



Восемнадцатая Всероссийская Открытая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»

# Влияние метеорологических штормов в Калининградском регионе на параметры ионосферы

Борчевкина О.П.<sup>1,2</sup>, Карпов М.И.<sup>1,2</sup>, Коренькова Н.А.<sup>1</sup>, Карпов И.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Калининград (КФ ИЗМИРАН), Калининград, Россия

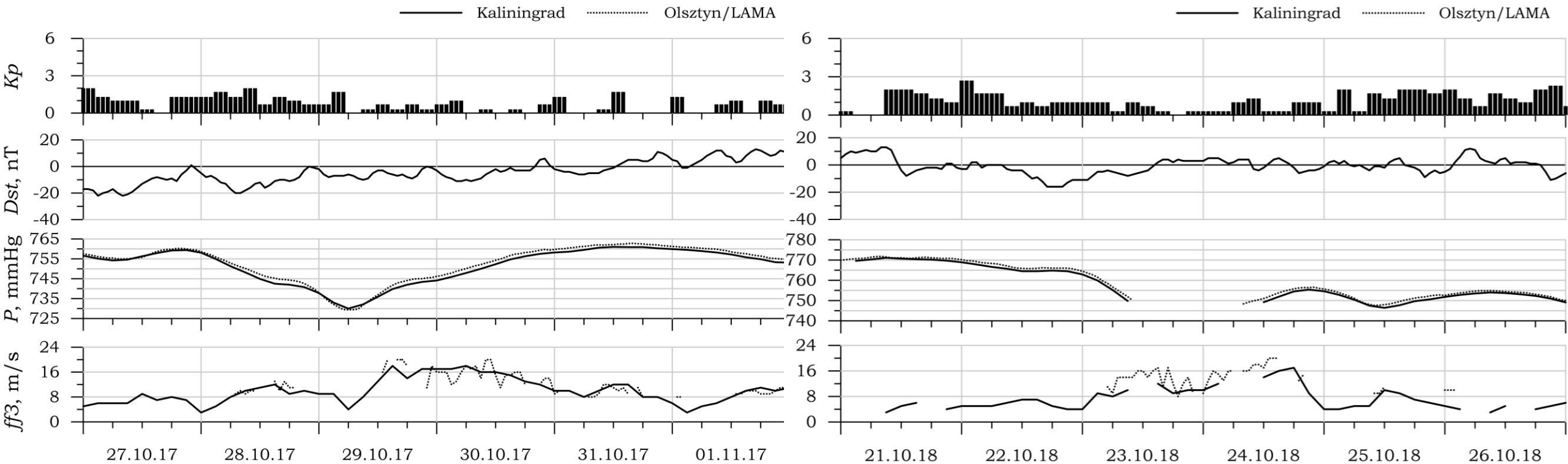
<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия

# Мотивация

Прохождение метеорологических штормов и ураганов сопровождается значительными возмущениями параметров F2-слоя ионосферы. Гипотезы о взаимном влиянии процессов в различных слоях атмосферы основываются на представлениях о генерации атмосферных волн, в частности, акустико-гравитационных волн (АГВ), и их распространении при определенных условиях снизу в верхние слои атмосферы. Мощные метеорологические процессы (штормы, ураганы, тайфуны) являются источником генерации АГВ в атмосфере.

