

УДК 550.388.2

## АНАЛИЗ ПОЯВЛЕНИЯ УСЛОВИЙ «G» ПО ДАННЫМ ИРКУТСКОГО ДИГИЗОНДА

О.Е. Колпакова, Н.М. Полех, Г.П. Кушнарченко, Г.М. Кузнецова, К.Г. Ратовский

## ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF G CONDITIONS USING IRKUTSK DIGISONDE DATA

O.E. Kolpakova, N.M. Polekh, G.P. Kushnarenko, G.M. Kuznetsova, K.G. Ratovsky

Проведено исследование появления условий «G» по данным Иркутского дигизонда за 2003–2007 гг. Использовались результаты 5- и 15-минутных измерений. Обнаружено, что с уменьшением солнечной активности количество случаев появления условия «G» увеличивается. Наиболее часто условие «G» в годы умеренной солнечной активности наблюдается при  $K_p \geq 5$ , а в годы минимальной солнечной активности – при  $K_p \geq 2$ . Наибольшее количество случаев появления условий G приходится на летние месяцы в утренние часы местного времени.

We study of the G-conditions occurrence using the Irkutsk digisonde data in 2003–2007. The results of 5 and 15 min. measurements were used. It was found that the number of the condition G occurrences cases increases with the solar activity decrease. G-condition is observed the most often during the periods of the average solar activity when  $K_p \geq 5$  and of the minimum solar activity when  $K_p \geq 2$ . The most number of G conditions occurrences cases is observed in the morning local time hours in the summer months.

### Введение

При обработке ионограмм вертикального зондирования ионосферы появление условия «G» интерпретируется в тех случаях, когда критическая частота слоя F2 ( $f_0F2$ ) становится меньше или равной критической частоте слоя F1 ( $f_0F1 \geq f_0F2$ ), при этом высота максимума слоя смещается до высот меньше 200 км. Это обусловлено тем, что суммарная концентрация молекулярных ионов ( $O_2^+$ ,  $N_2^+$ ,  $NO^+$ ) становится выше, чем концентрация ионов кислорода ( $O^+$ ), которая определяет электронную концентрацию на высотах области F2.

Статистический анализ часовых значений критических частот мировой сети ионосферных станций за 1957–1990 гг., выполненный [Lobzin, Pavlov, 2002 a; b], показал, что появление условия «G» зависит от зенитного угла Солнца, широты, уровня солнечной и магнитной активности. Для отдельных дат были исследованы физические процессы в ионосфере, приводящие к появлению условия «G», с использованием данных по некогерентному рассеянию и математических моделей ионосферы [Pavlov, Duonsanto, 1998]. Авторы нашли, что уменьшение концентрации  $O^+$  обусловлено пониженной скоростью образования ионов кислорода вследствие низкой концентрации атомов кислорода. Последующие работы [Pavlov, Foster, 2001; Mikhailov, Schlegel, 2003] подтвердили прямую связь появления условия «G» с изменением нейтрального состава.

В [Куркин и др., 2011] показано, что в летнее время появление условия «G» часто регистрируется на среднеширотных трассах в утренние часы в спокойных и слабозмущенных геомагнитных условиях. Это существенно искажает свойства ионосферного радиоканала. Поэтому важно оценить не только вероятность появления такой ситуации, но и знать временные характеристики существования таких низких значений концентрации на высотах F2-слоя, основываясь на данных современных цифровых ионозондов.

### Анализ экспериментальных данных

Для анализа были использованы данные верти-

кального зондирования, полученные с 5- и 15-минутным интервалом зондирования в 2003–2007 гг. Отобраны такие случаи, когда концентрации на высотах F1 и F2 слоя были сопоставимы. На рис. 1 приведено изменение высотных профилей электронной концентрации (в плазменных частотах), полученных по данным некогерентного рассеяния (1, 3) в Иркутске и рассчитанных по данным дигизонда (2), относящихся к 19–20 июня 2007 г. Видно, что 19 июня 2007 г. профили, полученные в 23:30 и 23:45 UT с помощью этих двух инструментов, имеют выраженные максимумы электронной концентрации на высотах слоев F1 и F2. После 00 UT 20 июня на профиле НР отчетливо видно смещение максимума электронной концентрации на высоты 170–190 км. Профиль по данным дигизонда в таком случае не рассчитывается. Приведенные высотные профили иллюстрируют развитие условия «G» на широте Иркутска.

