

УДК 550.388.2

© 1992 г. В.В. Афонин, М.Г. Деминов, А.Т. Карпачев,
Н.П. Бенькова, А.С. Беспрозванная, Л.В. Шестакова,
Я. Шмилауэр, Т.И. Жука

ДОЛГОТНЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА ДЛЯ НОЧНЫХ ЗИМНИХ УСЛОВИЙ ПО ДАННЫМ ИСЗ "КОСМОС-900" И "ИНТЕРКОСМОС-19"

На основе анализа массива данных ИСЗ "Космос-900" (~ 700 случаев) и "Интеркосмос-19" (~ 250 случаев), полученных для ночных условий местной зимой для северного и южного полушарий периода высокой солнечной активности, показана устойчивость характера долготных изменений инвариантной широты минимума главного ионосферного провала $\Phi_{\Pi}(h)$ как на высоте максимума $F2$ -слоя $h = h_m F2$, так и на фиксированной высоте $h = h_0 \approx 450$ км. Обнаружено, что основные гармоники и фазы долготных вариаций $\Phi_{\Pi}(h_m)$ и $\Phi_{\Pi}(h_0)$ практически совпадают, а амплитуда этих вариаций уменьшается примерно в 1,5 раза при переходе от h_m к h_0 ; с ростом высоты практически на всех долготях происходит смещение Φ_{Π} к полюсу и среднее значение $\Phi_{\Pi}(h_m) - \Phi_{\Pi}(h_0) = -2^\circ$ ф.

Введение. По данным ИСЗ долготные изменения инвариантной широты минимума провала Φ_{Π} для ночных условий анализировались авторами работ [1–3]. При этом в работе [1] проведено усреднение данных по долготным интервалам, что существенно занизило амплитуду эффекта [2], а приведенные в [2, 3] результаты основаны на данных всего лишь нескольких сеансов измерений (каждый сеанс соответствует примерно 10 последовательным пересечениям главного ионосферного провала (ГИП)). Кроме того, в этих двух сериях наблюдений получалась разная информация: $\Phi_{\Pi}(h_m)$ – положение минимума ГИП на высоте максимума $F2$ -слоя h_m , определенное по критической частоте $F2$ -слоя $f_0 F2$ с помощью станции внешнего зондирования на ИСЗ "Интеркосмос-19" (ИК-19) [2]; $\Phi_{\Pi}(h_0)$ – положение минимума ГИП на почти фиксированной высоте $h_0 \sim 450$ км, определенное по электронной концентрации с помощью трехэлектродной ионной ловушки с плавающим потенциалом на ИСЗ "Космос-900" [3]. Поэтому вопросы устойчивости характера долготных изменений Φ_{Π} , наличия или отсутствия систематической разницы между долготными изменениями $\Phi_{\Pi}(h_m)$ и $\Phi_{\Pi}(h_0)$ остаются открытыми. Данная работа посвящена решению этих вопросов на основе однородных статистических данных о $\Phi_{\Pi}(h_m)$ и $\Phi_{\Pi}(h_0)$ для ночных зимних условий периода высокой солнечной активности, полученных с ИСЗ "Космос-900" и "ИК-19".

Данные. Для анализа использованы данные, полученные в интервале 18–06 LT местной зимой для спокойных и умеренно-возмущенных условий, т.е. все сильные бури из рассмотрения исключались. Данные ИСЗ "Космос-900" и "ИК-19" относятся к периоду высокой солнечной активности 1978–80 гг. Высота ИСЗ "Космос-900" соответствовала интервалу 430–460 км и, следовательно, можно принять, что $h_0 = 450$ км. Поскольку нас интересует устойчивость характера долготных изменений $\Phi_{\Pi}(h_0)$, то используемые при обработке данные ИСЗ "Космос-900" включали и те случаи, когда днище провала было широким и плоским ($\Phi_{\Pi}(h_0)$ определялось по середине днища) или когда флуктуации электронной концентрации $N_e(h_0)$ затрудняли обработку ($\Phi_{\Pi}(h_0)$ определялось по наименьшему значению $N_e(h_0)$). Анализ данных ИСЗ "ИК-19" допол-

