

## ИОНОСФЕРНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФРОНТА АГВ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

### IONOSPHERIC MANIFESTATION OF THE AGW FRONT INFLUENCE FROM EARTHQUAKES IN THE EAST-SIBERIAN REGION

*Л.Д. Филиппов, А.Е. Степанов, В.Ф. Смирнов*

*Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН*

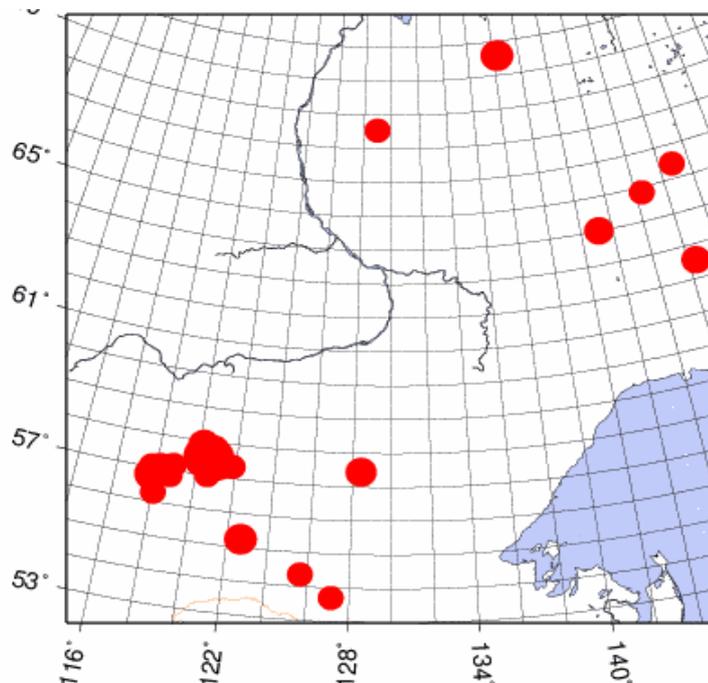
On the measurement data of foF2 by DPS-4 digital ionozond the comparison of beginning moments of earthquakes with the critical frequency time variation was carried out for Yakutsk and Zhigansk ionospheric stations for the years 2003-2005. Color division of vertical and oblique radioreflexion traces on DPS-4 ionograms considerably simplifies their interpretation and processing and makes the performed comparisons correct enough.

Under the influence of the acoustic-gravitational wave (AGW) front from epicenters of earthquake clear foF2 increases appear in the daily course of foF2 values. Triangulation measurements of AGW front propagation time in Yakutsk and Zhigansk give the estimation of AGW front propagation velocity, it is about 350 m/s.

By the method of epoch superposition it is shown that for eastern and southern directions normalized average foF2 values are less before earthquakes than after event.

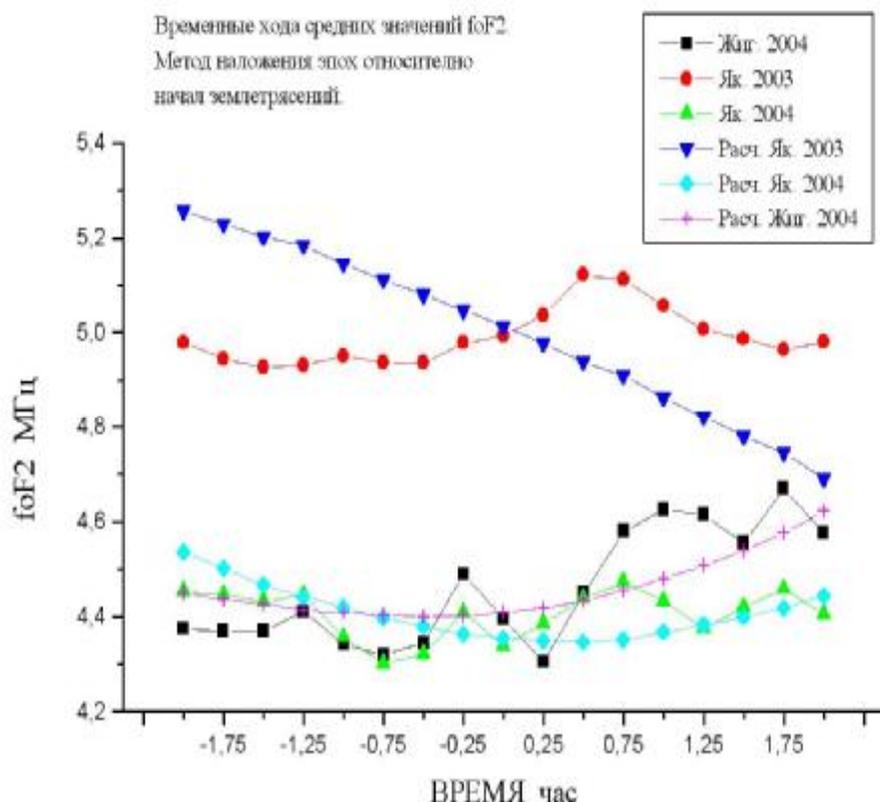
О воздействии землетрясений и взрывов на земную ионосферу известно давно [например 1, 3]. Авторы считают, что фронт акустико-гравитационных волн от очагов землетрясений может быть источником ионосферных возмущений. В последнее время эта тема становится вновь актуальной.