Таблица содержит сводную информацию о количестве случаев появления условия «G» по данным дигизонда в течение 2003–2007 гг. и максимальную продолжительность существования таких условий. Видно, что условие «G» наблюдается в течение всех летних месяцев и частично в равноденствие (апрель,

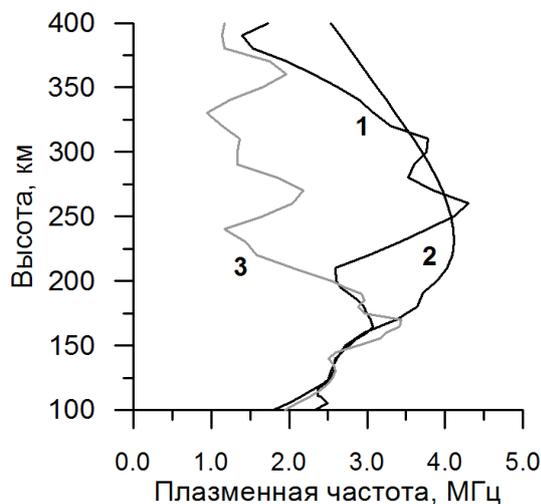


Рис. 1. Вариации высотного профиля  $N_e$ , полученные 19–20.06.2007 в 23:37 (1), 23:30 (2), 00:06 UT (3).

Сводная таблица регистрации условия «G»

Год	Кол-во дней наблюдений в году	Номер месяца	Кол-во дней наблюдения в месяце	Кол-во случаев в месяце	Максимальная продолжительность, часы
2003	40	5	8	50	3.25
		6	8	18	1.75
		7	14	78	2
		8	8	83	5.75
		9	2	10	2
2004	27	4	2	8	0.33
		5	2	6	0.5
		6	3	10	0.5
		7	13	80	2
		8	5	44	3
		9	1	10	2.5
2005	64	4	1	3	0.25
		5	13	144	6.75
		6	12	109	6.5
		7	18	151	6.75
		8	11	58	4.75
2006	53	9	10	169	1.75
		4	2	18	2.25
		5	3	34	4.75
		6	13	49	3
		7	17	50	1
		8	14	151	3.75
2007	56	9	4	43	0.5
		12	1	1	0.25
		4	2	16	1.75
		5	11	134	6.25
		6	12	67	3
		7	17	84	3
		8	10	53	3.25
		9	4	15	0.75

май, сентябрь). Следует отдельно отметить появление условия «G» в ноябре 2004 и декабре 2006 г. Это обусловлено сильными магнитными бурями, вызвавшими развитие отрицательных возмущений на высотах F2-области.

Наибольшее количество случаев регистрации условия «G» наблюдается в 2005 г. Именно в этот период дважды были зарегистрированы самые продолжительные непрерывные интервалы наблюдений условия «G» – 6 ч 45 мин, 16 мая и 11 июля. Обнаружено, что с уменьшением индекса солнечной активности число случаев возникновения условия «G» увеличивается в спокойных геомагнитных условиях. На рис. 2 показано количество случаев появления условия «G» в зависимости от местного времени LT и планетарного магнитного индекса  $K_p$  для двух лет. В целом, наиболее часто условие «G» наблюдалось в утренние часы (5–10 LT), реже в полуденные (11–14 LT) и еще реже в послеполуденные часы (15–18 LT). В 2005 г. наибольшее количество случаев регистрации условия «G» приходится на слабо возмущенные условия с  $K_p$  3–4. В 2007 г. отмечается тенденция появления условия «G» в спокойных геомагнитных условиях.

