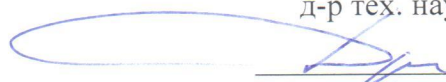


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра космической физики и экологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

д-р тех. наук, профессор

 Г.Е. Дунаевский
« 06 » июня 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОН ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЧ И ВЧ
РАДИОДИАПАЗОНАХ**

по основной образовательной программе подготовки магистров
направление подготовки 03.04.03 – Радиофизика

Колесник Елизавета Сергеевна

Руководитель ВКР

к.ф.-м.н., доцент

 А.А. Колмаков
« 06 » июня 2017 г.

Автор работы
студент группы № 710

 Е.С. Колесник

Томск-2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра космической физики и экологии (КФиЭ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой КФиЭ
 С.А.Колесник
« 17 » сентября 2015г.

ЗАДАНИЕ

по подготовке ВКР магистра
специалиста, бакалавра, магистра нужное вписать (напечатать)

студенту Колесник Елизавете Сергеевне группы № 710
фамилия, имя, отчество

1. Тема ВКР работы Электромагнитный фон окружающей среды в СЧ и ВЧ радиодиапазонах

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

а) на кафедре 6 июня 2017 г.

б) в ГАК 15 июня 2017 г.

3. Исходные данные к работе Установление закономерностей изменения уровня
цели и задачи исследования

электромагнитного фона окружающей среды в СЧ и ВЧ радиодиапазонах путем мониторинга его сезонно-суточных вариаций.

Ионосфера, уровень электромагнитного фона, окружающая среда, отражение
объекты и методы исследования

радиоволн, СЧ и ВЧ радиодиапазоны.

Метод мониторинга с использованием метода спектрального оценивания
методы оценки достоверности результатов

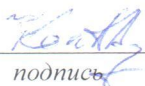
широкополосного сигнала. Достоверность подтверждается использованием достаточно больших рядов данных, наблюдений, физической обоснованностью подхода, точностью измерений на метрологически поверенной измерительной аппаратуре.

4. Краткое содержание работы Литературный обзор (декабрь 2015); Мониторинг
дать перечень основных разделов
уровня электромагнитного фона окружающей среды в СЧ и ВЧ радиодиапазонах
(декабрь 2016); Результаты мониторинга (май 2017).
сроки их выполнения

5. Указать предприятие, организацию по заданию которого выполняется работа _____
Национальный Исследовательский Томский государственный
университет

6. Дата выдачи задания « 17 » сентября 2015г.

Руководитель ВКР
Доцент, НИ ТГУ
должность, место работы


подпись

Колмаков А.А.
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению 17.09.2015 
дата, подпись студента

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 53 с., 24 рис., 2 табл., 18 источников.

ИОНОСФЕРА, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОН, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, СЧ И ВЧ РАДИОДИАПАЗОНЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН.

Объектом исследования является уровень электромагнитного фона в СЧ и ВЧ радиодиапазонах.

Целью данной работы являлась выявление закономерности сезонно-суточных вариаций уровня электромагнитного фона и его количественная оценка.

В процессе работы проведен литературный обзор, включающий описание структуры ионосферы, физические процессы и условия распространения радиоволн в СЧ и ВЧ радиодиапазонах, проведенные ранее исследования уровня электромагнитного фона окружающей среды и описание измерительного комплекса «ТОМИОН».

В результате работы проведен непрерывный мониторинг в течение 2016 года по регистрации уровня электромагнитного фона окружающей среды, построены частотно-суточные и сезонно-суточные вариации уровня электромагнитного фона, проведен сравнительный анализ с ранее полученными данными и выявлены основные закономерности в сезонно-суточных вариациях уровня электромагнитного фона.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Литературный обзор	8
1.1 Структура ионосферы	8
1.2 Историческая справка	11
1.3 Отражение радиоволн от ионосферы	15
1.4 Ранее полученные результаты	17
2 Мониторинг уровня электромагнитного фона	31
2.1 Описание измерительной аппаратуры	31
2.2. Методика мониторинга	34
2.3 Результаты мониторинга	37
Заключение	46
Список использованных источников и литературы	48
Приложение 1. Список участия в конференциях автора	50
Приложение 2. Список публикаций автора	51
Приложение 3. Список дипломов автора	53

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитные (ЭМ) поля окружающей среды это важный экологический фактор, который имеет как природное, так и антропогенное происхождение. Этот экологический фактор обладает некоторыми важными специфическими особенностями, которые отличают его от других экологических факторов. Во-первых, ЭМ поля распространяются в окружающей среде со скоростью света или близкой к ней и практически мгновенно «накрывают» огромные территории вплоть до планетарного масштаба. Во-вторых, многочисленные эксперименты и теоретические исследования показали, что естественный электромагнитный фон является необходимым условием для нормальной жизнедеятельности биологическим систем, вследствие эволюционно сложившихся условий. В-третьих, изменение уровня ЭМ фона более чем за 50 лет в $10^3 - 10^6$ раз превзошло уровень естественного излучения. Этот резкий скачок уровня ЭМ фона окружающей среды может привести к непредсказуемым последствиям для живых организмов.

За последние несколько десятков лет, благодаря техническому прогрессу, наша планета Земля стала источником мощнейшего ЭМ излучения в широком спектре частот. Ввиду технического прогресса уровень электромагнитного фона претерпевает изменения. Если мы сравним интенсивность излучения Земли и Солнца, то в радиодиапазоне Земля выглядит на несколько порядков ярче. В СВЧ диапазоне, который используется для мобильной связи, радиосвязи, на базовых станциях, для радиолокации, в бытовой технике (микроволновые печи) и в других областях, интенсивность излучений над территорией США в 10-100 раз выше, чем над Атлантикой. Соответственно в городах, где население более 1 млн. человек, электромагнитные излучения техногенного происхождения на несколько порядков превышают уровень природного происхождения.

Как уже говорилось, что ЭМ излучение имеет широкий спектр частот, но в основном преобладает радиодиапазон. К этим ЭМ полям в первую очередь следует отнести ЭМ поля КНЧ, СЧ и ВЧ радиодиапазонов.

Применение СЧ и ВЧ диапазонов для радиосвязи хорошо известно. Системы, базирующиеся на СЧ и ВЧ радиодиапазонах, высоко развиты, несмотря на широкое распространение систем связи и вещания в других частотных диапазонах. Несмотря на запрет вещания в данном радиодиапазоне на территории России, большое количество станций вещают на территории России из других стран. Так мощность только радиовещательных станций составляет несколько сот мегаватт. В связи с высоким темпом развития радиосвязи, за последние несколько десятков лет, уровень ЭМ фона антропогенного происхождения превысил на несколько порядков уровень фона естественного происхождения. Этот факт с точки зрения экологии всего живого может привести к неизвестным последствиям.

Целью диссертации является выявление основных закономерностей сезонно-суточных распределений уровня электромагнитного фона в окружающей среде в СЧ и ВЧ радиодиапазонах.

Для достижения этой цели в работе решались следующие задачи:

- на базе измерительно-вычислительного комплекса «ТОМИОН» в течение 2016 года провести непрерывный мониторинг по регистрации уровня электромагнитного фона окружающей среды, который формируется за счет мировой сети радиовещания в диапазоне частот от 1 до 30 МГц;
- построить частотно-суточные и сезонно-суточные вариации уровня электромагнитного фона;
- провести сравнительный анализ с ранее полученными научными результатами и выявить основные закономерности в сезонно-суточных вариациях уровня электромагнитного фона.

Проведенные исследования на Томской ионосферной станции на ионозонде «ТОМИОН» в 2016 году позволили сформулировать следующие положения, выносимые на защиту.

1. Уровень ЭМ фона в окружающей среде в первую очередь зависит от состояния ионосферной плазмы, которое контролируется уровнем

солнечной активности, сезоном года и мировым временем, а также зависит от расписания работы Мировой сети радиовещания.

