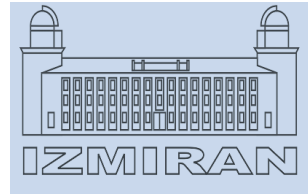


ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ "ПУЗЫРИ": ВЕТРОВАЯ ПОДГОТОВКА ИХ ГЕНЕРАЦИИ



ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ И
РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В. Пушкина РАН (ИЗМИРАН),
Москва, Троицк, 108840, Россия <http://www.izmiran.ru> lsid@izmiran.ru

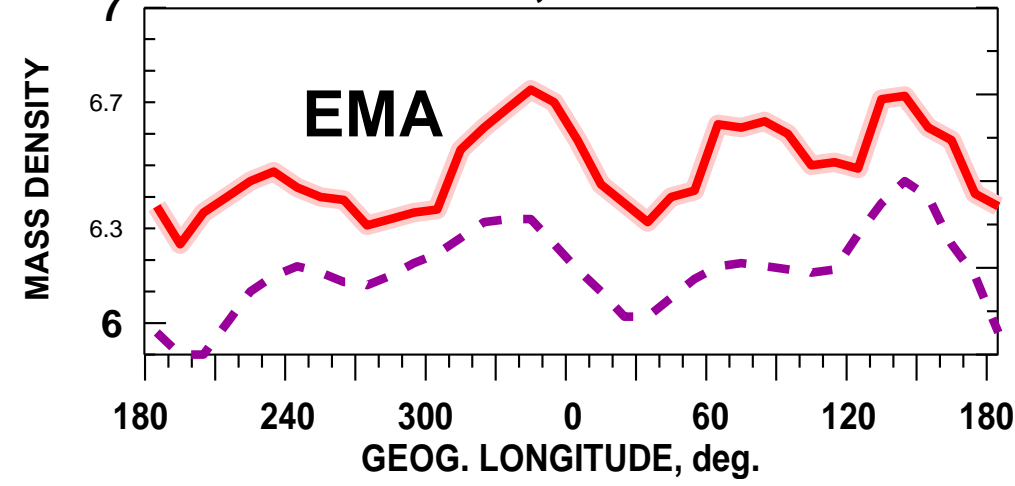


СИДОРОВА Л.Н.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ:

EPB и EMA (усреднение по двум полушариям)

EQUINOX (March-April, Aug.- Sept.), 2002
~400 km, 14-18 LT



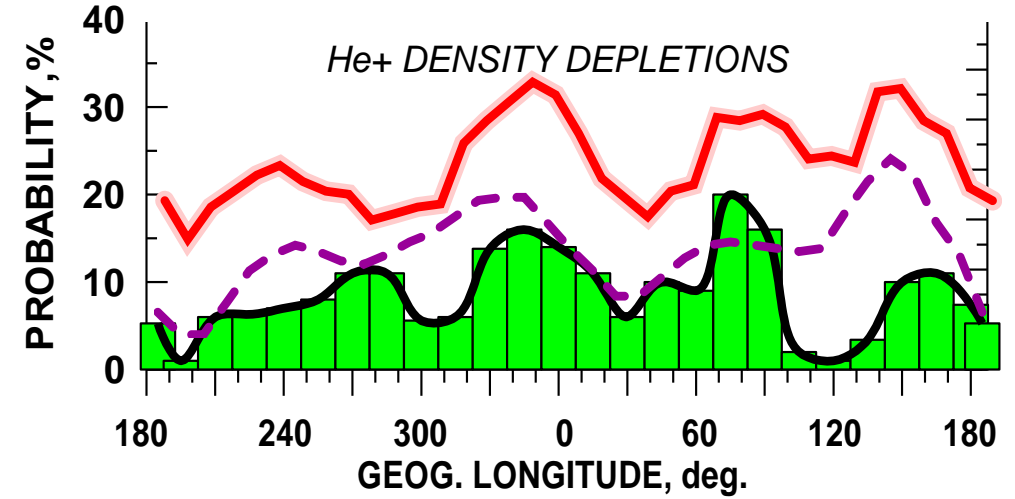
CHAMP, EMA

Liu et al., GRL, 2009

CREST $\pm 10^\circ - \pm 20^\circ$

TROUGH $\pm 5^\circ$

TOTAL EQUINOX, 1978-79, ~1100 km,
20-04 LT



ISS-b, plasma bubbles (EPB)

