

5. Brown J. C., Meirose D. B., Spicer D. S. // Ap. J. 1979. V. 228. P. 592.
 6. Vlahos L., Papadopoulos K. // Ap. J. 1979. V. 233. P. 717.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
2 февраля 1988 г.

УДК 621.396.24

«ЭХО-РАССЕЯНИЕ» КВ СИГНАЛОВ НА ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТОСТИ

Ю. М. Ямпольский

Проводом для данного сообщения послужило необычное поведение релаксации рассеяния пробных радиосигналов в ионосфере после выключения мощного коротковолнового передатчика (МКП). Одним из проявлений воздействия на ионосферу электромагнитного излучения КВ диапазона является развитие искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ) в области нагрева плазмы [1]. Пространственные масштабы неоднородностей, стимулированных ИИТ, лежат в пределах от единиц метров до нескольких километров, а времена их релаксации после выключения МКП составляют 10–20 с [2].

В экспериментах, выполненных нами в течение 1987–1988 годов, исследовались эффекты резонансного рассеяния пробных коротковолновых сигналов на ИИТ, стимулированной МКП «Сура» (НИРФИ, г. Горький). В качестве передатчика использовалась радиостанция Государственной службы времени и частоты СССР РВМ, расположенная в окрестности Москвы. Прием сигналов этого передатчика осуществлялся под Харьковом на крупнейшем декаметровом радиотелескопе УТР-2 [3]. Высокая пространственная избирательность антенной системы позволила селектировать «полезный» сигнал, рассеянный на ИИТ, от прямого сигнала (трасса Москва–Харьков). В качестве рабочей была выбрана частота РВМ $f_p \approx 15$ МГц, которая в условиях экспериментов была выше максимально применимых частот на всех радиолиниях. Москва–Горький, Москва–Харьков, Горький–Харьков. МКП излучал вертикально вверх мощную радиоволну на частоте $f_m \approx 5$ МГц в течение пяти минут каждого десятимиутного цикла. Эффекты рассеяния на ИИТ пробной волны проявлялись следующим образом. В канале слабонаправленной антенны, расположенной в фазовом центре ФАР УТР-2, кроме сигнала с прямой радиотрассы, рассеянного на естественных неоднородностях ионосферы, наблюдался сигнал, сдвинутый по частоте относительно несущей f_p на доплеровское смещение f_d . Величина смещения f_d изменялась в течение суток и определялась скоростями дрейфа ИИТ в окрестности Горького. В каналах антенн УТР-2, ориентированных на возмущенную область, прямой сигнал был подавлен на 32 дБ и надежно регистрировался только «полезный» — рассеянный на ИИТ.

Основное внимание уделим характеру релаксации рассеяния после выключения МКП. На рис. 1 приведены два типичных фрагмента записи сигналов в канале ФАР «Север–Юг» УТР-2. За начало отсчета по горизонтальной оси выбран момент времени $t_0 = 0$ выключения МКП. В течение последующих 10–15 с наблюдается немонотонное убывание сигнала, связанное с «рассасыванием» мелкомасштабных ($L \sim (\lambda/2) \sim 10$ м) неоднородностей [1].

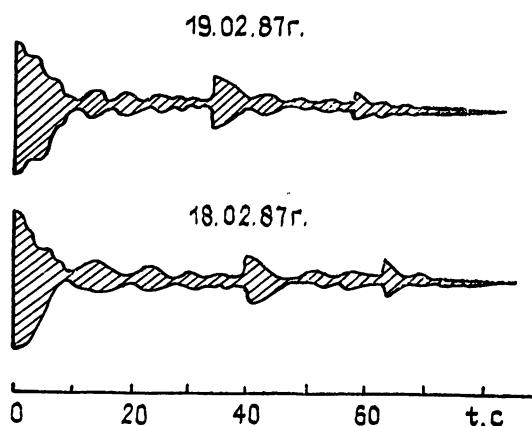


Рис. 1.