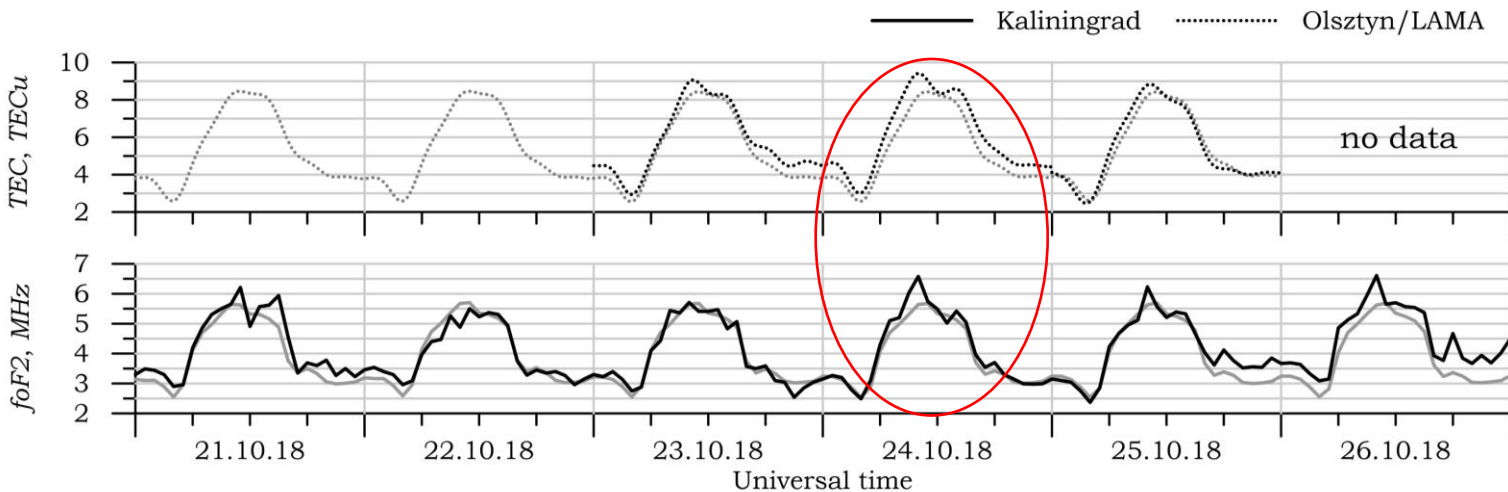
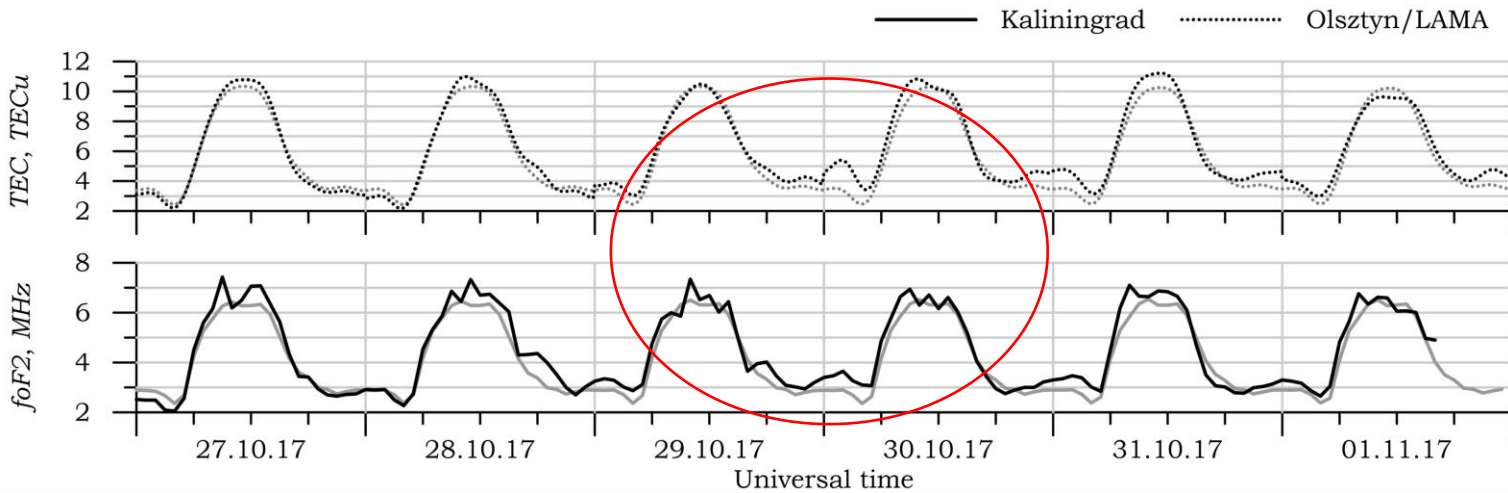


# Выбор метеорологических событий



К метеорологическим штормам относятся события, сопровождающиеся очень сильным длительным (более 6 ч) ветром обычно при прохождении циклона с большими или меньшими разрушениями на суше и сильным волнением на море. Для анализа были выбраны метеорологические штормы (29–30 октября 2017 и 23–24 октября 2018 г.), когда максимальная скорость ветра в Калининграде достигала 17 м/с и более. Эти события проходили в условиях низкой геомагнитной и солнечной активности.