Корреляция:

R=0.79

R=0.59

Sidorova, Filippov,
ASR, 2018

ABSTRACT

Согласно теоретическим указаниям зональные западные термосферные ветры оказывают ключевое влияние на процесс генерации плазменных "пузырей". Проведена проверка этого предположения. С этой целью проведен детальный сравнительный анализ долготного распределения экваториальных плазменных "пузырей" (EPB) и долготного профиля девиаций зонального термосферного ветра. Для анализа были взяты EPB данные, усредненные по двум полушариям в период весеннего равноденствия. Равноденственные ветровые характеристики рассматривались как медианные значения, полученные в интервале (15–21 LT), охватывающем время подготовки и период генерации EPB. Выявлено детальное подобие долготного распределения EPB, характерного для высот верхней ионосферы (~1100 км, ISS-b), и долготного профиля девиаций термосферного зонального ветра (~400 км, CHAMP). Выявлена высокая степень их корреляции ($R \approx 0.76$). Получено новое подтверждение теоретического положения (модель Кудеки) о ключевом влиянии зональных западных термосферных ветров на процесс генерации плазменных "пузырей".

ОБСУЖДЕНИЕ

1). Ранее [5] была выявлена высокая корреляция ($R \approx 0.79$) долготного распределения EPB с вариациями плотности нейтральной атмосферы области экваториальной аномалии (equatorial mass density anomaly, EMA) [4]. А, как известно, формирование EMA осуществляется под влиянием, в первую очередь, термосферных ветров.

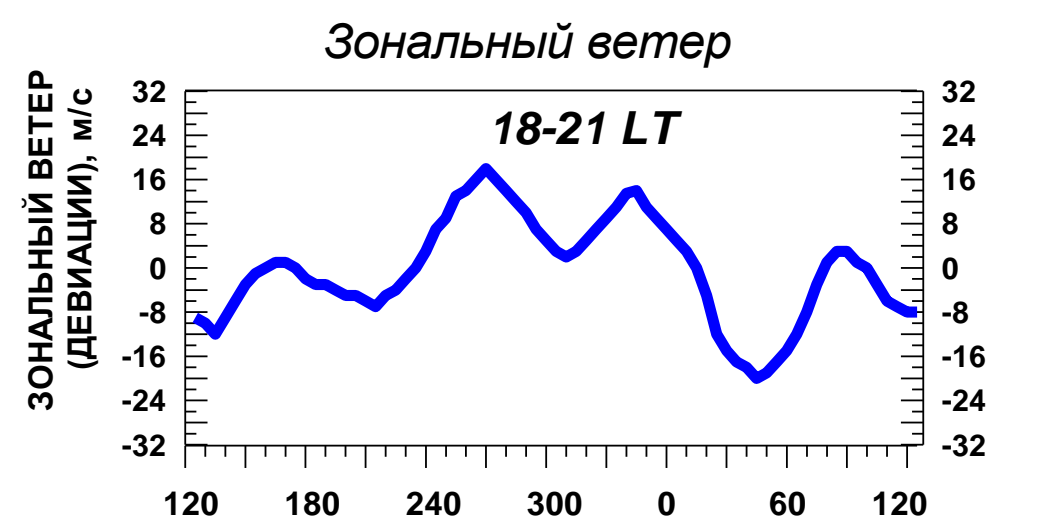
2). Согласно теоретическим выводам Кудеки [3], ключевая роль в генерации EPB также принадлежит термосферным ветрам, а именно зональным западным ветрам. Согласно измерительным данным, полученным на спутнике CHAMP [1], фоновый (медианный) ветер в период равноденствия в интервале от полудня до утра (12–06 LT) направлен на запад. Типичные величины скорости этого ветра варьируются в пределах ~100–200 м/с [1]. Наблюдаемые отклонения зонального ветра составляют ± 20 м/с и ± 12 м/с, соответственно, изменяют его амплитуду, но не меняют направление.

