

УДК 550.388.2

© 1995 г. М. Г. Деминов, А. Т. Карпачев, В. В. Афонин,
С. К. Аннакулиев, Я. ШмилауерДИНАМИКА СРЕДНЕШИРОТНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОВАЛА
В ПЕРИОДЫ БУРЬ. I. КАЧЕСТВЕННАЯ КАРТИНА

На основе анализа данных зондовых измерений со спутника «Космос-900» на высотах 430 ± 50 км для неосвещенного времени суток обнаружено, что в периоды бурь среднеширотный ионосферный провал можно представить состоящим из двух провалов. Один из них — главный ионосферный провал (ГИП) имеет тенденцию располагаться вблизи границы диффузных вторжений электронов. Другой — кольцевой ионосферный провал (КИП) характерен для восстановительной фазы магнитной бури и, по-видимому, связан с остаточным кольцевым током магнитосферы. На этой фазе оба провала могут фиксироваться одновременно. В главную фазу магнитной бури изменение положения ГИП в целом опережает изменение D_{st} -индекса и отстает от изменения K_p -индекса с характерным временем задержки τ . Время τ тем больше, чем больше скорость роста K_p . Дана качественная интерпретация этих закономерностей.

Введение

В периоды бурь среднеширотный ионосферный провал часто имеет сложную структуру, например, может состоять из двух относительно узких провалов электронной концентрации. Этот факт не отражен в эмпирических моделях вариаций инвариантной широты минимума электронной концентрации среднеширотного провала Φ_n , содержащих зависимость Φ_n от K_p -индекса магнитной активности (см., например, [1]). Поэтому не ясно, относятся ли полученные статистические зависимости Φ_n от K_p к одному из этих провалов электронной концентрации или к некоторому их среднему значению.

Цель данной работы — попытка качественно ответить на этот вопрос, используя данные зондовых измерений концентрации N_e и температуры T_e электронов на ИСЗ «Космос-900» на высотах 430 ± 50 км. На этом спутнике измерения N_e , точнее суммарной ионной концентрации, проводились плоским анализатором с тормозящим потенциалом ПЛ-40А [2] и сферической трехэлектродной ионной ловушкой с «плавающим» потенциалом внешней сетки [3]. Температура электронов измерялась высокочастотным зондом [4]. Пределы измерений N_e — $10^3 \div 10^6$ см⁻³, T_e — $5 \cdot 10^2 - 10^4$ К.

Результаты анализа данных наблюдений

Для анализа использованы данные измерений N_e и T_e , полученные при пересечении спутником субавроральных широт в неосвещенное время суток местной зимой и в равноденствие в периоды 20 бурь с $(K_p)_{\max} = 5-8$, $(-D_{st})_{\max} = 60 \div 180$ нТл. Период измерений (март 1978 — сентябрь 1979 г.) соответствовал высокой солнечной активности.

На рис. 1 приведены изменения положения минимумов электронной концентрации для трех бурь. Время отсчитывается от начала роста K_p -индекса. Для