На рис.1 приведена карта рассматриваемого региона с обозначением очагов землетрясений. Выделяются, по отношению станций наблюдения, южные и восточные группы очагов. Нами были рассмотрены более 20 случаев землетрясений на Северо-Востоке России по каталогу ЦОМЭ за 2003-2004 г.г. и 21 случай в 2005 г. Методом наложения эпох проведено сопоставление моментов начал землетрясений на расстоянии до 1200 км. от Якутска с временным ходом foF2 по данным измерений на дигизондах DPS-4 в Якутске (62N, 129.7E) и Жиганске (68N, 123.5E). Прибор DPS-4 имеет высокую чувствительность, хорошее частотное разделение и возможность цветового разделения вертикальных и наклонных отражений. Дискретность частотного шага (ошибка измерений



0,05 МГц. Это позволяет уверенно снимать с ионограмм значения критических частот F-слоя ( $f_oF_2$ ) и делает достаточно корректными измерения вертикальных ионосферных параметров в условиях диффузности и ионосферных возмущений. По ионограммам строятся высотные профили Ne и рассчитывается параметр  $f_oF_2p$ - критическая частота слоя F по модели IRI. На рис.2 приведены временные хода значений  $f_oF_2$  наблюдаемых в Якутске за 2003 и за 2004г. в Якутске и Жиганске с соответствующими им значениями  $f_oF_2pn$  ( $f_oF_2pn=f_oF_2p+A$ , т.е. нормирован так, что среднее по выборке значение  $f_oF_2$  равно среднему  $f_oF_2pn$ ), усредненные методом наложения эпох относительно начала землетрясений. 2003 г.: Якутск-10случаев, 2004г: Якутск-15, Жиганск-13.

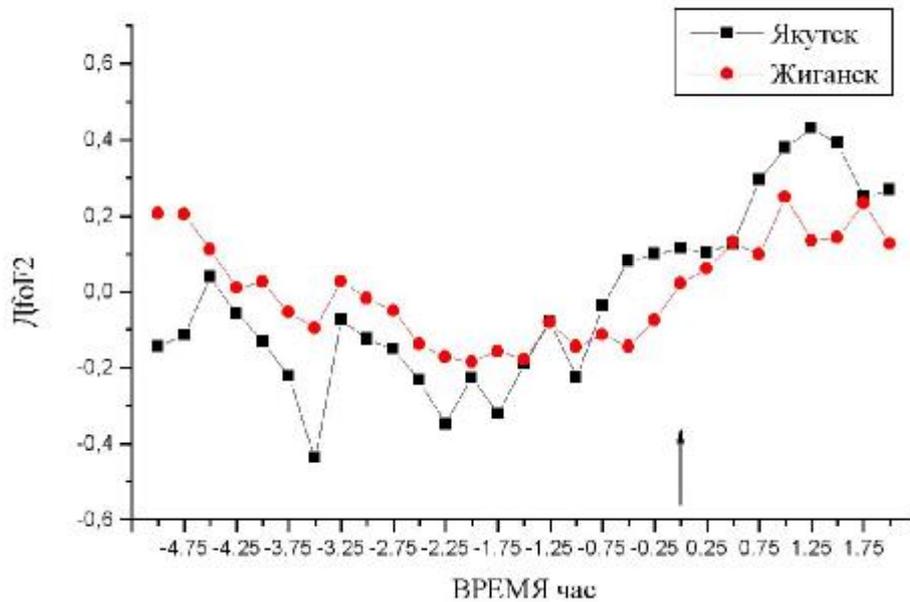
Основная особенность рисунка в том, что значения  $f_oF_2$  до начала землетрясений в



среднем ниже их значений после начала. Тем самым подтверждаются выводы, полученные в [2, 4] об отрицательных возмущениях перед началом землетрясений.

