

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ISSN 0485-8972

# РАДИО= техника

95 | 90



«ОСНОВА»

класса  $Z^q$ . Все функции ансамбля могут быть периодически продолжены. Кроме  $\hat{p}$ ,  $\hat{r}$ ,  $\hat{n}$ , на рис. 4 приведены оптимальные значения параметра  $d = 1 - \text{mes} Y/\tau$ , характеризующего длительность интервала времени, в течение которого все модуляторы радиометра находятся в закрытом состоянии. Можно показать, что  $d = 1 - \hat{p}N/\hat{n}$ .

Таким образом, коэффициент перекрытия  $\hat{r}$  оптимальных систем модулирующих функций зависит от отношения сигнал-шум на входе. При малых отношениях оптимальным является радиометр с семейством функций Уолша, обладающих максимальным коэффициентом перекрытия  $\hat{r} = 1/2$ , а разделение канальных сигналов осуществляется по форме сигналов. По мере роста отношения сигнал-шум коэффициент перекрытия уменьшается, и начиная с некоторого значения, оптимальным становится приемник, в котором используется система функций с  $\hat{r} = 0$ , т. е. реализуется принцип временного уплотнения и разделения канальных сигналов.

При  $N=1$  полученные результаты полностью соответствуют полученным в работе [5] для одноканального модуляционного радиометра.

Список литературы: 1. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Паридский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. М., 1973. 416 с. 2. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. М., 1978. 296 с. 3. Экланд Н., Темал Р. Выпуклый анализ и вариационные проблемы. М., 1979. 400 с. 4. Sakawa Y. Optimal control of certain type of linear distributed-parameter systems // IEEE Trans. on Automatic Control. 1966. 11, N1. P. 34—45. 5. Оптимальная структура и потенциальная чувствительность модуляционного радиометра /В. И. Антофеев, А. С. Султанов, А. С. Воронова и др.//Радиотехника. 1987. Вып. 83. С. 82—87.

Поступила в редколлегию 12.01.89

УДК 550.385.37; 550.388.2

К. П. ГАРМАШ, А. М. ГОКОВ, А. И. ГРИТЧИН,

В. А. МИСЮРА, д-р техн. наук,

Л. Ф. ЧЕРНОГОР, д-р физ.-мат. наук

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ НА УДАЛЕННЫЕ МОЩНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Землетрясения достаточной интенсивности могут служить фиксированным в пространстве и во времени источником возмущений в ионосфере. Впервые на это было указано в работе [1]. Это относится как к стадии подготовки землетрясения, так и к моменту сейсмического толчка. До настоящего времени проведены немногочисленные наземные и спутниковые эксперименты по обна-

ружению аномального электромагнитного излучения от эпицентра готовящегося землетрясения. По данным сети станций вертикального зондирования выделены возмущения параметров средней ионосферы (высоты  $z \sim 100-300$  км), связанные с сейсмической активностью. В литературе имеются результаты, полученные для этого же диапазона высот с помощью доплеровских измерений и по характеристикам распространяющихся в нижней ионосфере ( $z < 100$  км) над эпицентром землетрясения гектометровых радиоволн.

Таким образом, возможные эффекты в D-области ионосферы, обусловленные удаленными землетрясениями, пока не изучались.

В работе описаны результаты экспериментального исследования методом частичных отражений (ЧО) возмущений в нижней ионосфере, сопровождающих удаленные мощные землетрясения. Данный метод позволяет получать высотные профили параметров сигнала и нижней ионосферы с высоким временным разрешением ( $\Delta t = 1$  с).

*Экспериментальная техника и методика исследований.* Наблюдения ЧО сигналов проводились на радиотехническом ионосферном комплексе ХГУ [2], имеющем следующие параметры: диапазон частот  $f = 1,5-4,5$  МГц, длительность зондирующих импульсов  $\tau_{\text{им}} = 25$  мкс, их период следования  $T = 1$  с, мощность двухканального радиопередающего устройства  $P \approx 200$  кВт, коэффициент усиления антенн  $G = 200$ . В описываемых ниже экспериментах  $f = 2,6-2,8$  МГц,  $P \cdot G = 10$  МВт,  $\tau_{\text{им}} = 25$  мкс. Обработка поступающей информации проводилась на ЭВМ ЕС-1020.

Регистрация отраженных от неоднородностей ионосферной плазмы сигналов велась на перфоленту с 14 высотных уровней, начиная с  $z = 45$  км, через 3, 6, 12 км. Одновременно с регистрацией смеси сигнал плюс шум делались две шумовые выборки. Отдельно регистрировались обыкновенная (о) и необыкновенная (н) компоненты как смеси сигнал плюс шум, так и шума. Длительность регистраций составляла примерно 1,5—8 ч. Измерения проводились вблизи г. Харькова. Поскольку оповещение о предстоящих землетрясениях отсутствовало, выполнен ретроспективный анализ данных. Банк экспериментальных регистраций ЧО сигналов сопоставлялся с каталогами сильных (с магнитудой более 5) землетрясений за период 1984—1988 гг. Затем из них отбирались лишь те регистрации, где, по нашим данным, отсутствовали другие мешающие факторы. В итоге анализу подвергались 14 сеансов. Информация о них приведена в табл. 1. Все землетрясения были неглубокие ( $\leq 50$  км).