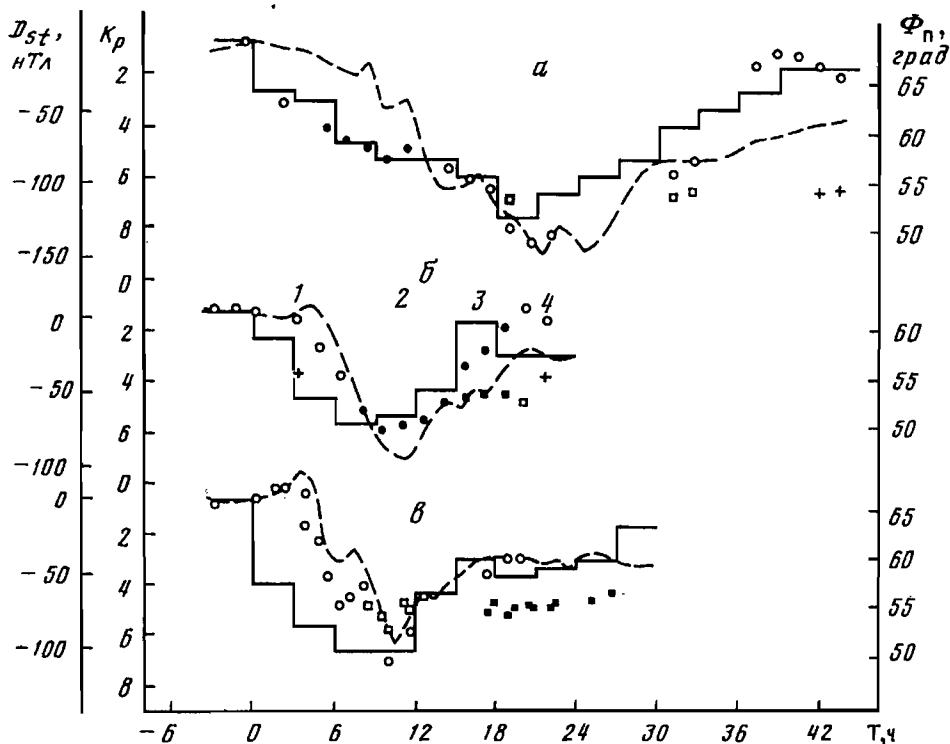


Рис. 1. Вариации положения провалов во время трех магнитных бурь: а — 28—30 августа 1979 г., 18—20 MLT; б — 26—27 июля 1979 г., 23—01 MLT; в — 21—22 марта 1979 г., 03—05 MLT; изменения K_p -индекса (сплошные линии); D_{st} -вариации (штриховые); кружки — главный ионосферный провал, квадратики — кольцевой ионосферный провал, зачерненные значки — узкий провал ионизации, крестики — пик T_e .

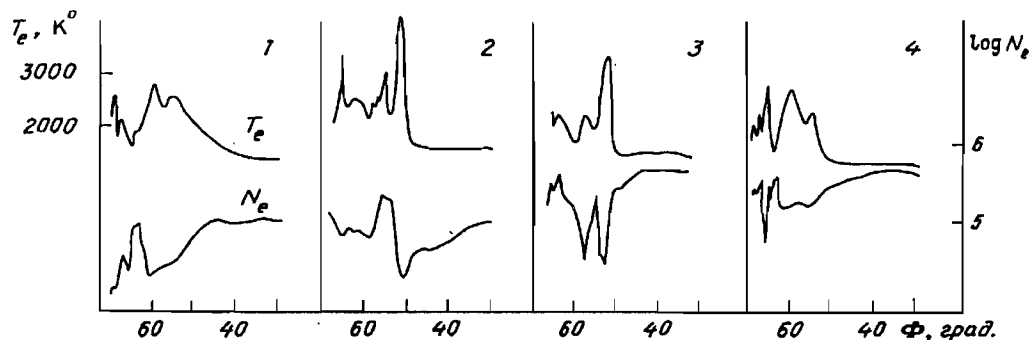


Рис. 2. Широтные вариации N_e и T_e во время бури 26—27 июля 1979 г. для витков, обозначенных на рис. 1 соответственно цифрами 1, 2, 3 и 4

наглядности на рис. 2 приведены примеры изменений N_e и T_e вдоль отдельных витков спутника в период бури 26—27 июля 1979 г., которые помечены цифрами 1, 2, 3, 4 на рис. 1. Видно, что в субавроральной области провалу N_e обычно соответствует пик T_e . Положение пика T_e при практически отсутствующем провале N_e на рис. 1 помечено крестиком. Такой случай реализуется, например, на витке 1 для пика T_e вблизи $55^\circ \Phi$. Для витка 2 и особенно 3 провалы N_e имеют структуру узких провалов ионизации. На рис. 1 им соответствуют за-

