

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРНЫХ МЕРЦАНИЙ PROBABILISTIC CHARACTERISTIC OF IONOSPHERIC SCINTILLATIONS

И.Н. Поддельский, А.И. Поддельский

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

In the report probabilistic characteristics of the ionospheric scintillations are considered. They were received by the results of registration of amplitude fluctuations of radio signals from an artificial satellite at the frequency 150 MHz in the North-East of Russia. It was determined, that the probability of observation of ionospheric fluctuations is maximal in the morning and minimal in the evening. Day maximum of probability of ionospheric scintillations is observed in northern latitudes. Increase of solar and geomagnetic activity leads to the general increase of probability of observation of scintillations though there are some peculiarities. These data give an idea about seasonal, daily and latitudinal distributions of probability of ionospheric scintillations in various geophysical conditions.

В мировой практике радиосвязи все большее значение приобретают космические линии связи УКВ-диапазона, что требует знание конкретных данных о среде распространения. Для оценки помехоустойчивости и надежности спутниковых навигационных и связных систем, использующих ионосферные каналы распространения, необходимо иметь информацию о распределении вероятностей уровня радиосигналов и о возможных механизмах их искажений в зависимости от состояния ионосферы (наличия и концентрации неоднородных образований, их высоты расположения, эффективных размеров и т.д.).

Наземные спутниковые методы изучения ионосферных неоднородностей основаны на регистрации радиосигналов искусственных спутников Земли (ИСЗ) и анализе изменений их параметров на неоднородных образованиях ионосферной плазмы, приводящих к замиранию и усилению амплитуды радиоволны, флуктуациям ее фазы и изменениям угла прихода, т.е. к ионосферным мерцаниям [1, 2, 4].

В настоящей работе представлены результаты исследования вероятности наблюдения ионосферных мерцаний радиосигналов в Северо-Восточном регионе России методом радиопросвечивания [3] ионосферы сигналами орбитальных ИСЗ (полярная орбита с высотой около 1000 км от поверхности Земли) навигационной системы "Транзит" на частоте 150 МГц. Прием осуществлялся в п. Стекольный Магаданской области (60° N, 151° E) и п. Мыс Шмидта (68,6° N, 180,8°E) на три, пространственно разнесенные (база разнесения 400 м) в направлении север – юг (с учетом максимального совпадения с проекцией траектории движения спутника) и восток – запад, антенны [5-8].

Для получения характеристик пространственных и временных изменений мерцаний радиосигналов спутников проводилась количественная оценка уровня мерцаний, т.е. измерялась относительная величина флуктуаций интенсивности - индекс мерцаний (SI).

$$SI = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min})$$

где A_{\max} и A_{\min} - соответственно усредненный по интервалу обработки максимум и минимум амплитуды сигнала.

Благодаря перемещению орбитального ИСЗ имеется возможность рассмотрения зависимости SI от географической широты для различных времен суток и сезона наблюдений. В результате проведенных в 1978 - 1993 годах наблюдений собраны данные о 10000-12000 пролетах ИСЗ, относящихся к различному времени суток, года, состоянию геомагнитной и солнечной активности. Получен обширный материал, анализ которого позволяет сделать некоторые выводы о характере ионосферных мерцаний, в частности, о вероятности наблюдения (P) на данной широте мерцаний определенной интенсивности в соответствующее время суток и сезон наблюдений.

