**Рекомендация МСЭ-R P.371-9**

**(08/2023)**

Серия P: Распространение радиоволн

**Выбор индексов для долгосрочных ионосферных прогнозов**

**Предисловие**

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

**Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)**

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |  |
| --- | --- |
| **Серии Рекомендаций МСЭ-R**  (Представлены также в онлайновой форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.) | |
| **Серия** | **Название** |
| **BO** | Спутниковое радиовещание |
| **BR** | Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения |
| **BS** | Радиовещательная служба (звуковая) |
| **BT** | Радиовещательная служба (телевизионная) |
| **F** | Фиксированная служба |
| **M** | Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы |
| **P** | **Распространение радиоволн** |
| **RA** | Радиоастрономия |
| **RS** | Системы дистанционного зондирования |
| **S** | Фиксированная спутниковая служба |
| **SA** | Космические применения и метеорология |
| **SF** | Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы |
| **SM** | Управление использованием спектра |
| **SNG** | Спутниковый сбор новостей |
| **TF** | Передача сигналов времени и эталонных частот |
| **V** | Словарь и связанные с ним вопросы |

|  |
| --- |
| ***Примечание****. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.* |

*Электронная публикация*Женева, 2024 г.

© ITU 2024

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.371-9

Выбор индексов для долгосрочных ионосферных прогнозов

(1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1995-1999-2023)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлен ряд соотношений для расчета долгосрочных ионосферных индексов, которые используются для прогнозирования характеристик ионосферы.

Ключевые слова

Характеристики ионосферы, поток солнечного радиошума, число солнечных пятен, M(3000)F2

Сокращения/Глоссарий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| MUF | Maximum usable frequency | МПЧ | Максимальная применимая частота |
| *R*12 | 12-month running mean sunspot number |  | Скользящее среднее за 12 месяцев число солнечных пятен |
| Φ | Solar radio noise flux at about 10 cm wavelength |  | Поток солнечного радиошума при длине волны около 10 см |
| Φ12 | 12-month running mean value of Φ, the 2 800 MHz solar radio noise flux |  | Скользящее среднее за 12 месяцев число Φ, поток солнечного радиошума на частоте 2800 МГц (т. е.) |

Ассамблея радиосвязи МСЭ

рекомендует,

1 принять скользящее среднее за 12 месяцев число солнечных пятен *R*12 или, альтернативно, скользящее среднее за 12 месяцев значение , поток солнечного радиошума на частоте 2800 МГц (то есть 12) в качестве предпочтительного индекса для использования при прогнозировании месячных медианных значений foF2 и M(3000)F2 по всем шкалам времени: при использовании любого из этих индексов должна обеспечиваться возможность получения эквивалентных по существу результатов;

2 принять 12 в качестве предпочтительного индекса для использования при прогнозировании месячных медианных значений foE и foF1 по всем шкалам времени;

3 определять прогнозируемые значения этих индексов с помощью измененной процедуры Макниша-Линкольна (см. Приложение 1), используя для будущих циклов последние доступные измеренные месячные значения индекса текущего цикла солнечной активности и среднее значение прошлых циклов;

4 в том случае, когда прогнозы распространения требуют одновременного использования значений различных характеристик ионосферы, принимать один и тот же индекс для всех таких характеристик с небольшой потерей точности;

5 проявлять осторожность при использовании рекомендуемых индексов на высоких магнитных широтах, где полученные в результате ионосферные прогнозы могут быть недостаточно точными;

6 проявлять осторожность при использовании индексов *R*12 для долгосрочных ионосферных прогнозов в отношении коэффициента пункта наблюдения.

Приложение 1

# 1 Введение

Концепция индексов для долгосрочных ионосферных прогнозов основана на предположении, что важные характеристики ионосферы, такие как критические частоты различных слоев и коэффициент МПЧ M(3000)F2, системно зависят от определенных измеримых величин, связанных с солнечной радиацией. Следует, однако, отметить, что корреляция между этими индексами и фактическими характеристиками ионосферы не обязательно подразумевает причинно-следственную связь, а скорее указывает на родственные явления. Изменения солнечной активности в целом содержат три компонента:

– достаточно регулярный компонент, период которого составляет около одиннадцати лет, что соответствует известному циклу солнечной активности;

– компонент, который имеет квазипериод около года или немного меньше;

– неустойчивые флуктуации с периодами менее месяца.

# 2 Число солнечных пятен

Солнечная активность может быть количественно оценена путем подсчета числа пятен, появляющихся на поверхности Солнца. Для количественного определения числа солнечных пятен и групп солнечных пятен на поверхности Солнца используется индекс, называемый "относительное число солнечных пятен" (также называемый "число Вольфа" либо "цюрихское число"). До 2015 года стандартное определение относительного числа солнечных пятен, *R*, для каждого отдельного наблюдателя составляло:

, (1)

где *Ng* – число групп солнечных пятен, *Ns* – число отдельных солнечных пятен в пределах этих групп, *k* – коэффициент нормализации, до 2015 года определенный равным 0,6. Это определение числа солнечных пятен с *k*= 0,6 называется версией 1 (v1).

В 2015 году коэффициент *k* был установлен равным 1, что стало версией 2 (v2) числа солнечных пятен. Цифровые карты, определяющие суточные и географические вариации месячных медиан foF2 и M(3000)F2, основаны на их линейной зависимости от относительного числа солнечных пятен при *k* = 0,6 (версия 1), поэтому при определении числа солнечных пятен с использованием этих карт рекомендуется устанавливать коэффициент *k* равным 0,6.