черненными
главным и
магнитной
Он фикси
для больш
независим
провалом
кольцевой
области,
располож
еще в ра
ионосфер
ферный п

Приве
измени
магнитн
от вечер
проследи
получен
Если
началом
положен
 K_p . Зате
экватору
 K_p и оп
магнитн
структур
зудется в
значени

На в
одноре
к полюс
КИП к
для бол
отделив
широты
часто и
такая ст
фазе ма
характер
 430 ± 5
След
магнит
отчетли
отлича
от магн

Из
фазу м
задерж
 $\tau \sim \frac{\Delta K}{\Delta I}$
для бу

черненные кружки и квадраты. Провал, помеченный на рисунке кружком, назовем главным ионосферным провалом (ГИП). Его положение зависит от текущего уровня магнитной активности. Отчетливо отделившийся от ГИП провал помечен квадратом. Он фиксируется преимущественно в восстановительную фазу магнитной бури и для большинства интенсивных бурь имеет тенденцию располагаться вблизи $55^\circ \Phi$ независимо от текущего уровня магнитной активности. Назовем его ионосферным провалом из-за остаточного кольцевого тока магнитосферы или для краткости — кольцевым ионосферным провалом (КИП). Отметим, что о наличии провала N_e в области, соответствующей проекции положения кольцевого тока на ионосферу, где расположен пик T_e и часто наблюдается среднеширотная красная дуга, сообщалось еще в работе [5]. Отметим также, что в публикациях часто среднеширотный ионосферный провал и ГИП — эквивалентные понятия. Здесь среднеширотный ионосферный провал состоит из ГИП и КИП.

Приведенные на рисунке бури расположены по мере увеличения скорости изменения K_p -индекса в главную фазу магнитной бури. При этом местное магнитное время (MLT) пересечения спутником субавроральных широт меняется от вечерних к утренним часам. Такой подбор геофизических условий позволяет проследить основные закономерности динамики ГИП и КИП, которые были получены на основе анализа 20 бурь. Эти закономерности сводятся к следующему.

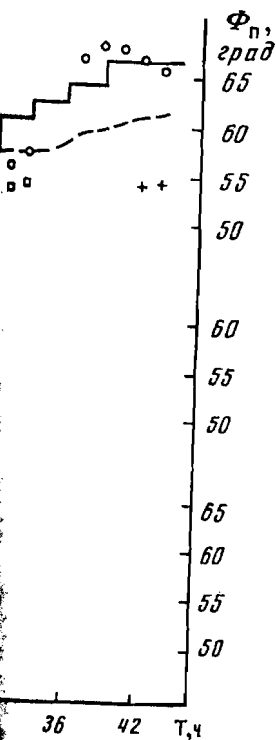
Если магнитная буря имеет отчетливую фазу роста — увеличение D_{st} перед началом главной фазы, то в начале этой фазы ГИП почти не меняет своего положения, либо даже несколько смещается к полюсу, несмотря на увеличение K_p . Затем, обычно не дожидаясь окончания фазы роста, провал устремляется к экватору. В результате смещение ГИП к экватору обычно отстает от изменения K_p и опережает изменение D_{st} , вплоть до приближения к концу главной фазы магнитной бури. В период такого смещения к экватору ГИП может приобретать структуру узкого провала ионизации. Такая структура ГИП чаще всего реализуется в предполуденные часы, что отмечалось и ранее [6]. Обычно минимальное значение широты ГИП достигается к концу главной фазы магнитной бури.

