Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2026. С. 194–197.

УДК 528.8
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-194

ПАССИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРОТКОВОЛНОВЫХ МАЯКОВ

А.О. Артола, А.М. Артола

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, artolaanton@mail.ru

PASSIVE DIAGNOSTICS OF THE IONOSPHERIC RADIO CHANNEL USING SHORT-WAVE BEACONS

A.O. Artola, A.M. Artola

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, artolaanton@mail.ru

Аннотация. Исследованы возможности системы WSPR для пассивной диагностики ионосферного КВ-радиоканала. Предложена методика мониторинга радиоканала, позволяющая по данным коротковолновых маяков оценить характеристики ионосферных радиотрасс различной протяженности. Выявлены аномальные закономерности изменения состояния ионосферы на радиотрассах Юго-Восточной Азии.

Ключевые слова: диагностика радиоканала, система WSPR, КВ-маяки, наклонное зондирование.

Abstract. The capabilities of the WSPR system for passive diagnostics of the ionospheric HF radio channel have been studied. A method for monitoring the radio channel has been proposed, which allows the characteristics of ionospheric radio paths of various lengths to be evaluated using data from short-wave beacons. Anomalous patterns of changes in the ionosphere on radio paths in Southeast Asia have been identified.

Keywords: radio channel diagnostics, WSPR system, HF beacons, inclined probing.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно [Дымович, 1964], ионосфера играет ключевую роль в распространении коротких (КВ) и средних (СВ) радиоволн. Ее состояние существенно влияет на качество и надежность дальней радиосвязи, навигационных систем, а также на параметры радиоканалов при дистанционном зондировании. Во всем мире продолжают развиваться системы наблюдения за текущим состоянием ионосферы [Репин, 2023, Galkin, 2020, Котонаева, 2019]. Однако традиционные методы диагностики ионосферы, такие как зондирование ионосферными радарами или ионозондами, требуют специализированного оборудования и значительных ресурсов, что ограничивает их применение в оперативном мониторинге ионосферных условий на больших территориях.

Для решения данной проблемы полезно использовать коротковолновые маяки, в том числе применяемые в любительской радиосвязи. В силу простоты построения маяков и чрезвычайно широкого распространения любительской связи на всей планете использование информации о приеме сигналов таких маяков может помочь получить большой объем данных о состоянии ионосферы и трассах распространения радиоволн. Существует целый ряд различных систем для построения КВ-маяков. Наиболее распространенными среди них являются маяки, передающие информацию немодулированным сигналом, азбукой Морзе (CW-маяки), а также работающие по системе WSPR (Weak Signal Propagation Reporter — извещатель о прохождении слабого сигнала). Они обладают высокой чувствительностью и позволяют получать данные о принимаемых сигналах с полным набором информации, необходимой для анализа распространения радиоволн (точное местоположение маяков, время приема, излучаемая мощность).

Целью настоящей работы является исследование возможностей системы WSPR для мониторинга радиоканалов, а также диагностики ионосферы по данным измерений, полученных в результате работы КВ-маяков.

СИСТЕМА СВЯЗИ WSPR

Программа WSPR предназначена для исследования возможных трасс распространения радиосигналов станций, использующих маломощные, подобные маяку передачи [Тейлор, 2014]. После настройки WSPR работает полностью в автоматическом режиме. Программное обеспечение регистрирует в журнале каждую передачу, так же как и все принятые сигналы. Многие радиолюбители используют свои WSPR-станции круглосуточно.

WSPR реализует узкополосную цифровую модуляцию на основе частотной манипуляции с минимальным частотным сдвигом 1.4648 Гц. Для достижения лучшего соотношения сигнал/шум WSPR использует узкую полосу пропускания 6.25 Гц. Для лучшей помехоустойчивости передача одного сообщения WSPR длится 110.6 с строго каждую четную минуту UTC [Тейлор, 2009]. Это требует высокой точности синхронизации времени передатчика — обычно с погрешностью не более 1 с.

Передача сигналов осуществляется на строго обозначенных частотах: 0.136, 0.4742, 1.8366, 3.5686, 5.288–5.2945 (зависит от страны, в РФ существуют ограничения), 7.0386, 10.1387, 13.5539, 14.0956, 18.1046, 21.0946, 24.9246, 28.1246, 50.293, 70.150–70.300, 144.489, 432.300, 1296.500 МГц.

Существует также расписание работы WSPR маяков для удобства автоматического мониторинга сразу нескольких диапазонов частот.