Вероятность регистрации флуктуаций радиосигналов с индексом мерцаний (SI) больше определенной величины (SI>K) определялась по формуле

$$P_{SI>K} = N_{SI>K}/N_0$$

где N_0 – общее число записей с зарегистрированными флуктуациями сигналов в данный период времени и на определенной широте, $N_{SI>K}$ – число записей с $SI>K$. Пример этих вероятностных зависимостей представлен на рис.1 (осенне-зимний период, октябрь-январь) и рис.2 (весенне-летний период, март-июнь). Знание зависимости $P(\varphi, LT)$

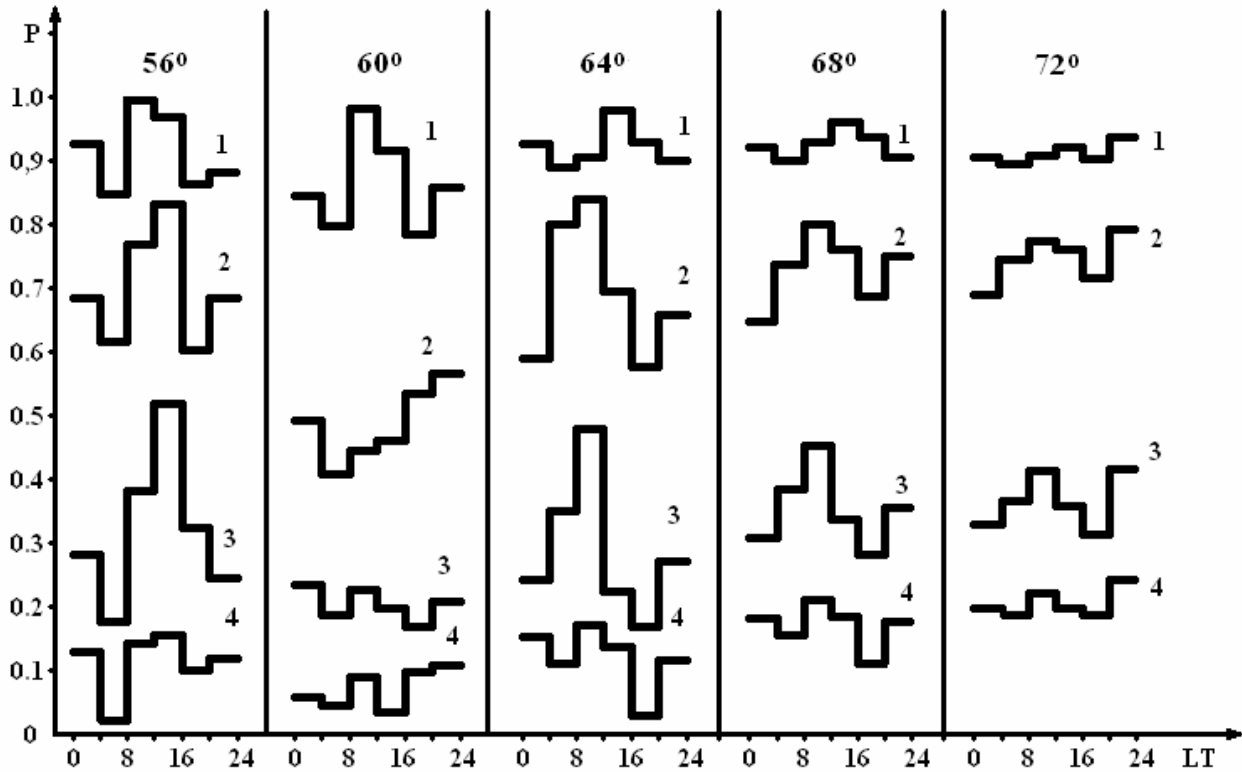


Рис.1. Вероятность наблюдения флуктуаций радиосигналов ИСЗ (150 МГц) с определенным индексом мерцаний ($SI>...$) в **осенне-зимний период**. 1 – $SI>0,01$; 2 – $SI>0,025$; 3 – $SI>0,05$; 4 – $SI>0,1$.