На восстановительной фазе магнитной бури ГИП и КИП могут фиксироваться одновременно. Оба провала смещаются к полюсу на этой фазе. Смещение ГИП к полюсу коррелирует со значением K_p -индекса за предыдущие 2—3 ч. Смещение КИП к полюсу сильно ослаблено и в среднем КИП расположен на широте $55^\circ \Phi$ для большинства интенсивных бурь. Поэтому КИП фиксируется как отчетливо отделившийся от ГИП провал, когда ГИП в процессе смещения оказывается на широтах, больших $55^\circ \Phi$. КИП в утренние и реже в околополуденные часы часто имеет структуру узкого провала ионизации. Для ГИП в утренние часы такая структура не характерна, поэтому в утреннем секторе на восстановительной фазе магнитной бури ГИП часто не выделяется отчетливо. Для вечерних часов характерна противоположная ситуация, когда по данным ИСЗ на высотах 430 ± 50 ми КИП не выделяется.

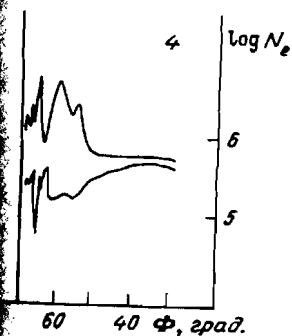
Следовательно, далеко не во всех случаях даже на восстановительной фазе магнитной бури ГИП и КИП одновременно отчетливо выделяются. В случае отчетливого выделения только одного провала не обязательно это ГИП. КИП отличается от ГИП в первую очередь характером зависимости его положения от магнитной активности.

Связь положения ГИП и КИП с K_p и DR

Из рис. 1 видна еще одна характерная особенность динамики ГИП в главную фазу магнитной бури: чем больше скорость роста K_p -индекса, тем больше время задержки τ смещения ГИП относительно K_p , т. е. $\Phi_n(t) \sim -K_p(t - \tau)$, где $\tau \sim \frac{\Delta K_p}{\Delta t}$. Корректное определение τ по данным «Космос-900» возможно только для бурь с относительно продолжительной главной фазой. Поэтому из 20 бурь



а — 28—30 августа 1979 г., марта 1979 г., 03—05 MLT; кружки — главный ионосферный провал, квадраты — узкий провал



б — для витков, обозначенных цифрами

и T_e вдоль отдельных витков. Провалы N_e обычно фиксируются в отсутствие магнитной бури, например, особенно 3 провала N_e соответствуют за-

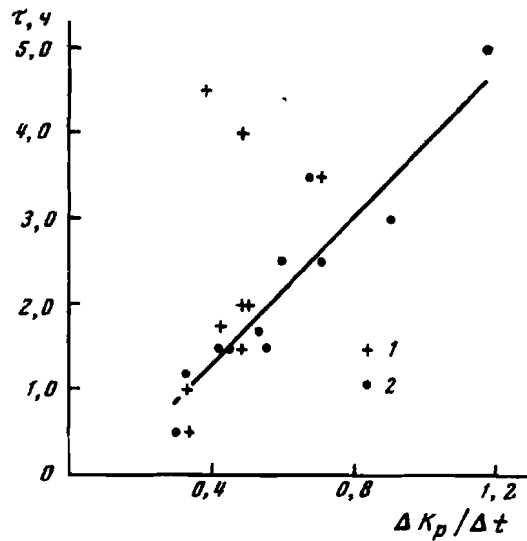


Рис. 3. Задержка реакции провала τ на изменения K_p -индекса в зависимости от скорости роста возмущения $\Delta K_p/\Delta t$: 1 — вечерние часы, 2 — околополуночные и послеполуночные часы местного времени

было отобрано 11, для которых период роста K_p продолжался не менее 6 ч. Для всего периода роста K_p определены средние значения τ и $\frac{\Delta K_p}{\Delta t}$ по каждой из отобранных бурь. Эти значения приведены на рис. 3. Там же изображено линейное уравнение регрессии для околополуночных и послеполуночных часов местного магнитного времени:

$$\tau = -0,4 + 4,5\Delta K_p/\Delta t, \quad (1)$$

где времена τ и t — в часах. Из рисунка видно, что обнаруженное свойство для околополуночных и послеполуночных часов устойчиво. Разброс значений τ для вечерних часов указывает, что в это время суток существует дополнительная причина увеличения τ , которая не включена в соотношение (1).

