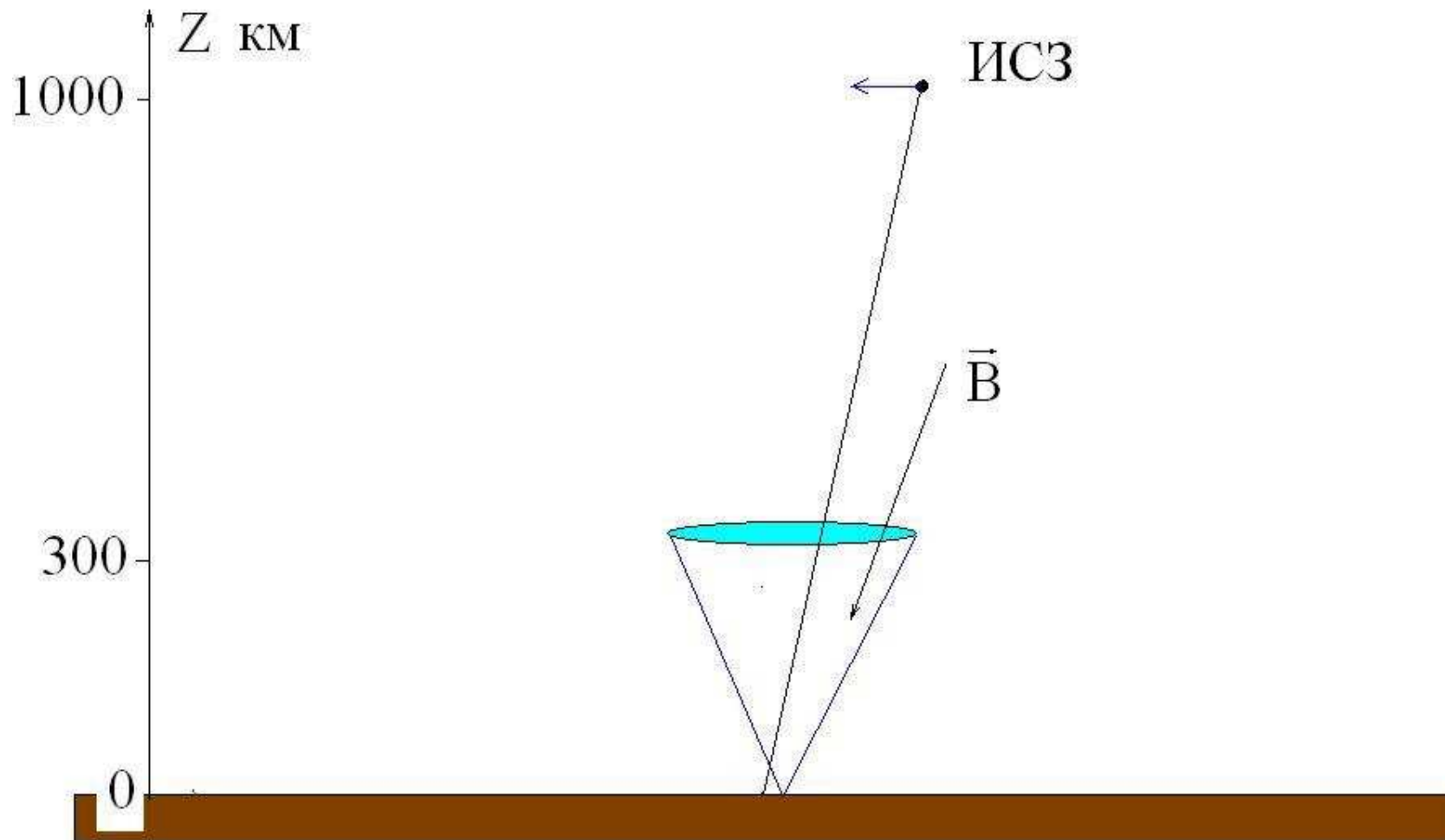


*Выборнов Федор Иванович,
Алимов Владимир Александрович,
Рахлин Александр Викторович*