позволяет прогнозировать изменение уровня флуктуаций сигнала спутника в зависимости от широты, сезона и времени наблюдения, что имеет важное практическое значение. Из представленных зависимостей видно, что в зимний период наблюдений максимум вероятности регистрации мерцаний средней интенсивности ($SI>0,05$) приходится на южные (56° с.ш., $P\sim 0,55$) и центральные (64° с.ш., $P\sim 0,45$) участки широтного интервала в 12-16 и 8-12 ч. местного времени соответственно. На широте 60° вероятность наблюдения таких мерцаний сильно падает и приблизительно составляет 0,15-0,2, значение $P_{SI>0,05}$ в дневное время сравнивается с ночным периодом ($P\sim 0,22$ на 60° с.ш.), при этом наблюдается общее снижение P на фоне небольших суточных изменений. В суточном распределении вероятности регистрации мерцаний на всех широтах четко выделяются два минимума – в утреннее (04-08) и вечернее (16-20) местное время (LT) и два максимума – в полночь (22-02) и полдень (10-14). На северных широтах (72° с.ш.) суточное распределение вероятности регистрации мерцаний имеет сглаженный характер в сравнении с южным (56°) и средним (64°) участками широтного интервала наблюдений.

Весной отмечается уменьшение вероятности наблюдения ионосферных мерцаний радиосигналов ИСЗ на всех широтах, кроме среднего участка (64°) широтного интервала, где она возрастает. В этот период наблюдений суточное изменение P становится более резким (изменяется в течении суток в 5-10 раз) от и сдвигается по времени. На всех широтах в этот период выделяются утренний максимум и дневной минимум. Наибольшие значения вероятности наблюдения мерцаний средней интенсивности ($SI>0,05$) приходятся на южный участок (56° , $P\sim 0,4$) с 4 до 8 ч. утра и на северный (72° , $P\sim 0,6$) в ночное и утреннее время. Минимальные значения отмечаются в послеполуденные и вечерние часы. Необходимо отметить, что небольшие ($SI>0,01$) флуктуации радиосигналов ИСЗ

присутствуют всегда и вероятность их наблюдения мало меняется в течении суток . Так, в зимний период наблюдений $P_{SI>0.01}$ принимает значения от 0,85 до 1.0 на южных широтах