ДАННЫЕ

С апреля 2026 г. проводились наблюдения за сигналами радиомаяков системы WSPR на радиотрассах различной протяженности и ориентации. В работе представлены следующие основные трассы для анализа.

1. Позывной BG8NSK, широта 30.0208333, долгота 102.0416667, город Гуйян, расстояние 2860 км, мощность передатчика 200 мВт.
2. Позывной JA5FFO, широта 34.202811, долгота 134,030604, город Такамацу, расстояние 3090 км, мощность передатчика 500 мВт.
3. Позывной JA5NVN, широта 34.0984463, долгота 134.4009305, поселок Камиита, расстояние 3132 км, мощность передатчика 1 Вт.
4. Позывной BL6YA, широта 23.2708333, долгота 120.1250000, город Тайнань, расстояние 3480 км, мощность передатчика 100 мВт.
5. Позывной BL7YA, широта 22.8958333, долгота 120.3750000, город Гаосюн, расстояние 3530 км, мощность передатчика 100 мВт.

Начиная с 29 марта по 23 апреля 2026 г. проводились круглосуточный прием сигналов на частоте 14 МГц. По техническим причинам с 7 по 13 апреля 2026 г. наблюдения не проводились.

По результатам наблюдений строились временные зависимости сигнал/шум (SNR). Каждый график соответствует дневным наблюдениям на одной конкретной частоте.

СУТОЧНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При анализе результатов, в первую очередь, необходимо обратить внимание на корреляцию интенсивности сигналов с изменением освещенности при смене времени суток. На рис. 1 показан пример приема сигналов на 14 МГц.

Маяки BV6YA и BV7YA расположены в 40 км друг от друга, в результате зависимости сигнал/шум имеют похожую форму. Сигналы данной частоты при ионосферном распространении отражаются преимущественно от слоя F2 и поглощаются слоями D и E. В данный период времени днем слой F2 достаточно интенсивный для отражения радиоволн с частотой 14 МГц, но слишком интенсивные слои E и D могут препятствовать распространению радиоволн. Ближе к ночи слои E и D в значительной степени ослабевают, в результате уменьшается поглощение радиоволн, но слой F2 ослабевает в такой степени, что отражение радиоволн 14 МГц все еще возможно. Эта картина подтверждается данными, рассчитанными по программе «Расчет параметров ионосферы» [Международная сеть…, 2023] по модели IRI-2016, которая отражает критическую частоту слоев F2 и E. На рис. 2 показаны расчетные параметры ионосферы в средней точке трассы для маяков BV6YA и BV7YA.

Учитывая вышесказанное, в период наблюдения наиболее вероятно вечернее распространение радиоволн на 14 МГц, что хорошо иллюстрируют графики суточной интенсивности принятых маяков. Похожую картину можно наблюдать в утренние часы, когда слой F2 уже стал более концентрированным, а слои D и E все еще имеют низкую концентрацию для существенного поглощения. С учетом полученных данных поглощение сигнала 14 МГц слоями D и E уже ближе к 16:00 IRK (Иркутское время) уменьшается настолько, что это не препятствует распространению сигналов. А в интервале 21:00–00:01 IRK в зависимости от дня приема и направления на маяк снижается концентрация слоя F2, так что волны 14 МГц проходят сквозь все слои ионосферы.