Если не проводить разделения на фазы бури, то среднее значение для отобранных бурь $\bar{\tau} \approx 2,2$ ч. Отметим, что $K_p(t - \tau) \approx \bar{K}_p(t - 2\tau)$, где $\bar{K}_p(t - 2\tau)$ — среднее за интервал времени от $t - 2\tau$ до t значение K_p . Следовательно, в среднем положение ГИП коррелирует со значением K_p за предыдущие 2,2 ч или, что почти одно и то же, со средним значением K_p за предыдущий интервал 4,4 ч.

С полем D_{st} тесно связано поле кольцевого тока $DR = D_{st} - \Delta DCF$, где $\Delta DCF \sim \sqrt{P}$ — возмущение поля токов на магнитопаузе, P — давление солнечного ветра [7]. Предварительный анализ показал, что для большинства периодов главной фазы отобранных бурь положение ГИП коррелирует с полем кольцевого тока без отчетливой задержки, т. е. $\Phi_n(t) \sim DR(t)$. Поэтому опережение изменения Φ_n относительно D_{st} в начальный период смещения Φ_n к экватору в значительной степени связано с увеличением давления солнечного ветра.

Выше отмечалось, что положение КИП, которое обозначим через Φ_n^* , практически не зависит от текущего значения K_p . Тем не менее наблюдается тенденция к корреляции $\Phi_n^*(t)$ и $DR(t)$ в начальный период восстановительной фазы интенсивной бури для $\Phi_n^* \leq 55^\circ \Phi$. На более поздней стадии $\Phi_n^*(t) \approx 55^\circ \Phi$.

Итак, качественные зависимости $\Phi_n(t) \sim DR(t)$ и $\Phi_n(t) \sim -K_p(t)$ в восстановительной фазе бури

Приведенные зависимости K_p являются качественными и относительными показателями активности. Они не являются функциями времени. В зависимости от фазы бури эти зависимости претерпевают изменения. В этом рассматривается магнитосфера. ГИП имеет сложную структуру. Высыпаний электронов в полярных областях в начальной фазе магнитной активности ГИП слабо отклоняется от экватора.

В квазистационарном состоянии и, по-видимому, в период восстановления, который обеспечивает условия существования плазмы [7, 8]. Эти условия являются границей ионизации ионизации авроральной области вертикальной структуры [7] почти симметрично.

Интервал времени существования плазмы солнечного ветра соответствует интервалу солнечного ветра. Интервал времени существования солнечного ветра K_p -индекса и изменения $\Phi_n(t) \sim -K_p(t)$. Увеличение $\Phi_n(t)$ больше возмущения $\Phi_n(t)$ тем больше $\Phi_n(t)$ после интервала $\Phi_n(t)$ и под влиянием $\sim \Delta K_p/\Delta t$ в среднем.

На главной фазе бури северная часть южной внутренней структуры ГИП связана с ГИП, где $\tau \sim \Delta K_p/\Delta t$ обусловлена частью которой

Итак, качественная картина изменения положения ГИП и КИП в период интенсивной бури следующая. В главную фазу бури $\Phi_n(t) \sim DR(t) \sim -K_p(t - \tau)$. В начальный период восстановительной фазы $\Phi_n(t) \sim -K_p(t - \tau)$, $\Phi_n^*(t) \sim DR(t)$ для $\Phi_n^*(t) < 55^\circ \Phi$. На более поздней стадии восстановительной фазы бури $\Phi_n(t) \sim -K_p(t - \tau)$, $\Phi_n^*(t) \approx 55^\circ \Phi$.

Обсуждение результатов

Приведенные выше корреляционные связи положений ГИП и КИП с DR и K_p являются качественными и отражают среднюю для отдельных фаз интенсивной и относительно продолжительной бури зависимость Φ_n и Φ_n^* от уровня магнитной активности. Обсудим возможные причины таких качественных усредненных зависимостей применительно к околополуденным часам местного времени. Для этого рассмотрим связь Φ_n и Φ_n^* с другими характеристиками ионосферы и магнитосферы.