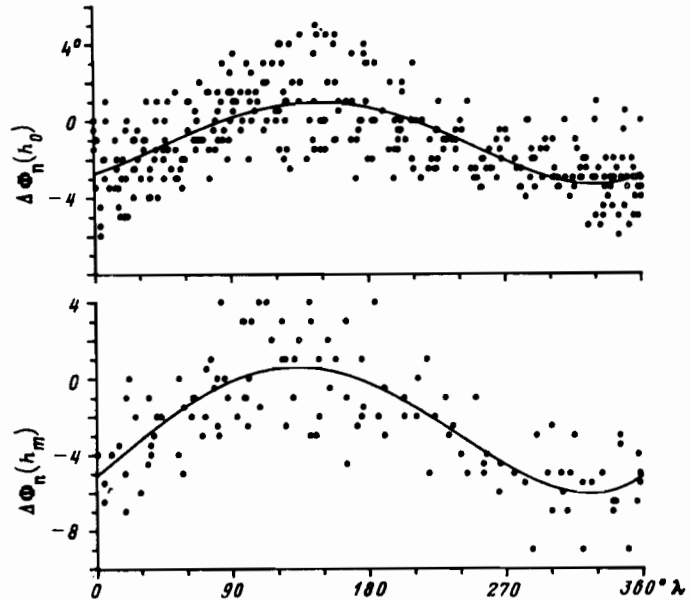


Рис. 1. Определенные по данным ИСЗ "Космос-900" и "ИК-19" для южного полушария и усредненные зависимости величин $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ от географической долготы λ

нительно затруднен наличием F -рассеяния и большой дискретностью данных, которая на субавроральных широтах составляла $2-4^\circ$. Поэтому использовались данные о критической частоте f_0F2 только для тех сеансов, где полярная стенка провала фиксировалась достаточно отчетливо. Отсчет $\Phi_{\text{п}}(h_m)$ проводился по плавной кривой, проведенной через измеренные значения f_0F2 для каждого витка. Типичные значения h_m в области ГИП для рассматриваемых условий около $350-400$ км и, следовательно, разница $h_0 - h_m \approx 50-100$ км.

Для удобства анализа ниже использованы величины $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0) = \Phi_{\text{п}}(h_0) - \Phi_{\text{п}}^*$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m) = \Phi_{\text{п}}(h_m) - \Phi_{\text{п}}^*$, где $\Phi_{\text{п}}(h_0)$ или $\Phi_{\text{п}}(h_m)$ — определенное по данным "Космос-900" или "ИК-19" положение минимума ГИП, которое соответствует определенным значениям K_p -индекса магнитной активности за предыдущие 3 ч, местному времени LT, отсчитываемому от полуночи, и географической долготы λ ; $\Phi_{\text{п}}^*$ — полученная по данным ИСЗ "ESRO-4" в интервале $245-1177$ км, т.е. в среднем вблизи 700 км. статистическая зависимость положения минимума ГИП от K_p -индекса и LT [4]:

$$\Phi_{\text{п}}^* = 65,2 - 2,1K_p - 0,5LT \pm 2^\circ. \quad (1)$$

Величины $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ описывают чисто долготные изменения положения минимума ГИП на соответствующих высотах, если соотношение (1) является точным, т.е. не имеет указанного разброса $\pm 2^\circ$, и, кроме того, характер и амплитуда долготных изменений не зависят от K_p и местного времени.

Результаты наблюдений. На рис. 1 показаны массивы данных (350 значений $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и 120 значений $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$) для южного полушария местной зимой в ночных условиях и усредненные зависимости $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ от географической долготы λ , полученные по этим данным. Эти зависимости можно представить в виде

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{п}}(h_0) &= -1,1 - 2\cos(\lambda + 42) \pm 2, \\ \Phi_{\text{п}}(h_m) &= -2,6 - 3,3\cos(\lambda + 50) \pm 2, \end{aligned} \quad (2)$$

где все величины даны в градусах и указано стандартное отклонение.