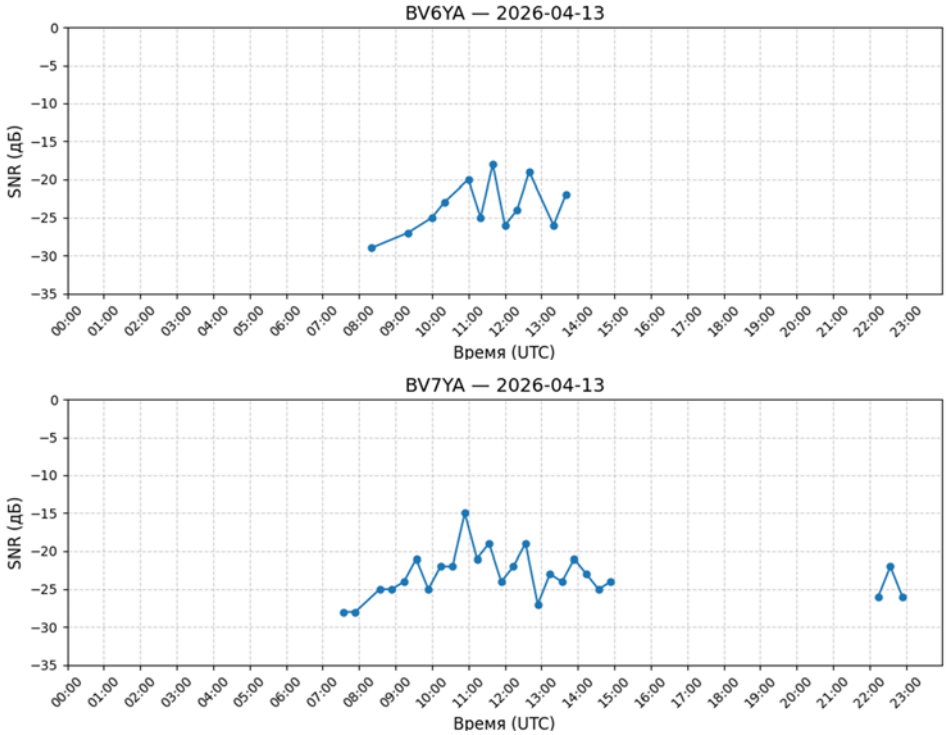

Рис. 1. Результаты измерений сигналов маяков BL6YA и BL7YA за 13.04.2026

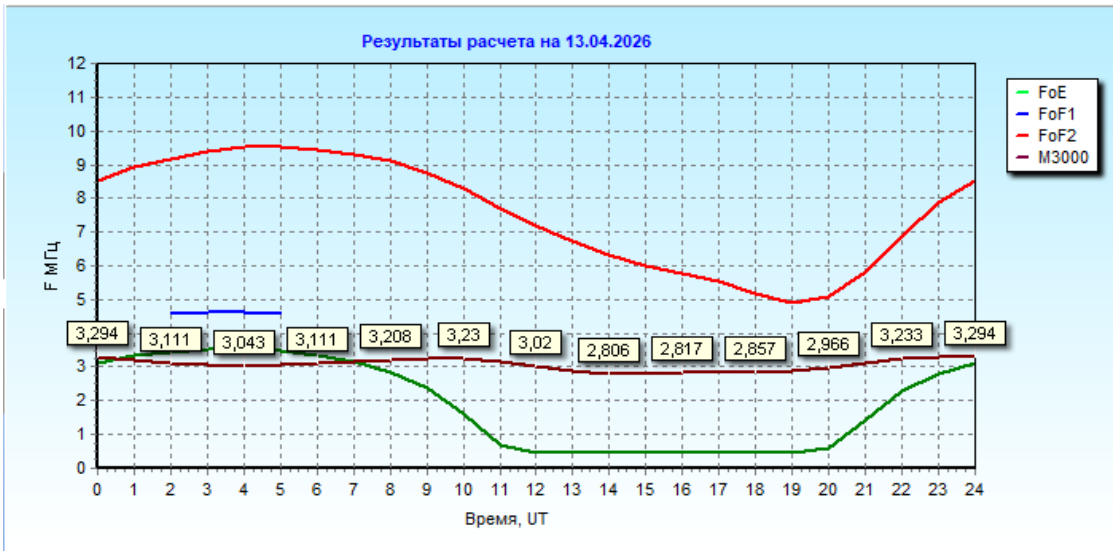

Рис. 2. Расчетные данные критической частоты ионосферы в средней точке трассы 13.04.2026