ГИП имеет тенденцию примыкать к экваториальной границе диффузных высыпаний электронов (ГДВ). В среднем обе эти структуры изменяют свое положение в период бури почти синхронно. Это следует из близости среднестатистических положений ГИП во внешней ионосфере и ГДВ при любом уровне магнитной активности [1]. Кроме того, среднее время задержки $\bar{\tau} = 2,2$ ч для ГИП слабо отличается от этого времени для ГДВ [6].

В квазистационарном случае при повышенной магнитной активности ГДВ и, по-видимому, ГИП являются следствием существования альвеновского слоя, который обеспечивает образование отчетливой границы высокоширотной конвекции плазмы [6]. Основной причиной существования альвеновского слоя являются ионы плазменного слоя магнитосферы с энергиями 10—100 кэВ (см., например, [7, 8]). Эти же ионы являются источником кольцевого тока магнитосферы [9]. В период роста магнитной активности связь положения ГИП с внутренней границей ионов плазменного слоя, по-видимому, сохраняется. В этот период инжекция ионов плазменного слоя в глубь магнитосферы, увеличение интенсивности авроральных электроструй и кольцевого тока происходят после поворота вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля B_z с севера на юг [7] почти синхронно.

Интервал времени ΔT между приходом к Земле высокоскоростного потока плазмы солнечного ветра и поворотом B_z с севера на юг в этом потоке часто соответствует фазе роста магнитной бури. В эту фазу из-за увеличения давления солнечного ветра $P \sim N_1 V_1^2$ может происходить значительное увеличение планетарного K_p -индекса при практически фоновых значениях AE -индекса и слабом изменении поля DR и положения ГИП. Поэтому в соотношении $\Phi_n(t) \sim -K_p(t - \tau)$ время τ на начальном этапе развития бури связано с ΔT . Увеличение τ с ростом $\Delta K_p / \Delta t$ на этом этапе, по-видимому, означает, что чем больше возмущение скорости солнечного ветра в высокоскоростном потоке плазмы, тем больше ΔT . Кроме того, высокие значения V_1 после поворота B_z на юг, т. е. после интервала ΔT , обеспечивают быстрое увеличение интенсивности кольцевого тока и поддерживают высокие значения $\Delta K_p / \Delta t$. Поэтому условие $\tau \sim \Delta K_p / \Delta t$ в среднем выполняется для всего периода роста K_p .

На главной фазе магнитной бури уменьшение поля DR после поворота B_z с севера на юг сопровождается и в значительной степени обусловлено смещением внутренней границы ионов плазменного слоя к Земле [9]. Поскольку эта граница связана с ГИП, то качественно $\Phi_n(t) \sim DR(t)$. Кроме того, $\Phi_n(t) \sim -K_p(t - \tau)$, где $\tau \sim \Delta K_p / \Delta t$ по отмеченным выше причинам. Связь $DR(t)$ с $K_p(t - \tau)$ обусловлена и тем, что скорость оттока ионосферных ионов в магнитосферу, часть которых в дальнейшем ускоряется и инжектируется в кольцевой ток,

коррелирует с K_p [10, 11]. Такая корреляция особенно ярко выражена для ионов O^+ [10]. Поэтому к концу главной фазы интенсивной бури ионы ионосферного происхождения могут содержать до 80% плотности энергии кольцевого тока [9].

