

Рис.1. Схема расположения европейских передатчиков, сигналы от которых принимаются в ГФО «Михнево»

Электромагнитное излучение сверхдлинного волнового диапазона (СДВ, 3-30 кГц) является наиболее эффективным инструментом для исследования состояния и динамики нижней ионосферы во время различных гелиогеофизических возмущений (солнечные вспышки, магнитные бури, высыпания заряженных частиц, прохождение утреннего и вечернего терминатора). Для исследования процессов, происходящих в нижней ионосфере, в геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН с 2014 года ведется непрерывная регистрация вариаций амплитудно-фазовых характеристик сигналов ряда СДВ передатчиков (Рис.1.), расположенных по всему миру [Ryakhovskiy et al., 2021].

Большой объем экспериментальных данных по вариациям параметров СДВ-сигналов позволил нам существенно продвинуться в исследовании ионизационно-рекомбинационных процессов, происходящих в нижней ионосфере во время солнечных вспышек различного класса [Ryakhovskiy et al., 2024].

Разработанная методика оценки временных задержек отклика нижней ионосферы на солнечные вспышки, позволила нам в автоматическом режиме проанализировать 210 вспышек произошедших в период с 2014 по 2024 года. Суть методики заключалась в определении временных интервалов Δt между максимумами потоков рентгеновского излучения (GOES) и экстремумами амплитуд и фаз сигналов от СДВ передатчиков (Рис. 2.)

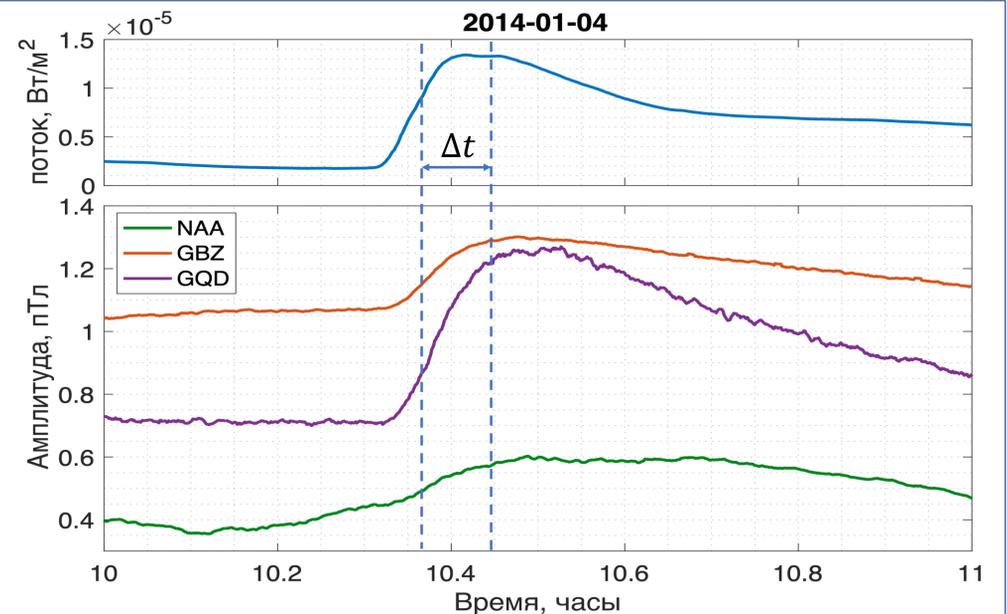


Рис.2. Динамика амплитуд СДВ сигналов во время солнечной вспышки M1.9. На верхней панели поток рентгеновского излучения по данным спутника GOES, на нижней панели амплитуды сигналов от станций NAA, GQD и GBZ, зарегистрированные в ГФО «Михнево»

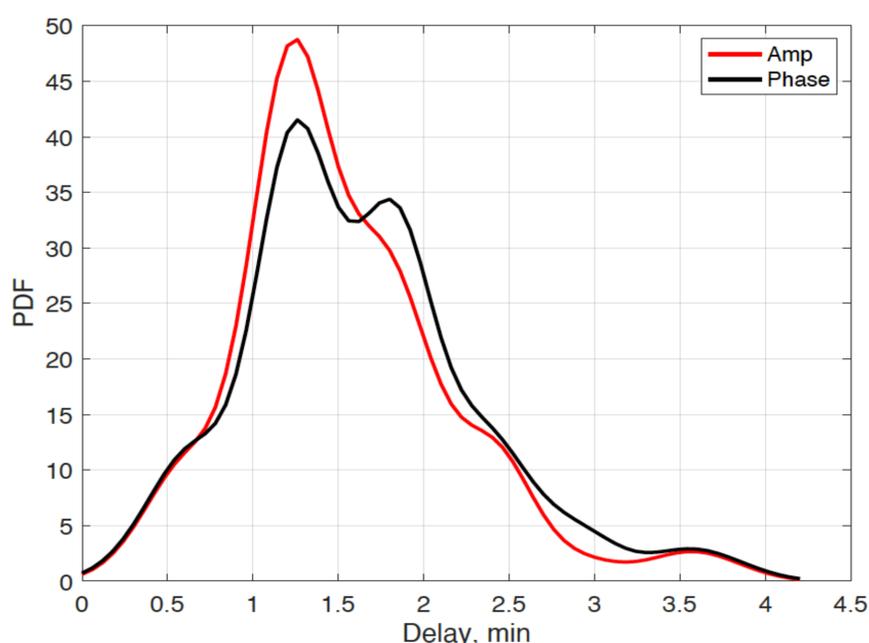


Рис. 3. Распределение временных задержек Δt , определенных по амплитудным и фазовым данным, для солнечных вспышек C-, M- и X- класса, произошедших в период с 2014-2024 года

В результате проведенного анализа было построено распределение временных задержек Δt , определенных по амплитудным и фазовым данным, для солнечных вспышек C-, M- и X- класса. Преобладающая задержка определенная по амплитудам и фазам сигналов СДВ диапазона составила 75 секунд. Дальнейшие исследования предполагают определение эмпирических зависимостей величины задержки от энергетики вспышек.

Полученные результаты в дальнейшем можно будет использовать для коррекции коэффициентов ионизации и рекомбинации нижней ионосферы.

Литература:

- Ryakhovskii, I. A., Gavrilov, B. G., Poklad, Y. V., Bekker, S. Z., & Ermak, V. M. (2021, September). The State and Dynamics of the Ionosphere from Synchronous Records of ULF/VLF and HF/VHF Radio Signals at Geophysical Observatory "Mikhnevo". *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 57 (5), 718-730. doi: 10.1134/S1069351321050177
- Ryakhovskiy, I. A., Poklad, Y. V., Gavrilov, B. G., & Bekker, S. Z. (2024). Estimation of the ionospheric D-region ionization caused by X-class solar flares based on VLF observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 129, e2023JA031532. <https://doi.org/10.1029/2023JA031532>