

36. СПОРАДИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ИОНОСФЕРЕ НАД ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНОЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ ВО ВРЕМЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В АВГУСТЕ 2009 г.

Куркин В.И., Пирог О.М., Подлесный А.В., Чистякова Л.В., Пежемская М. Д.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Аннотация. Проведено ежеминутное слабонаклонное зондирование ионосферы на трассе Усолье Сибирское – Торы (расстояние ~100 км) в период 3-23 августа 2009. Полученные ионограммы были сопоставлены с ионограммами вертикального зондирования в Торах (моностат) и в Иркутске. В F2-слое отражения соответствуют друг другу на всех трех инструментах. Наиболее интересным в F области в этот период является резкое повышение $foF2$ около 13-15 UT 19 августа, совпадающее по времени с минимумом Dst (-30 нТ) и максимумом AE (500-600 нТ). Это возмущение подобно крупномасштабному ионосферному возмущению (LSTID). В E области наблюдались плоские Es слои типа c, f. Кроме того, на ионограммах слабонаклонного зондирования и вертикального зондирования в Торах наряду со стандартными Es зарегистрированы плоские отражения на высоте ~ 110 км с предельными частотами, иногда превышающими верхний частотный предел станции. Вероятность их появления достаточна велика и не зависит от магнитной активности. Минимум в суточном ходе наблюдался в 09-15 UT. Связь с другими аномальными явлениями (например, ПИВ) также не обнаружена.

ВВЕДЕНИЕ

Термосфера и ионосфера Земли являются наиболее изменчивой частью земной атмосферы. С одной стороны, они подвержены активному воздействию электромагнитного излучения Солнца и потоков корпускулярных частиц, особенно во время магнитных возмущений. С другой стороны, на параметры термосферы и ионосферы оказывают большое влияние на различные метеорологические и сейсмические события. Анализ данных 30 среднеширотных ионосферных станций [1] показал, что стандартное отклонений флуктуаций $NmF2$ составляет около 20% днем и 33 % ночью. Одним из основных источников ионосферной изменчивости являются геомагнитные возмущения. Во время геомагнитных бурь высыпания частиц значительно меняют газовый и ионный состав атмосферы и ионосферы, увеличивая его молекулярную составляющую и вызывая вариации параметров ионосферы различных временных и пространственных масштабов, которые в свою очередь, оказывают определяющее воздействие на функционирование радиопередающих, навигационных и связных систем. На субавральных и авроральных трассах во время магнитных возмущений может наблюдаться как увеличение частотного диапазона

устойчивого приема до начала магнитной бури, так и его уменьшение во время бури [2]. Вариации солнечной активности (СА) также оказывают большое влияние на состояние ионосферы, и следовательно, на условия распространения радиоволн.

Минимум текущего цикла СА был более длительный и глубокий, чем предыдущие и продолжался до 2010 г. Наши исследования в этот период обнаружили аномальные явления в ионосфере, не зарегистрированные ранее при высокой СА [3, 4]. Начиная с 2005 г., в ИСЗФ СО РАН проводились регулярные длительные координированные наблюдения на всем комплексе инструментов. Это позволило выявить наиболее характерные особенности поведения ионосферных параметров и условий распространения радиоволн в обширном пространственном регионе от высоких до средних широт в спокойных и возмущенных условиях. На среднеширотных трассах во время магнитных возмущений были зарегистрированы колебания максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) с различными периодами от десятков минут до нескольких часов [5]. Объектом этого исследования являются аномальные возмущения в августе 2009 г.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В анализе использованы ежеминутные данные слабонаклонного зондирования ионосферы на трассе Усолье Сибирское – Торы (Бурятия, Тункинская долина) протяженностью ~100 км, вертикального зондирования в п.Торы и 15-минутные данные дигизонда DPS-4 в Иркутске в период 3-23 августа 2009 г. Мощность излучения передатчика ЛЧМ зонда при слабонаклонном зондировании 150 Вт. В п.Торы работал моностатический ЛЧМ ионозонд, с базой порядка 60 м и мощностью излучения ~2 Вт. Моностатический ЛЧМ ионозонд является уникальной установкой, позволяющей организовать одновременную работу передающего и приёмного пунктов без перегрузки приёмника на основе разнесения диаграмм направленности антенн по ортогональным поляризациям и применения высококачественных цифровых приёмных и передающих устройств с большим динамическим диапазоном [6]. Несмотря на малую мощность излучения, данные, получаемые с ЛЧМ ионозондов, выгодно отличаются динамическим диапазоном ионограмм, а также имеют высокое разрешение по времени. Эти особенности инструментов оказались востребованы при изучении мелкомасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), позволив гораздо более детально и однозначно определять их морфологию, динамику и развитие. Высокое временное разрешение позволило выявить быструю динамику

Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой

На ионограммах слабонаклонного зондирования на высотах E области наряду со стандартными Es слоями (в основном, Esc и Esf) были зарегистрированы плоские следы с частотами, часто превышающими предел станции. Они наблюдались в разное время суток с большой вероятностью. Обозначим их как Ea. На рис. 2 представлены примеры таких отражений через 2 минуты. В ночные часы локального времени стандартные Es наблюдались редко и на ионограммах присутствовали только отражения от F2 слоя и Ea. В вечерние часы видны отражения от E, F1 и F2 слоев и Ea, а в утренние часы еще наблюдались Esc.

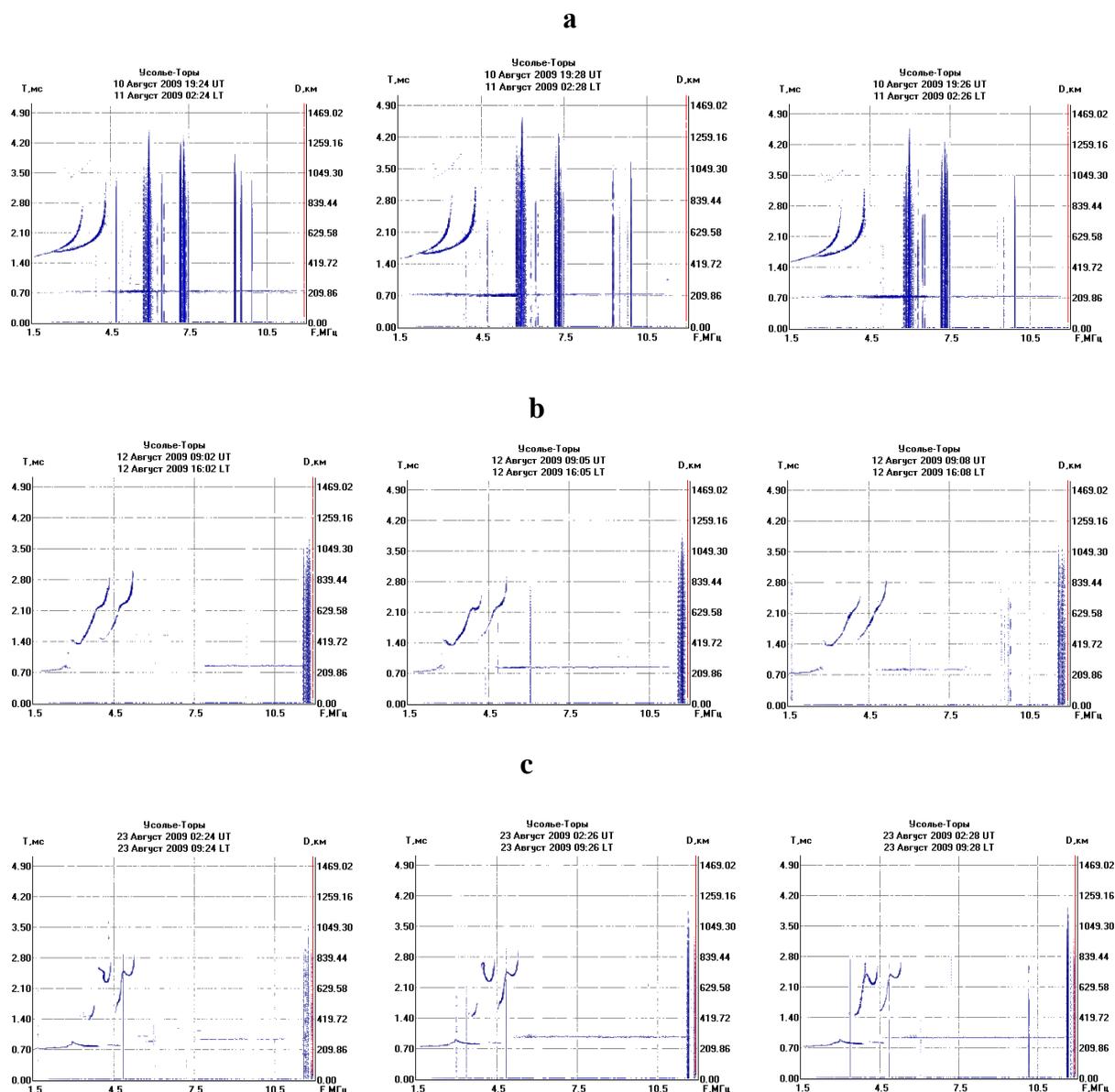


Рис. 2. Примеры последовательности ионограмм слабонаклонного зондирования ионосферы на трассе Усолье Сибирское – Торы во время наблюдения аномальных плоских отражений в E-области в ночные (а), вечерние (б) и утренние (в) часы локального времени.

Зондирование земных покровов радаром с синтезированной апертурой

Сопоставление с ионограммами вертикального зондирования в Торах (моностат) и в Иркутске показало, что в F2-слое отражения соответствуют друг другу на всех трех инструментах. Ее наблюдались также в Торах.