Начало восстановительной фазы магнитной бури соответствует условиям, когда потери ионов кольцевого тока превышают инжекцию ионов в кольцевой ток, либо инжекция прекращается, например, из-за поворота B_z на север. Для интенсивных бурь часто наблюдается первоначальная быстрая и последующая медленная восстановительная фаза с характерными временами менее 10 и ~ 100 ч соответственно. Это, по-видимому, обусловлено первоначальными быстрыми потерями энергичных ионов O^+ и последующими медленными потерями ионов H^+ с энергиями около 100 кэВ [9]. Почти аналогично изменяется инвариантная широта максимума плотности энергии кольцевого тока Φ_m : сначала относительно быстро смещается к полюсу до значений около $55^\circ \Phi$, а затем стабилизируется, поскольку эта широта является типичным положением остаточного кольцевого тока для спокойных условий [9, 12]. Закономерности изменений положения кольцевого ионосферного провала и Φ_m качественно совпадают, поэтому $\Phi_n^*(t) \approx \Phi_m(t)$ на восстановительной фазе магнитной бури. На этой фазе смещение ГДВ и ГИП к полюсу происходит с задержкой $\bar{\tau} \approx 2,2$ ч относительно K_p . Время τ , по-видимому, связано со средним временем существования электронов с энергиями около 1 кэВ, высыпания которых и обеспечивают смещение ГДВ к полюсу [6].

Приведенное выше обсуждение относилось в основном к околополуночным часам. Качественно оно справедливо и для послеполуночных часов. Для предполуночных часов картина сложнее. Так, из рис. 3 видно, что в дополуночные часы время задержки τ в период роста магнитной активности часто дополнительно увеличено, поэтому нет простой связи между τ и $\Delta K_p / \Delta t$. На главной фазе магнитной бури это, по-видимому, связано с поляризационным джетом — вытянутой в зональном направлении узкой полосой увеличенного значения электрического поля на север. Он существует в области продольных токов из магнитосферы в ионосферу вблизи, но экваториальнее ГДВ [6, 13]. Поэтому для образования поляризационного джета необходимо, чтобы смещение внутренней границы ионов плазменного слоя к Земле опережало первоначальное смещение ГДВ к экватору. Однако, если поляризационный джет образовался, то он в значительной степени блокирует смещение ГДВ и, следовательно, ГИП к экватору [13], даже если смещение внутренней границы плазменного слоя к Земле продолжается. Эта блокировка, по-видимому, является одной из причин увеличения времени задержки смещения ГИП к экватору относительно роста магнитной активности. Эффективность блокировки носит пороговый характер и существенно зависит от фоновых проводимостей ионосферы в области поляризационного джета, поэтому простая связь между τ и K_p отсутствует. Отметим, что поляризационный джет обеспечивает углубление ГИП до структуры узкого провала ионизации. Поэтому в главную фазу магнитной бури этот провал фиксируется преимущественно в дополуночные часы [6, 14].

Заключение

На основе анализа данных зондовых измерений с ИСЗ «Космос-900» на высотах 430 ± 50 км для неосвещенного времени суток получено, что в периоды бурь среднеширотный ионосферный провал можно представить состоящим из двух провалов — главного ионосферного провала и кольцевого ионосферного провала. ГИП является относительно регулярным образованием и на всех фазах бури имеет тенденцию располагаться вблизи экваториальной границы диффузных вторжений электронов. КИП отчетливо отделяется от ГИП на восстановительной фазе бури. На этой фазе КИП, по-видимому, расположен вблизи проекции на ионосферу максимума плотности энергии остаточного кольцевого тока.

Далеко
оба провал
ления одно
существую
деления за

1. Деминов И. Ионосферный провал. Т. 32. № 1.
2. Губский В. В. параметр потенциала. 1982. С. 10.
3. Беляшин В. В. с «плава». 1982. С. 10.
4. Афонин В. В. помощи с высокоочастотными измерениями. 1982. С. 10.
5. Norton R. middle latitude. 1982. С. 10.
6. Гальперин В. В. атмосфера. 1982. С. 10.
7. Пинида Л. 1982. С. 10.
8. Blanc M., altitudes. 1982. С. 10.
9. Hamilton K. storm of. 1982. С. 10.
10. Yau A. I. at DE 1. 1982. С. 10.
11. Cladis J. Res. 1982. С. 10.
12. Lui A. T. storms//. 1982. С. 10.
13. Деминов И. В. Геофизический журнал. 1982. С. 10.
14. Деминов И. В. Геофизический журнал. 1982. С. 10.

