



Исследование взаимодействия ПИВ с нейтральным ветром по данным иркутского радара некогерентного рассеяния

Толстикова М.В., Медведев А.В., Ратовский К.Г., Алсаткин С.С.

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Периоды одновременных долговременных наблюдений Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) и ионозонда DPS-4 позволили собрать уникальные данные о трехмерной пространственно-временной структуре перемещающихся волновых возмущений (ПИВ) с периодами от 40 минут до 6 часов, включая полный вектор фазовой скорости.

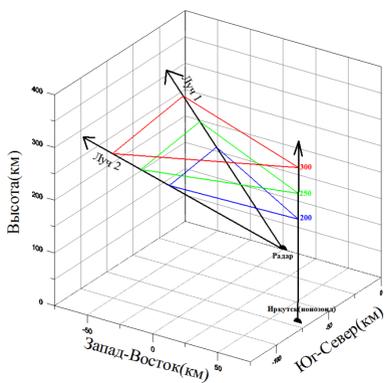


Рисунок 1. Схема расположения инструментов.

	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон
Периоды наблюдений	08.02.2010-14.02.2010 24.02.2010-28.02.2010 16.01.2011-16.02.2011 17.01.2012-09.02.2012 25.12.2012-21.01.2013 26.12.2013-12.01.2014	01.04.2009-12.04.2009 12.04.20011-21.04.2011 05.04.2012-22.04.2012	06.06.2007-24.06.2007 22.06.2013-01.07.2013
Количество ПИВ	5 639	1326	1368

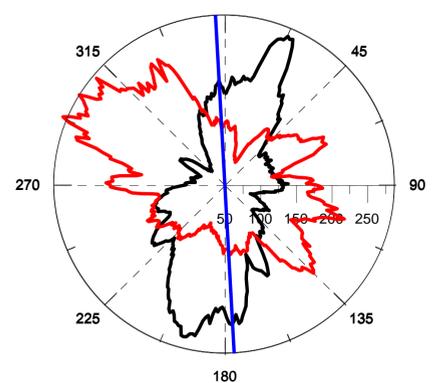


Рисунок 2. Распределения ПИВ по азимутам распространения. Черная кривая – относительная частота наблюдения ВГВ (2007-2016 годы), красная – средняя горизонтальная скорость наблюдаемых ВГВ, на шкале показаны ее значения в м/с. Синяя линия – направление геомагнитного поля над ИРНР

В предположении выполнения дисперсионного уравнения Хайнса можно найти внутренний период ПИВ. Зная внутренний период ПИВ можно найти скорость ветра вдоль направления распространения ПИВ. Величины среднемесячного зонального и меридионального ветра в момент времени t можно определить как минимум функционала.

$$k^2 = \frac{k_h^2 \Omega_B^2}{\omega^2} + \frac{\omega^2 - \omega_A^2}{C_0^2} \quad \omega' = \omega_{наб} - k_h U$$

$$\sum (U_x \sin(\varphi_i) + U_y \cos(\varphi_i) - U_i)^2 \rightarrow \min$$

Где Ω_B – частота Брента, ω_A – частота акустического обрезания, C_0 – скорость звука, ω' – внутренняя частота, $\omega_{наб}$ – наблюдаемая частота, k – волновой вектор, k_h – горизонтальное волновое число, φ – азимут, U – скорость ветра вдоль направления распространения ПИВ. Суммирование производится по всем ПИВ наблюдавшимся во временном окне $[t-2, t+2]$ при скорости ветра меньше 300 м/с ($|U_i| < 300$ м/с), U_x – зональный ветер, U_y – меридиональный ветер, U_i – горизонтальный ветер вдоль направления распространения ПИВ, φ_i – азимут ПИВ (отсчитывается от направления на север по часовой стрелке)

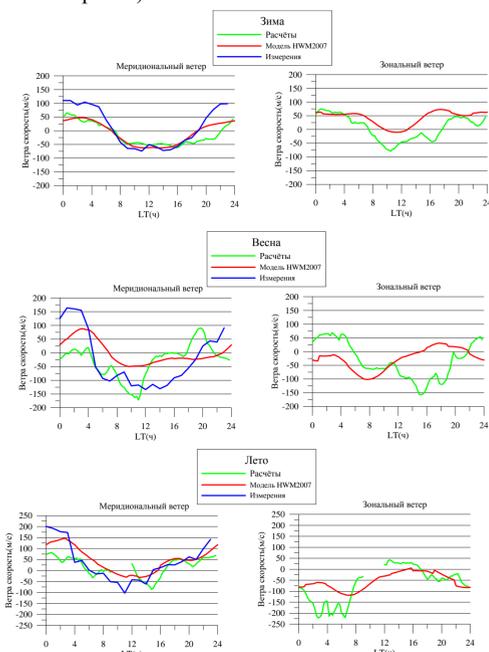


Рисунок 3. Среднемесячный суточный ход зонального и меридионального ветра.