Из рис.2 видно, что временные вариации хода  $f_oF_2$  в Якутске и Жиганске до землетрясения совпадают, а после начала землетрясения корреляционная функция средних временных ходов  $f_oF_2$  Якутска и Жиганска имеет максимум при сдвиге на 15 минут.

2005г. Временной ход дневных значений  
дельта foF2 для южных направлений



На рис. 3 приведены временные хода дневных значений  $\Delta foF2 = foF2 - foF2_{pn}$  за 2005 г. по Якутску и Жиганску, кроме отмеченного выше факта повышения ионизации после землетрясения, на временном ходе  $\Delta foF2$  в Якутске виден существенный положительный всплеск ионизации через 30 минут после начала землетрясений. Для Жиганска на фоне подъема ионизации всплеск  $\Delta foF2$  происходит через 45 минут от начала.

Поскольку основная масса очагов землетрясений в 2005 г. расположена на Юге, можно, используя метод триангуляции, по полученному временному сдвигу оценить скорость распространения возмущающего фронта. Разница расстояний от “среднего” очага до Якутска и Жиганска, равная 330 км, дает скорость 360 м/сек.

Можно предположить, что ионосферный отклик на приход возмущающего фронта АГВ от землетрясений будет проявляться в виде положительных возмущений хода  $foF2$  с временным сдвигом, зависящим от расположения станций относительно очага.

Детальное рассмотрение суточных ходов  $foF2$  показывает, что ионосферный отклик от воздействия фронта АГВ наблюдается в виде небольшого, но всегда заметного всплеска увеличения  $foF2$ . Например, на рис.4 показаны суточные хода значений  $foF2$  в Якутске и Жиганске за 11.10.2004 г.

Землетрясение произошло в 17,23 UT (стрелка на рис. 4) на расстоянии 184 км на восток от Якутска. Если принять, что ударная волна распространяется со скоростью 20 км/минуту, а высоту ионосферы 300 км, то расчетное время движения фронта АГВ до зенита Якутска будет равно 18 минут. Оно укладывается в интервал времени 7-22 минуты, в течение которого произошло наблюдаемое увеличение  $foF2$ . В Жиганске заметное возмущение хода  $foF2$  было в интервале 28-33 минут после землетрясения. Расстояние зенита станции от очага 760 км. Фронт должен пройти это расстояние за 38 минуты. Но нужно учесть, что станции располагаются за плазмопаузой, где ионосфера на высоте 300 км не соприкасается с Землей, и фронт ударной волны движется в среде, под которой вращается Земля. Значит, фронт АГВ очагов на Востоке от станции и станция движутся навстречу, тогда оценочное расчетное время равно 30 минут входит в наблюдаемый временной интервал.

С этих позиций были рассмотрены 24 землетрясения за 2003-2004 г. г. Только в 5 случаях всплески ионизации, принятые в качестве ионосферного отклика на

землетрясения, не соответствуют приведенной методике расчета времени прохождения фронта ударной волны со скоростью 20 км/сек.

### Обсуждение

Из выше изложенного следует факт, что относительные значения  $f_oF_2$  до землетрясения меньше, чем после него. Физическим объяснением этому может быть генерация в зоне очага землетрясения такого электрического поля, которое уменьшает ионизацию над пунктами наблюдения. Выключение генератора в момент землетрясения должно увеличить ионизацию.