*Федеральное государственное научное учреждение "Научно-
исследовательский радиофизический институт"
г. Нижний Новгород*

**Фазовый метод исследования
фрактальной структуры
турбулентности
ионосферной плазмы**

Метод радиопросвечивания ионосферы сигналами орбитальных ИСЗ



$$\overline{I^2}$$

Соотношение для определения формы спектра
мелкомасштабных искусственных неоднородностей ионосферной плазмы

$$\Phi_A(\nu)\approx\int\Phi_N\left(\frac{2\pi\nu}{V_n},k_y,0\right)dk_y$$

$$\overline{I^2}$$

$$S_4^2=\frac{\overline{I^2}-\overline{I}^2}{\overline{I^2}}=1-e^{-2\overline{s^2}}$$

$$\nu > \nu_{\hat{O}\delta} = \frac{V_n}{\sqrt{\lambda R_{i\delta}}}$$

Недостатки амплитудного метода

- Работает в условиях слабых флуктуаций фазы принимаемых сигналов, что позволяет получать информацию о мультифрактальной структуре лишь мелкомасштабных неоднородностей ионосферной плазмы с размерами, меньшими характерного масштаба зоны Френеля.
-
- В условиях сильных фазовых возмущений сигнала в ионосфере измеряемые структурные функции амплитудных флуктуаций оказываются в насыщении и извлечь информацию о мультифрактальной структуре даже мелкомасштабных ионосферных неоднородностей с размерами в десятки-сотни метров в этом случае не представляется возможным.
-
- Очень ограниченная область инерционного интервала исследуемой плазменной турбулентности

Метод структурных функций (МСФ)

$$\langle [\Delta S(\tau)]^q \rangle = \frac{1}{T} \int [S(t + \tau) - S(t)]^q dt \propto \tau^{\varphi_S(q)} \propto \tau^{\beta_q q + 1 - D_S(\beta_q)}$$

Основан на измерении многомерных структурных функций q -го порядка для фазовых флуктуаций $S(t)$ принимаемых сигналов при небольшом временном разнесении τ .

T – временной интервал записи сигнала;

$\varphi_S(q)$ – показатель скейлинга при аппроксимации измеряемых структурных функций $\langle [\Delta S(\tau)]^q \rangle$ фазовых флуктуаций q -го порядка;

$D_S(\beta_q)$ – фрактальная размерность фазовых флуктуаций принимаемых сигналов, определяемая на множестве q структурных функций:

$$\begin{cases} D_s(\beta) = \beta_q q + 1 - \varphi_s(q) \\ \beta_q = \frac{d\varphi_s(q)}{dq} \end{cases}$$

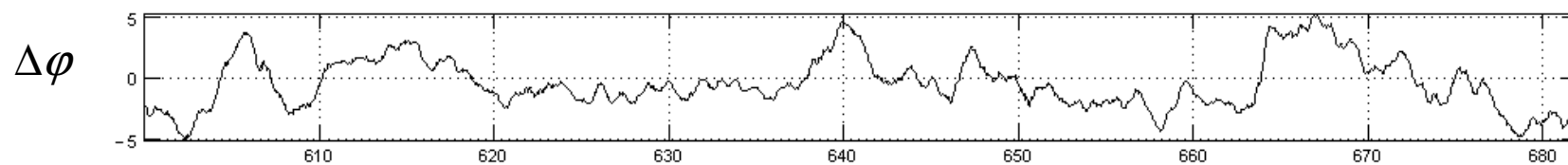
- Используя соотношения (1) и (2), можно получить информацию о мультифрактальном спектре $D_s(\beta_q)$ фазовых флуктуаций принимаемого сигнала $S(t)$