Наиболее интересной особенностью поведения сигнала в процессе релаксации представляется повторное возрастание рассеяния. Увеличение уровня в это время ха-

рактеризуется «быстрым» нарастанием (≤ 1 с) и медленным ($\gtrsim 10$ с) спадом. Более детальный анализ этого эффекта, названного нами «эхом», был проведен таким образом. Все сеансы записей, в которых наблюдался сильный эффект рассеяния на ИИГ в стационарных условиях (МКП включен), подвергались специальной обработке на участках релаксации. Суть ее состояла в следующем. на интервале времени от нулевой секунды до 120-й регистрировались превышения уровня —20 дБ относительно среднего значения огибающей сигнала в стационарных условиях рассеяния на ИИГ. На рис. 2 приведена гистограмма зависимости $P = m/N$ — отношения числа m превышений заданного уровня к общему числу анализируемых записей N от времени с момента выключения МКП. Обращает на себя внимание высокая вероятность появления первого «эхо-рассеяния» и периодичность между всплесками $T \approx 30 \div 35$ с. Судя по литературным данным, этот эффект обнаружен нами впервые. Попытаемся дать качественную интерпретацию «эхо-рассеяния». По-видимому, непосредственно в ионосферной плазме в области ИИГ отсутствуют условия, способные порождать квазипериодические (с периодом T) пульсации интенсивности неоднородностей с масштабами $L \sim 10$ м, которые в свою очередь вызывают резонансное рассеяние пробных сигналов.

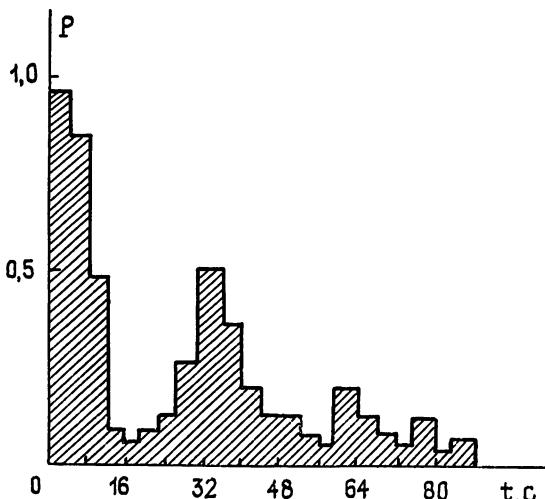


Рис. 2.

Одним из возможных механизмов может быть следующий. В момент выключения МКП на ионосферных высотах возбуждается альфвеновская волна, распространяющаяся из возмущенной области вдоль силовой линии магнитного поля. Для волн такого типа могут существовать резонансы в области нижняя—внешняя ионосфера [4] и вдоль всей магнитной силовой трубы [5]. Существование этих резонансов подтверждается анализом спектров естественных УНЧ шумов. Если для первого резонатора характерное собственное время составляет единицы секунд (альфвеновский резонатор [4] то для второго — десятки секунд (колебания типа $P_c\text{-}3$). Период колебаний $P_c\text{-}3$ для геомагнитных широт от 40° до 50° с. ш. лежит в пределах от 20 до 40 с [6]. Добротность Q резонатора по данным работы [6] составляет ~ 10 . Если эффект «эха» действительно связан с возбуждением альфвеновских волн в момент выключения МКП, то можно предположить, что одновременно со «всплесками» рассеяния пробного сигнала в районе Горького и в магнитосопряженной точке должны наблюдаться УНЧ колебания типа $P_c\text{-}3$ с периодом $T \sim 30$ с.

Естественно, что такое объяснение эффекта «эха» является предварительным и, по-видимому, не единственным. Остаются невыясненными вопросы возбуждения и взаимодействия альфвеновских волн с ионосферной плазмой. Неясен механизм повторной «раскачки» ИИГ с масштабами $L \sim 10$ м, рассеивающей пробную волну.

Конкурирующей гипотезой может быть предположение об ускоренных электронах, возбуждаемых излучением МКП и двигающихся вдоль силовых линий магнитного поля. Их взаимодействие с невозмущенной ионосферной плазмой кроме «подкачки» ИИГ должно порождать искусственное радиоизлучение ионосферы на частотах, близких к f_m .

В заключение хочу поблагодарить участников семинаров РИ АН УССР и НИРФИ за плодотворные обсуждения эффекта «эхо-рассеяния» и высказанные гипотезы, поясняющие это явление. Считаю необходимым отметить также участие в проведении экспериментов сотрудников РИ АН УССР В. Г. Галушко, В. С. Белея, П. В. Пономаренко.