Институт земной геофизики
и распространения
Институт космических исследований
Геофизический институт

Далеко не во всех случаях даже на восстановительной фазе магнитной бури оба провала отчетливо фиксируются одновременно. В случае отчетливого выделения одного провала не обязательно это ГИП. Поэтому целесообразен пересмотр существующих моделей среднеширотного ионосферного провала на основе выделения закономерностей изменения ГИП и КИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деминов М. Г., Карпачев А. Т., Афонин В. В., Шмилауэр Я. Изменения положения главного ионосферного провала от долготы и геомагнитной активности//Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. № 5. С. 185.
2. Губский В. Ф., Жданов В. И., Афонин В. В., Волков Г. И. Аппаратура для измерений ионосферных параметров с помощью цилиндрического зонда Ленгмюра и плоского анализатора с тормозящим потенциалом на спутнике «Космос-900»//Аппаратура для космических экспериментов. М.: Наука, 1982. С. 83.
3. Беляшин А. П., Гдалевич Г. Л., Жданов В. И., Озеров В. Д. Измерение неоднородностей концентрации ионосферной плазмы при помощи установленной на спутнике «Космос-900» ловушки с «плавающим» потенциалом внешней сетки//Там же. С. 89.
4. Афонин В. В., Гдалевич Г. Л., Грингауз К. И. и др. Исследования ионосферы, проведенные при помощи спутника «Интеркосмос-2». III. Измерение электронной температуры в ионосфере методом высокочастотного зонда//Космич. исслед. 1973. Т. 11. № 2. С. 254.
5. Norton R. B., Findlay J. A. Electron density and temperature in the vicinity of the 29 September 1967 middle latitude red arc//Planet. Space Sci. 1969. V. 17. P. 1867.
6. Гальперин Ю. И., Сивцева Л. Д., Филиппов В. М., Халинов В. Л. Субавроральная верхняя атмосфера. Новосибирск.: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 192 с.
7. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Мир, 1980. 299 с.
8. Blanc M., Caudel G. The spatial distribution of magnetospheric convection electric fields at ionospheric altitudes: A review 2. Theories//Ann. Geophys. 1985. V. 3. № 1. P. 27.
9. Hamilton D., Gloeckler G., Ipavich F. et al. Ring current development during the great geomagnetic storm of February 1986//J. Geophys. Res. 1988. V. 93. № A12. P. 14343.
10. Yau A. W., Shelley E. G., Peterson W. K., Lenchyshyn L. Energetic auroral and polar ion outflow at DE 1 altitudes: magnitude, composition, magnetic activity dependence and long-term variation//J. Geophys. Res. 1985. V. 90. № A9. P. 8417.
11. Cladis J. B., Francis W. E. The polar ionosphere as a source of the storm time ring current//J. Geophys. Res. 1985. V. 90. № A4. P. 3465.
12. Lui A. T. Y., McEntire R. W., Krimigis S. M. Evolution of the ring current during two geomagnetic storms//J. Geophys. Res. 1987. V. 92. № A7. P. 7459.
13. Деминов М. Г., Шубин В. Н. Динамика субавроральной ионосферы в возмущенных условиях//Геомагнетизм и аэрономия. 1987. Т. 27. № 3. С. 398.
14. Деминов М. Г., Шубин В. Н. Эффекты электрических полей в ночной субавроральной F-области//Геомагнетизм и аэрономия. 1988. Т. 28. № 3. С. 409.

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн РАИ
Институт космических исследований РАИ
Геофизический институт АНЧР (Прага)

Поступила в редакцию
16.11.93
После доработки
27.04.94