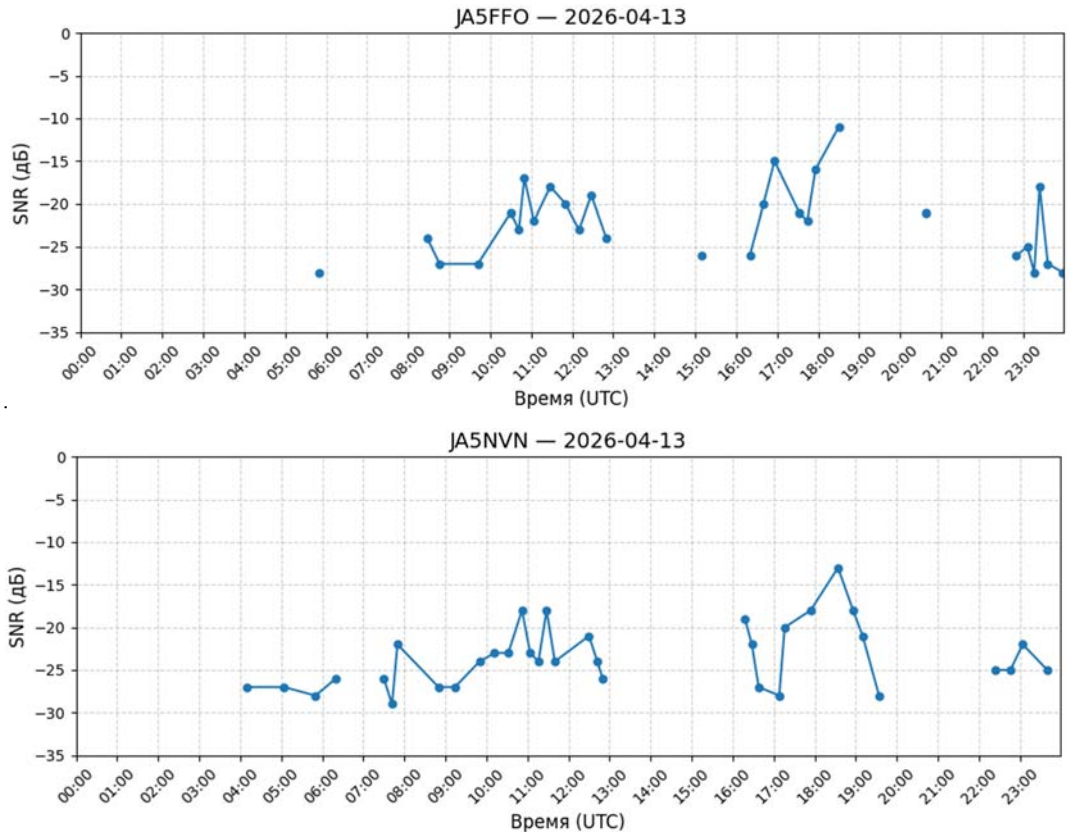

Рис. 3. Результаты измерений сигналов маяков JA5FFO и JA5NVN за 13.04.2026

Исключение из общей картины наблюдается на данных приема маяков из Японии, у которых стабильно имеется малый временной интервал распространения радиоволн с 16:00 до 20:00 UTC (00:00 до 04:00 IRK), но этот феномен требует отдельного анализа и дальнейших исследований. На рис. 3 показаны суточные зависимости вариации поля японских маяков JA5NVN и JA5FFO радиотрасс различной протяженности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы возможности использования системы WSPR для пассивной диагностики ионосферного радиоканала.

Предложена методика мониторинга радиоканала, позволяющая по данным WSPR-маяков исследовать характеристики ионосферных

Данные, полученные в результате наблюдений суточных зависимостей сигнал/шум, позволили выявить аномальные закономерности изменения состояния ионосферы на рассмотренных трассах.

Модернизация приемного устройства позволит получать данные КВ-маяков в многочастотном режиме.

Дальнейшее развитие предложенной методики может позволить оперативно получать данные о состоянии радиотрасс на различных рабочих частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дымович Н. Ионосфера и ее исследование // М: Энергия, 1964. 40 с.

Репин А.Ю. и др. Перспективы развития системы ионосферного мониторинга Росгидромета: наблюдения, моделирование, прогнозы // Распространение радиоволн: сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференции. Йошкар-Ола, 2023. С. 67–74.

Galkin I.A. et al. Assimilation of sparse continuous near-Earth weather measurements by NECTAR model morphing // Space Weather. 2020. V. 18, iss. 11. P. 1–16.

Котонаевой Н.Г. (ред.) Системный мониторинг ионосферы: сборник научных трудов. М.: Физматлит, 2019. 416 с.

Тейлор Д. WSPR – Программа всемирной сети радиомаяков // Российский цифровой радиолюбительский клуб.

URL: https://www.rdrclub.ru/wspr/126-wspr?ysclid=mjgyzqamcy765182807 (дата обращения: 12.10.2025).

Тейлор Д. WSPR 2.0 Руководство пользователя // WSPR 2.0 User’s Guide. URL: https://yl2gl.ucoz.net/_ld/0/2_WSPR_2.0_User_R.pdf(дата обращения: 08.10.2025).

Ладанов М. Прогноз распространения радиоволн КВ диапазона // Базы данных радиоконтроля. URL: https://radiokontrol.narod.ru/ham1.htm (дата обращения: 15.04.2026).