

Рекомендация МСЭ-R P.371-9 (08/2023)

Серия Р: 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-T/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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-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
Φ_{12}	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 Φ , поток солнечного радиошума на частоте 2800 МГц (то есть Φ_{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 Φ_{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 $M(3000)F_2$, 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:

$$R = k(10N_g + N_s), \quad (1)$$

где N_g – число групп солнечных пятен, N_s – 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 (v_1).

В 2015 году коэффициент k был установлен равным 1, что стало версией 2 (v_2) числа солнечных пятен. Цифровые карты, определяющие суточные и географические вариации месячных медиан foF_2 и $M(3000)F_2$, 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:

$$R_{v1} = R_{v2} \times 0,6. \quad (2)$$

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:

$$R_{12} = \frac{1}{12} \left[\sum_{n-5}^{n+5} R_i + \frac{1}{2} (R_{n+6} + R_{n-6}) \right], \quad (3)$$

где R_i – 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 Φ_{12} .

5 Корреляция между Φ_{12} и R_{12}

Рекомендуемое соотношение между R_{12} и Φ_{12} , также показанное на рисунке 1:

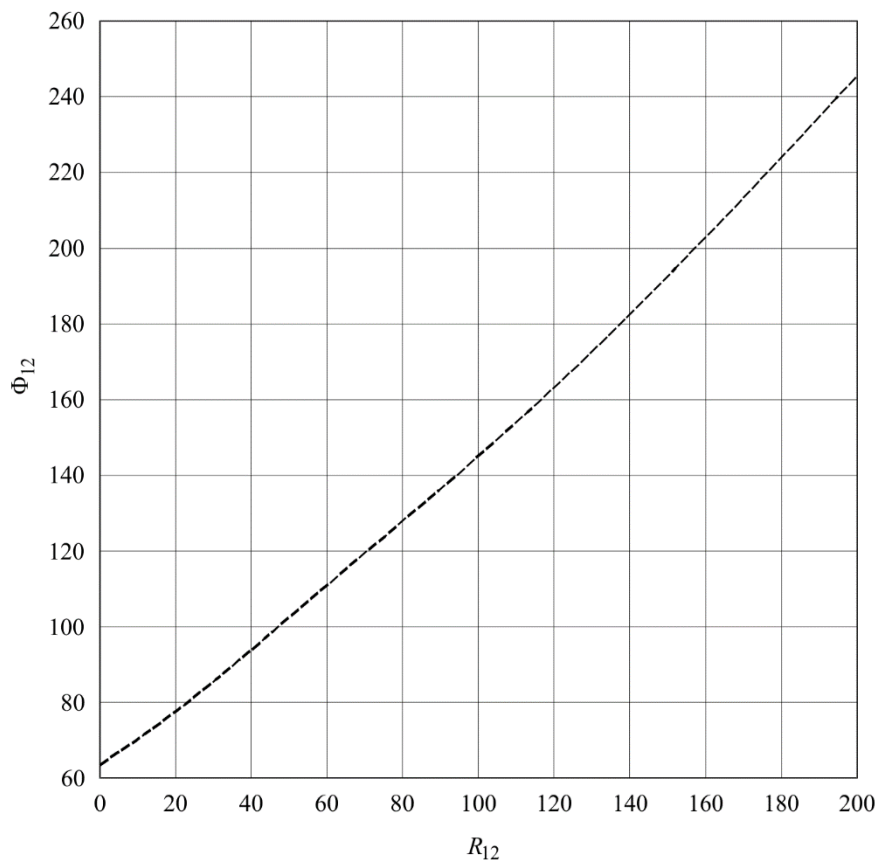
$$\Phi_{12} = 63,7 + 0,728 R_{12} + 8,9 \times 10^{-4} R_{12}^2. \quad (4)$$

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 Φ_{12}



P.0371-01

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 Φ_{12} на основе метода Макниша-Линкольна.

Измеренные и прогнозируемые значения R и Φ и значения их скользящего среднего за 12 месяцев (R_{12} и Φ_{12}) 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 прогнозируемых и наблюдаемых чисел солнечных пятен R_{12} (цикл 22)

