

*Российская Академия Наук*

**ИКИ**  
ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
РАН

ТРИНАДЦАТАЯ  
ЕЖЕГОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**ФИЗИКА  
ПЛАЗМЫ  
В СОЛНЕЧНОЙ  
СИСТЕМЕ**

**12-16  
февраля  
2018**

СПОНСОРЫ



**ИКИ**

**SCOSTEP**  
Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics

# ГАМИЛЬТОНОВ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ 2D и 3D НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР СОЛИТОННОГО ТИПА В КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ

Белашов В.Ю.<sup>1)</sup>, Белашова Е.С.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>КФУ, г. Казань, Россия, [vybelashov@yahoo.com](mailto:vybelashov@yahoo.com)

<sup>2)</sup>КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия, [bel\\_lena@mail.ru](mailto:bel_lena@mail.ru)

Аналитически изучается проблема устойчивости 2D и 3D солитонов и нелинейных волновых пакетов, которые описываются классом уравнений БК [1]:

$$\partial_t u + A(t, u)u = f, \quad f = \kappa \int_{-\infty}^x \Delta_{\perp} u dx, \quad \Delta_{\perp} = \partial_y^2 + \partial_x^2, \quad (1)$$

где в случае, когда  $A(t, u) = \alpha u \partial_x - \partial_x^2 (v - \beta \partial_x - \gamma \partial_x^3)$ , имеем обобщенное уравнение Кадомцева-Петвиашвили (ОКП), которое при  $\beta \equiv 4 \ln T / B^2 \ll 1$  и  $\omega < \omega_B = eB / Mc$ ,  $k \lambda_D \ll 1$  описывает распространение быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн в замагниченной плазме с  $k_x^2 \gg k_{\perp}^2$ ,  $v_x \ll c_A$  вблизи конуса углов  $\theta = \arctan (M / m)^{1/2}$ . При этом функция  $u$  имеет смысл безразмерной амплитуды магнитного поля волны,  $h = B_{\perp} / B$ , коэффициенты определяются значениями параметров плазмы и углом  $\theta = (B, k)$ . Если же  $A(t, u) = 3\varepsilon |p|^2 u^2 \partial_x - \partial_x^2 (i\lambda + v)$ , уравнение (1) переходит в 3-мерное (3D) уравнение Шредингера с производной нелинейного члена (3-DNLS), которое при  $\beta > 1$  описывает динамику альфвеновских волн, распространяющихся в направлении, близком к  $B$ ,  $u = h = (B_y + iB_z) / 2B |1 - \beta|$ ,  $h = B_{\perp} / B_0$ , где  $p = (1 + i\varepsilon)$ , а  $\varepsilon$  – эксцентриситет эллипса поляризации волны. Верхний и нижний знаки  $\lambda = \pm 1$  отвечают волне с круговой правой и левой поляризацией соответственно, знак нелинейности учитывается коэффициентом  $\varepsilon = \text{sgn}(1 - p) = \pm 1$  при нелинейном члене;  $\kappa = -r_A / 2$ ,  $r_A = v_A / \omega_{ci}$ .

Уравнения (1) не являются в общем случае полностью интегрируемыми, и вопрос существования одномерных солитонных их решений требует специального исследования, которое проводится на основе анализа трансформационных свойств гамильтонианов соответствующих уравнений [2]. Уравнения записываются в бездиссипативном случае в гамильтоновском виде:  $\partial_t u = \partial_x (\delta H / \delta u)$ , и стационарные решения определяются из вариационной задачи [3]:  $\delta (H + v P_x) = 0$  ( $P_x = (1/2) \int u^2 dx$  – проекция импульса на ось  $x$ ;  $v$  имеет смысл множителя Лагранжа), которая иллюстрирует тот факт, что все финитные решения уравнения (2) являются стационарными точками гамильтониана при фиксированном  $P_x$ . Исследуется ограниченность  $H$  (снизу) при фиксированном  $P_x$ .

В результате строго доказано, что уравнение ОКП может иметь как абсолютно, так и локально устойчивые решения в виде 2D и 3D солитонов, и найдены соответствующие условия на коэффициенты, т.е., в конечном счете, на параметры плазмы и БМЗ волны. В рамках модели уравнения 3-DNLS установлено, что оно может иметь 3D устойчивые решения в форме 3D альфвеновских солитонов, и также найдены условия для их существования.