# Влияние на F область



В качестве данных для анализа отклика ионосферы использовались часовые измерения критической частоты F2-слоя ионосферы и осредненные за 10-минутный интервал измерения полного электронного содержания по данным наблюдений сигналов GPS. Для анализа возмущений foF2 и TEC были определены отклонения данных величин в  $i$ -й момент времени относительно скользящей медианы, отцентрированной на день рассматриваемого дня, с окном 13 суток до и после рассматриваемого момента времени:

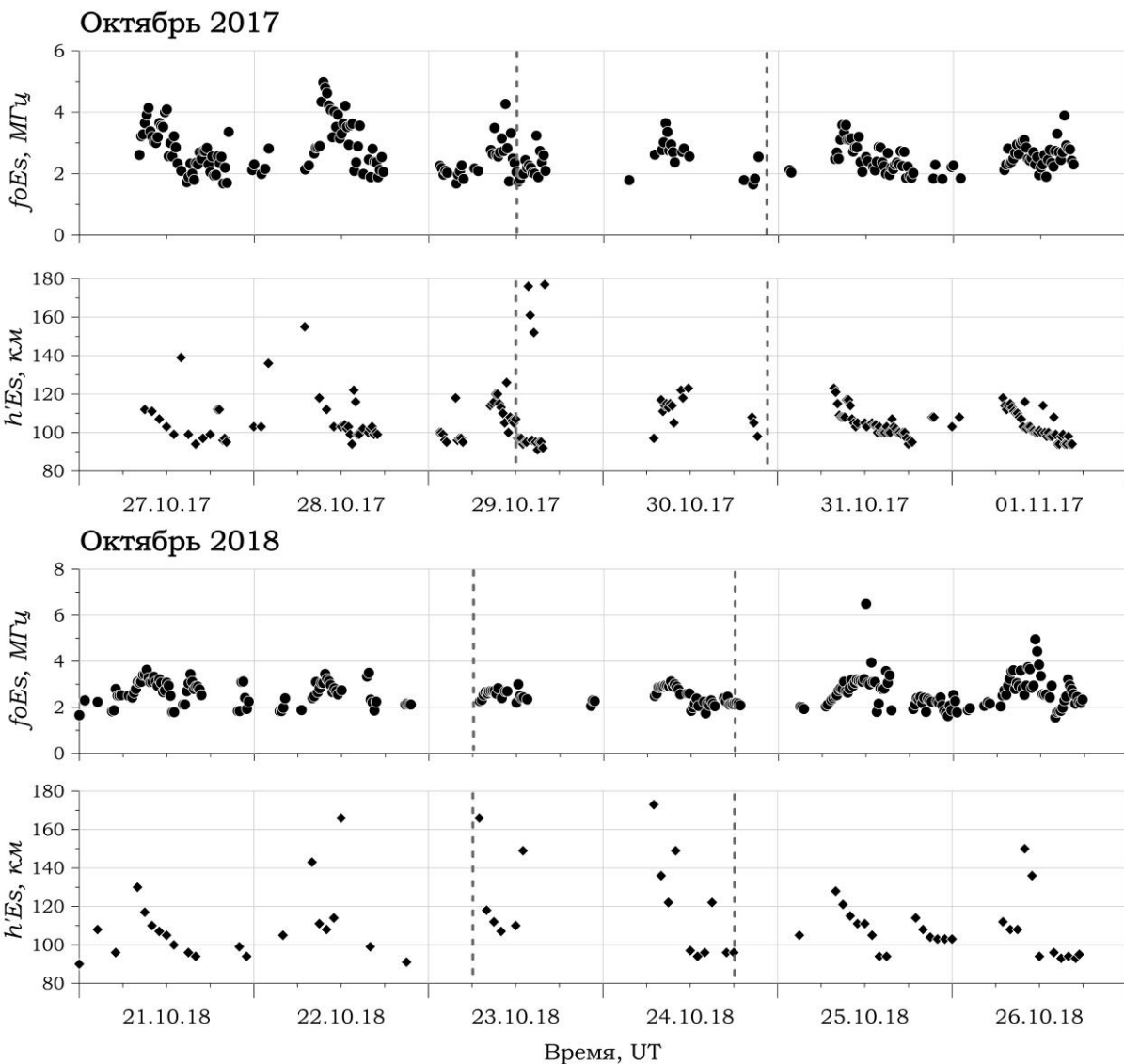
$$\Delta x_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$
$$\bar{x} = \frac{\sum_i^N x_i}{N},$$

где  $i = -13 \dots +13$ ,  $N = 27$ .