$$p_{3_q} = 2 + 2\beta_q$$

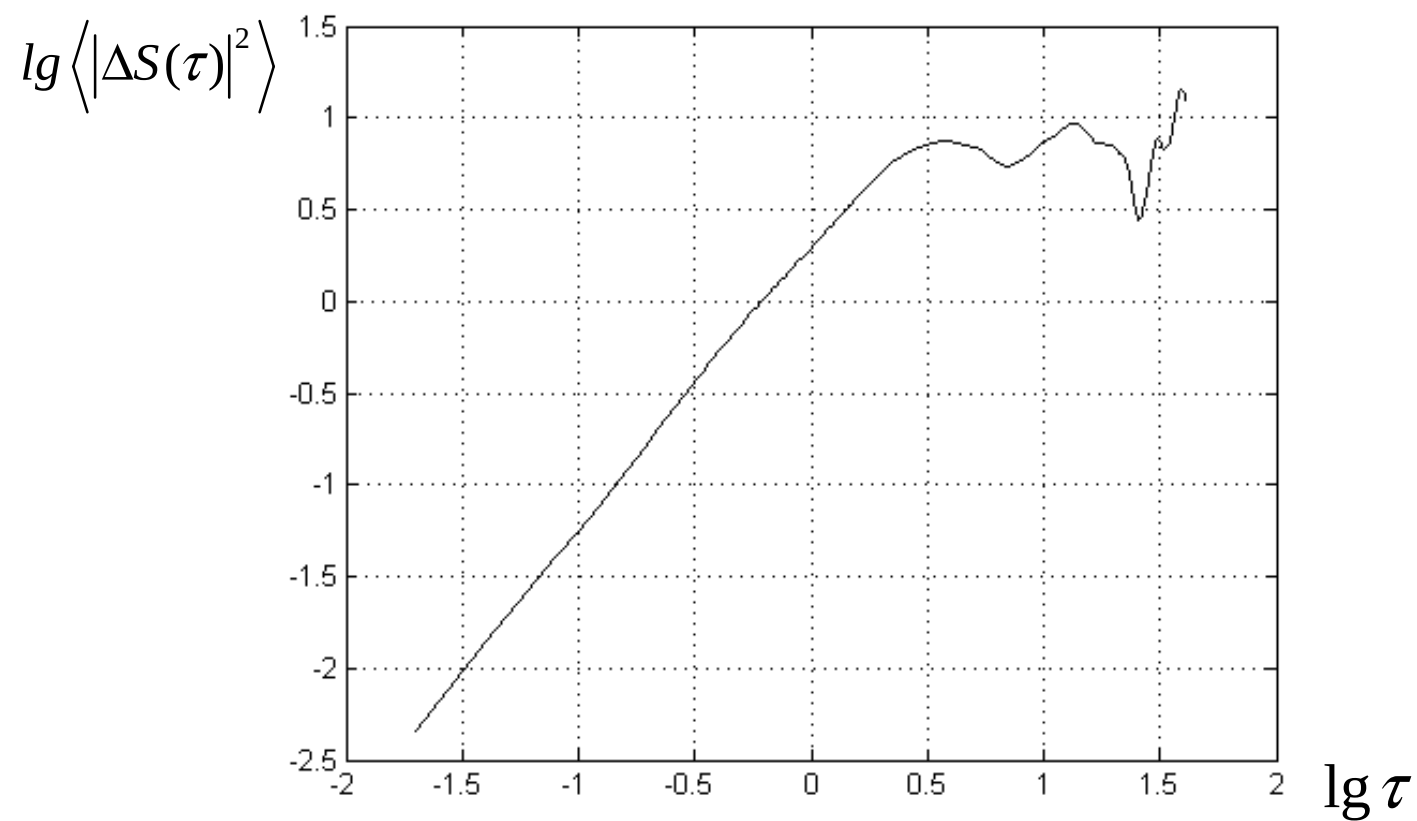
Показатель спектра неоднородностей для q-ой компоненты
мультистепенного спектра турбулентности