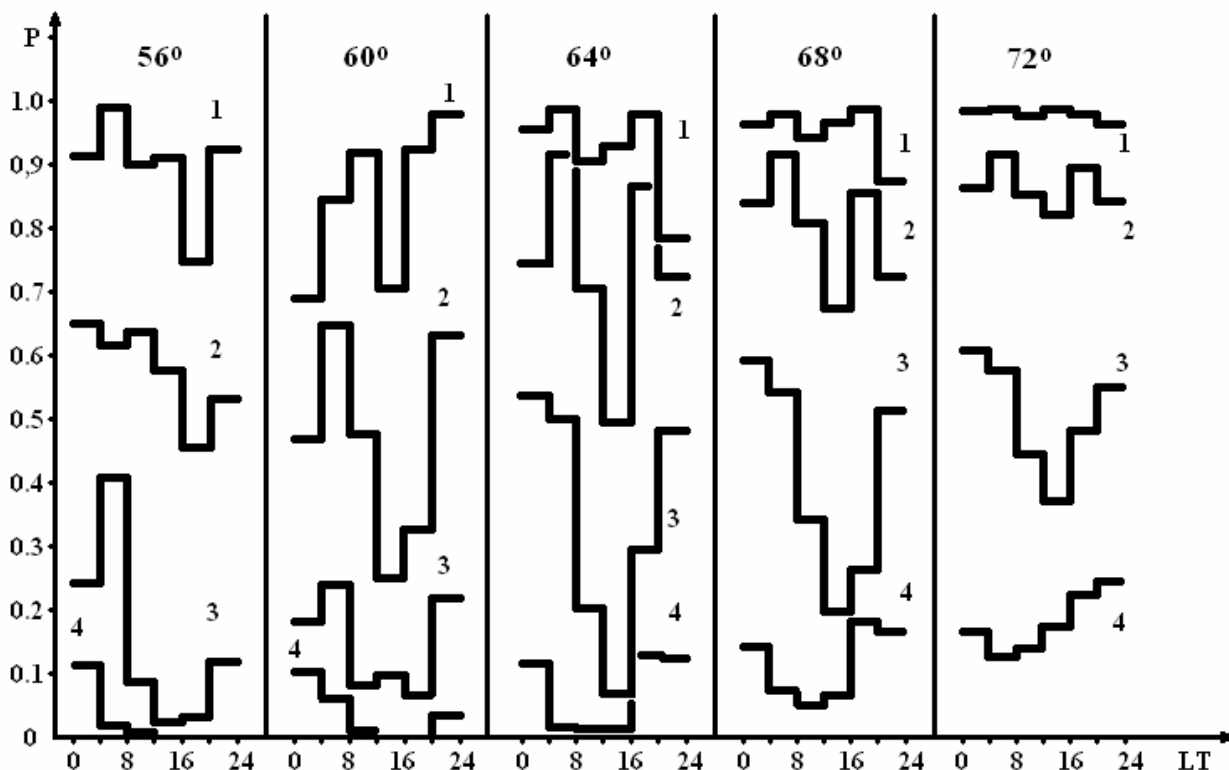


Рис.2. Вероятность наблюдения флуктуаций радиосигналов ИСЗ (150 МГц) с определенным индексом мерцаний ($SI>...$) в **весенний-летний период**. 1 – $SI>0,01$; 2 – $SI>0,025$; 3 – $SI>0,05$; 4 – $SI>0,1$.

интервала наблюдений (56°) и 0,9 – 0,93 на северном (72°), соответственно весной она имеет значения 0,72 - 0,98 на юге (56°) и 0,97 – 1,0 на севере (72°). Наибольшие суточные изменения вероятности наблюдения мерцаний такой интенсивности регистрируются на широтах 60° - 64° (от 0,7 до 1,0).

Полученные данные по ионосферным мерцаниям УКВ-сигналов ИСЗ свидетельствуют о зависимости значений P от времени суток и сезона наблюдения и от соответствующей геофизической обстановки. На рис.3 приведена усредненная по периодам наблюдений пространственно-временная зависимость вероятности регистрации мерцаний с $SI>0,05$.

Весенние периоды включали измерения, проведенные в марте – июне с 1978 по 1993 года, зимние периоды – соответственно в октябре – январе. Результаты измерений разделены по признаку геомагнитной активности: к невозмущенным относятся периоды наблюдений с суммарным суточным $K_\Sigma \leq 20$, к возмущенным – $K_\Sigma > 25$. Индекс магнитной активности определялся суммированием 3-часовых значений магнитного K -индекса в течение суток для магнитных станций в пунктах наблюдений. Видно, что в условиях **низкой геомагнитной активности в зимний период** можно отметить регулярный суточный ход $P_{SI>0,05}$ с максимумом значений в утренние и минимум в вечерние часы. Наибольшая величина $P \sim 0,3$ и наибольший разброс значений (от 0,1 до 0,45) в суточном распределении вероятности наблюдения мерцаний с $SI>0,05$ наблюдаются на среднем участке широтного интервала наблюдений (64° с.ш.) с максимумом в 04-08 и минимумом в 16-20 часов местного времени. На южном участке суточное изменение P небольшое (от 0,08 до 0,14), а на северных широтах (68° - 72°) в суточном распределении вероятности наблюдения мерцаний с $SI>0,05$ появляется дневной максимум вероятности в 12-16 часов. **Весенний период** наблюдений отличается от зимнего большими экстремальными значениями P (максимум – до 0,4, минимум – до 0,01). Причем область максимальных

значений и перепадов вероятности наблюдения мерцаний средней интенсивности перемещается в область более южных широт (на 60°) по сравнению с зимним периодом. Суточное изменение P происходит аналогично зимнему, только минимум достигается раньше, в 12-16 ч. На северных широтах (как и зимой) выделяется дневной максимум P , примерно, той же величины (0,15).