3). Если мы полагаем [5], что термосферный зональный ветер "программирует" характер долготного распределения EPB в момент их генерации, а именно на этапе появления "затравочных" возмущений, то было логично провести их сравнительный анализ с ветровым профилем, характерным для заходных и послезаходных часов (18–21 LT). То есть в период, когда "стартовый" процессы генерации EPB. Для этого были рассмотрены данные спутника CHAMP [1]. В результате сравнения был выявлен значительный коэффициент корреляции ($R \approx 0.55$). Однако при сравнении с ветровым профилем, усредненным за более широкий интервал (15–21 LT), коэффициент корреляции существенно возрос ($R \approx 0.76$). Почему?

Наблюдаемый рост корреляции профилей в случае использования ветровых характеристик, усредненных по более широкому интервалу наблюдений, не случаен. Он закономерен, поскольку такой подход по сути является физически более обоснованным. Дело в том, что для развития механизмов генерации EPB важно наличие "подготовленных" ионосферных условий. Условия же будут "подготовлены" тогда, когда под влиянием зональных западных ветров в достаточной степени разовьются столкновительно-сдвиговая и ветровая неустойчивости, которые приведут к массовому появлению "затравочных" возмущений. (Те, в свою очередь, после захода солнца, т. е. с развитием вечернего всплеска $E \times V$ дрейфа, начнут эволюционировать и оформляться в плазменные "пузыри".) Иными словами, наличие развитых "затравочных" возмущений будет означать готовность ионосферы к генерации EPB. Для развития же таких возмущений требуется время – подготовительный период. Он "стартует, согласно радарным данным [2], когда в экваториальной ионосфере начинают формироваться ветровые сдвиговые потоки. Они формируются уже приблизительно в 14 LT и постепенно усиливаются к сумеречным часам. Тогда же сдвиговая неустойчивость даже со скромными темпами роста способна инициировать появление первых "затравочных" возмущений. Причем на их генерацию согласно результатам численного моделирования [2] требуется как минимум час. Очевидно поэтому наиболее верным, наиболее репрезентативным оказался интервал (15–21 LT), охватывающий как время подготовки, когда формируются "затравочные" возмущения, так и непосредственно сам период генерации EPB. Как результат, коэффициент корреляции сравниваемых профилей существенно возрос ($R \approx 0.76$). Важно отметить, что необоснованно ожидать более совершенного подобия сравниваемых профилей. Ведь в развитии EPB участвует огромное число процессов, оказывающих свое специфическое влияние на их эволюцию ($E \times V$ дрейф, зональный дрейф, процессы диффузионного "растекания" вдоль магнитных трубок, слияние, бифуркация, диссипация EPB и т. п.) Эти процессы могут вносить существенную коррекцию в исходную "стартовую" картину долготного распределения EPB. Их вклад требуется учитывать в первую очередь. Кроме того дополнительная "невязка" профилей может возникать из-за наложения неопределенностей, связанных с пробелами в измерениях, погрешностями измерений и методами их обработки.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ: EPB и девиации скорости зонального ветра (18-21 LT), (15-21 LT)