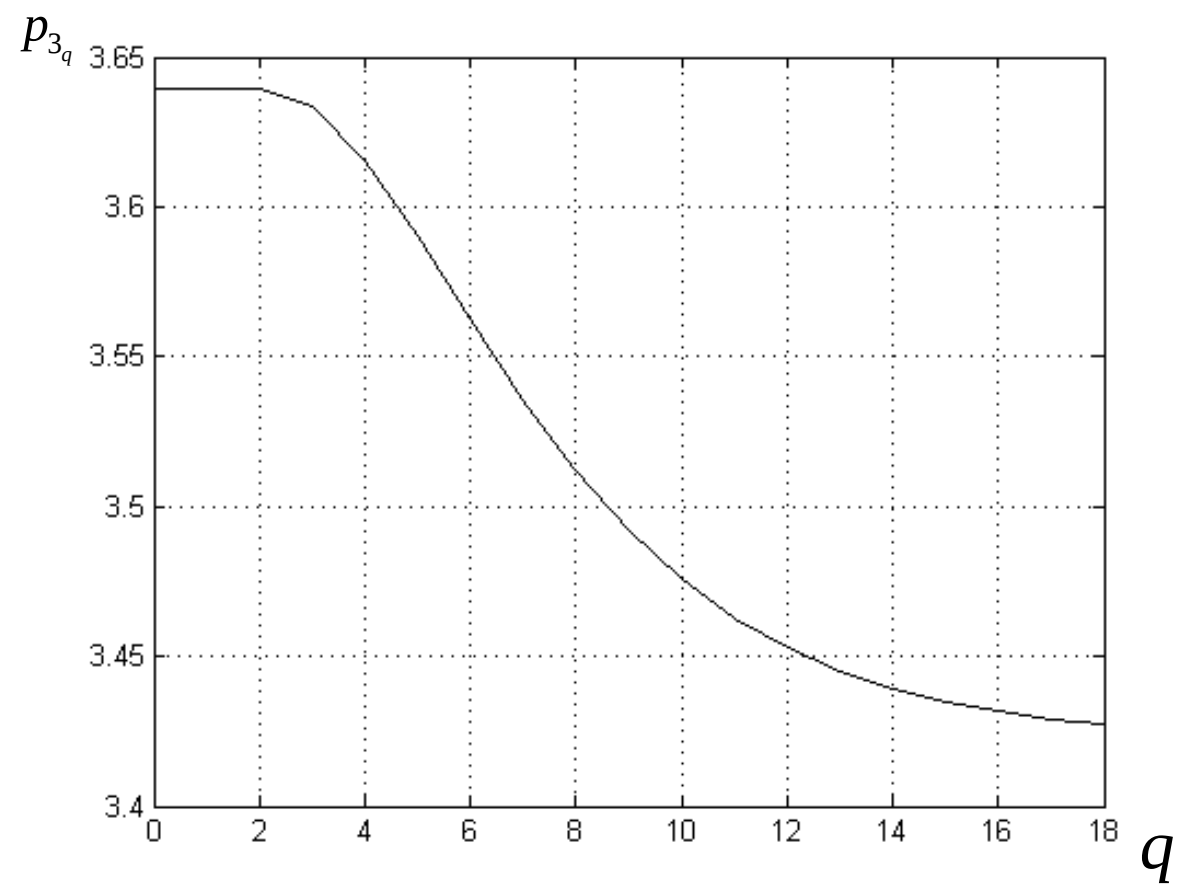
$$D_N(\beta_q) = 2 + D_s(\beta_q)$$

Неравномерное распределение в пространстве плазменных неоднородностей в общем случае характеризуется набором фрактальных размерностей