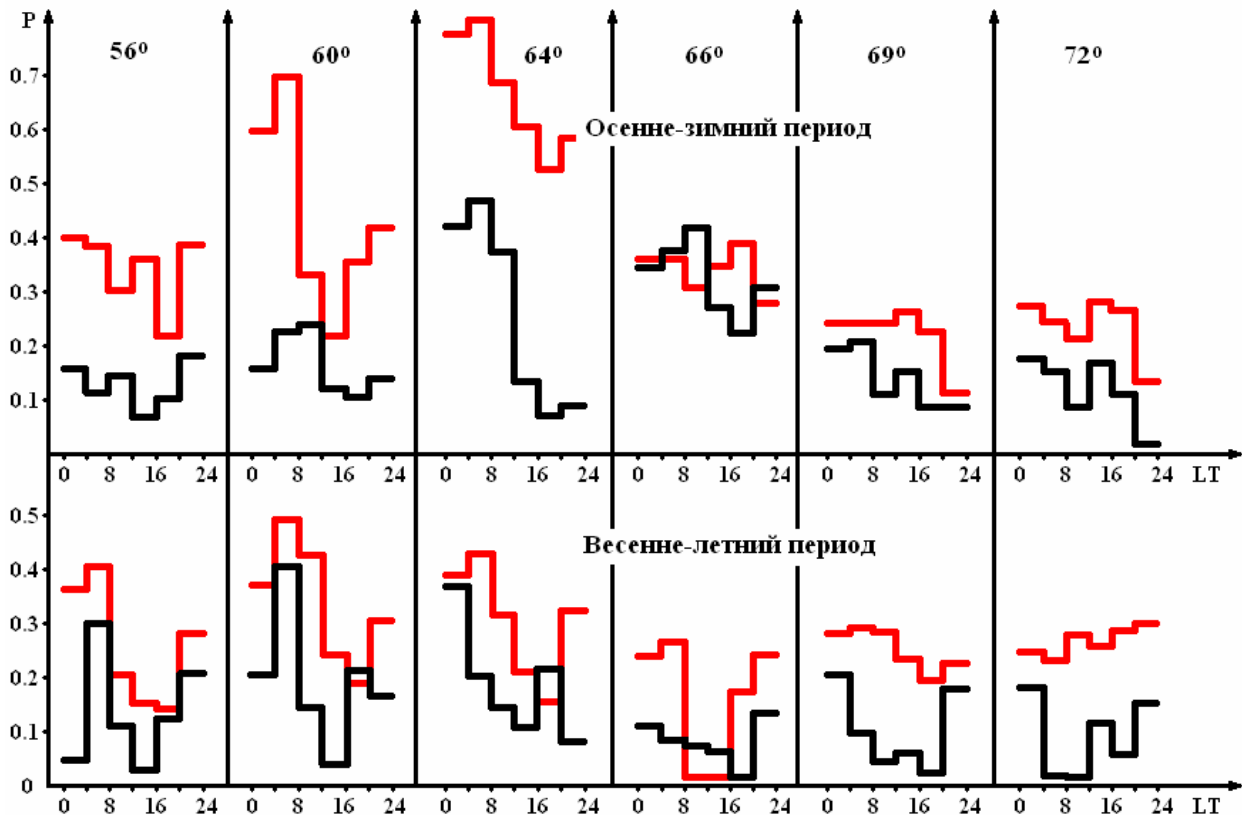


Рис.3. Пространственно-временная зависимость вероятности наблюдения флуктуаций радиосигналов ИСЗ (150 МГц) с индексом мерцаний $SI > 0,05$ в период **низкой** ($K_p \leq 20$, черная линия) и **высокой** ($K_p > 25$, серая линия) геомагнитной активности.