Из рис. 1 видно, что разброс данных на фиксированных долготах значителен и сос-

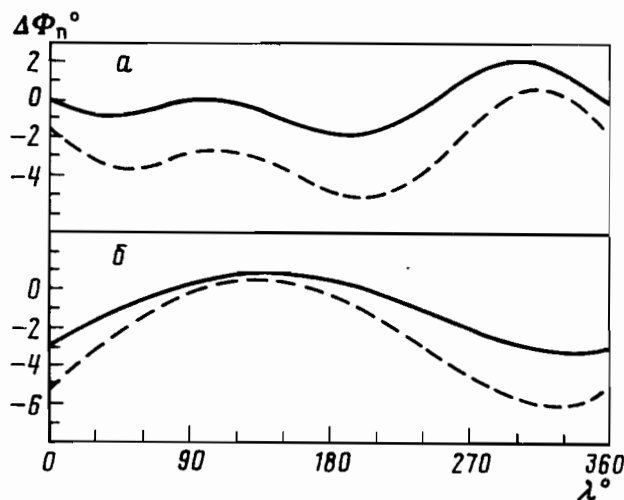


Рис. 2. Долготные вариации величин $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ (сплошные линии) и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ (штриховые линии) в ночных условиях местной зимой для северного (а) и южного (б) полушарий

тавляет $6-8^\circ$. Тем не менее долготные изменения $\Phi_{\text{п}}$ являются устойчивой характеристикой ионосферы в том смысле, что для каждого индивидуального сеанса измерений разница между $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ или $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ на долготах $90-180^\circ\lambda$ и на $300-360^\circ\lambda$ всегда положительна, хотя величина этой разницы может отличаться от сеанса к сеансу.

Для северного полушария местной зимой в ночных условиях разброс данных $\Delta\Phi_{\text{п}}$ на фиксированных долготах, величина стандартного отклонения и устойчивость характера долготных изменений $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ практически совпадают с приведенными выше для южного полушария. Усредненные долготные изменения $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ для северного и южного полушарий в ночные часы местной зимой приведены на рис. 2. Аппроксимация этих изменений для северного полушария:

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0) &= -0,2 + 1,2\cos(\lambda + 45) - 1,1\cos(2\lambda - 30) \pm 2, \\ \Delta\Phi_{\text{п}}(h_m) &= -2,6 + 1,9\cos(\lambda + 35) - 1,4\cos(2\lambda - 50) \pm 2,\end{aligned}\quad (3)$$

где использованы те же обозначения, что и при записи соотношений (2).

Обсуждение. Разброс данных $\Delta\Phi_{\text{п}}$ на фиксированных долготах связан со многими причинами: неточностью в определении $\Phi_{\text{п}}$ по экспериментальным данным; неточностью соотношения (1) для $\Phi_{\text{п}}^*$; принятым предположением о независимости амплитуды долготных изменений $\Phi_{\text{п}}$ от K_p -индекса. Так, приведенная в [1] амплитуда долготных изменений $\Phi_{\text{п}}(h_m)$ примерно через сутки после окончания бури в магнитном поле заметно выше, чем следует из усредненных данных на рис. 2. Тем не менее, как уже отмечалось выше, характер долготных изменений $\Phi_{\text{п}}$ устойчив. Это следует и из усредненных данных на рис. 2 и соотношений (2) и (3). Они показывают, что основные гармоники и фазы долготных изменений $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$, полученные по двум независимым наборам данных и двумя разными способами, практически совпадают как для южного, так и для северного полушарий. Характер долготных изменений $\Phi_{\text{п}}(h_m)$ слабо отличается и от приведенного ранее на основе нескольких сеансов в [2], где дано качественное обсуждение механизмов этих изменений, и поэтому здесь этот вопрос не рассматривается.