Стандартное отклонение величин определено как:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

# Влияние на E область

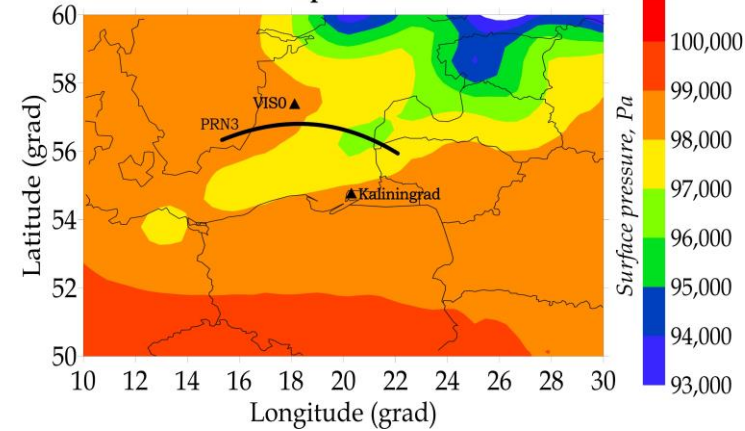


Период прохождения метеорологических возмущений (29–30 октября 2017 г. и 23 октября 2018 г.) наблюдается изменение характеристик слоя  $E_s$ , проявляющееся в снижении  $f_oE_s$  ниже порога чувствительности ионозонда ( $\sim 2$  МГц). Задержка реакции ионосферы по отношению к времени максимальных возмущений атмосферных параметров составляет несколько часов. Такие значения вполне согласуются с представлениями о возмущениях ионосферы, инициируемые АГВ тропосферного происхождения. Вертикальное распространение таких волн и рост амплитуды с высотой может приводить к обрушению волн на высотах нижней термосферы, что оказывает существенное влияние на турбулентные процессы. Усиление турбулентных процессов в нижней термосфере приводит к повышению плотности атмосферы и повышению интенсивности рекомбинационных процессов. В результате быстро снижаются концентрация ионов и, соответственно,  $f_oE_s$  вплоть до частот ниже порога чувствительности ионозондов.