2. Результаты непрерывного круглосуточного мониторинга уровня ЭМ фона в СЧ и ВЧ радиодиапазонах на Томской ионосферной станции на ионозонде «ТОМИОН» в 2016 году, а именно:

а) в полосе частот от 1 до 7 МГц выявлено, что минимальные значения уровня электромагнитного фона достигаются в дневное время и находятся в диапазоне от 0 до -15 дБ, а максимальные в ночное время и находятся в диапазоне от 40 до 55 дБ;

б) в полосе частот от 10 до 13 МГц выявлено, что минимальные значения уровня электромагнитного фона достигаются в дневное время (11 – 15 LT) и находятся в диапазоне от 5 до 15 дБ, а также в зимнее время (20 – 7 LT) от -10 до 10 дБ; максимальные значения начинают свой рост во время заката и спад после восхода Солнца и лежат в диапазоне от 45 до 55 дБ;

в) в полосе частот от 15 до 18 МГц минимумы достигаются ночью и лежат в диапазоне от -15 до 5 дБ, а максимумы в дневное время (8 – 16 LT) от 45 до 55 дБ.

1 Литературный обзор

Как известно, радиосвязь в СЧ и ВЧ радиодиапазонах (1 – 30 МГц) осуществляется за счет отражения волн от ионосферы. Применимость этих диапазонов хорошо известна для целей связи, вещания, локации, пеленгации, навигации. Необходимы условия и физика процессов представлены в п.1.2.

Ионосфера – ионизированная часть верхней атмосферы Земли, начиная от 50 км и выше. Она включает в себя такие области атмосферы как мезосфера, термосфера, гомосфера и гетеросфера. Ионизация атмосферы происходит в основном под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца. Степень ионизации значительно зависит от солнечной активности.

Ионосферу разделяют на несколько ионизированных слоев, причем степень ионизации меняется с высотой, концентрация заряженных частиц возрастает с высотой монотонно до некоторого максимума, затем уменьшается и вновь увеличивается и т.д. Высотные профили не имеют резко выраженных границ. Их концентрация и температура меняются от времени суток, сезона, от широты и долготы, а так же значительно зависят от солнечной и магнитной активности. Распределение концентрации и температуры заряженных и нейтральных частиц на разных высотах влияет по-разному на распространение радиоволн различной длины.

1.1 Историческая справка

История экспериментальных исследований процессов распространения радиоволн началась еще в 1901 году, но на тот момент обоснованного физического объяснения этому не нашлось.

Действительно, казалось бы, что еще в 1901 году после блестящего эксперимента Маркони, который передал букву «S» с помощью радиоволн через Атлантический океан, существование в атмосфере слоя, отражающего радиоволны, не должно было вызывать сомнений. Тем более, что в 1902 году в Британской энциклопедии появилась статья Хевисайда, в которой

были рассмотрены основные вопросы распространения радиоволн в эксперименте Маркони, показана первая теория ионизации атмосферы солнечным излучением с образованием слоя, отражающего радиоволны. Другими словами, уже была создана первая модель ионосферы. Однако, ведущие физики того времени не согласились с выводом о существовании в атмосфере Земли проводящего электричество слоя, отражающего радиоволны. Зоммерфельд провел обширные вычисления поля радиоволн на основе дифракции на сферической поверхности Земли и эксперимент Маркони стали трактовать как доказательство этой дифракции. И только эксперимент по радиозондированию явился тем «его величество экспериментом», которое всех убедило в существовании ионосферы.

Если до начала эры радиозондирования даже проблемные публикации ученых о наличии ионосферы считались «вздорными» и не принимались в печать, то затем начинается лавинообразный рост числа научных статей, который в 20-х годах привел к значительному расширению объема экспериментальных исследований по ионосферному распространению радиоволн вследствие их резко возросшей практической значимости. Появляются первые ионосферные радиолaborатории, такие как Нижегородская лаборатория Бонч-Бруевича. На Западе появилась «Английская компания беспроволочной телеграфии». Шулейкин на основании анализа данных о распространении коротких волн делает вывод о существовании отражающего слоя на высоте 260 км и издает в 1923 г. первый учебник по распространению радиоволн с учетом влияния ионосферы [1].

В это же время создаются первые теории ионосферных слоев. Лармор в 1924 г. предположил, что ионосферу не следует считать проводником, а ее зеркальные свойства есть свойства диэлектрика, и основную роль в процессе отражения играют не электроны, а ионы. В 1926 г. Эпплтон и Барнетт опубликовали исследование, в котором ионосфера считалась проводящим слоем, основную роль в отражении играли электроны, а полученные соотношения для показателя преломления электромагнитных волн

восходили к классической работе Лоренца «Теория электронов». Первые эксперименты Брайта и Тьюва [2] по радиозондированию ионосферы, опубликованные в 1926 г., явились прямым доказательством существования проводящего электрического слоя в атмосфере Земли. Этим экспериментом была закончена бесплодная дискуссия о существовании в верхней атмосфере зеркала отражающего радиоволны обратно на Землю.

В 1930–1932 гг. Щукин публикует свои исследования по анализу данных о напряженности поля и федингу на волнах КВ диапазона и приводит сыгравший впоследствии значительную роль метод расчета напряженности поля в этих условиях [3]. В те же годы были проведены и опубликованы работы Чепмена и Крючкова по расчету ионизации как функции высоты в простейшем случае (простой слой): атмосфера состоит из одного газа, распределенного с высотой по барометрическому закону, а излучение Солнца – монохроматическое. В 1932 г. Эпплтон полностью закончил разработку основных положений магнито-ионной теории и получил выражение для комплексного показателя преломления [4], которое с тех пор практически не изменилось и известно как основная дисперсионная формула ионосферы. За цикл работ 1924–1932 гг. Эдварду Эпплтону в 50-е годы была присуждена Нобелевская премия. Работы [1, 3 – 6] послужили теоретическим фундаментом для широкого распространения ионосферных исследований и их практического использования. Метод радиозондирования при этом становился главным рабочим инструментом и для ученых, и для инженеров, занимающихся вопросами практического использования ионосферных радиоволн [5].

В 30-е годы метод радиозондирования был окончательно развит. Возникает целая сеть лабораторий, которые в разных геофизических условиях начинают систематические наблюдения ионосферы. После лаборатории Бонч-Бруевича возникает ионосферная станция в Томске под руководством Кессениха В.Н.; ионозонд для нее изготавливает Булатов и за его изобретение получает авторское свидетельство. В это же время Лихачев публикует первый «Альбом ионограмм вертикального зондирования» –

«картинки по Лихачеву». Создают ионозонды и проводят исследования методом радиозондирования: в Ростове-на-Дону – Чавдаров (который также создает в 1939–1940 гг. первую станцию по измерению поглощения радиоволн [6]), в Москве – Казанцев, в Ленинграде – Заборщиков. В Англии проводит радиозондирование Радиоисследовательская станция в Слау (Лондон) и Кэвендишская лаборатория в Кэмбридже, в США – Институт Карнеги и Бюро Стандартов.

Послевоенный период характеризуется огромной активностью в области вертикального радиозондирования ионосферы. Появляется большое число автоматических ионозондов промышленного изготовления: в СССР – АИС, в Германии – SP-3, в США – C-4 и др. На основе этих ионозондов возникает мировая сеть ионосферных станций, которая по стандартным, согласованным в международном масштабе программам проводит регулярные, одновременные и однотипные измерения методом вертикального радиозондирования ионосферы приблизительно в 150 точках. Создается консультативная группа по мировой сети ионосферных станций при Международном научном радиосоюзе (URSI), которая выпускает специальное руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм вертикального радиозондирования ионосферы [7]. Единая инструкция по обработке и одновременные измерения на всем земном шаре, в том числе и по специальным программам, создание сети Мировых центров данных (МЦД), аккумулирующих и распространяющих данные вертикального радиозондирования по запросам всех желающих, быстро продвигало ионосферную науку.

1.2 Структура ионосферы

Ионосфера не имеет четких границ, даже некоторое количество заряженных частиц имеется в приземном воздухе, хотя их происхождение отлично от происхождения заряженных частиц в ионосфере, они могут быть продуктом радиоактивности как естественной, так и искусственной [8].

Не смотря на то, что заряженные частицы существуют и ниже 50 км, исторически под ионосферой понимали область атмосферы, влияющую на распространение радиоволн, т.е. концентрация электронов ниже 50 км очень мала и имеет незначительное влияние.

