

РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ КРУПНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2010-2011г.г. МЕТОДОМ СПУТНИКОВОЙ РАДИО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

В.И. Захаров, В.Е. Куницын, М.А. Титова

Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова г. Москва, Россия
zvi_555@list.ru; atm_5571@phys.msu.ru

В результате большого количества разнообразных исследований установлено, что источниками акустико-гравитационных волн (АГВ) в атмосфере могут быть наряду с прочими и различные литосферно-атмосферные, такие как землетрясения, извержения вулканов, ураганы, грозы и др. [1] Все эти феномены на границе раздела земля - воздух могут порождать атмосферные волны, которые распространяются на большие высоты. [2] Из-за экспоненциального спада плотности атмосферы при росте высоты амплитуда акустических и АГВ- волн может значительно возрасти в верхней атмосфере, где они приводят к изменениям равновесных распределений нейтральных и заряженных частиц. Получающиеся флуктуации плотности заряженных частиц могут в ряде случаев регистрироваться различными прецизионными радиофизическими методами [2,3].

Общее рассмотрение теории генерации волн в атмосфере возмущениями, распространяющимися от земной поверхности Земли и океана, достаточно сложно и некоторые различные, наиболее существенные для геофизических приложений аспекты этой проблемы даны в работах [4,5].

Кроме того, важнейшим фактором, влияющим на ионосферу является солнечная активность и изменение магнитного поля Земли, поэтому в ионосфере обычно наблюдают суперпозицию волновых возмущений от разных источников – как наземных, так и атмосферных или космических.

В работе на основе применения метода GPS- радиointерферометрии рассмотрены результаты регионального мониторинга верхней ионосферы и проведен комплексный региональный анализ данных наземных наблюдательных станций, объединенных в глобальные (IGS и UNAVCO) и региональные (GEONet) сети в периоды крупных землетрясений 2010-2011г.г. Приводятся примеры локализации выявленных волновых структур структур в некоторых случаях, когда удается связать указанные возмущения с конкретными источниками для сейсмических событий (периодов землетрясений) на о. Гаити, группы землетрясений в Южной Америке и землетрясения в Японии 2011г. Всего нами обработано свыше 100 тыс. часов индивидуальных наблюдений или более 30 млн измерений фазы.

Сейсмособытия развивались на фоне умеренно или слабо возмущенной геомагнитной обстановки и потому резкие изменения свойств ионосферных неоднородностей, зарегистрированные в изучаемый период времени, не могут быть объяснены вариациями только гелио- и геомагнитных условий. Итак, нами получено, что рассмотренные крупнейшие землетрясения 2010-2011г.г. дают статистически значимый отклик на ионосферных высотах. Отклик ионосферы есть суперпозиция различных процессов, причем в сейсмических областях возможно параметрическое «раскачивание» ионосферы циклом слабых землетрясений.

Выявлено, что после землетрясения происходит дополнительная турбулизация верхней атмосферы, что приводит к изменению параметра α степенного спада спектра ионосферных неоднородностей для спектров выделенных волновых структур, имеющих скорости, соответствующие АГВ (от 300 до 1200 м/с).

$$S(k) \sim k^\alpha, \quad k=2\pi/\lambda,$$

где λ - характерный размер волнового возмущения. Получено, что запаздывание возникновения «реакции ионосферы» на конкретные события составляет от 8 до 12 часов.

Геофизический анализ результатов позволяет произвести географическую привязку выделенных методами кластеризации волновых структур [6]. Полученные данные о локализации кластеров ионосферных структур, нанесенные на карту, позволяют сделать предварительный вывод о том, что их местоположение совпадает (в пределах указанной точности) с границами тектонических плит, разломов и областей их движений.

Общий анализ полученных данных [7] позволяет сделать также вывод, что сейсмически активные районы генерируют акустические волны не только во время, но до и после активной фазы землетрясения, причем источником волновых структур является не только будущий эпицентр, но прежде всего вся область подготовки землетрясения, включая границы тектонических плит и активные разломы, расположенные в регионе.

В месте начального возмущения могут существовать долгоживущие локализованные вихри, исчезающие под влиянием сравнительно медленных диссипативных процессов. Подобный источник может находиться как на поверхности океана, так и в атмосфере.

В заключении необходимо отметить, что часть волновых возмущений, проявляющихся на высотах верхней атмосферы, связана с турбулизацией воздушных потоков различными атмосферными явлениями. В качестве них могут выступать крупные тайфуны или циклоны, а также возмущения натекающих воздушных масс от разнообразных орографических препятствий, например, областях резкого изменения подстилающей

поверхности от береговую кромку или других орографических возмущениях, например, горных массивов или отдельных гор. Иными словами, дополнительным источником ионосферного возмущения могут быть волны плавучести, возникающие в результате взаимодействия воздушных масс с особенностями рельефа в исследуемом регионе. Последнее обстоятельство затрудняет в ряде случаев однозначную интерполяцию получаемых результатов.

Все сказанное требует учета процессов волновой передачи энергии из различных геосферных источников в ионосферу для модернизации существующих представлений о особенностях развития и течения различных процессов и взаимодействий в системе геосфер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hocke K., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances : 1982-1995. // Ann. Geophysicae. 1996. V.14. P. 917-940.

2. Гершман Б.Н., Ерухимов А.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. М., 1984, 386 с

3. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS- мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск, СО РАМН. 2006.

4. М.Б.Гохберг, С.Л. Шалимов Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. Москва, РАН Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта, 2004. с.17-20

5. Крысанов Б., Куницын В.Е., Холодов А.С. // Журнал Вычислительной математики и математической физики (2011), т. 51, № 2, с. 282–302

6. Захаров В. И., Будников П. А. // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия, 2012. N 1. с. 26-32

7. Zakharov V.I., Kunitsyn V.E., Titova M.A. // URSI GASS 2011, August 12-19, Istanbul, Turkey. Paper 1270 (GP1.17).