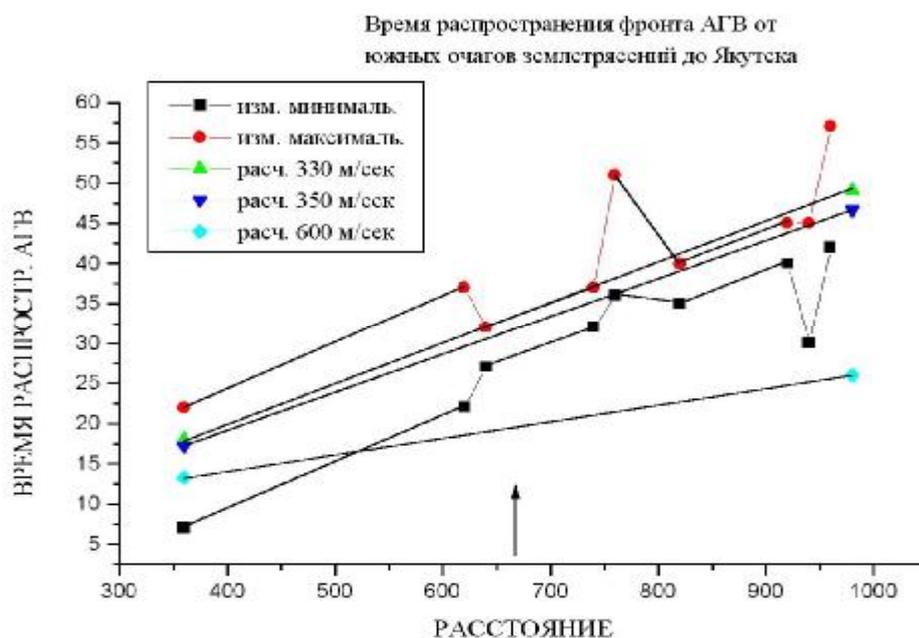
Из рассмотренных в 2003-2004 г.г. 24 случаев большая часть (15) была с восточных направлений, а в 2005 г. взяты южные направления, поэтому в 2005 г. отчетливо проявляется приход АГВ в Якутск и Жиганск.

Возможны три пути распространения АГВ от очагов землетрясения до зенита пункта наблюдения ионосферы на высоте 300 км:

1. Земная сейсмическая волна до пункта наблюдения – АГВ вертикально вверх до ионосферы.
2. АГВ вертикально вверх до ионосферы – вдоль ионосферы до зенита станции.
3. Прямой луч АГВ от очага землетрясения до зенита ионосферы над точкой измерения.

В случаях распространения на значительные расстояния первый путь можно исключить, поскольку земная волна очень быстро затухает. Для второго и третьего пути проведено сравнение расчетных и измеренных значений времени распространения фронта АГВ от южных очагов до Якутска. Результаты даны на рис. 4.

Видно, что измеренные значения очень близки к значениям времен, рассчитанным при скорости движения фронта АГВ равной 330 м/сек.



Линия времени для второго пути, рассчитанная при скорости фронта 600 м/сек [4], располагается существенно ниже измеренного диапазона времен. По-видимому, можно принять скорость фронта АГВ, равной 330-360 м/сек.

В таблице приведены 5 случаев, когда измеренное время распространения на 5-7 минут больше расчетных при восточном расположении очагов, а это не согласуется с выбранной методикой. Возможно, что выбранные всплески  $f_oF_2$  вызваны причинами не связанными с землетрясениями. С другой стороны нужен учет ионосферных ветров, поскольку в субавроральной ионосфере скорость ветра может достигать 1000 м/сек.

Из вышеизложенного следует:

1. Ионосферный отклик на воздействие АГВ от землетрясений проявляется в слое F в виде всплесков ионизации со значениями от 0.1 МГц до 1 МГц всегда уверенно выделяющихся на временном ходе ионизации.
2. Для случая распространения по прямой скорость ударного фронта АГВ равна 330-360 км/сек.
3. При расчетах времени распространения АГВ в ионосфере высоких широт на большие расстояния необходим учет соvrращения ионосферы с землей.

#### Список литературы

1. Дробжев В.И., Краснов В.М., Салихов Н.М. Об ионосферных возмущениях, сопровождающих землетрясения и взрывы // Изв. Вузов. Радиофизика. 1979. Т.22, N12. С. 1862-1863.
2. Климов Н.Н., Шашункина В.М., Юдович Л.А. Перемещающиеся ионосферные возмущения в период магнитосферных бурь // Сов. Радио. 1980. N30. С.69-73.
3. Тарашук Ю.Е., Нагорский П.М., Борисов Б.Б. и др. Нестационарные процессы в ионосфере земли и их влияние на распространение коротких радиоволн. – Томск : Томский университет. 1986.
4. 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. 69-72.