В период наблюдений с **высокой геомагнитной активностью** наблюдаем общее увеличение значений вероятности наблюдения мерцаний (с сохранением суточного хода P). Можно отметить небольшое влияние магнитной возмущенности на рост P на северных участках интервала наблюдений, уменьшение суточного разброса P на этих широтах в весеннее время и даже уменьшение значений P на 66° ш. в зимний период. Основное увеличение вероятности регистрации мерцаний при росте геомагнитной возмущенности наблюдается на широтах южнее 64° (в зимнее время больше, чем весной). Например, в случае увеличения значений K -индекса, вероятность $P_{SI > 0,05}$ в зимнее время на 60° - 64° с.ш. возрастает с 0,2 до 0,8.

В результате рассмотрения представленных данных можно сделать выводы, что вероятность наблюдения ионосферных флуктуаций радиосигналов ИСЗ принимает наибольшие значения утром, наименьшие вечером. На северных широтах наблюдается выделение дневного максимума P . Рост геомагнитной активности ведет к общему увеличению P с сохранением суточного хода, причем основные изменения происходят на южном участке широтного интервала наблюдений (особенно в зимнее время). С точки зрения помехозащищенности космических линий УКВ-радиосвязи от ионосферных мерцаний можно рекомендовать работу на южных широтах (56 - 60°) в послеполуденные и вечерние часы (12-20 LT). На средних широтах (64 - 66°) наиболее благоприятный период работы на УКВ – с 16 до 20 LT, северный участок характеризуется возможностью работы в любое время, но предпочтительнее в 08-12 LT.

Полученные данные о вероятности наблюдения ионосферных флуктуаций спутниковых сигналов являются недостаточными, их объяснение затрудняется рядом факторов. Однако они дают представление о сезонном, суточном и широтном распределении вероятности наблюдения ионосферных мерцаний радиосигналов ИСЗ, о влиянии на эти характеристики геомагнитного возмущения. Данная работа дополняет ранее опубликованную [9] представлением большего статистического материала и некоторым уточнением.

Список литературы

1. Ааронс, Уитни, Аллен. Глобальная морфология ионосферных сцинтилляций // ТИИЭР. 1971. Т. 59, №2. С. 54-66.
2. Гундзе Е., Лю Чжаохань. Мерцания радиоволн в ионосфере // ТИИЭР. 1982. Т. 70, № 4. С. 5-45.
3. Ерухимов Л.М. Исследование неоднородностей электронной концентрации в ионосфере радиоастрономическим методом и с помощью искусственных спутников: Дис. канд. физ.-мат. наук. – Горький : 1965.
4. Крейн Р.К. Мерцания радиосигналов в ионосфере // ТИИЭР. 1977. Т. 65, № 2. С. 5-29.
5. Мясников Е.Н., Поддельский И.Н. О характеристиках неоднородной структуры ионосферы в Северо-Восточном регионе СССР // Геомагнетизм и аэрномия. 1991. Т.31, № 2. С. 377
6. Поддельский И.Н. Мерцания радиосигналов ИСЗ и параметры ионосферных неоднородностей в период солнечного затмения 18 марта 1988 года // Исследование явлений в ионосфере и магнитосфере Земли: Тр. ИКИР ДВО АН СССР. – Владивосток : 1990. С. 30-36.
7. Поддельский И.Н. Некоторые результаты исследования неоднородной структуры ионосферы с помощью искусственного спутника Земли (ИСЗ) // Радиофизические исследования геофизических явлений на востоке СССР: Тр.СВКНИИ ДВО АН СССР. – Магадан : 1987. С. 135-143.
8. Поддельский И.Н. Спектральные характеристики ионосферных неоднородностей на Северо-Востоке России // Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца. 1999., выпуск 109, часть II. С. 157.
9. Поддельский И.Н. Вероятностные характеристики ионосферных мерцаний радиосигналов ИСЗ // Солнечная активность и солнечно-земные связи: Тр. ИКИР ДВО АН СССР. – Владивосток : 1991. С. 97-101.