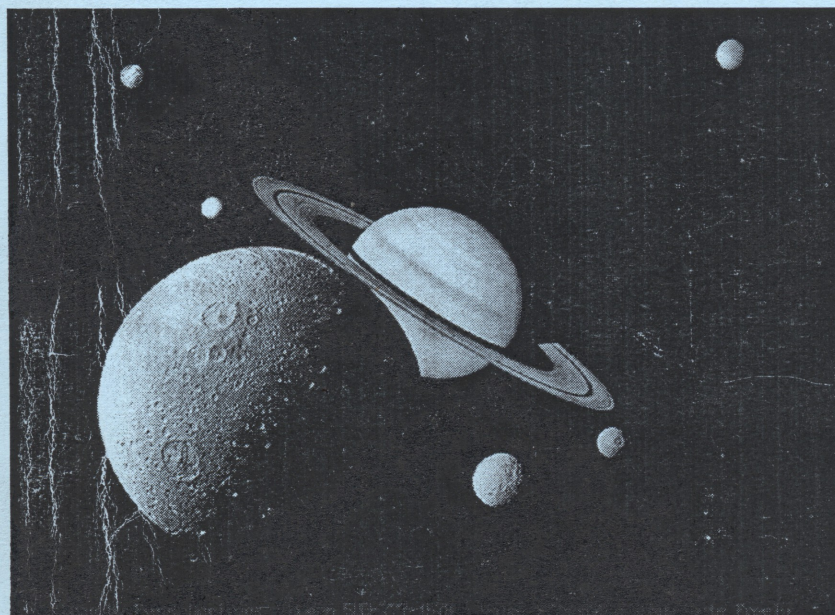


Міністерство освіти і науки України  
Миколаївська астрономічна обсерваторія



**ЗАСТОСУВАННЯ ПЗЗ-МЕТОДІВ  
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТІЛ  
СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ**

**Калюжный Н.А., Сливинский А.П., Ураев В.П.**

**ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ И СЛЕДУЮЩИЕ ЗА СИЛЬНЫМ  
САХАЛИНСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ ВОЗМУЩЕНИЯ  
ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ СВЕРХДЛИННОВОЛНОВЫХ  
НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОСТАНЦИЙ**

*1. Результаты предварительных исследований*

Согласно имеющимся данным экспериментальных и теоретических работ по исследованиям возмущений ионосферы над очагами подготовки землетрясений [1,2,3] было показано, что на высотах F2-слоя ионосферы (высоты 200 ... 400 км), по результатам обработки сигнальной информации станций вертикального радиозондирования ионосферы, отмечалось увеличение концентрации плазмы ночной ионосферы (до 40%) за несколько суток до сильных землетрясений, магнитуда (M) которых превышала 5. Подобные явления отмечались и для нижней ионосферы на высотах D-слоя ионосферы (высоты 50 ... 80 км) [4], по результатам обработки характеристик сигналов (амплитуда и фаза), излучаемых фазово-радионавигационными станциями (ФРНС) системы "Омега" на частотах 10 ... 15 Кгц. Для этих случаев было установлено, что искажения сигнальной информации, обусловленные готовящимися землетрясениями, отмечаются на радиотрассах, проходящих в окрестности не более трех зон Френеля от очагов подготовки землетрясений, т.е. на расстояниях не более 1000 км. Это обстоятельство указывает на степень локализации возмущений нижней ионосферы над очагом подготовки землетрясения.

В 1990 году в Украинском радиотехническом институте (г. Николаев) был разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) для регистрации сигналов ФРНС. В процессе испытаний АПК регулярно наблюдались сигналы трех ФРНС, расположенных в Норвегии, Либерии и на острове Реюньон в Индийском океане. Однако с 25.05 по 28.05.90 сигналы указанных ФРНС не наблюдались, несмотря на полную исправность и работоспособность АПК. На этом же интервале времени отмечалось существенное ухудшение проходимости коротких радиоволн, а с 29.05.90 сигналы ФРНС стали вновь наблюдаться без заметных искажений их регулярного хода. 30.05.90 произошло сильное румынское землетрясение с  $M = 6.7$ , с очагом на глубине  $H = 84$  км, отстоящем от г. Николаева на 500 км. Такие особенности поведения сигналов ФРНС могли быть обусловлены возмущением нижней ионосферы над очагом готовящегося землетрясения, а так как масштабы возмущения не менее 1000 км и пункт регистрации находился в возмущенной зоне, то отношение сигнал/шум должно было уменьшиться в равной мере для всех трех ФРНС, что практически и наблюдалось.

