

**СЕЙСМО-ИОНОСФЕРНЫЕ ВАРИАЦИИ 26 ДЕКАБРЯ 2009 ГОДА
SEISMO-IONOSPHERIC VARIATIONS ON DECEMBER, 26 2009**

И.Н. Поддельский, А.И. Поддельский

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, podd-igor@yandex.ru

With each year all becomes more essential the decision of a problem of the short-term forecast of earthquakes. In a world research practice there is an experience specifying an opportunity of the short-term forecast of earthquakes. Such opportunity was discussed with use of a method of radiosounding of a condition of an ionosphere, for example, in works [1,2]. The question of increase of reliability of detection ionospheric harbingers of earthquakes, however, remains actual. In the given work results of research magnetospheric and ionospheric effects previous and accompanying rather strong earthquake close of Magadan on December, 26th, 2009 are presented. Researches were spent in the Magadan geophysical observatory IKIR FEB the Russian Academy of Science located in item Stekolny Magadan of area (60°N, 151°E). By results of vertical sounding an ionosphere it was possible to estimate seismo-ionospheric variations of critical frequencies and operating heights layers of ionosphere.

В сообщении представлены результаты исследований ионосферных эффектов во время землетрясения на северо-востоке России, примерно в 60 километрах от Магадана. Землетрясение произошло 27 декабря в 10 часов 22 минуты по местному времени (или 26.12.2009 г. в 23:22:07 по UT). Координаты эпицентра - 59,72 градуса северной широты, 151,14 градуса восточной долготы. Гипоцентр, то есть очаг землетрясения, находился на глубине 10 километров, магнитуда, то есть количество энергии в гипоцентре, составила 5,2. Особый интерес представлял тот факт, что эпицентр землетрясения попал в зону отражения сигнала станции вертикального зондирования от ионосферы. Для исследования использованы материалы наземного вертикального зондирования и данные о состоянии магнитного поля. Исследования проводились в Магаданской геофизической обсерватории ИКИР ДВО РАН, расположенной в п. Стекольный Магаданской области (60°N, 151°E). Для анализа использованы материалы цифровой автоматической ионосферной станции, аналоговой и цифровых магнитовариационных станций. Определялись суточные вариации параметров ионосферы (критических частот - f_0F2 , f_0F1 , действующих высот - $h'F$ и др.) и магнитного поля (компонент H, D, Z, T). Отмечены вариации ионосферных параметров как во время землетрясения, так и до его начала, которые могут рассматриваться как краткосрочные предвестники землетрясений. Например, измерение критических частот по данным станции наземного вертикального зондирования, расположенной на расстоянии около 70 км от эпицентра землетрясения свидетельствует о том, что сейсмо-ионосферные вариации наблюдаются в течение нескольких суток (3-4) до землетрясения.

Поиски электромагнитных предвестников землетрясений в ионосфере осуществляются в основном посредством регистрации отклонений в фоновом состоянии ионосферной плазмы, которые фиксируются, как правило, относительно средних значений уровня электронной концентрации в максимуме слоя F2. Электронная концентрация в максимуме слоя F2 ионосферы является одним из наиболее чувствительных параметров, связанных с сейсмической активностью и, достаточно точно, следит за состоянием ионосферного слоя F2 и его пространственно-временными изменениями, коэффициент корреляции между параметрами TЕС и f_0F2 может достигать 0,9. Таким образом, в настоящее время использование TЕС является одним из наиболее эффективных средств в изучении пространственно-временной модификации ионосферы. К настоящему времени накоплены значительные экспериментальные данные наблюдений аномальных изменений состояния ионосферы в периоды времени, предшествующие сильным землетрясениям [1-3]. Длительности упреждения этими аномалиями момента сейсмического толчка варьируются от нескольких часов до единиц суток. Такие аномалии могут быть использованы как оперативные предвестники землетрясений. Анализ критических частот слоя F2, проведенный в [2], позволил сделать вывод, что в широкой области ионосферы в период подготовки землетрясений происходит общее увеличение электронной концентрации в слое F2 за 2-3 суток до момента толчка, а за сутки до начала землетрясения отмечается относительный минимум электронной концентрации над эпицентральной областью. Возмущения в максимуме слоя F2 характеризуются, как правило, изменениями критических частот (максимума электронной концентрации) и высоты максимума слоя F2. Они могут быть весьма значительными и приводить к перераспределению пространственно-временной структуры ионосферы. Во многих работах рассматриваются и анализируются только сильные землетрясения силой $M > 5$. В тоже время несколько в стороне остаются землетрясения, магнитуда которых не превышает 4-5 баллов по