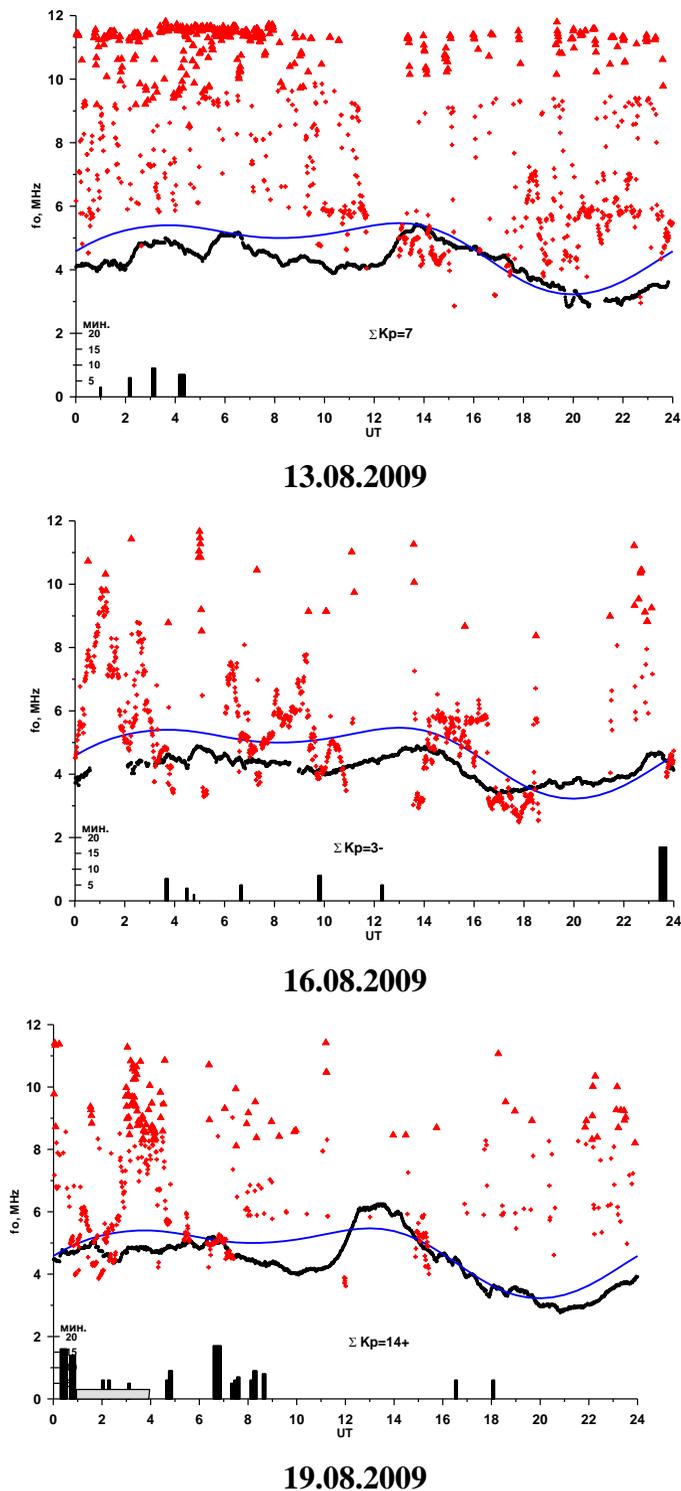


Рис. 3. Вариации частот ионосферных слоев в течение суток. Черная линия – f_oF_2 на трассе Усолье -Торы, сплошная синяя линия – прогноз IRI 2007, красные крестики – спорадический слой E_s , красные треугольники – E_a , вертикальные прямоугольники – периоды появления ПИВ и их продолжительность. $LT = UT + 7$.

Отсутствие E_a на ионограммах дигизонда в Иркутске может быть связано с тем, что в Иркутске проводились 15-минутные измерения, а не ежеминутные, как в Торах. Но также это может быть вызвано особенностями отражающей поверхности в Тункинской долине.

