 2013. No. 5(51). С. 163-166*].

Результаты работы программного комплекса представляются в виде таблицы обработки ионограммы по основным параметрам ( $f_oF_2$ ,  $f_oF_1$ ,  $f_{min}$  и т.д.).

Для оценки точностных характеристик в системе Scilab разработан дополнительный программный комплекс. Он состоит из нескольких отдельных программ, выполняющих функции по обработке входных файлов ручной и автоматической обработки данных, переводу их в единый формат, расчету абсолютных и относительных ошибок и автоматическому построению суточных ходов параметров распространения КВ-радиоволн, полученных в результате автоматической и ручной интерпретации для детального анализа зарегистрированных ошибок. Из сравнения на рис. 1 видно, что программа автоматической интерпретации достаточно точно распознает слой  $E_s$  на ионограммах ВЗ.



**Рис. 1.** Сравнение суточных ходов fxEs автоматической (черные точки) и ручной (синие точки) интерпретации для 10.07.2018 и 18.07.2018.

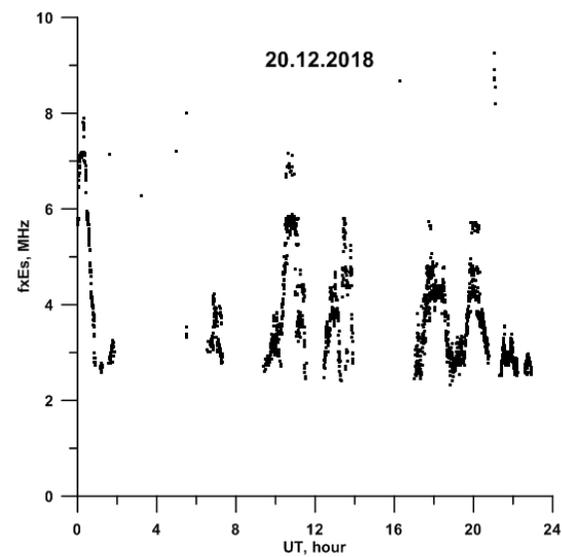
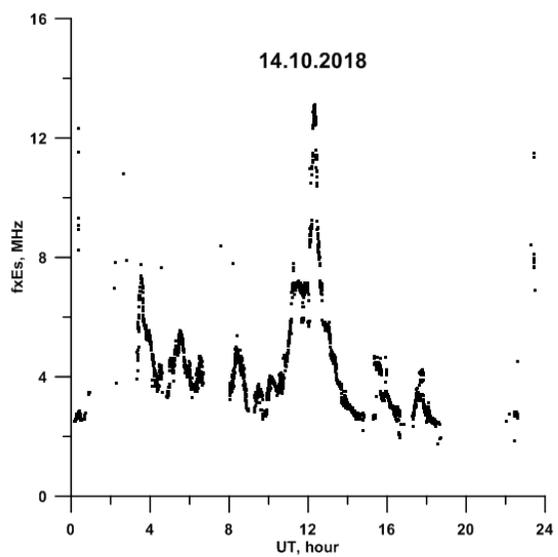
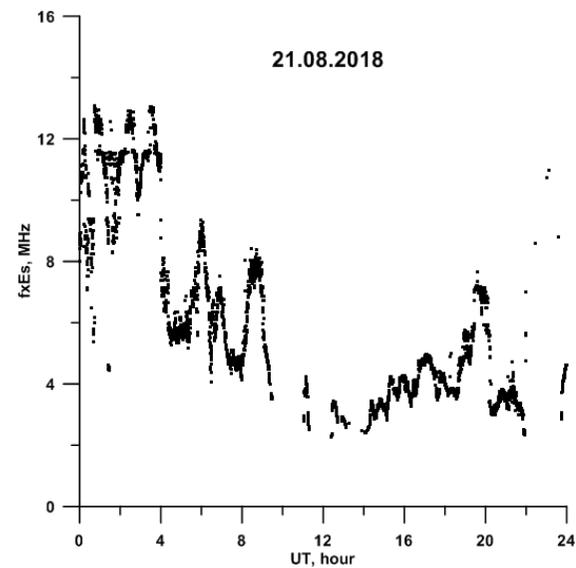
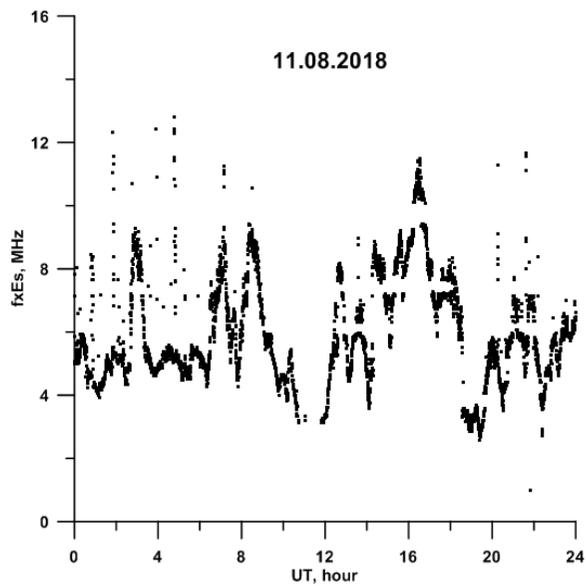
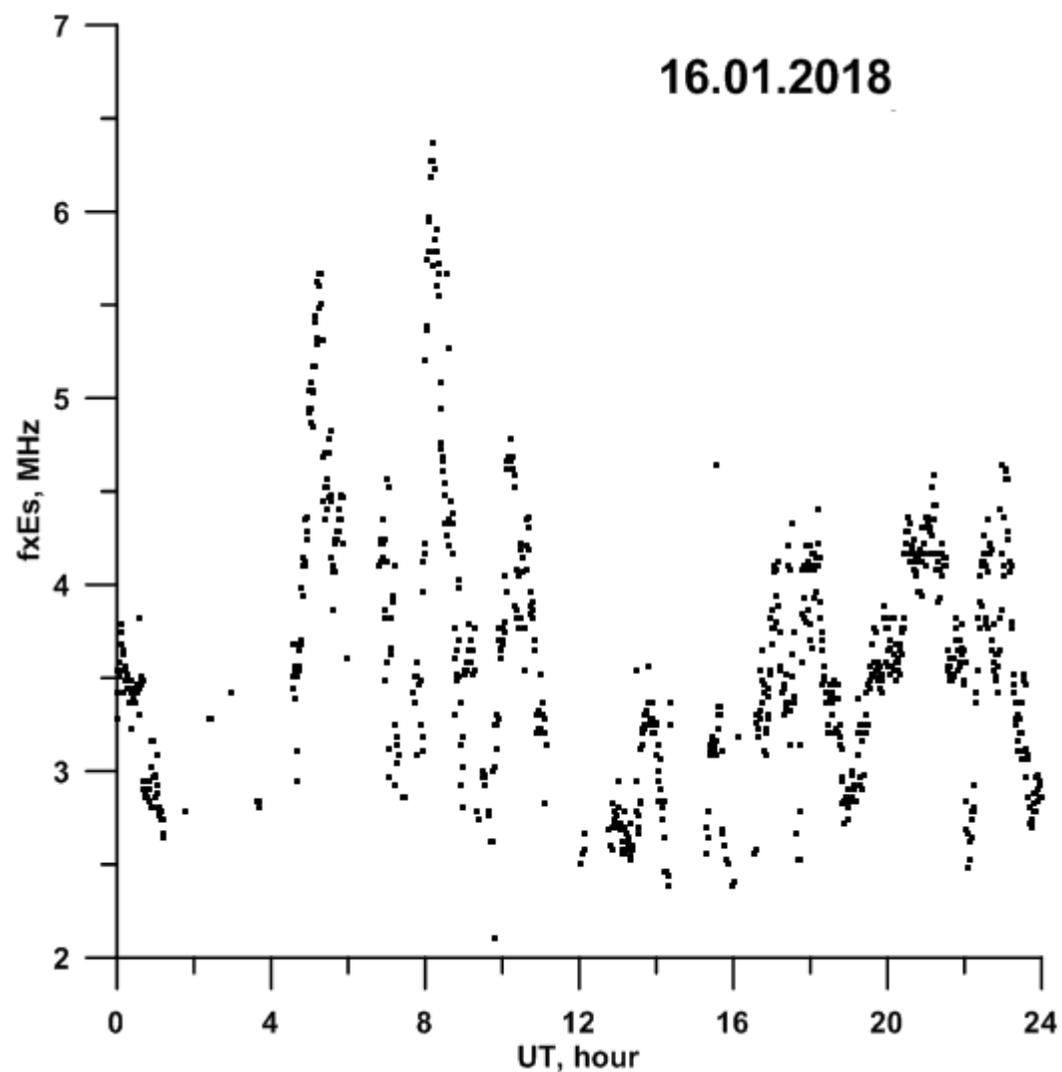