шкале Рихтера. По-видимому, эта задача в настоящее время трудна для реализации ввиду малости влияния тектонических эффектов землетрясений на состояние ионосферы. Тем не менее, землетрясений с магнитудой $M=4-5$ баллов, очень много, и материалы работ [4-6], описывающих состояние ионосферы во время землетрясений на северо-востоке России, относятся именно к таким. Обнаружение ионосферных эффектов землетрясений усложняется за счет фоновых вариаций день ото дня, а также в периоды геомагнитных возмущений, когда значительно более сильные вариации параметров ионосферы "маскируют" более слабые сейсмо-ионосферные эффекты. Поэтому обязательным является изучение поведения индексов геомагнитной активности. В течение недели до землетрясения 26 декабря 2009 года, которое произошло на расстоянии около 70 км юго-западу от п. Стекольный (магнитуда землетрясения составила $M = 5.2$, главный толчок произошёл в 23:22 UT), наблюдалась спокойная геомагнитная остановка с мало выраженными суточными изменениями параметров магнитного поля. Только 25 декабря (с 15 до 23 UT) и 27 декабря (с 09 до 16 UT) были отмечены небольшие возмущения магнитного поля.

На рис.1 представлено относительное отклонение величин критической частоты $foF2$ и действующей высоты $h'F$ от медианных значений, построенные за несколько суток до землетрясения и за сутки после него.