В верхней атмосфере, ниже примерно 80 км, количество свободных электронов быстро падает с уменьшением высоты из-за очень активных процессов прилипания этих электронов к нейтральным частицам. В результате на высоте около 50 км концентрация электронов становится уже настолько мала, что они практически не обнаружимы методами распространения радиоволн. С точки зрения радиофизики это и есть нижняя граница ионосферы.

Принято говорить, что ионосфера состоит из областей D (50 - 90 км), E (90 - 130 км), F₁ (170 - 200 км), F₂ (200 - 400 км) (рисунок 1).

Нижней областью ионосферы является область D от 50 км и примерно до 90 км. Область D – единственная область ионосферы, где существуют три типа заряженных частиц: положительные и отрицательные ионы и электроны. Выше уже концентрация отрицательных ионов не велика, т.к. плотность нейтрального газа очень мала для прилипания электронов к нейтральным частицам.

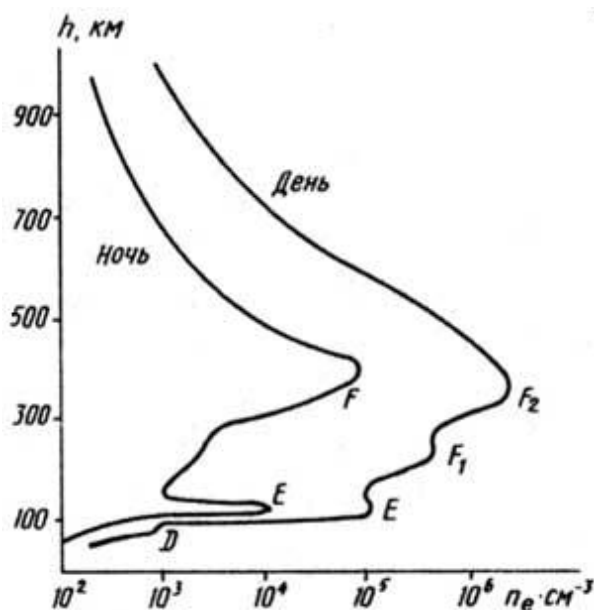


Рисунок 1 – Схематическое изображение структуры дневной и ночной ионосферы с областями D, E, F, F₁, F₂ (данные усреднены)

На концентрацию заряженных частиц в области D влияют три возмущения: солнечные вспышки, явления поглощения в полярной шапке (ППШ) и так называемая зимняя аномалия. Возмущение первого типа заключается в резком увеличении концентрации заряженных частиц непосредственно после вспышки на Солнце. Возмущение второго типа вызывается протонами с энергиями в десятки миллиэлектронвольт, вторгающимися в высокоширотную область земной атмосферы после вспышки на Солнце. Возмущение третьего типа - зимняя аномалия, оно так же приводит к большому увеличению концентрации заряженных частиц. Данная аномалия связана с тем, что поглощение в области D радиоволн СЧ-диапазона зимой существенно выше, чем летом.

Не смотря на то, что данная область находится ближе всего к поверхности Земли, она мало всего изучена, т.к. ее плотность велика, а концентрация электронов имеет небольшое значение. Концентрация нейтральных частиц в единице объема значительна, а значит и так называемая частота соударений электронов с нейтральными частицами имеет не малое значение, так появляется обилие химических превращений. Отсюда и разнообразие типов положительных ионов, и появление отрицательных ионов, и связь с такими составляющими, как NO, O, H₂O, концентрации которых сами по себе известны плохо. Так же для исследования данной области необходимо учитывать такие параметры, как плотность газа, подвижность ионов в газе и т.д., что составляет не малые трудности. Температура электронов (T_e) не сильно отличается от температуры нейтральных частиц (T_n), т.к. как уже говорилось, плотность нейтральных частиц велика.

Высоты от 90 до 140 км относят к области E. Здесь плотность атмосферы в сотни раз меньше, чем в слое D, а концентрация электронов достигает нескольких сотен тысяч в одном кубическом сантиметре. Обнаружен слой E был по отражённой радиоволне, а электрический вектор в электромагнитной волне обозначается буквой «E». Вот и назвал

руководитель экспериментальной группы в Кембриджском университете Эдуард Эпплтон этот слой слоем E [9].

В области E ионосфера состоит целиком из ионов NO^+ и O_2^+ . В области E картина изменения ионного состава была бы вполне понятной, если бы там время от времени не появлялись так называемые метеорные ионы. Их происхождение изучено плохо, но предполагается, что они появляются в результате испарения микрометеоров в верхней атмосфере, но их количество мало по сравнению с концентрацией основных ионов и влияние так же не имеет большого значения. Остро стоит вопрос о дневных температурах электронов в области E и непосредственно над ней. Зондовые измерения дают превышение T_e над T_n уже на высотах 100 – 110 км. В то же время измерения с Земли не обнаруживают никакой разницы между значениями этих температур.

Выше области E находится слой F, который распадается иногда (чаще всего летним днем) на два: F_1 и F_2 . Слой F_1 расположен на высотах 140 – 200 км. В нижней области слоя преобладают ионы O_2^+ и NO^+ , затем ионосфера становится практически чисто атомарной, и основным ионом у верхней границы слоя становится атомарный ион O^+ . Но на высотах 180-200 км появляются ионы N_2^+ . Максимум электронной концентрации достигается на высотах 170-180 км. С ростом солнечной активности устойчивость слоя F_1 ухудшается, а в максимуме активности зимой он вовсе не наблюдается. Температуры ионов (T_i) и нейтрального газа равны в среднеширотной области как днем, так и ночью, а электронная температура растет с высотой гораздо быстрее с высотой, чем T_n , и в верхней части области может превышать T_n на несколько сот градусов (вплоть до 1000K).

После слоя F_1 следует слой F_2 . Основными ионами для области F_2 являются атомарные азот и кислород (N^+ , O^+) с сильным преобладанием O^+ . Данный слой ионизирован сильнее всех остальных. Здесь и находится главный максимум электронной концентрации ионосферы, выше которого уже начинается уменьшение. Т.к. атмосфера в слое F_2 сильно разрежена, то жизнь электронов велика, и поэтому их концентрация всегда держится на

высоком уровне. Максимум ионизации изменяется по высоте от 300 км зимой и летом до 400 км.

Исследование слоя F_2 не так уж просто, т.к. процессы, происходящие в нем, не всегда согласуются с теорией. Например, концентрация электронов принимает максимальное значение зимой, а не летом, когда излучение Солнца усиливается, так называемая сезонная аномалия. Так же существуют суточная и географическая аномалии. Суточная аномалия заключается в том, что днем, когда радиация Солнца наиболее эффективна для ионизации, в суточном ходе наблюдается не максимум, а наибольшее значение электронной концентрации отмечается не один раз в сутки (как в слое E), а два раза. А географическая аномалия наблюдается на экваторе, где так же ожидается максимум ионизации, на самом деле этот максимум находится по обе стороны от экватора. Следует заметить, что образование слоя F_2 зависит не только от мощности потока ионизирующего излучение, значительную роль играют ветры и электрические поля. Выше максимума слоя F_2 с O^+ перемешиваются ионы гелия He^+ и водорода H^+ . He^+ достигает максимума концентрации на высотах 500 – 600 км, затем концентрации H^+ и O^+ сравниваются, и затем доминирует H^+ (протоносфера).

1.3 Отражение радиоволн от ионосферы

Ионосферная плазма является неким зеркалом, отражающим экраном для радиоволн земного происхождения, так и для волн космического происхождения. Необходимым условием для отражения волны является:

$$f \leq f_{oF2} \cos \gamma_0, \quad (1)$$

где γ_0 – угол падения радиоволн на ионосферную плазму (см. рисунок 2), f_{oF2} – критическая частота области F2 ионосферной плазмы, равная

$$f_{oF2} = 9 \cdot 10^{-6} \sqrt{N_{mF2}} \quad (2)$$

В представленных формулах (1.1) и (1.2) размерность частот выражается в МГц, а максимальная электронная концентрация F2 – области N_{mF2} – в единицах электрон/м³.

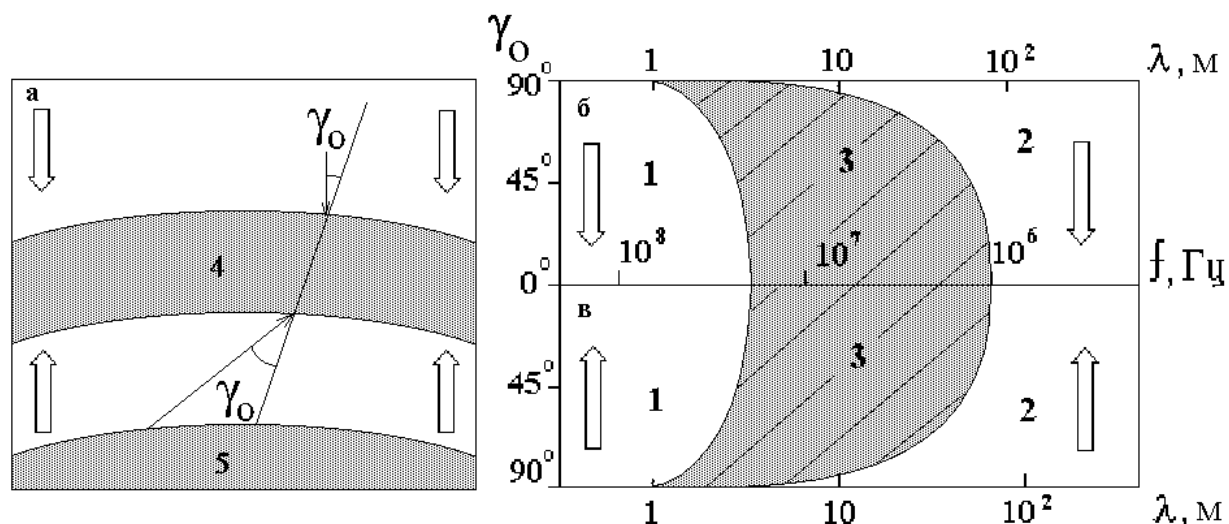


Рисунок 2 – Области пропускания (1), области отражения (2) и вентиляционная зона (3) при наклонном падении радиоволны под углом γ_0 на слой ионосферной плазмы (4) в зависимости от частоты радиоволны f или длины волны λ ; (5) - земная поверхность.

f_{oF2} может варьироваться в пределах от 1 до 20 МГц, это зависит от состояния ионосферной плазмы, которая с вою очередь зависит от гелио-физических условий. Диапазон от 1 до 20 МГц – это стандартный диапазон, который используется для вертикального зондирования ионосферы. Согласно рисунку 2 областью отражения при $\gamma_0=0$ всегда будет диапазон частот меньше 1 МГц, а областью пропускания для этого угла диапазон частот больше 20 МГц. Следовательно, волны с частотой $f > 20$ МГц при нормальном падении на ионосферную плазму, будут покидать околоземное пространство, практически не оказывая влияния на уровень ЭМ фона. А радиоволны с частотой $f < 1$ МГц будут оставаться в околоземном пространстве и участвовать в формировании ЭМ фона Земли.

Вентиляционная зона (область 3 на рисунке 2), в которую входит диапазон частот 1 – 20 МГц, может быть областью пропускания либо отражения, в зависимости от гелио-физических условий, в которых находится ионосферная плазма.

Рассмотрим случай при наклонном распространении радиоволн ($\gamma_0 \neq 0$). В этом случае вентиляционная зона расширяется, радиодиапазон частот,

которые отражаются, смещается в более высокочастотную область. В зависимости от величины f_{oF2} и γ_o вентиляная зона перекрывает длины радиоволн от 1м до ~80м [10].

Аналогичные физические процессы происходят с волнами космического происхождения. Однако различие есть. При смещении вентиляной области влево, космические волны отражаются от ионосферной плазмы. А при смещении вентиляной области вправо, в область более низких частот, происходит пропускание космических волн в область околоземного пространства.

Таким образом, спектр электромагнитного фона СЧ и ВЧ диапазонов определяется положением вентиляной зоны, которое зависит от состояния ионосферной плазмы.

1.4 Ранее полученные результаты

Измерения в режиме мониторинга ранее уже осуществлялись в Томске В Томском государственном университете на кафедре космической физики и экологии на различных экспериментальных установках. В 90-х года XX века использовалось радиоприемное устройство «Катран-А», а в начале XXI века «I-COM». Эти установки позволяли получать уровни радиосигналов в полосе частот от 1 до 30 МГц при сканировании (перестройки) частоты с шагом 5 кГц за 15 минут.

Систематические измерения уровня электромагнитного загрязнения проводились в режиме непрерывного круглосуточного мониторинга с пятнадцатиминутной процедурой сканирования по частоте. Пятнадцатиминутные интервалы были выбраны не случайно. Во-первых, эти интервалы определялись временем сканирования всего исследуемого диапазона частот от 30 кГц до 30 МГц с шагом перестройки частоты 5 кГц. Во-вторых, они совпадали с временными интервалами проведения измерений на станциях вертикального зондирования ионосферы. Основная задача проводимых измерений заключалась в получении временных рядов частотного распределения уровня электромагнитного фона с

одновременным контролем гелио-геофизической обстановки. Эти ряды данных были получены в период 2006 – 2008 годов.

Типичный суточный ход уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 30 кГц до 20 МГц, регистрируемый в Томске в период 2006 – 2008 годов, приведен на сонограмме (рисунок 3). Сонограмма представляет собой изменение во времени уровня регистрируемого сигнала в зависимости от частоты, нормированного на максимальное значение, соответствующее каждым 15-и минутам (в течение суток – 96 реализаций). Черному цвету соответствует максимальный уровень сигнала, белому – минимальный.

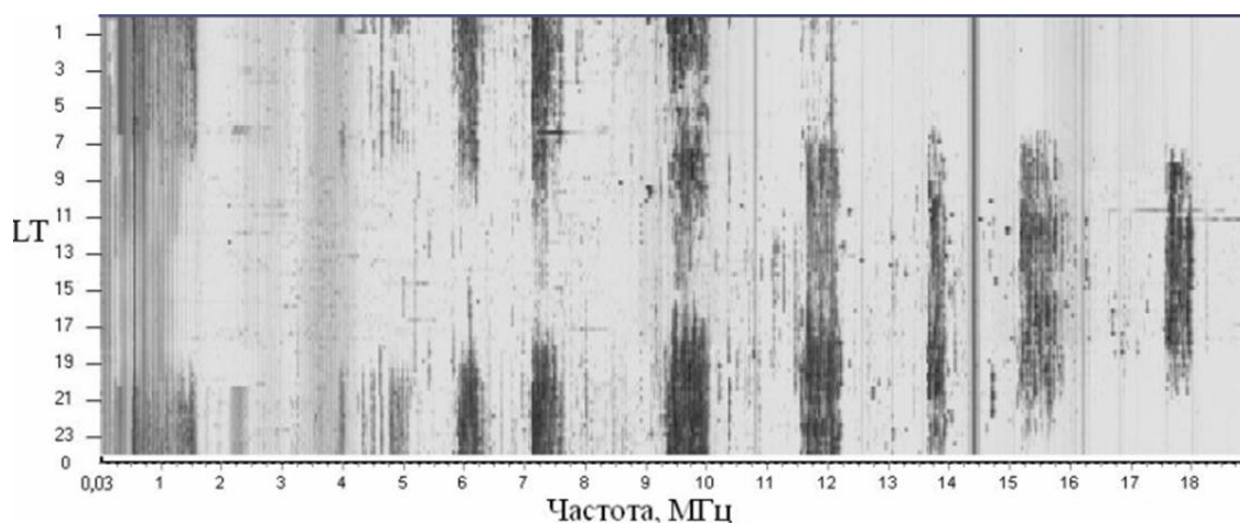


Рисунок 3 – Суточный ход уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 30 кГц до 19 МГц в Томске, LT– местное время в часах

Из приведенной сонограммы можно видеть, что в регистрируемом электромагнитном фоне в диапазоне частот от 30 кГц до 20 МГц, выделяются полосы частот с характерными максимумами излучения (черного цвета), которые соответствуют полосам частот, выделенных для радиовещательных станций.

Основное внимание при анализе данных мониторинга было обращено на вариации уровня электромагнитного фона в широкой полосе частот в зависимости от времени суток и сезона года. Реализованная методика проведения измерений не позволила провести детальные межсуточные измерения уровней электромагнитных полей, аналогичные проведенным в

[11, 12] при регистрации уровня напряженности поля от реперных радиостанций. Для исследований вариации уровня электромагнитного фона на фиксированных частотах использовалось радиоприемное устройство «ICOM», с которого в непрерывном режиме снимались значения напряженности поля на фиксированной частоте.

Экспериментальные исследования в режиме мониторинга в г. Томске в течение 2006 – 2008гг позволили выявить характерные особенности вариаций электромагнитного фона в диапазоне частот от 1 до 30 МГц в Западной Сибири. За весь период проведения измерений уровня электромагнитного фона, независимо от сезона года и времени суток, значения f_{oF2} по данным Томской ионосферной станции не опускались ниже 2 МГц. Это обстоятельство явилось причиной того, что вариации плотности распределения электромагнитной энергии в диапазоне частот 1 – 7 МГц (с учетом наклонного распространения радиоволн) в основном обусловлены сильным дневным ионосферным поглощением. Во время цикла измерений уровень солнечной активности был невысоким и фактически отсутствовали геомагнитные возмущения. Величина потока мощности солнечного радиоизлучения ($F_{10.7}$) варьировалась в пределах 70 – 100, а K_p -индекс, характеризующий планетарную возмущенность геомагнитного поля, только в отдельные часы за все время измерений превышал 3 – 4. Закономерности вариаций уровня электромагнитного фона в низкочастотной части ВЧ диапазона (< 7 МГц) радикальным образом отличаются от закономерностей вариаций уровня фона в его высокочастотной части (> 10 МГц). Поэтому рассмотрим каждый из поддиапазонов частот отдельно.

Диапазон частот от 1 до 7 МГц. На рисунке 4 в изолиниях представлено сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот 1 – 3 МГц, зарегистрированное в 2006 – 2008гг. Уровень электромагнитного фона выражен в децибелах относительно 1 мкВ/м. Аналогичные результаты мониторинга электромагнитного фона в диапазоне частот 5 – 6 МГц и ~ 7 МГц (здесь и далее символ ‘ $\sim$ ’ означает полосу частот ± 0.5 МГц) представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

Видно, что в любое время года в диапазоне частот от 1 до 7 МГц максимум интенсивности принимаемых радиосигналов приходится на ночные часы, а минимальные значения интенсивности регистрируются в освещенное время суток. С увеличением освещенного времени суток (от зимы к лету) интервал минимальных значений (от -15 до +20 дБ) уровня электромагнитного фона возрастает (таблица 1).

Таблица 1

Δf	Зима	Равноденствие	Лето
1-3 МГц	9-18LT	6-20LT	1-22LT
5-6 МГц	10-19LT	8-20LT	6-20LT

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. Загруженность этой части радиодиапазона, особенно в ночные часы, хорошо известна [13]. В ночное время в диапазоне частот 1 – 7 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.