Мы пытались сопоставить появление E_a с вариациями $foF2$, магнитной активностью и с появлением перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). Рис. 3 представляет f -графики для трех дней. Очевидно, что появление E_a не связано ни с возмущениями в $foF2$, ни с магнитной активностью, ни с появлением ПИВ. Чаще всего из выбранных дней E_a наблюдался 13 августа, когда $\Sigma Kp = 7$, и его вероятность и предельная частота была меньше и в более спокойный день (16 августа) и в более возмущенный (19 августа).

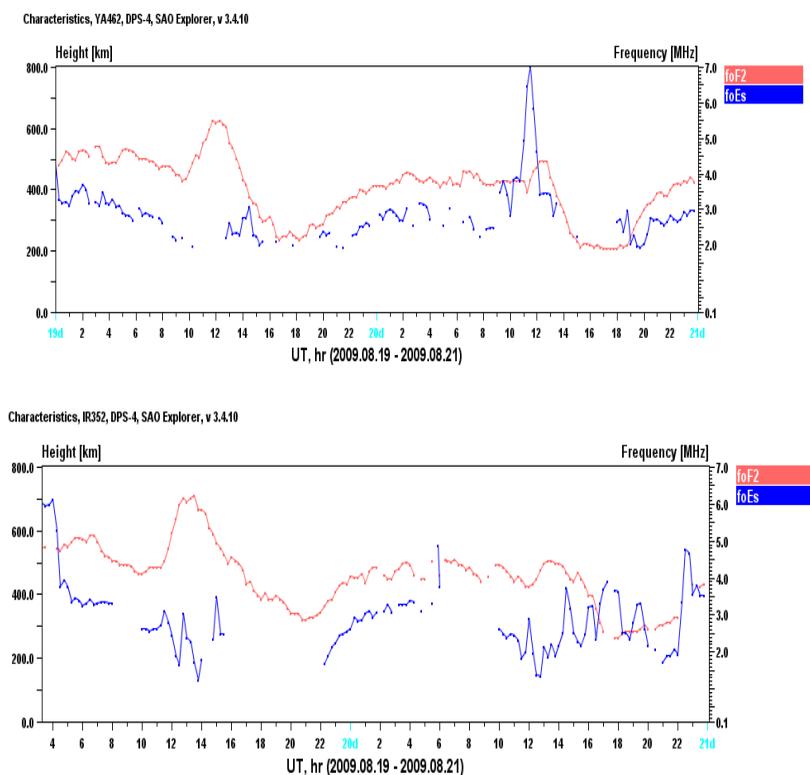


Рис. 4. Вариации $foF2$ и $foEs$ по данным дигизондов в Якутске и Иркутске 19-20 августа. $LT = UT + \Delta t$, где $\Delta t = 7$ для Иркутска и $\Delta t = 8$ для Якутска.