Для того чтобы использовать новые (по состоянию на 2015 г.) базы данных *R*12, пользователям следует внести следующее исправление:

. (2)

Следует отметить, что Всемирный центр данных SILSO осуществил пересчет всех значений числа солнечных пятен прошлых периодов, для того чтобы они соответствовали версии 2. Это – вариант по умолчанию.

Для изучения главного компонента солнечного цикла используется скользящее среднее за 12 месяцев число солнечных пятен *R*12, поскольку результирующее сглаживание значительно уменьшает компоненты сложного и быстрого изменения, не скрывая при этом компонент медленного изменения.

*R*12 определяется следующим образом:

, (3)

где *Ri* – среднее суточное число солнечных пятен за один месяц *i*, *R*12 – сглаженный индекс за месяц, представленный как *i* = *n*.

Использование *R*12 имеет два основных недостатка:

– самое последнее доступное значение обязательно центрируется по месяцу, который отстоит не менее чем на шесть месяцев от настоящего времени;

– его невозможно использовать для прогнозирования кратковременных колебаний солнечной активности.

Тем не менее *R*12 представляется наиболее полезным параметром для долгосрочных исследований и прогнозов, касающихся слоя F2. Если не указано иное, *R*12 следует использовать в его версии 1 (т. е. *R*12, рассчитанное из *R* при *k* = 0,6).

# 3 Индекс Φ

Лаборатории Канады, Японии и других стран составили последовательные и достаточно длинные ряды наблюдений за потоком солнечного радиошума при длине волны около 10 см. В качестве справочных данных для этого индекса следует рассматривать среднемесячное значение Φ суточных значений из Канады, выраженное в единицах 10–22 Втм–2 Гц–1. Φ более близко коррелирует с критической частотой слоя E, чем значения потока шума при волнах другой длины. Поскольку данные наблюдений солнечного потока доступны только с 1947 года, число солнечных пятен остается одним из самых длинных рядов наблюдений этого природного явления. Вследствие этого рекомендуется продолжать сбор и регистрацию данных наблюдений солнечных пятен.

# 4 Другие индексы

На протяжении последних лет рассматривалось значительное количество различных индексов, которые могли бы представить долгосрочные изменения различных характеристик ионосферы, однако для ионосферных прогнозов МСЭ-R *рекомендует* индексы *R*12 и Φ12.

# 5 Корреляция между Φ12 и *R*12

Рекомендуемое соотношение между *R*12 и Φ12, также показанное на рисунке 1:

. (4)

# 6 Прогнозирование индексов

Пока не существует метода, с помощью которого возможно точно прогнозировать индексы для следующего цикла солнечных пятен или, в более общем смысле, для цикла, который еще не начался. Индексы, которые были рассчитаны с использованием гармонического анализа или с помощью эмпирических и статистических законов, которые применяются к наблюдениям, сделанным в некоторых более ранних и даже недавних циклах, не оказались полезными при прогнозировании индексов для нового цикла. После наблюдения минимума солнечных пятен возможно в определенной степени экстраполировать будущее развитие цикла, хотя наблюдаемые отклонения весьма значительны.

В Соединенных Штатах Америки *R*12 прогнозируется с использованием усовершенствованного объективного метода Макниш-Линкольна. Сначала рассчитывается усредненный цикл на основе всех прошлых значений *R*12, начиная с минимума солнечных пятен каждого цикла и продолжая использовать данные за одиннадцать последующих лет. Для прогнозирования значения в текущем цикле первым приближением является значение усредненного цикла в указанное время после минимума. Эта оценка улучшается путем введения поправки, пропорциональной разнице между последним наблюдаемым значением текущего цикла и значением усредненного цикла. Современные компьютерные программы позволяют делать новый прогноз для каждого месяца оставшейся части цикла, как только становится доступным новое наблюдаемое значение. Статистическая неопределенность прогноза весьма мала в первые месяцы после последнего наблюдаемого значения, но становится большой в случае прогнозов, сделанных на двенадцать и более последующих месяцев. Как только определен минимум, возможно вычислить новые поправочные коэффициенты путем включения наблюдаемых значений предыдущего цикла для применения к новому циклу.

РИСУНОК 1

Соотношение между *R*12 и Φ12

A graph with a line

Description automatically generated

Центр данных индекса солнечной активности (SIDC) в Брюсселе также выполняет прогнозирование *R*12 на год вперед. Пример их прогнозируемых значений для 22-го цикла солнечной активности показан на рисунке 2 и их можно сравнить с наблюдаемыми сглаженными значениями.

Бюро радиосвязи (БР) выполняет прогнозирование Φ12 на основе метода Макниша-Линкольна.

Измеренные и прогнозируемые значения *R* и Φ и значения их скользящего среднего за 12 месяцев (*R*12 и Φ12) публикуются БР в ежемесячном Циркуляре базовых индексов для ионосферного распространения (а также размещается на глобально доступном веб-сайте МСЭ).

SIDC также предоставляет по электронной почте измеренные и прогнозируемые значения *R* с помощью процедуры анонимной передачи файлов.

РИСУНОК 2

Пример прогнозированных и наблюдаемых чисел солнечных пятен *R*12 (цикл 22)

A graph showing the growth of a number of companies

Description automatically generated with medium confidence

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_