1. Belashov V.Yu., Vladimirov S.V. Solitary Waves in Dispersive Complex Media. Theory, Simulation, Applications. Springer-Verlag GmbH & Co. KG, 2005. 305 p.
2. Белашов В.Ю. // ДАН СССР, 1991. Т. 320. № 1. С. 85.
3. Белашов В.Ю., Белашова Е.С. Солитоны: теория, моделирование, приложения. Казань: РИЦ «Школа», 2016. 270 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ

Насыров И.А., Когогин Д.А., Белашов В.Ю., Загретдинов Р.В., Петрова И.Р.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия, igor.nasyrov@kpfu.ru

Движение солнечного терминатора (СТ) является уникальным явлением, так как это хорошо прогнозируемое, повторяющееся событие, характеристики которого достаточно полно изучены. В монографии [1] при помощи теоретических исследований и численно-модельных расчётов показано, что в утреннем и в вечернем секторах СТ на градиентах основных параметров верхней атмосферы (температура, давление и т.п.) могут генерироваться солитоноподобные «предвестники» фронта с периодами ~40-60 мин, масштабы которых для зимнего и летнего сезонов существенно различны и определяются множеством факторов, таких как высота, геомагнитная широта, величина дисперсии (зависящая от значений ионосферных параметров  $F$ -слоя), а также особенностей в изменениях ионосферных характеристик конкретного суточного цикла. В области верхней атмосферы, там, где ионизация атмосферного газа достигает значительных величин, волновые движения нейтральных молекул оказывают существенное влияние на заряженную компоненту, это приводит к возникновению перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), которые, в частности, могут быть зарегистрированы при помощи радиопросвечивания возмущенной области сигналами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В докладе приводятся результаты обработки экспериментальных данных, полученных на Поволжской региональной сети ГНСС станций [2] во время прохождения СТ. Показано, что: во-первых, генерация солитоноподобных волновых возмущений происходит как на переднем, так и на заднем фронте СТ; во-вторых, генерация крупномасштабных ПИВ на границе СТ происходит не ежедневно, и количество таких случаев сильно варьируется в зависимости от сезона года; в третьих, солитоноподобные волновые возмущения в ПЭС, генерируемые прохождением СТ в восходные периоды наблюдаются чаще, чем во время захода Солнца (рис. 1).

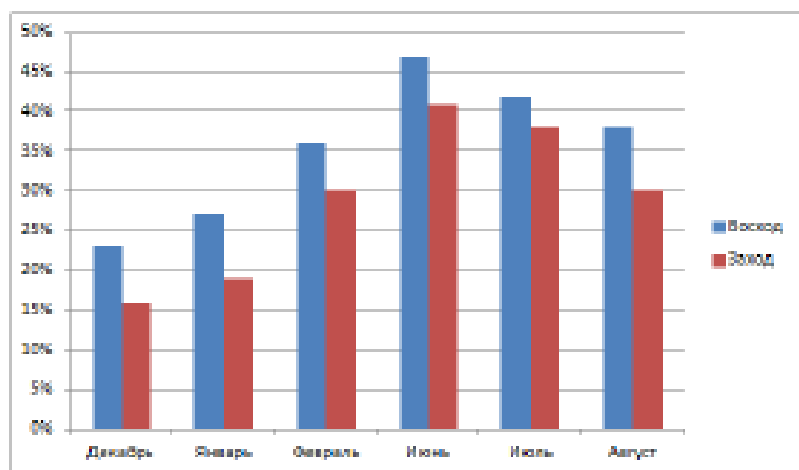


Рис. 1. Количество случаев регистрации крупномасштабных ПИВ при прохождении СТ по данным Поволжской региональной сети ГНСС станций

1. Белашов В.Ю., Белашова Е.С. Солитоны: теория, моделирование, приложения. – Казань: РИЦ «Школа», 2016 – 270 с.
2. Загретдинов Р.В., Бахтиаров В.Ф. //Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: Программа, тезисы и доклады V международной научно-практической конференции. Казань. - 2016. - С. 132-138.