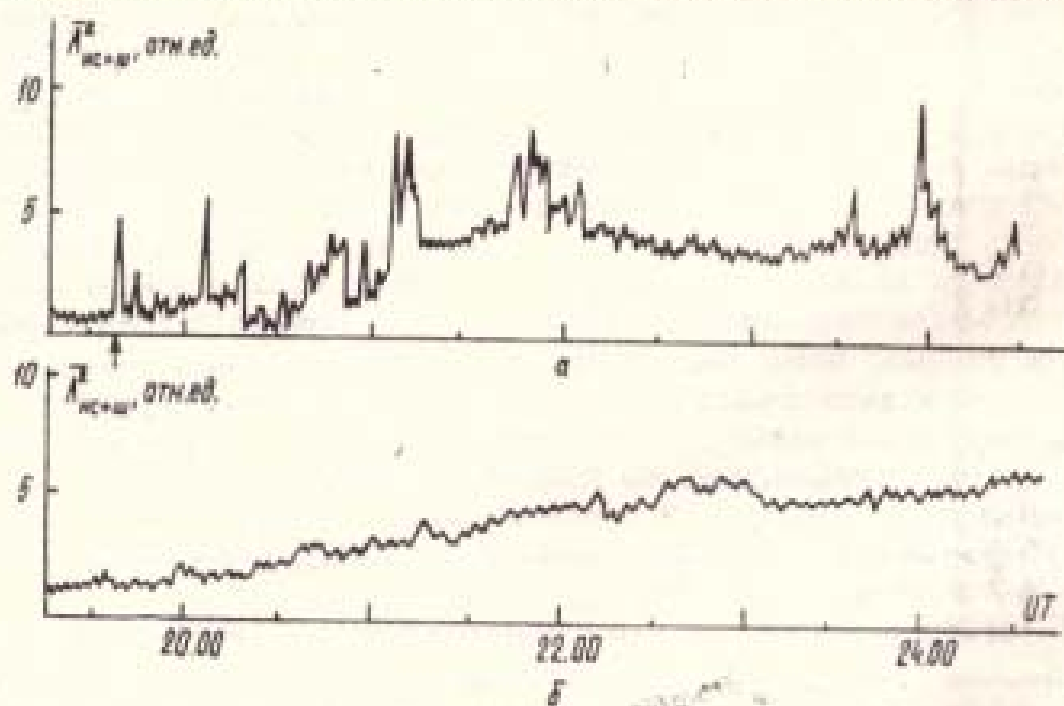
По измеренным амплитудам оиn компонент принимаемых сигналов  $A_{\text{о,нс}}$  и шума  $A_{\text{о,нш}}$  строились временные ряды для  $\overline{A_{\text{о,нс}}^2}$ ,  $A_{\text{о,нс}}^2$  (черта сверху означает усреднение), их дисперсий  $D$ , коэффициентов взаимной корреляции их  $R_{A_{\text{о,нс}}^2 A_{\text{нс}}^2}$  и  $R_{A_{\text{о,нш}}^2 A_{\text{нш}}^2}$ . Применялось скользящее среднее на интервале 30 с со сдвигом 10 с или 3 мин со сдвигом на 1 мин.

Результаты экспериментов. Пример зависимости  $\bar{A}_{ис+ш}^2(t)$  для высоты  $z=81$  км, полученной по измерениям 28.09.87, приведен на рисунке, позиция *a*. Расстояние до эпицентра составляло около 12 тыс. км. В момент землетрясения (стрелка на рисунке) в интер-

Таблица 1

Дата	Место землетрясения, координаты		Мощность землетрясения (в баллах по 12-балльной шкале)
27.03.84	3,81°S	145,7°E	~7
24.06.84	43,74°S	170,76°E	~7
31.08.84	17,97°S	172,5°E	~7
19.09.85	19,06°N	102,5°W	~8
03.09.86	41,5°N	44°W	~5
17.09.86	39°N	73°W	~6
29.09.86	10,6°N	57,05°E	5-6
02.10.86	20,38°N	45,7°W	5-6
31.10.86	40°N	70°W	5-6
28.09.87	архипелаг	Вануату	~7
01.10.87	вблизи	Лос-Анжелеса	8-9
08.10.87	53°N	160°E	5-6
17.12.87	Япония		7-8
15.03.88	42°N	76°W	5-6

вале высот  $z=65-90$  км, как и в других случаях, наблюдается возрастание интенсивностей принимаемого сигнала в несколько раз



продолжительностью до 2,5—3 мин. Длительность фронтов около 10—30 с. Конечное временное разрешение ( $\Delta t=1$  с) не позволило

определить скорость распространения самого первого возмущения. Очевидно, что она не менее сотен километров в секунду. Такую скорость имеют магнитогидродинамические (МГД) волны.