В 1992 году подобный АПК, доведенный до автоматизированного образца, был установлен в пос. Стекольный (Магаданская обл.), в режиме круглосуточной регистрации сигналов трех ФРНС, расположенных на острове Цусима (Японское море), в Австралии и на Гавайских островах. Ре-

гистрация сигналов проводилась путем последовательного опроса трех частот — 10.2, 11.3, 13.6 кГц, для всех трех ФРНС.

*2. Экспериментальные данные по сигнальной информации, полученной на радиотрассе Стекольный-Гавайи с апреля по июнь 1995 г.*

Сильное сахалинское землетрясение с  $M = 7.2$  и  $H = 100$  км, очаг которого располагался в 750 км от пункта регистрации, произошло 27.05.95. В этом случае характер возмущений сигналов ФРНС мог быть подобен тому, который наблюдался по разрушительному румынскому землетрясению 30.05.90. Поэтому апостериорная сигнальная информация подвергалась анализу на предмет обнаружения интервалов времен с заметно пониженным уровнем амплитуд сигналов по всем радиотрассам и по всем частотам излучений ФРНС "Омега". Так как с января 1992 года по апрель 1995 года не было выделено подобных интервалов времен, то подробный анализ сигнальной информации проводился с апреля 1995 года.

С 1.04 по 15.04 размах значений фазы (для удобства выражаемый в градусах) сигнала ото дня к ночи составил 220 мкв. Ночная амплитуда сигнала с 1.04 по 15.04 принимала в среднем значения 500 мкв, дневная амплитуда — 320 мкв. Средние значения ночной амплитуды сигнала с 16.04 по 19.04 составляли величину 180 мкв. Дневная амплитуда сигнала с 15.04 по 3.05 в среднем составила величину 250 мкв.

Ночная амплитуда сигнала с 20.04 стала возрастать к 24.04, достигнув максимума 500 мкв, затем снизилась до 70 мкв к 4.05 (26.04 ночная амплитуда снижалась ниже уровня абсцисс, приводимых на графиках с апостериорной информацией).

Дневная амплитуда сигнала 4.05 скачком упала до 30 мкв, размах фазы сигнала при этом практически не изменился. 13.05 дневная амплитуда сигнала скачкообразно возросла до 100 мкв, а с 14.05 по 21.05 величина средних значений дневной амплитуды сигнала уменьшается до 5 мкв. Размах значений величины фазы сигнала с 1.04 по 15.04 уменьшился с 220 до 160 мкв, а с 13.05 по 19.06 динамика фазы сигнала представляла нерегулярный характер. С 21.05 дневная амплитуда сигнала вновь сравнивается с ночной, составляя величину 30 мкв до 19.06, а с 19.06 по 23.06, как ночная так и дневная амплитуды сигналов линейно возросли до 100 мкв, 24.06 они обе возросли до 220 мкв и с 25.06 вышли на свои апрельские значения, какими они были с 1.04 по 15.04. Размах фазы сигнала с 19.06 увеличился до 250 мкв.

*3. Экспериментальные данные по сигнальной информации для радиотрассы Стекольный-Австралия*

Размах значений величины фазы сигнала с 1.04 по 15.04 в среднем составил 420 мкв. Средние значения ночной амплитуды сигнала с 1.04 по 15.04 составляли 200 мкв. Средние значения дневной амплитуды с 1.04 по 15.04 принимали величины 120 мкв. Величина ночных значений амплитуды сигнала с 16.04 по 19.04 снизилась до 30 мкв. Величина дневных

значений амплитуды сигнала с 22.04 снизилась до 30 мкв к 4.05. Ночная амплитуда сигнала с 20.04 начала возрастать, достигнув максимума 200 мкв 22.04, не уменьшалась в среднем до 3.05 (26.04 ночная амплитуда достигала значений ниже минимальных значений, приводимых на рис. 1.).