Следует отметить, что 19 августа в вариациях $foF2$ наблюдалось резкое увеличение (~ 2 МГц), совпадающее по времени с максимальным в августе возмущением в индексах Kp , Dst и AE . Этот эффект подобен крупномасштабным перемещающимся ионосферным возмущениям (КМПИВ), которые неоднократно были зарегистрированы в периоды низкой SA [3,5,8,9]. Предполагается, что такие

возмущения могут быть связаны с генерацией акустико-гравитационных волн (АГВ) в авроральной зоне во время магнитосферных возмущений и их распространением к низким широтам [10,11]. Однако механизм появления КМПИВ до конца не выяснен.

На Рис. 4 показаны вариации foF2 во время КМПИВ на двух станциях, расположенных на близких долготах, но разных широтах. Видно, что пик foF2 наблюдался приблизительно в одно и тоже LT. К сожалению, отсутствие данных высокоширотных станций в этот день не позволяет достоверно определить, откуда движется это возмущение.

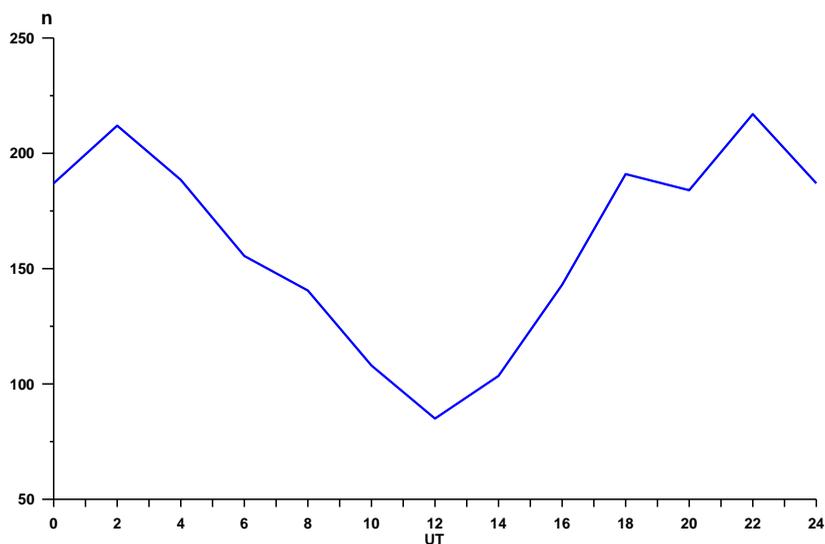


Рис. 5. Вероятность появления аномальных отражений в E области в течение суток. $LT = UT + 7$.

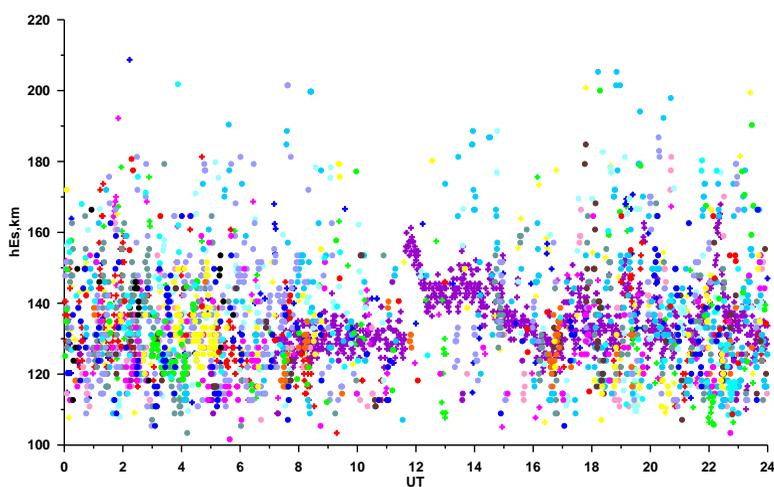


Рис. 6. Вариации высот, на которых наблюдались аномальные слои E для каждого дня наблюдаемого периода.