Таблица 2

Время запаздывания, мин	Длительность процесса, мин	Продолжительность квазипериода, мин	Кажущаяся скорость, км/с	Возможный тип волн
?	1	—	10 <sup>6</sup>	МГД
4	1	—	50	Гидротропная
26—32	25	3	6,3—7,4	?
60	12	3,5	3,3	Поверхностная Релея
82	10	1,5—2	2,4	
123	23	2	1,7	Медленная МГД
230	7	?	0,9	
260	18	3	0,8	Внутренние
290	7	2,5	0,7	Гравитационные

Основные параметры возмущений приведены в табл. 2. Из нее видно, что кажущаяся скорость  $V$ , т. е. отношение расстояния между источником и приемником к времени запаздывания сигнала возмущений, изменяется в широких пределах. Лучше всего изучены процессы с  $V \approx 1$  км/с. Давно описаны волны с  $V \approx 3—4$  км/с [3]. Волны со скоростями 1—2, 2—3 км/с исследовались в работе [4]. Переносы возмущений с  $V \approx 6—8$  км/с обнаружены в работе [5]. Их природа пока не выяснена. Наконец волновые процессы с  $V \sim 10—100$  км/с теоретически изучались в ряде работ.

Заметим, что анализ экспериментальных данных, полученных для землетрясений, удаленных на расстояние не более 1—3 Мм, позволил зафиксировать лишь небольшие скорости передачи возмущений ( $V \approx 0,5—0,9, 1—2, 3—4$  км/с).

Поведение  $\bar{A}_{\text{ос}+\text{ш}}^2(t)$  в основном аналогично  $A_{\text{ос}+\text{ш}}^2(t)$ . Но есть и некоторые отличия. Например, для обыкновенной компоненты вместо скорости  $V \approx 0,9$  км/с наблюдалась скорость  $V \approx 1$  км/с. Кроме того, значительное увеличение (в 3—4 раза) интенсивности обыкновенной волны появилось примерно на 200 минуте и длилось около 37 мин.

Анализ  $D_{A_0^2 A_n^2}$  и  $P_{A_0^2 A_n^2}$  показал, что они изменяются практически синхронно с интенсивностями сигнала. В то же время статистические характеристики шума изменялись иначе, чем соответствующие характеристики ЧО сигналов. В частности, отмечались кажущиеся скорости распространения возмущений; иногда в ночное время перед землетрясением интенсивность шумов уменьшалась в 2—3 раза.

На рисунке (позиция б) для сравнения приведена зависимость  $\bar{A}_{\text{ос}+\text{ш}}^2(t)$ , полученная в сходных гелиогеофизических услови-

ях, но при отсутствии заметных землетрясений для  $z=81$  км. Составление позиций рисунка, а также повторяемость явлений, зарегистрированных после сильных землетрясений, позволяет связать описанные эффекты с влиянием мощных землетрясений на нижнюю ионосферу.

Описанные выше возмущения во временном поведении интенсивности смеси ЧО сигнал плюс шум (наблюдаемые всплески) могут быть связаны с мощными удаленными землетрясениями. Конечно, этот вывод следует рассматривать как предварительный и нуждающийся в проверке на еще большем статистическом материале.

**Список литературы:** 1. Барфельд Л. Г., Таранцев А. В. Явление воздействия сейсмичности Земли через акустические волны на ионосферу//Бюллетень госкомизобретений. 1973, № 42, С. 41. 2. Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений/А. И. Гритчин, В. Л. Дорохов, Л. Г. Концевая и др.//Вести Харьк. ун-та. 1988, № 318: Радиофизика и электроника. С. 21—24. 3. Пасечник И. П. Характеристики сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях. М., 1979, 192 с. 4. Голицов Ю. В., Коста А., Пилипенко В. А. Геомагнитные пульсации, возбуждаемые при сильных землетрясениях//Геомагнетизм и аэрономия. 1985, 25, № 5, С. 824—828. 5. Кольцов В. В., Поталова Н. И., Черток Е. И. Короткопериодные вариации ионосферных параметров во время удаленного землетрясения. М., 1986, 19 с. (Препр./АН СССР, Ин-т земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн; 58 (672).

*Поступила в редколлегию 13.04.89*

УДК 621.396

*И. И. МИНЕРВИН, д-р техн. наук, В. П. СИРОТНИ*

#### **О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ СРЕДЕ**

Измерение интегральной концентрации электронов вдоль траектории прохождения радиолокационного сигнала можно производить по регулярным искажениям его фазочастотного спектра [1], возникающим из-за дисперсионного эффекта распространения радиоволн в ионизированной среде, следствием турбулентного характера которой являются дополнительные фазовые искажения, снижающие качество получаемой оценки. Влияние модулирующей помехи, обусловленной наличием случайных неоднородностей, на точность оптимального в отсутствие этой помехи измерения параметров сигнала изучена недостаточно. Между тем эта задача сравнительно просто может быть решена для сигнала  $u(t)$  с несущей частотой  $\omega_0$ , намного большей критической частоты плазмы, и равными по амплитуде спектральными составляющими, максимальная разность частот которых  $\Delta\Omega \ll \omega_0$ .

Для простоты анализа рассмотрим случай равномерно распределенных по частоте  $(2M+1)$  узких спектральных компонентов,