Размах значений фазы сигнала ото дня ко дню уменьшился до 360 мкв. С 4.05 по 19.06 уровень дневной и ночной амплитуды сигналов ФРНС стал сравним и составил величины порядка 20–30 мкв. Динамика фазы на этом интервале носила нерегулярный характер. С 19.06 по 23.06 уровень ночной и дневной амплитуд сигналов возросли до 70 мкв и 40 мкв соответственно. С 24.06 средние значения ночной и дневной амплитуд сигналов вышли на величины, которые они принимали в апреле с 1.04 по 15.04. Динамика фазы сигнала стала регулярной, и размах ее значений достиг значений порядка 370 мкв.

#### *4. Экспериментальные данные по сигнальной информации для радиотрассы Стекольный-Цусима*

Средние значения ночной амплитуды сигнала с 1.04 по 15.04 составляли 1100 мкв, а дневной амплитуды – 800 мкв. Значения ночной амплитуды сигнала с 16.04 по 18.04 снизились до 200 мкв, затем возрастала до 1100 мкв 22.04, 26.04, ночная амплитуда сигнала достигла значений ниже минимальных графических отсчетов; далее повышение уровня ночной амплитуды сигнала происходило до 3.05, достигнув величины 300 мкв, при этом значения дневной амплитуды сигнала держалось до 3.05 на уровне 600–700 мкв. Размах значений фазы сигнала до 3.05 не претерпел существенных изменений. С 3.05 по 6.05 приблизительно одинаковый уровень амплитуд сигналов для дня и ночи снизился от значений 120 мкв до значений 50 мкв. Размах значений фазы сигналов с 3.05 уменьшился и сохранялся приблизительно до 20.05 на уровне значений 80 мкв. С 21.05 наблюдались наиболее сильные возмущения фазы сигнала, которые продолжали сохраняться до 25.05 и далее, до 26.06 динамика фазы имела достаточно регулярный вид. С 21.06, так же, как для предыдущих радиотрасс, по 23.06 уровень дневных и ночных амплитуд сигналов возрос со значений 30 мкв до значений 120 мкв. 24.06 произошло скачкообразное увеличение ночных и дневных значений амплитуд сигналов до значений 400 мкв, с последующим их увеличением до значений, сравнимых с их предыдущими апрельскими величинами (с 1.04 по 15.04).

В качестве иллюстрации на рис. 2. приводятся усредненные на 10-ти минутных интервалах временные зависимости ежесуточных реализаций амплитуд сигналов одного частотного канала (13.6 кГц) и для одной радиотрассы – Стекольный–Цусима.

#### *5. Результаты сравнительного анализа особенностей характеристик сигналов*

Отношение среднего уровня ночной амплитуды избираемого на интервале с 1.04 по 15.04 к среднему уровню ночной амплитуды на интервале с 5.05 по 27.05, для гавайской и австралийской радиотрасс, приблизительно

но совпало и составило величину 10, тогда как для цусимской радиотрассы подобное отношение составило величину 18. То есть, для австралийской и гавайской радиотрасс относительные потери энергии излучения сигналов ФРНС над очагом подготовки землетрясения составили 20 дБ, а для цусимской радиотрассы 25 дБ. Последнее обстоятельство позволяет говорить о возможном наличии азимутальной анизотропии возмущения, проявляющейся в наибольшей степени в направлении цусимской радиотрассы. Столь определенного вывода нельзя сделать по анализу возмущений фаз сигналов, так как для всех радиотрасс и различных частотных каналов за несколько дней перед землетрясением нарушался регулярный характер динамики фаз сигналов.

Таким образом при анализе апостериорной сигнальной информации ФРНС системы "Омега" обнаружены строго коррелированные во времени, существенные уменьшения амплитуд сигналов для радиотрасс с различной азимутальной ориентацией и по трем различным частотным каналам (10.2КГц, 11.3КГц, 13.6КГц) для каждой. Такой феномен наблюдался с 4.05 (т.е. начался за 23 дня до землетрясения), по 23.06 (т.е. закончился за два дня перед последним зафиксированным афтершоком 25.06.95).

Столь сильное и длительное во времени возмущение нижней ионосферы нельзя связать с внезапным долговременным повышением солнечной активности, напротив, с начала 1995 года наблюдается ее устойчивый минимум по сравнению с предыдущими годами, когда солнечная активность была существенно выше. Действительно, согласно космическим данным, в рассматриваемый период времени не отмечалось прохождения мощных рентгеновских вспышек на Солнце и сильных магнитных бурь.