VERNAL EQUINOX, 2002-2004, ~400 km, 18-21 LT

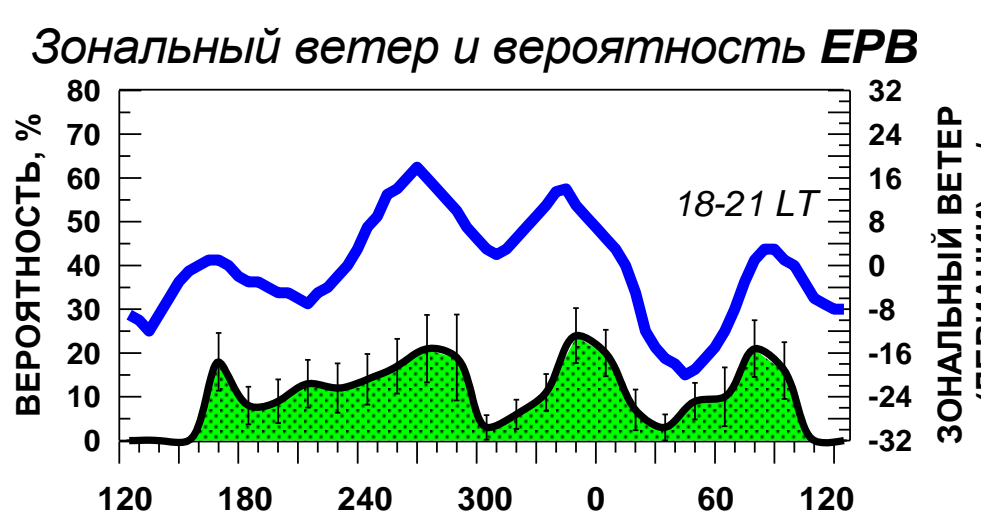


CHAMP

УСРЕДНЕНИЕ НА
ЭКВАТОРЕ $\pm 10^\circ$

Häusler et al., 2007

VERNAL EQUINOX, 1978-79, ~1100 km, 20-04 LT



ISS-b

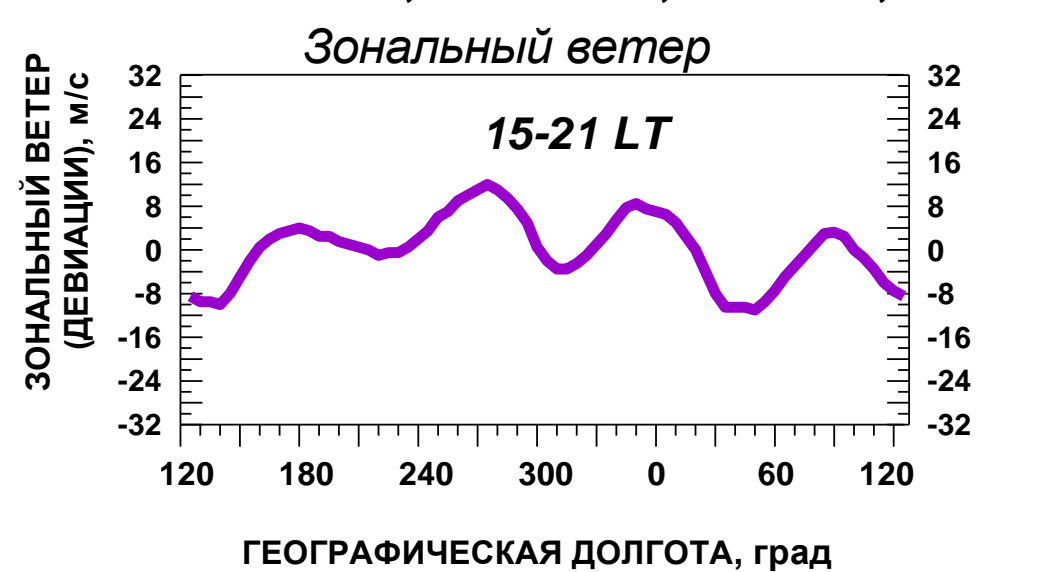
УСРЕДНЕНИЕ ПО
ДВУМ ПОЛУШАРИЯМ

Сидорова, Филиппов,
Геом. Аэрон., 2019

R=0.55

значительная корреляция

VERNAL EQUINOX, 2002-2004, ~400 km, 15-21 LT

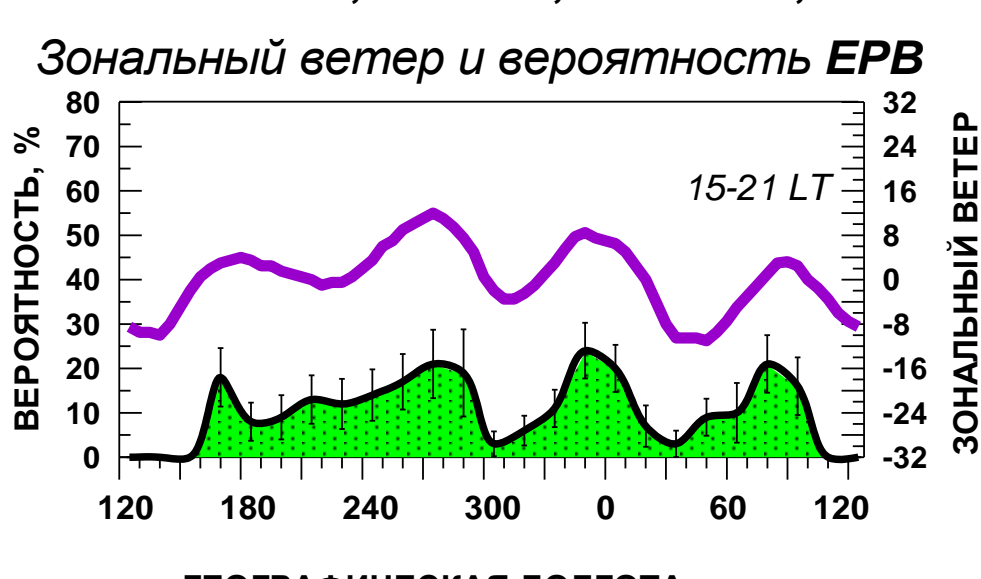


CHAMP

УСРЕДНЕНИЕ НА
ЭКВАТОРЕ $\pm 10^\circ$

Häusler et al., 2007

VERNAL EQUINOX, 1978-79, ~1100 km, 20-04 LT



ISS-b

УСРЕДНЕНИЕ ПО
ДВУМ ПОЛУШАРИЯМ

Сидорова, Филиппов,
Геом. Аэрон., 2019

R=0.76

высокая корреляция

ВЫВОДЫ

- При сравнении долготного распределения экваториальных плазменных «пузырей» (EPB) периода весеннего равноденствия выявлена
 - значительная корреляция ($R \approx 0.55$) с долготным профилем девиаций скорости зонального термосферного ветра, регистрируемого в период генерации EPB **18-21 LT**
 - высокая корреляция ($R \approx 0.76$) с долготным профилем девиаций скорости зонального термосферного ветра, усредненного за время подготовки и генерации EPB **15-21 LT**.
- Получено новое подтверждение теоретического положения (модель Кудеки) о ключевом влиянии зональных западных термосферных ветров на процесс генерации экваториальных плазменных «пузырей».

ЛИТЕРАТУРА