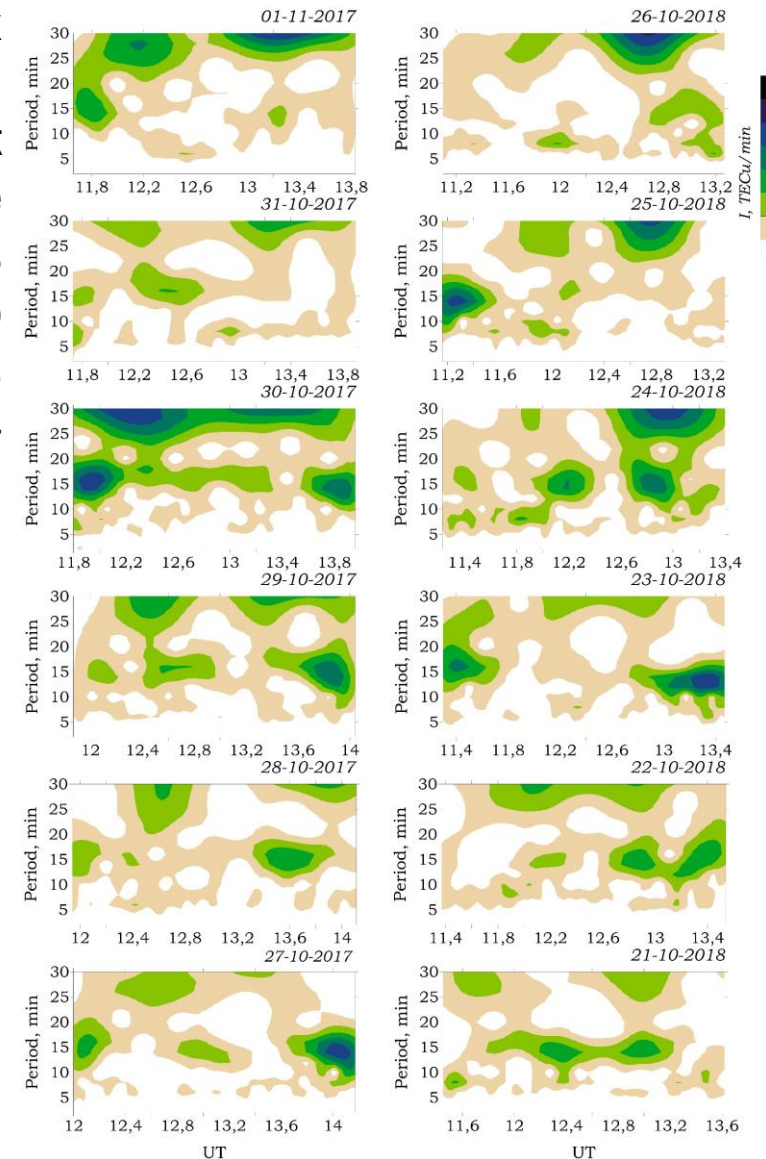
# Спектральный анализ

ERA5 REANALYSIS 24 October 2018 03:00 UT  
Surface pressure



Для выделения высокочастотных составляющих вариаций ТЕС рассматривался спектр вариаций дифференциального ТЕС, определяемого как отношение разности значений ТЕС на трассе спутник-станция приема сигналов, полученных в двух последовательных наблюдениях, к шагу по времени. Для определения динамики спектров в период наблюдений применялось Вейвлет-преобразование.

В анализе наблюдений сигналов отдельных спутников GPS выделялись вариации ТЕС с периодами не более 30 минут, что соответствует периодам акустико-гравитационных и внутренних гравитационных волн, способных распространяться практически вертикально из области метеорологического шторма до высот верхней атмосферы. В наблюдениях частотных характеристик вариаций ПЭС над станцией VIS0 (57°48' N, 18°37' E) отмечается существенное усиление амплитуд гармоник с периодами 10-16 минут с максимумом в день метеорологического шторма 30 октября 2017 г. и 23-24 октября 2018 г. Усиление вариаций с периодами 10-16 минут согласуется с областью метеорологического шторма в тропосфере и возмущений, регистрируемыми в E и F областях ионосферы.



# Заключение

Результаты анализа ионосферных возмущений, инициируемых метеорологическими штормами в Калининградском регионе в 2017–2018 гг., показали:

1. При прохождении метеорологических штормов амплитуды возмущений ионосферных параметров  $TES$  и  $foF2$  вдвое превысили стандартное отклонение от медианных значений: в 2017 году – от 2,0 стандартного отклонения; в 2018 году – от 1,5 стандартного отклонения.

2. Результаты наблюдений динамики атмосферы и спорадического слоя  $E_s$  в Калининградском регионе в период метеорологических штормов в октябре 2017 и 2018 гг. наблюдается существенное понижение критической частоты спорадического слоя  $E_s$  ниже порога чувствительности ионозонда. Наблюдаемые явления на высотах  $E$  области, по-видимому, обусловлены распространением АГВ, генерируемых конвективными процессами в нижней атмосфере в периоды метеорологического шторма. Влияние АГВ проявляется в усилении турбулентных процессов в нижней термосфере. Усиление турбулентных процессов ведет к повышению плотности нижней термосферы и повышению эффективности рекомбинационных процессов.

3. Спектральный анализ вариаций ПЭС над станцией VIS0 в Балтийском море отмечается усиление амплитуд вариаций с периодами АГВ 10-16 мин в день метеорологического шторма. Такие волны способны распространяться практически вертикально из области возмущений в нижней атмосфере и достигать высот ионосферы и оказывать существенное влияние на параметры ионосферы. Динамика изменений области таких ионосферных вариаций вполне согласуется с изменением положения области низкого давления в тропосфере.