Нами выделено три типа возмущений в зависимости от направления распространения. Большая часть ВГВ ~83%, наблюдаемых радиофизическим комплексом ИСЗФ, имеет фазовую скорость направленную сверху вниз (отрицательный угол наклона волнового фронта), что соответствует ВГВ распространяющейся от источника, лежащего ниже рассматриваемой области (групповая скорость направлена снизу вверх). Возмущения с положительными углами наклона волнового фронта, составляют ~17% от всех наблюдений, и могут быть условно разделены на два диапазона: 0°-45° (отражения ВГВ от областей резкого изменения ветра расположенных выше точки наблюдения ~9%) и 45°-90° (ВГВ от источников выше рассматриваемой области ~8%).



Рисунок 6. Распределение азимутов ПИВ для зимнего сезона – чёрные линии, заштрихованные сектора - запрещённые ветром области распространения.

Выводы

Автоматические методы обработки данных одновременных измерений на Иркутском радаре некогерентного рассеяния ионозонде DPS-4 позволили получить представительную статистику параметров распространения перемещающихся волновых возмущений в ионосфере (с получением полного вектора фазовой скорости). Выявлена существенная анизотропия частоты наблюдения и средней горизонтальной скорости наблюдаемых ПИВ в зависимости от направления распространения. Показано, что наблюдаемая анизотропия направлений распространения ПИВ в каждый момент времени может быть объяснена интегральным действием нейтрального ветра в толще атмосферы на пути распространения волн. Вероятность наблюдения увеличивается для внутренних гравитационных волн, распространяющихся в направлении противоположном действующему на высоте наблюдения нейтральному ветру. Напротив, в направлении совпадающим с сильным нейтральным ветром (более 50 м/с) на любой из высот, через которые ВГВ прошли, прежде чем достигнуть высоты наблюдения, распространение ВГВ блокируется. Особенности распределения азимутов ПИВ в зависимости от углов наклона волнового фронта также хорошо объясняются нейтральным ветром. Получен среднемесячный суточный ход меридионального и зонального нейтрального ветра для зимнего, весеннего и летнего сезона. Получена зависимость средней амплитуды ПИВ от скорости нейтрального ветра вдоль направления распространения ПИВ.

Как можно видеть из рисунка 2, максимумы распределения не соответствуют направлению вдоль геомагнитного поля и, кроме того, главная ось распределения характерных скоростей распространения возмущений перпендикулярна оси числа наблюдаемых ВГВ. Такое соотношение возможно в том случае, если распределения азимутов ВГВ определяется нейтральным ветром. Нейтральный ветер понижает амплитуду ВГВ, распространяющихся по ветру, и повышает в противоположном. Одновременно меняется и горизонтальная скорость ВГВ, наблюдаемая наземным способом. Для проверки гипотезы ветровой фильтрации ВГВ, мы сравнили распределения ВГВ по времени и азимутам с распределением проекций скорости нейтрального ветра.

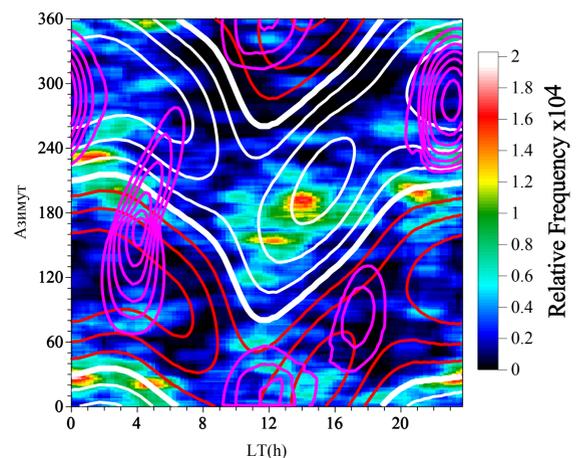


Рисунок 4. Цветом показано распределение ВГВ по времени и азимутам для зимнего сезона, белые изолинии – контуры разрешающего ветра, красные изолинии – контуры запрещающего ветра на высоте наблюдения. Сиреневым – контуры сильных запрещающих ветров (больше 50 м/с) на высотах 90-200 км.

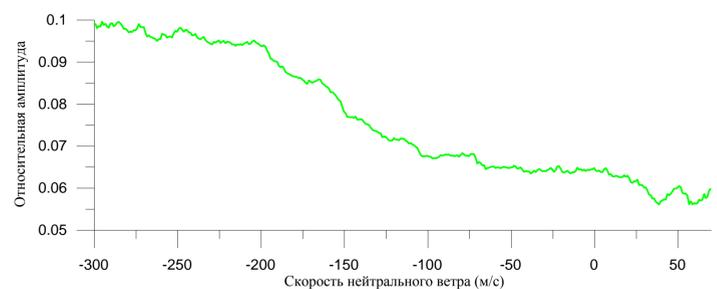


Рисунок 5. Зависимость средней амплитуды ВГВ от проекции нейтрального ветра на горизонтальную скорость распространения ВГВ.

Запрещённые сектора определялись наличием в течение более половины суток сильного (>75 м/с) нейтрального ветра хотя бы на одной из высот которые прошло возмущение, прежде чем достигнуть высоты наблюдения. Параметры нейтрального ветра определялись из модели HWM2007, диапазон рассматриваемых высот для ВГВ с отрицательным углом наклона волнового фронта: от 90 км до высоты наблюдения, для отражённых (0°-45°): 90-400 км, от источников выше рассматриваемой области (45°-90°): высота наблюдения – 400 км.