- Häusler K., Lühr H., Rentz S., Köhler W. A statistical analysis of longitudinal dependence of upper thermospheric zonal winds at dip equator latitudes derived from CHAMP // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 69. N 12. P. 1419–1430. doi:10.1016/j.jastp.2007.04.004. 2007.
- Hysell D.L., Kudeki E. Collisional shear instability in the equatorial F-region ionosphere // J. Geophys. Res. V. 109. N A11301. 2004.
- Kudeki E., Akgiray A., Milla M.A., Chau J.L., Hysell D.L. Equatorial spread-F initiation: post-sunset vortex, thermospheric winds, gravity waves // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 69. N 17–18. P. 2416–2427. 2007.
- Liu H., Yamamoto M., Lühr H. Wave-4 pattern of the equatorial mass density anomaly: A thermospheric signature of tropical deep convection // J. Geophys. Res. Lett. V. 36. N L18104. doi: 10.1029/2009GL039865. 2009.
- Sidorova L.N., Filippov S.V. Four-peak longitudinal distribution of the equatorial plasma bubbles observed in the topside ionosphere: Possible troposphere tide influence // Adv. Space Res. V. 61. N 6. P. 1412–1424. doi.org/10.1016/j.asr.2017.12.035. 2018.
- Сидорова Л.Н., Филиппов С.В. Ветровая подготовка генерации экваториальных плазменных "пузырей" // Геомагнетизм и аэронавигация, том 59, № 3, с. 333–339, 2019. <https://doi.org/10.1134/s0016794019030131>