Помимо этого для анализа привлекалась апостериорная сигнальная информация, архивируемая с 1988 г., для пункта регистрации, расположенного в г. Омске. В процессе анализа этих данных не удалось выделить подобные вышеописанным особенности характеристик сигналов ФРНС для радиотрасс Омск — Либерия, Норвегия, Аргентина, Северная Дакота (США), остров Реюньон (Индийский океан). Для пункта регистрации в г. Омске замечательным является тот факт, что этот пункт расположен вдали от сейсмоактивных районов на 2000...3000 км и более. Указанные обстоятельства, наряду с ранее отмеченными особенностями проявления сигнальной информации перед ранее отмеченным сильным землетрясением, а также перед сильным калифорнийским землетрясением (согласно имеющимся устным сообщениям американских ученых), позволяют предположить, что роль источника возмущений нижней ионосферы, с 4.05.95 по 24.06.95, мог бы играть расположенный достаточно близко (750 км) от пункта регистрации сигналов ФРНС, дислоцированного в п. Стекольный, очаг подготовки сильного землетрясения 27.05, с последующими афтершоками до 24.06.

Так как интенсивность возмущений характеристик сигналов определяется степенью близости очага подготовки землетрясения к пункту регистрации сигналов, то очевидно для повышения достоверности селекции таких возмущений необходимо располагать пункт регистрации сигналов в сейсмоактивном районе, либо в непосредственной близости от очагов землетрясений, ожидаемых в соответствии с долгосрочным прогнозом.

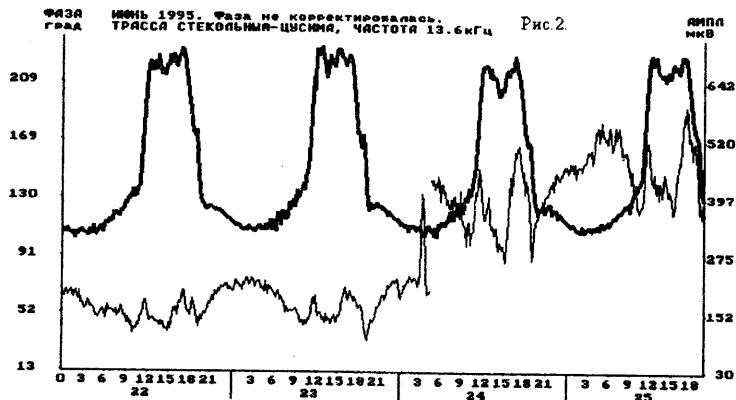


Рис. 1.

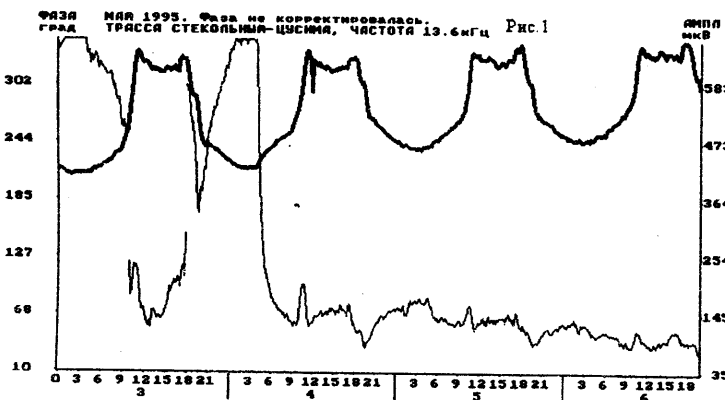


Рис. 2.

### Литература

1. Гохберг М.Б. и др. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу // Геомagnetизм и аэрoнoмия. - 1984. - т.24. - С.217-222.
2. Гохберг М.Б. и др. Ионосферные эффекты процессов подготовки сильных землетрясений. Препринт № 2, М., ИФЗ АН СССР. - 1985. - С.26.
3. Зеленов Т.И., Легенька А.Д. Ионосферные эффекты, связанные с монеровским землетрясением 5.09.1972 г. // Изв. АН СССР, Физика Земли. - 1989, Т.110. - С.89-95.
4. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений // Сб.: Под ред. Гохберга М.Б. - 1988, М.: ИФЗ АН СССР.