ЛИТЕРАТУРА

- Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. — М.: Наука, 1984. С. 392.
- Беленов А. Ф., Бубнов В. А., Ерухимов Л. М. и др. // Изв. вузов. Ра-диофизика. 1977. Т. 20. С. 1805.

3. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. // В сб.: Антенны. — М.: Связь, 1978. Т. 26. С. 3.
4. Беляев П. П., Поляков С. В., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. Препринт № 230 НИРФИ. Горький, 1987.
5. А. Нишида. Геомагнитный диагноз магнитосферы. — М.: Мир, 1980. С. 300.
6. Г. Мак-Дональд. Магнитогидродинамические волны в космосе. В кн.: Космическая физика. — М.: Мир, 1980. С. 494.

Радиоастрономический институт
АН УССР

Поступила в редакцию
26 сентября 1988 г.

УДК 621.371

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ В ЗАДАЧЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СЛИКОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

М. Б. Каневский

Радиолокационное обнаружение на морской поверхности сливов, вызванных разливами нефти, течениями, цугами внутренних волн [1], вообще говоря, требует специальной обработки отраженного сигнала, так как фон, на котором эти слики располагаются, как правило, сам по себе неоднороден.

Одним из традиционных способов обработки радиолокационного изображения морской поверхности является спектральный анализ, однако если искомые слики единичны или образуют немногочисленную группу, то обычный фурье-анализ становится малоэффективным. В этих случаях естественно обратиться к нелинейной авторегрессионной оценке спектра, пригодной для анализа коротких реализаций сигнала [2], и поставить вопрос о целесообразности ее использования в задаче обнаружения.

В настоящей работе путем численного моделирования показано, что авторегрессионная спектральная оценка может быть эффективно использована для обнаружения неоднородностей даже неквазипериодического вида — отдельных сливов.

1. Рассмотрим следующую ситуацию. Импульсный некогерентный радиолокатор сантиметрового диапазона, расположенный на носителе, движущемся со скоростью V , зондирует морскую поверхность под углом скольжения $10^\circ \leq \psi_0 \leq 70^\circ$, обеспечивающим выполнение условий резонансного рассеяния без затенения. Анализируется последовательность некоррелированных значений амплитуды импульсов, отраженных от участка длиной L , состоящая из $N=L/Vt$ членов, где t — время корреляции быстрых флуктуаций амплитуды, вызванных орбитальным движением рассеивателей.

В указанном диапазоне углов скольжения радиолокационный сигнал (амплитуда отраженных импульсов) имеет распределение, весьма близкое к рэлеевскому. Крупномасштабное волнение с характерными длинами волн, превышающими размеры элемента разрешения радиолокатора, а также достаточно крупные слики модулируют сигнал, изменяя его среднее значение. Так, присутствие монохроматической збы с длиной волны Λ приводит к модуляции, описываемой множителем [3],

$$F_3 = \frac{(1 + \cos^2 \psi_m) \operatorname{tg}^2 \psi_m}{(1 + \eta_1 \sin \psi_m)^2 + \eta_2^2 \sin^2 \psi_m}, \quad (1)$$

$$\psi_m = \psi_0 + b_1 \cos \left(\frac{2\pi L}{\Lambda} \frac{m}{N-1} + \varphi \right),$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, N-1,$$

где ψ_m — локальный угол скольжения по отношению к элементу рельефа крупномасштабного волнения, $\eta_1 + i\eta_2 = \varepsilon^{1/2}$, ε — комплексная диэлектрическая проницаемость воды. Случайную фазу φ считаем распределенной равномерно на интервале $0 \div 2\pi$. Выбранный вид F_3 соответствует вертикальной поляризации излучения и пространственному спектру мелкомасштабного волнения (сантиметровой ряби) $W(x) \sim x^{-4}$.

Если на обследуемом участке поверхности присутствует слик, то появляется еще один модулирующий множитель, который для определенности запишем в форме

$$F_{\text{сл}} = 1 - b_0 \exp \left[- \left(\frac{m - N/2}{N/4} \right)^2 \right], \quad 0 < b_0 < 1. \quad (2)$$

В результате отраженный сигнал представляется в виде произведения

$$u_m = K F_{\text{сл}} F_3 s_m,$$