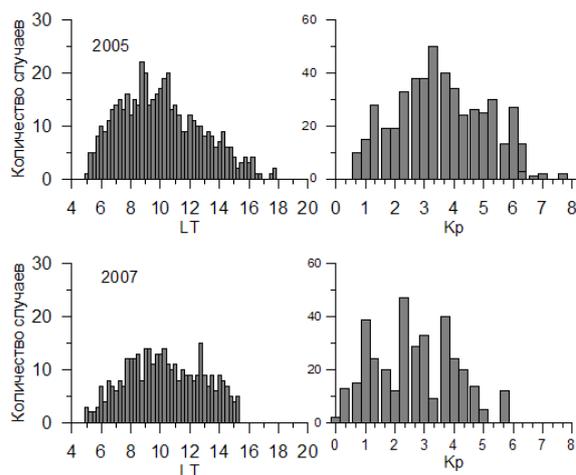


Рис. 2. Гистограммы распределения случаев регистрации условия «G» для двух лет в зависимости от местного времени и индекса магнитной возмущенности.

Анализируя реакцию ионосферы на магнитные бури разной интенсивности, авторы работ [Щепкин и др., 2009; Кушнарченко и др., 2010, Полех и др., 2011] показали, что на высотах области F1 происходит су-

щественное изменение нейтрального состава термосферы во время магнитных возмущений. В эти же дни отмечалось появление условия «G» на ионограммах. Это является дополнительным подтверждением, что изменение нейтрального состава термосферы играет ключевую роль в формировании процессов, приводящих к появлению условия «G».

#### Выводы

1. По данным Иркутского дигизонда выполнен морфологический анализ появления условия «G» для 2003–2007 гг. Получено, что в годы спада солнечной активности условие «G» появляется при возмущенных геомагнитных условиях, преимущественно в летние месяцы, чаще всего в утренние часы. В годы низкой солнечной активности оно регистрируется также в апреле и сентябре. Преимущественное местное время его появления – околополуденные часы. Наиболее часто в течение года оно наблюдается при умеренно возмущенных геомагнитных условиях.

2. Длительность существования условия «G» меняется от 15 мин до нескольких часов и зависит от уровня солнечной активности. Максимальное время существования зарегистрировано в мае и июле 2005 г.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00908.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Куркин В.И., Полех Н.М., Чистякова Л.В. и др. Вариации модового состава и частотного диапазона на трассах наклонного зондирования при расслоении области F // Труды XXXIII Всероссийской конференции по распространению радиоволн, Йошкар-Ола, 22 мая – 6 июня 2011, Йошкар-Ола. 2011. Т. 2. С. 231–234.

Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Колпакова О.Е. Реакция области F1 ионосферы на возмущения в октябре–ноябре 2003 г. (Анализ по измерениям Иркутском дигизонде) // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 15. С. 118–123.

Полех Н.М., Кушнаренко Г.П., Пирог О.М., Колпакова О.Е., Кузнецова Г.М. Вариации электронной концентрации в области F1 во время магнитных бурь при низкой солнечной активности // Солнечно-земная физика, 2011. Вып. 17. С. 142–148.

Щепкин Л.А., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Возмущения в области F1 ионосферы в апреле 2005 г. // Солнечно-земная физика, 2009. Вып. 13. С. 30–33.

Lobzin V.V., Pavlov A.V. G condition in the F2 region peak electron density: a statistical study probabilities // Ann. Geophys. 2002a. V. 20. P. 523–537.

Lobzin V.V., Pavlov A.V. Solar zenith angle dependencies of F1-layer, Nm negative disturbance, and G-condition occurrence probabilities // Ibid. 2002b. V. 20. P. 1821–1836.

Mikhailov A., Schleger K. Geomagnetic storm effects at F1 layer heights from incoherent scatter observation // Ibid. 2003. V. 21. P. 583–596.

Pavlov A.V., Buonsanto M.H. F1-layer electron density events in the quiet summer ionosphere at solar minimum over Millstone Hill // Ibid. 1998. V. 16. P. 460–469.

Pavlov A.V., Foster J.C. Model/data comparison of F-region ionospheric perturbation over Millstone Hill during the severe geomagnetic storm of 15–16 July 2000 // J. Geophys. Res., 2001. V. 106, N A12. P. 29051–29069.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск