

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН»

Е.С. Колесник

*Научный консультант – канд. физ.-мат. наук С.А. Колесник,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия*

liza.wheelwright@gmail.com

Приводится возможность использования ионозонда «ТОМИОН» в режиме пассивного наклонного радиозондирования ионосферы.

Основная часть

Большое разнообразие по природе происхождения и механизмам распространения и формирования электромагнитного (ЭМ) фона в околоземном пространстве присуще всему радиодиапазону. Но особое внимание в рамках ЭМ экологии, физики ионосферы и радиофизики заслуживают ЭМ поля естественного и антропогенного происхождения, которые способны распространяться на большие расстояния в околоземном пространстве с минимальными потерями и покрывать большие площади в планетарном масштабе. К этим ЭМ полям в первую очередь следует отнести ЭМ поля СЧ и ВЧ радиодиапазонов.

Роль СЧ и ВЧ радиодиапазонов в радиосвязи и вещании хорошо известна. Несмотря на широкое развитие систем связи и вещания в других частотных диапазонах, системы, базирующиеся на СЧ и ВЧ радиодиапазонах, продолжают развиваться высокими темпами. С увеличением мощности отдельно взятых радиостанций и их общего количества растет общий уровень электромагнитного поля в окружающей среде и уровень взаимных помех. Так, мощность только радиовещательных станций составляет несколько сот мегаватт. За последние десятилетия уровень электромагнитного фона антропогенного происхождения на несколько порядков величины превысил соответствующий уровень естественного фона, что с точки зрения экологии всего живого на Земле следует рассматривать как скачок с неизвестными последствиями. В научной литературе имеются убедительные экспериментальные данные, которые указывают на прямое воздействие электромагнитных излучений различных

частотных диапазонов на живые организмы, включая человека. В полной мере это относится и к СЧ и ВЧ радиодиапазонам (1–30МГц). Проблема оценки состояния электромагнитного поля в СЧ и ВЧ радиодиапазонах естественного и антропогенного происхождения в окружающей среде включает в себя определение и изучение характеристик источников полей, исследование переноса электромагнитной энергии в околоземном пространстве, анализ механизмов ее потерь и требует разработки методов контроля и прогноза пространственно-временного распределения плотности электромагнитной энергии в СЧ и ВЧ радиодиапазонах в окружающем пространстве.

К настоящему моменту проведены детальные экспериментальные исследования процессов распространения радиоволн, позволившие установить статистические закономерности, связывающие характеристики электромагнитных полей от конкретного источника с характеристиками трассы распространения. Созданы математические методы расчета характеристик полей, предназначенные для целей связи, локации, навигации, пеленгации, диагностики и контроля состояния окружающей среды с учетом влияния гелиогеофизических и антропогенных факторов. Вместе с тем проведенные исследования вообще не затрагивают вопросы, связанные с процессами формирования и переноса пространственно-временного распределения электромагнитной энергии от реально существующего континуума источников естественного и антропогенного происхождения в околоземном пространстве.

Для выявления закономерностей электромагнитного загрязнения окружающей среды необходима разработка и реализация измерительно-вычислительных комплексов и методик проведения экспериментальных исследований вариаций уровня электромагнитного фона СЧ и ВЧ радиодиапазонов в режиме мониторинга. Такие измерения в режиме мониторинга ранее уже осуществлялись в Томске на различных экспериментальных установках. В 90-х гг. XX в. использовалось радиоприемное устройство «Катран-А», а в начале XXI в. – «I-COM». Эти установки позволяли получать уровни радиосигналов в полосе частот от 1 до 30 МГц при сканировании (перестройке) частоты с шагом 5 кГц за 15 мин.

В 2011 г. в Томском государственном университете был разработан и запущен в эксплуатацию цифровой ионозонд «ТОМИОН», который может работать как в активном вертикальном, так и в пассивном наклонном режиме радиозондирования ионосферы [1]. При приеме радиосигналов используется фазированная антенная решетка, состоящая из вось-

ми антенн (4 антенны расположены в направлении «север–юг» и 4 антенны – в направлении «восток–запад»). Таким образом, появилась возможность регистрировать углы прихода радиосигналов и, как следствие, определять значения электронной концентрации и ее направление и скорость движения в точке отражения радиоволн от ионосферы. Минимальное время радиозондирования 1 мс, разрешение в спектре принимаемых сигналов 1 кГц. При использовании 100 повторов для обеспечения устойчивой статистики время радиозондирования составляет 100 мс, что существенно, почти в 10 000 раз, короче, чем при использовании предыдущих установок.

Сегодня цифровые ионозонды «ТОМИОН» расположены в двух пунктах регистрации (г. Электроугли Московской области и г. Томск). В этих пунктах осуществляется непрерывный круглосуточный мониторинг уровня электромагнитного фона СЧ и ВЧ радиодиапазонов и его спектральных характеристик. На рис. 1 в качестве примера представлено частотно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц, зарегистрированное 6 апреля 2016 г.

Видно, что в диапазоне частот до 6 МГц максимум интенсивности принимаемых радиосигналов приходится на ночные часы, а минимальные значения интенсивности регистрируются в освещенное время суток. Уменьшение уровня электромагнитного фона в дневные часы связано с увеличением поглощения радиоволн в слое *D* днем и маневром по частоте различных служб, использующих ионосферное распространение радиоволн. В ночное время в диапазоне частот до 6 МГц распространение происходит и земным лучом, и за счет отражений от ионосферы. В результате их взаимодействия поле в точке приема не остается постоянным, а изменяется во времени. Это проявляется в увеличении амплитуды и сильной изменчивости поля. Колебания напряженности поля возникают вследствие интерференции нескольких волн, пришедших к месту приема по разным путям. Фаза и амплитуда этих составляющих неустойчивы во времени из-за нерегулярных изменений, происходящих в ионосфере.

В частотном диапазоне выше 13 МГц основной геофизической причиной суточных вариаций уровня электромагнитного фона является отражение (прохождение) радиоволн от ионосферной плазмы. Поэтому максимум интенсивности принимаемых радиосигналов приходится на дневные часы, а минимальные значения интенсивности регистрируются в ночное время суток, т.е. полная противоположность по сравнению с диапазоном до 6 МГц.

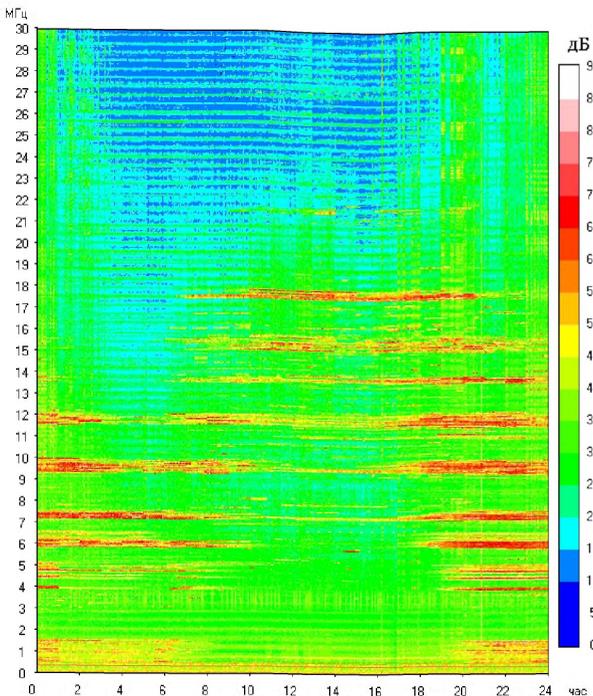


Рис. 1. Частотно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц

В частотном интервале от 7 до 12 МГц суточное изменение интенсивности принимаемых радиосигналов больше схоже с диапазоном частот до 6 МГц, но при этом в дневное время суток нет такого сильного уменьшения уровня ЭМ фона.

Таким образом, уровень ЭМ фона определяется двумя основными факторами: возможностью отражения в верхних слоях ионосферы и поглощением в нижних слоях ионосферной плазмы.

При использовании сети цифровых ионозондов «ТОМИОН» на территории РФ появится возможность определения не только значения электронной концентрации, ее направления и скорости движения, но и действующей высоты в точке отражения радиоволн от ионосферы. Таким образом, можно проводить мониторинг состояния ионосферы в режиме пассивного наклонного радиозондирования, а также осуществлять краткосрочный (мгновенный) прогноз устойчивой радиосвязи на терри-

тории РФ и прилегающих к ней районов и контроль за ЭМ загрязнением регионов РФ.

Сегодня осуществляется непрерывный мониторинг уровня ЭМ фона в диапазоне от 1 кГц до 30 МГц в двух регионах РФ (г. Электроугли Московской области и г. Томск). Осуществляется оперативное представление информации о текущем состоянии ЭМ фона на Интернет-сайте (<http://sossff.tsu.ru>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесник С.А., Колмаков А.А., Сарычев В.Т., Хаитов Р.К. Сетевой ионозонд для определения пространственно-временного распределения параметров ионосферы земли // Гелиогеофизические исследования. – 2013. – № 2 (4). – С. 90–100.