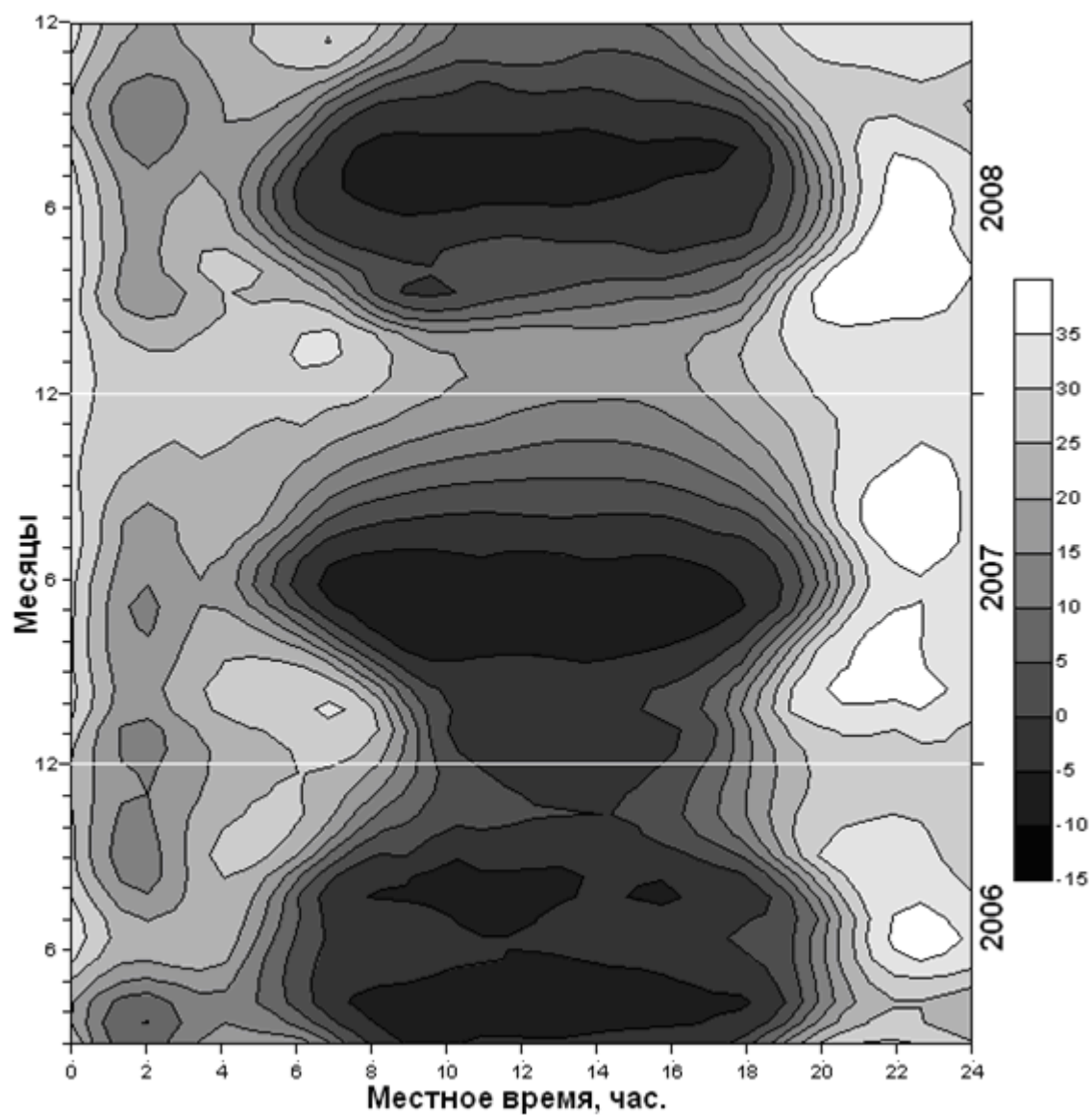


Рисунок 4 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот 1 – 3 МГц

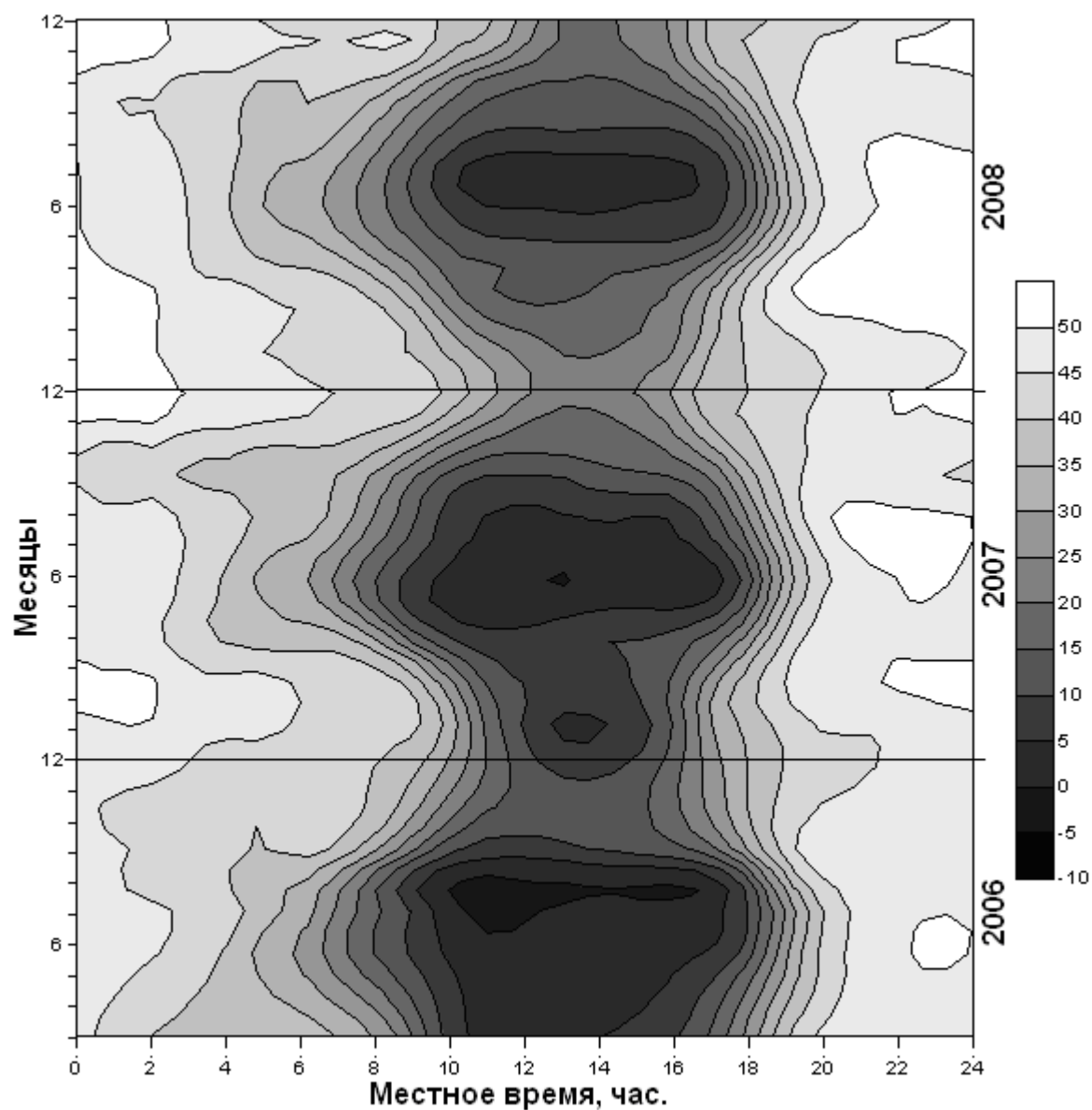


Рисунок 5 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот 5 – 6 МГц

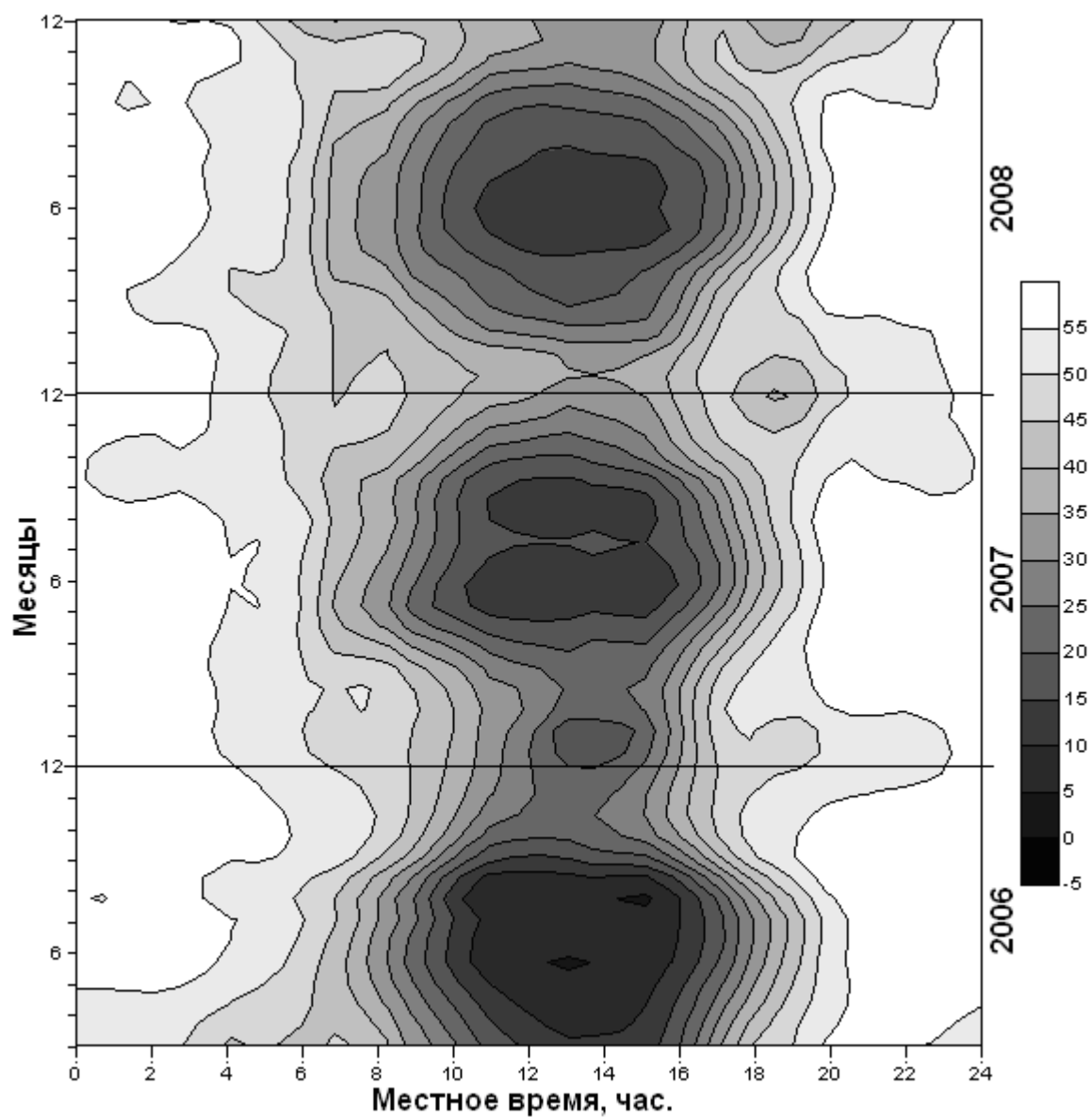


Рисунок 6 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 7 МГц

Диапазон частот выше 10 МГц. В частотном диапазоне выше 10 МГц основной геофизической причиной суточных вариаций уровня электромагнитного фона является отражение (прохождение) радиоволн от ионосферной плазмы. Для трех частотных диапазонов ~10 МГц на рисунке 7, ~ 12 МГц на рисунке 8, ~ 13 МГц на рисунке 9, ~ 15 МГц на рисунке 10 и ~ 18 МГц на рисунке 11 представлены аналогичные сезонно - суточные распределения уровня электромагнитного фона.

В зимнее время года интенсивность сигналов на частотах, выше 10 МГц, имеет ярко выраженный суточный ход с максимумом в дневное время суток и минимумом (в ряде случаев близком к естественному фону) ночью. В дневное время радиосигналы регистрируются на частотах до 25 МГц, распространение которых осуществляется посредством отражения от ионосферной плазмы.

В период равноденствия картина суточно-частотного распределения качественно остается такой же, но максимальные значения принимаемых частот понижаются до 18 - 21 МГц. В ночное время суток интенсивность радиосигналов на частотах выше 18 МГц незначительно превосходит естественный фон только в предвосходные часы (4 - 6LT).

Наиболее слабо суточно-частотный ход выражен в летнее время, когда практически в любое время суток регистрируются радиосигналы на частотах до 18 МГц, и только в послеполуденные часы регистрируется повышение уровня электромагнитного фона на частотах до 21 МГц. В это же время года на частотах 10 - 15 МГц в дневные часы наблюдается минимум интенсивности, связанный с ионосферным поглощением радиоволн. Наиболее ярко этот минимум выражен в летнее время года и с увеличением частоты от 10 до 18 МГц он постепенно исчезает.