Временные вариации вероятности появления E_a показаны на Рис. 5. График показывает, что E_a с большей вероятностью появляется с 23.00 до 12.00 LT. Минимум приходится на 17.00 -21.00 LT.

Вариации высот, на которых наблюдался E_a в течение суток, показаны на Рис. 6 для всего наблюдаемого периода. Гистограммы (Рис. 7) показывают высоты, на которых E_a появляется с большей вероятностью: 120-140 км.

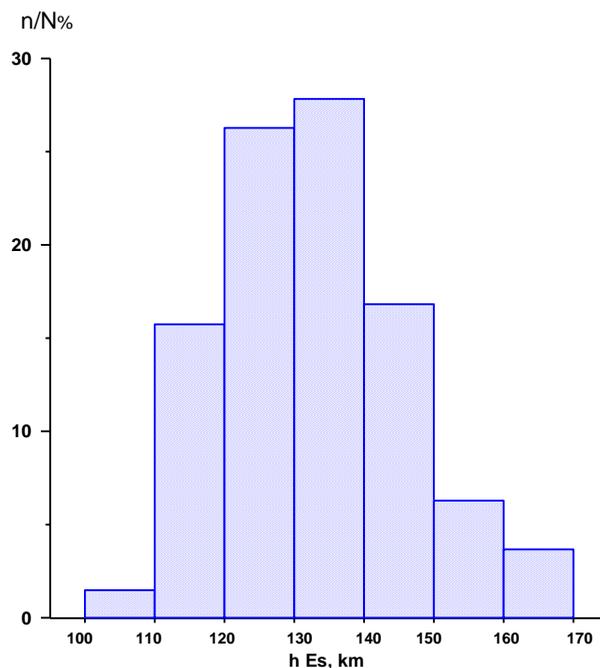


Рис. 7. Вероятность появления аномального слоя E на разных высотах.

Как было показано выше (Рис. 3), зависимость вероятности появления E_a от геомагнитной активности неоднозначна. Количество случаев и его предельная частота уменьшались как при уменьшении, так и при увеличении геомагнитной активности. Гистограмма, представленная на Рис. 8 показывает, что частота появления E_a максимальна, когда ΣKp меняется в пределах 5-10. За весь месяц дней со значениями $\Sigma Kp > 10$ было всего 11 дней и со значениями $\Sigma Kp < 5$ 8 дней. Конечно, геомагнитная активность в течение всего периода наблюдений была низкой и неизвестно, каково будет поведение E_a при большей геомагнитной активности. Но тенденция к уменьшению вероятности появления E_a с ее увеличением очевидна.

В частном сообщении об измерениях вариаций геомагнитного и электрического поля [12] в Тункинской долине было получено, что вариации H -компоненты в Тункинской долине временами отличаются от измеренных в стационарной

обсерватории в Патронах. Предварительное сопоставление наблюдений E_a и этих измерений показало, что количество случаев появления E_a уменьшается, когда увеличивается отличие между вариациями H -компоненты в Тункинской долине и в Патронах и увеличивается электрическое поле.