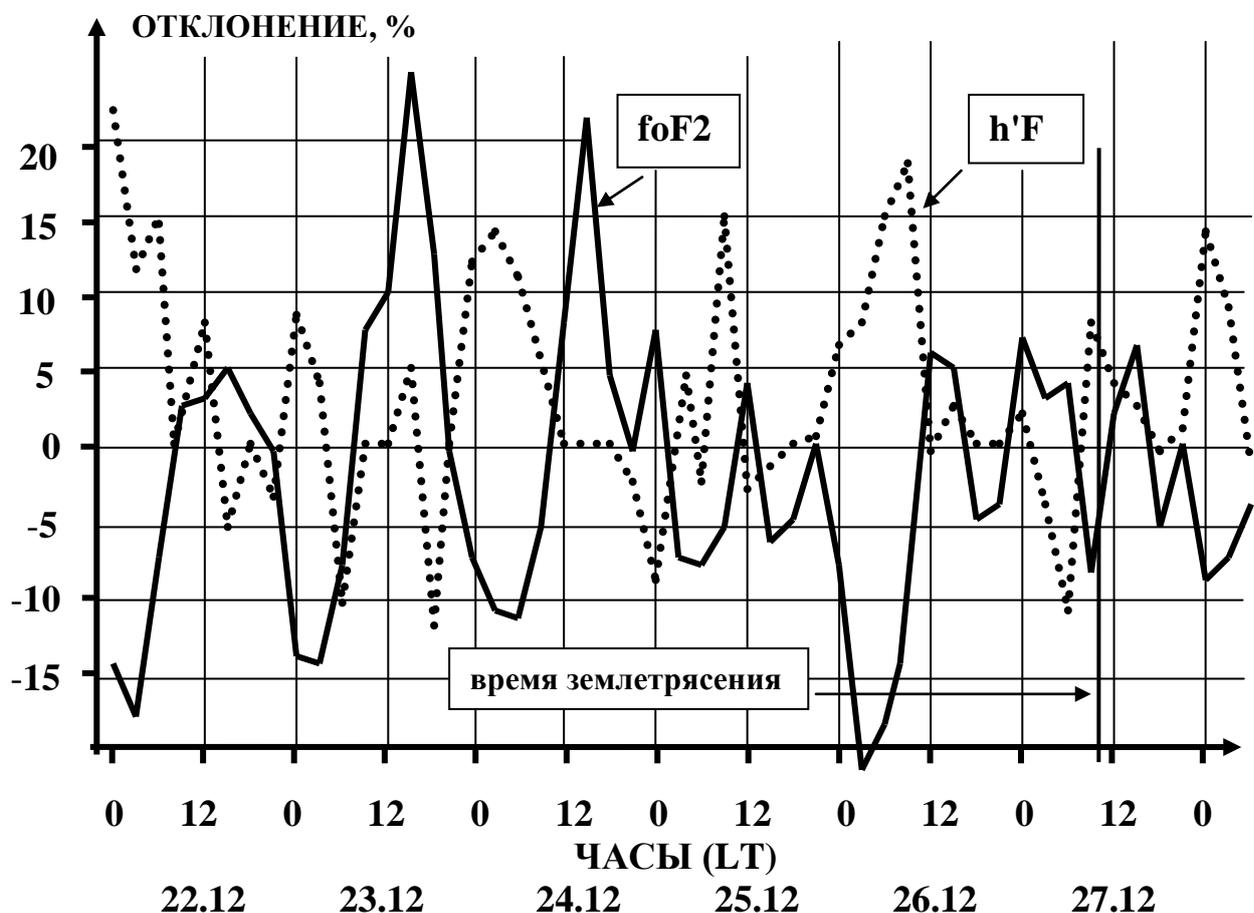


Рис.1. Относительное отклонение величин критической частоты $foF2$ (сплошная линия) и действующей высоты $h'F$ (пунктирная линия) от медианных значений.

На рисунке отчетливо наблюдаются резкие изменения указанных параметров за несколько суток до начала землетрясения, особенно это проявляется в сильном увеличении значений критической частоты $foF2$ в послеполуденное время и уменьшении в ночные часы. За 5-6 суток до начала землетрясения начинается сильное уменьшение критической частоты (на 10-15%) в ночное время, которое повторяется в указанное время до самого землетрясения. За полутора суток до землетрясения (26 декабря) в период с 03 до 06 часов наблюдается минимальное значение $foF2$ (2,0-2,1 МГц). В дневное время (с 15 до 18 часов местного времени), напротив, отмечено увеличение значений $foF2$ относительно регулярных значений за четверо и трое суток до землетрясения, причем за 1-2 суток и в момент землетрясения сильного увеличения значений $foF2$

не зарегистрировано. Для большей наглядности на рис.2 представлено распределение относительного изменения критической частоты в течение с 18 по 30 декабря 2009 года в различное время суток, что позволяет определить когда вклад сейсмического воздействия на параметры ионосферы наиболее значителен. Из рассмотрения указанного рисунка видно, что сейсмо-ионосферные вариации начинаются за 4-5 суток и наиболее проявляются в ночное (3 часа LT - сильное уменьшение значений критической частоты) и в дневное (15 часов LT - увеличение значений критической частоты) время.

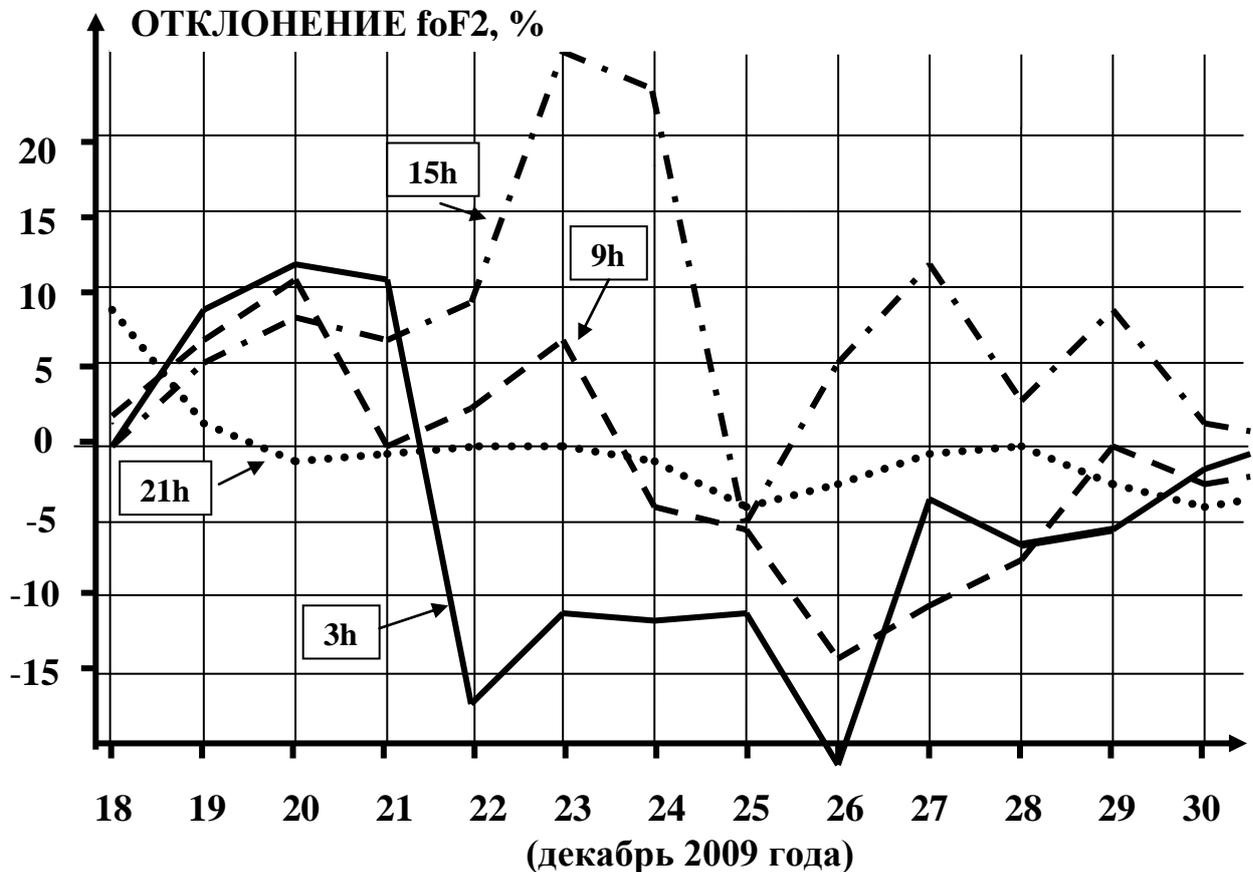


Рис.2. Относительное отклонение величин критической частоты f_oF_2 от медианных значений в различное время суток.

Изменение значений действующих высот $h'F$ за счет сейсмического эффекта менее выразительно и противофазно изменению f_oF_2 . За несколько суток до землетрясения относительные отклонения значений $h'F$ сильно увеличиваются в ночное время и несколько уменьшаются в дневное. За 24-30 часов до начала землетрясения значения $h'F$ выше среднесуточных на 40-60 км, а во время землетрясения приближаются к ним. Сейсмо-вариации действующих высот небольшие в сравнении с их вариациями во время магнитных возмущений.

Возможно, что источником ионосферных возмущений может быть фронт акустико-гравитационных волн от очага землетрясения, под воздействием которого возникают четко различимые всплески отклонения величины f_oF_2 (до 0,6 МГц) и $h'F$ (30-40 км). Они появляются за несколько суток и часов до землетрясения. Основная особенность заключается в том, что значения f_oF_2 до начала землетрясений в ночное время (за 1-5 суток) на 10-15 процентов ниже их среднесуточных значений, а в дневное время (за 3-5 суток и непосредственно перед началом) выше и возвращаются к среднесуточным значениям через 1-2 суток после его начала. За 24-36 часов до землетрясения значение критической частоты уменьшается в любое время суток, особенно в ночные и утренние часы. Тем самым подтверждаются выводы полученные в [3] об отрицательных возмущениях перед началом землетрясений. Исследования суточных ходов f_oF_2 показывают, что ионосферный отклик от воздействия фронта АГВ наблюдается часто в виде небольшого (от 0,1 МГц до 1 МГц), но всегда заметного всплеска увеличения f_oF_2 в дневное время, в то время как магнитная буря приводит к уменьшению значений f_oF_2 относительно их

средних суточных значений. Окончание землетрясения сопровождается возвратом значений foF2 к среднесуточным.

Представленный материал о небольшом землетрясении вблизи г. Магадана, когда измерения проводились вблизи эпицентральной области, дополняет ранее проделанные исследования [4-6] и подтверждают выводы других исследователей, приведенные в начале этой работы. Анализ поведения критических частот по данным станций наземного вертикального зондирования, расположенной вблизи эпицентра землетрясений, позволил выделить следующие особенности изменения критической частоты в период сейсмо-ионосферных вариаций, регистрируемых в период подготовки землетрясения: 1) Сейсмо-ионосферные вариации более кратковременны (3-4 часа), чем вариации, наблюдаемые во время магнитных бурь (8-36 часов); 2) Сейсмо-ионосферные вариации наблюдаются в течение нескольких суток (2-5 суток) до землетрясений в одно и то же местное время; 3) знак сейсмо-ионосферных вариаций жестко связан с моментом местного времени (в 02-06 LT всегда наблюдаются только отрицательные вариации, тогда как в 14-18 LT . только положительные).

Возможно, для таких землетрясений лучше использовать другой критерий, характеризующий фоновое состояние ионосферы. Применение в этих случаях в качестве критерия величины отклонений от среднего состояния фонового состояния ионосферной плазмы не достаточно эффективно и, может быть, более чувствительным параметром окажется не значение электронной концентрации в максимуме слоя F2, а скорость ее изменения. При этом необходимо рассматривать и анализировать состояние не только ионосферы и не только вблизи эпицентра землетрясений, но и другие геофизические параметры, сравнивая их характер и поведение как в зоне землетрясения, так и в районах, удаленных от эпицентра на большие расстояния и находящихся с ним примерно в одном и том же часовом поясе.

Литература

1. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Зеленова Т.И. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени. //Геомагнетизм и аэрономия. 1998, т.38, с.178-183.
- 2 . Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука. 1992. с. 304.
3. Liperovsky V.A., Meister C.V., Liperovskaya E.V. e.a. On spread-Es effects in the ionosphere before earthquakes. // Natural Hazards and Earth System Sciences.- 2005. – Vol.5. P. 69-62.
4. Poddelsky I.N. Poddelsky A.I. “Ionospheric and magnetospheric disturbance during earthquake in northeast of Russia” Proceeding of XV Joint International Symposium. Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. Krasnoyarsk, 2008.p.166.
5. Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. “Seismo-ionospheric variations” Proceeding of XVI Joint International Symposium. Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. Томск, 12-15 октября 2009 г.
6. Поддельский И.Н., Поддельский А.И. Радиофизические методы регистрации землетрясений на Северо-Востоке России. Всероссийская конференция «Чтения памяти академика К.В.Симакова». Тезисы докладов. Магадан. 2007.с.74-76.