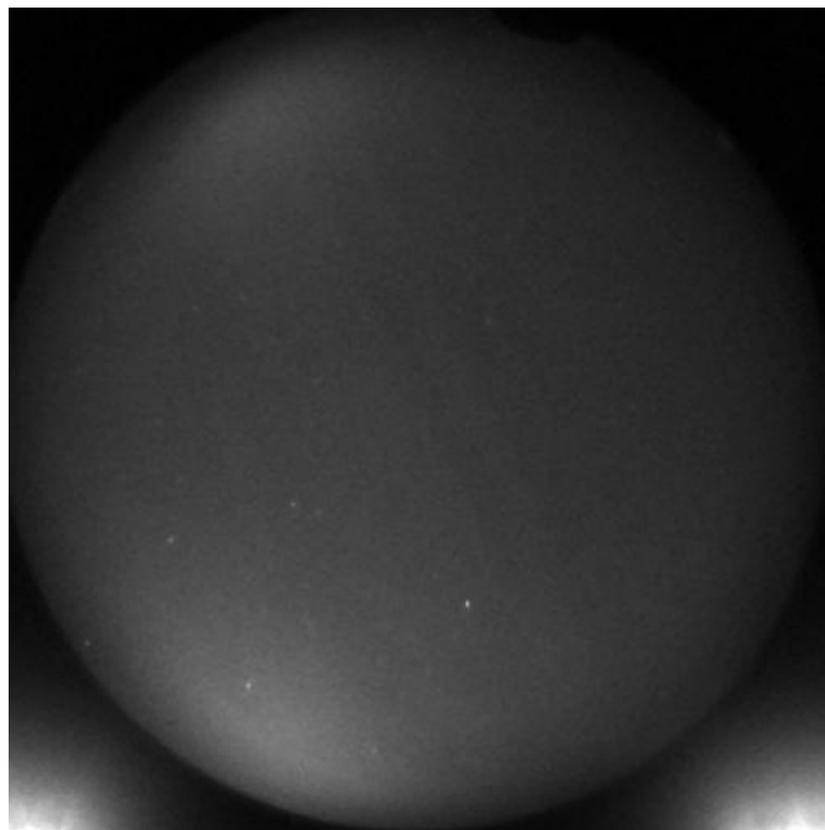
Рис. 2. Примеры волновых возмущений в слое E<sub>s</sub>, зарегистрированных с разрешением 15 сек.

**Список дней в 2018 г., когда были зарегистрированы волновые возмущения по данным  
«Ионозонда-МС» в пос. Торы на высотах слоя Es**

01-05.01.2018	20.04.2018	24.10.2018
09-10.01.2018	30.04.2018	27-31.10.2018
13-22.01.2018	01.05.2018	02-06.11.2018
26-30.01.2018	03-19.05.2018	09.11.2018
01.02.2018	21-31.05.2018	11-15.11.2018
07.02.2018	01-14.06.2018	18-19.11.2018
11-12.02.2018	16-30.06.2018	29-30.11.2018
24.02.2018	01-31.07.2018	05.12.2018
27.02.2018	01-30.08.2018	09-12.12.2018
07.03.2018	01.09.2018	14-22.12.2018
25.03.2018	03-18.09.2018	26-31.12.2018
02.04.2018	23-25.09.2018	
05.04.2018	28-30.09.2018	
12.04.2018	01-02.10.2018	
15.04.2018	05-19.10.2018	



Кадр оптической системы Keo Sentinel,  
16.01.2018, 18:04 UT.



**Рис. 3.** Данные «Ионозонда-МС» по параметру  $f_xEs$  (слева) и снимок оптической системы Keo Sentinel (справа) в пос. Торы (Бурятия) для 16.01.2018 г.

## Выводы

Волновые возмущения в слое Es исследовались с помощью программы автоматической интерпретации, разработанной в ИСЗФ СО РАН. Было проведено сравнение результатов расчетов программы автоматической интерпретации с полуавтоматической обработкой по параметрам слоя Es для июля 2018 г. Слой Es регистрировался в 26.9% случаев от общего числа ионограмм, полученных за год. Вероятность появления слоя Es зимой составила 0.13, весной – 0.17, летом – 0.6, осенью – 0.21. В связи с этим, волновые возмущения в слое Es наблюдаются преимущественно в летних условиях, хотя отдельные волновые события были зарегистрированы и в другие сезоны. Проведено сопоставление данных регистрации ночных волновых возмущений в слое Es с данными, полученными на оптическом комплексе ГФО ИСЗФ СО РАН для 16.01.2018 г.

*Благодарности.* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 19-05-00889 А «Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным когерентных дециметровых радаров и приемников GPS/ГЛОНАСС». Данные получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Ангара" (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>) в рамках базового финансирования программы ФНИ П.12.