Рассмотрим теперь некоторые отличия в долготных изменениях $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$. Из соотношений (2) и (3) и рис. 2 видно, что амплитуда долготных изменений минимума главного ионосферного провала на высоте $h_m \approx 350-400$ км выше, чем на $h_0 \approx 450$ км, примерно в 1,5 раза. Если усреднить данные на рис. 2 по всем долготам, то можно получить систематическое смещение ($\Delta\Phi_{\text{п}}(h_m)$ и $\Delta\Phi_{\text{п}}(h_0)$) положения миниму-

ма главного ионосферного провала на высоте $h_m = 350-400$ км и на высоте $h_0 = 450$ км относительно минимума главного ионосферного провала Φ_n^* на высоте около 700 км. Эти смещения описываются первыми членами правой части соотношений (2) и (3), которые слабо отличаются для северного и южного полушарий и в среднем $\Delta\Phi_n(h_m) = -2,6$, $\Delta\Phi_n(h_0) \approx 0,6$. Следовательно, для ночных зимних условий положение минимума главного ионосферного провала с ростом высоты смещается к полюсу, т.е. к полярной стенке ГИП. Это смещение при переходе от $h_m \approx 350-400$ км до $h_0 \approx 450$ км в среднем около 2° и при переходе от $h_0 = 450$ км до $h \approx 700$ км около $0,6^\circ$. Это означает, что наиболее быстрое смещение с высотой минимума главного ионосферного провала к полюсу происходит сразу выше максимума $F2$ -слоя в относительно узком интервале высот около 100 км. Из рис. 2 видно также, что смещение Φ_n к полюсу при переходе от h_m к $h = 450$ км наблюдается не только при усреднении по долготам, но и практически на всех долготах. Поэтому отмеченные закономерности изменения с высотой Φ_n и амплитуды долготных изменений Φ_n являются устойчивой характеристикой ионосферы. По-видимому, эти закономерности справедливы и для сильно отличающихся от типичных условий. Так, по данным внешнего зондирования с ИСЗ "ISIS-2" для ночных зимних условий, когда интервал между основаниями полярной и экваториальной стенки ГИП по f_0F2 был необычайно большим и составлял 1 (для 18 декабря 1971 г. это, по-видимому, связано с предыдущей бурей в магнитном поле), было получено, что с ростом высоты основание экваториальной стенки провала смещается к полюсу и, следовательно, минимум главного ионосферного провала имеет тенденцию расположиться у полюсной границы этого провала [5].

Выводы. 1. Долготные изменения инвариантной широты минимума главного ионосферного провала $\Phi_n(h)$ на высоте максимума F -слоя $h = h_m = 350-400$ км и на фиксированной высоте $h = h_0 = 450$ км являются устойчивой, т.е. регулярно наблюдаемой характеристикой ночной зимней ионосферы. Более того, основные гармоники и фазы долготных вариаций $\Phi_n(h_m)$ и $\Phi_n(h_0)$ практически совпадают.

2. Амплитуда долготных изменений $\Phi_n(h_m)$ примерно в 1,5 раза выше, чем $\Phi_n(h_0)$, т.е. амплитуда долготных изменений $\Phi_n(h)$ уменьшается с ростом высоты.

3. Практически на всех долготах сразу выше максимума $F2$ -слоя в относительно узком интервале высот около 100 км происходит наиболее быстрое смещение $\Phi_n(h)$ к полюсу с ростом высоты. Среднее значение $\Phi_n(h_m) - \Phi_n(h_0) = -2^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tulunay Y. // J. Atmos. Terr. Phys. 1973. V. 35. P. 233.
2. Деминов М.Г., Карпачев А.Т. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1986. Т. 26. С. 63.
3. Афонин В.В., Бенькова Н.П., Зикрач Э.К. и др. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1988. Т. 28. С. 311.
4. Kohnlein W., Raitt W.J. // Planet. Space Sci. 1977. V. 25. P. 600.
5. Mendillo M., Chacko C.C. // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. P. 5129.

Институт космических исследований АН СССР
 Институт земного магнетизма, ионосферы
 и распространения радиоволн АН СССР
 Арктический и антарктический
 научно-исследовательский институт
 Институт космофизических исследований
 и аэронавигации Якутского филиала СО АН СССР
 Геофизический институт ЧС АН

Поступила в редакцию
 31.07.91