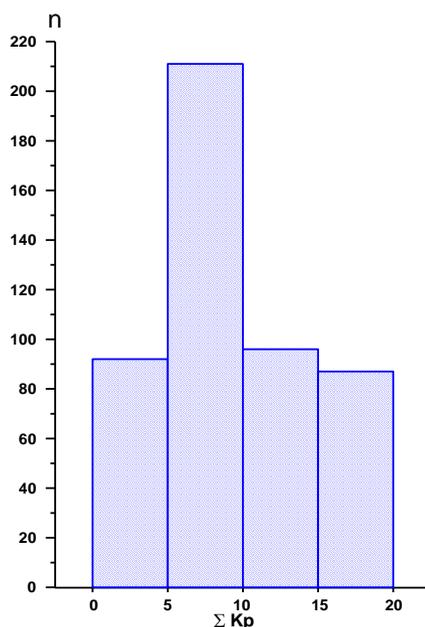


Рис. 8. Вероятность появления E_a в зависимости от магнитной активности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что аномальные отражения в E области – E_a наблюдаются в районе Тункинской долины, но не зарегистрированы в Иркутске. Вероятность появления E_a зависит от времени суток, высоты и геомагнитной активности, т.е. обладает некоторой стабильностью. Причины появления E_a могут определяться особенностями отражающей поверхности в Тункинской долине, но в настоящее время недостаточно экспериментальных данных, чтобы сделать определенные выводы. Неизвестно, будет ли наблюдаться E_a в другие сезоны и при большей геомагнитной и солнечной активности. Требуется дополнительное всестороннее исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rishbeth H , Mendillo M Patterns of F2 layer variability Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 63, 1661-1680, 2001.
2. Blagoveshchensky D.V., Kalishin A.S., Sergeeva M.A. Space weather effects on radio

- propagation: study of the CEDAR. GEM and ISTP events // *Ann.Geophys.*, 26, 1479-1490, 2008.
3. Pirog O.M., Polekh N. M., Voeykov S.V., Zherebtsov G. A., Tatarinov P.V., Ionospheric disturbances during geomagnetic storm in the East-Asian region in November, 2004. *Adv. Space Res.* 39, 1335-1341, 2007.
 4. Pirog O.M., Polekh N. M., Romanova E. B, Voeykov S.V., Zherebtsov G. A., Shi J. K., Wang X., F2 layer response to geomagnetic disturbances in Eastern Asia under the low solar activity. *Adv. Space Res.*, 10.1016/j.asr.2010.04.034, 2010.
 5. Kurkin V.I. , Pirog O.M. , Polekh N.M. , et al Ionospheric response to geomagnetic disturbances in the north eastern region of Asia during the minimum of 23-th cycle of solar activity, *J. Atmosph. Solar-Terrest. Phys.* 70, 2346-2357, 2008.
 6. Подлесный А.В., Медведев А.В., Брынько И.Г. Реализация Однопозиционного ЛЧМ-ионозонда вертикального зондирования ионосферы. Сборник докладов международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2008, Воронеж.-2008.-т.3.-с.2455-2461
 7. <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/>.
 8. Afraimovich, E.L., Kosogorov, E.A., Leonovich, L.A., Palamarchuk, K.S., Perevalova, N.P., and Pirog, O.M. Determining parameters of large-scale traveling ionospheric disturbances of auroral origin using GPS-arrays. *J. Atmosph. Solar-Terrest. Phys.* 62, 553-565, 2000.
 9. Blagovechshensky, D.V., Pirog O.M., Polekh, N. M. Chistyakova, L.V. Mid-latitude effects of May 15, 1997 magnetic storm. *J. Atmosph. Solar-Terrest. Phys.* 65, 203-210, 2003.
 10. Hocke, K., Schlegel, K. A review of atmospheric gravity waves and traveling ionospheric disturbances: 1982-1995. *Ann. Geophys.* 14, 917-940, 1996.
 11. Bauske, R., and Prolss, G.W. Modelling the ionospheric response to traveling atmospheric disturbances. *J. Geophys. Res.* 102, 14555-14562, 1997.
 12. Гаврилов Б.Г., Ю.И. Зецер, В.И. Куркин, А.Н. Ляхов, Ю.В. Поклад, С.П. Соловьев (ИДГ РАН) Комплексные исследования литосферно-ионосферных связей на основе приземных и ионосферных измерений вариаций физических полей в Байкальской рифтовой зоне. Сборник тезисов конференции «Солнечно-земная физика», Иркутск, 28-30 июня 2010г.