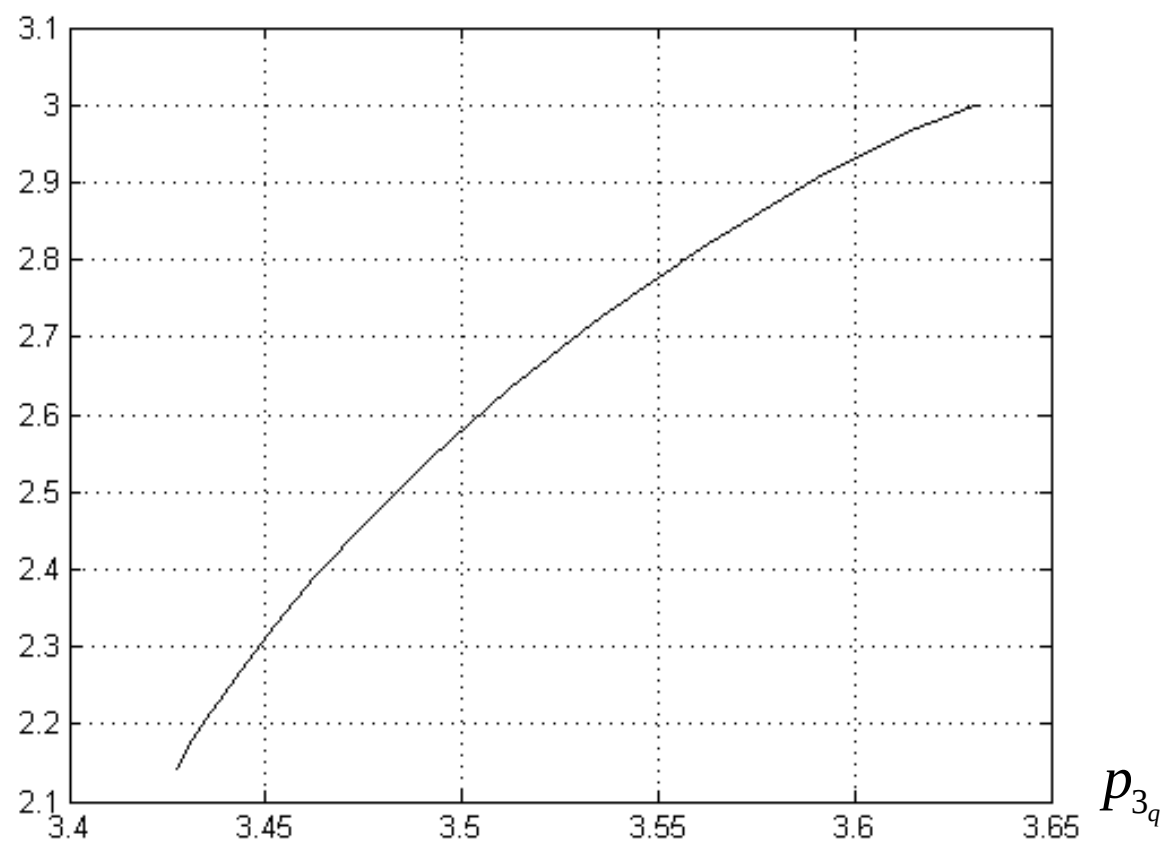


пример записи детрендрованной разности фаз на частотах
150 МГц и 400 МГц для ИСЗ "Парус" 30.08.02





$$D_N(p_{3_q})$$



Заключение

- Фазовый метод диагностики неоднородной структуры ионосферной и космической плазмы широко применялся в радиофизических исследованиях еще прошлого столетия, но во всех этих многочисленных работах применялась спектральная обработка принимаемых сигналов, что позволяло получить лишь ограниченную информацию о частотном спектре и структурной функции фазовых флуктуаций 2-го порядка принимаемых сигналов. Соответственно, и информация о неоднородной структуре ионосферной и космической плазмы, извлекаемая из записей фаз принимаемых сигналов была весьма ограниченной. В частности, в ходе этих работ были получены обширные сведения о моноспектральных характеристиках неоднородности ионосферы и космической плазмы в различных геофизических условиях, для разных географических (и геомагнитных) широт Земного шара, в разное время суток, в условиях различной гелиоактивности и т.д.
- Но еще более обширные данные о мультистепенных и мультифрактальных спектрах ионосферной и космической плазменной турбулентности не были получены. Эта информация станет доступной лишь при проведении соответствующих развернутых работ по диагностике неоднородной структуры ионосферы и космической плазмы с применением изложенного выше фазового метода или его модификаций. Фактически речь идет о многолетней международной программе перспективных исследований мультифрактальной структуры ионосферной и космической плазмы. Для таких масштабных исследований необходима скоординированная работа многих научных коллективов из разных стран мира.