Необходимо заметить, что скорость изменения электронной концентрации в F области ионосферы в утренние часы больше, чем в вечерние. Суточный ход электронной концентрации не является симметричным относительно максимального дневного значения. На рисунке 1.10 видно, что в утренние часы практически во все времена года

происходит резкое увеличение уровня электромагнитного фона с 6 до 8 LT, а в вечерние часы происходит плавное уменьшение уровня электромагнитного фона в зимнее время года с 16 до 20 LT, а в летнее время года с 17 до 3 LT. Это объясняется тем двумя причинами. Первая – это скорость изменения электронной концентрации в F области ионосферы в утренние часы больше, чем в вечерние. Вторая – в летнее время года присутствует вечерний максимум ионизации в F области ионосферы, который способствует поддержанию дальней радиосвязи на высоких частотах (>18 МГц) практически в любое время суток (радиосвязь пропадает в коротком временном интервале от 3 до 6 часов местного времени).

Результаты мониторинга за отчетный период выполнения НИР добавлены в базу геофизических данных [14, 15].

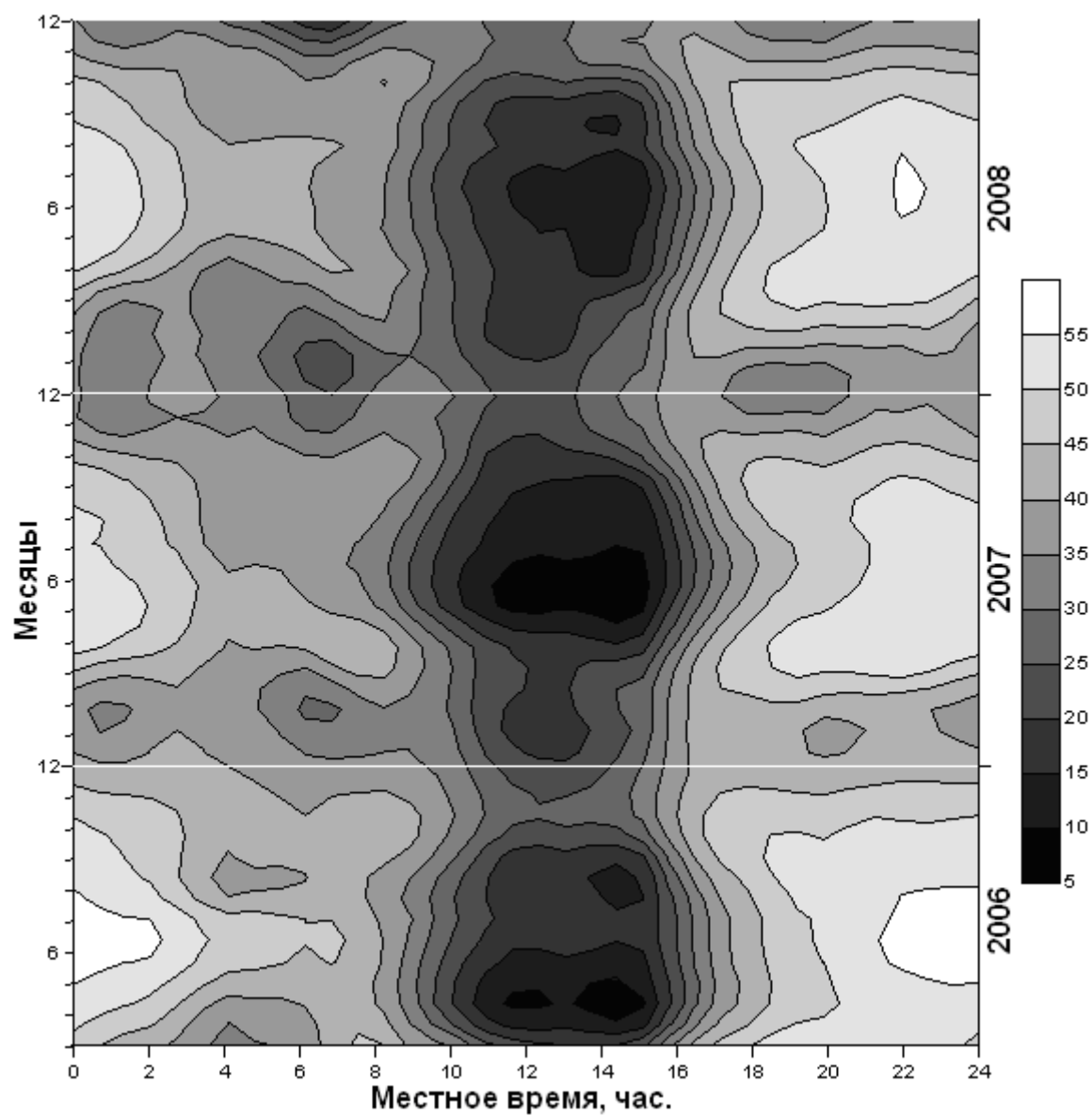


Рисунок 7 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 10 МГц

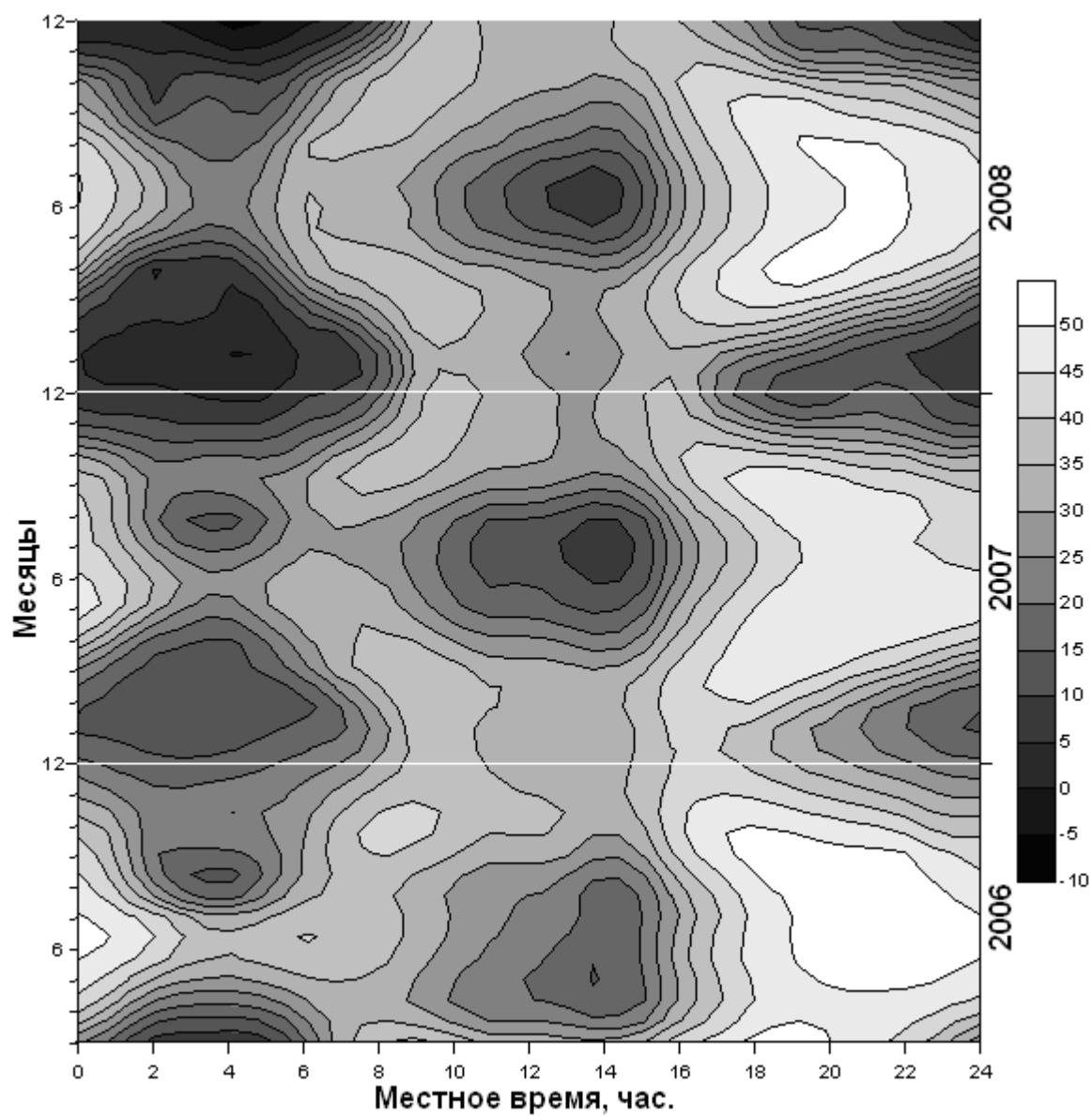


Рисунок 8 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 12 МГц

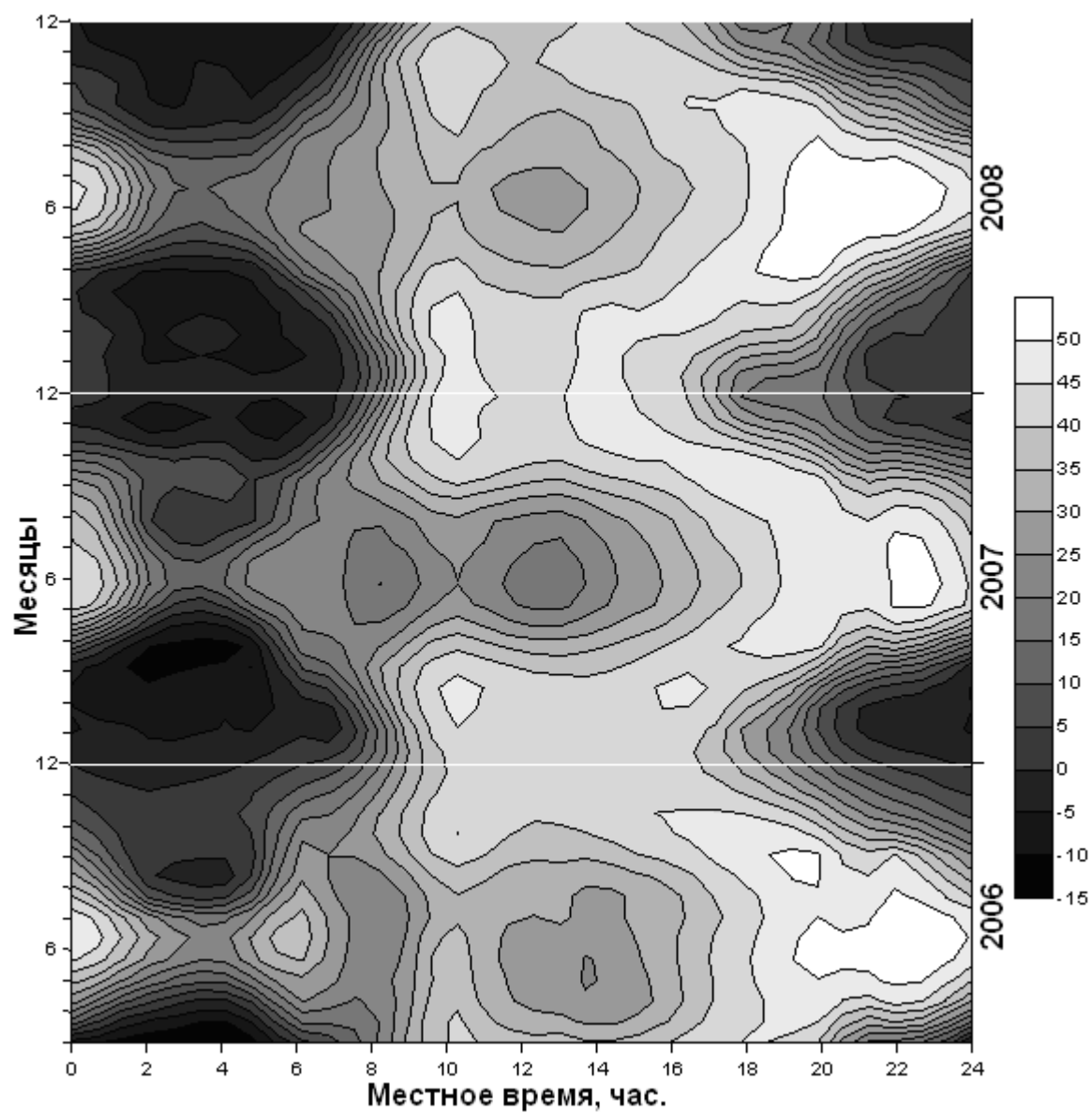


Рисунок 9 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 13 МГц

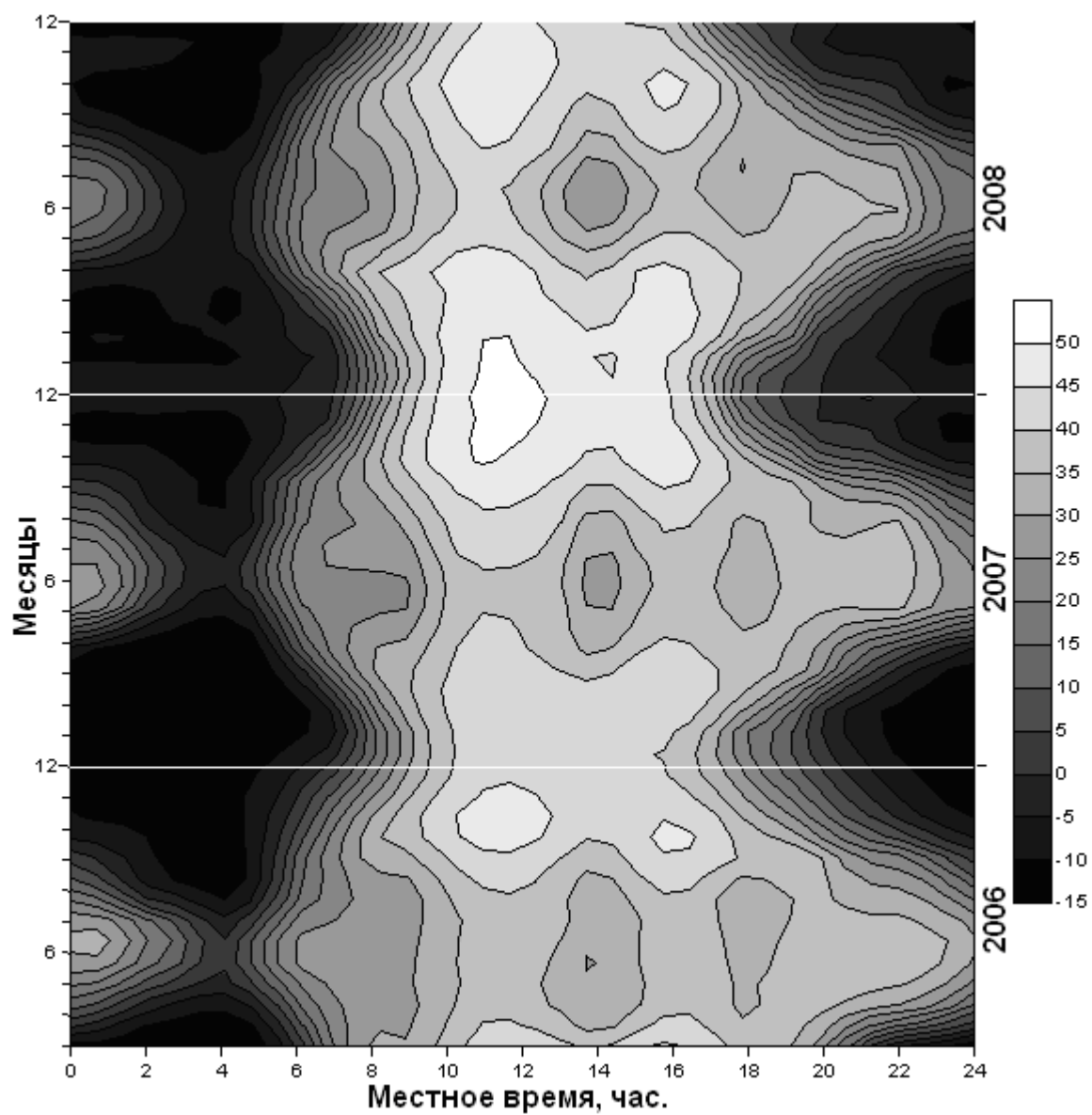


Рисунок 10 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 15 МГц

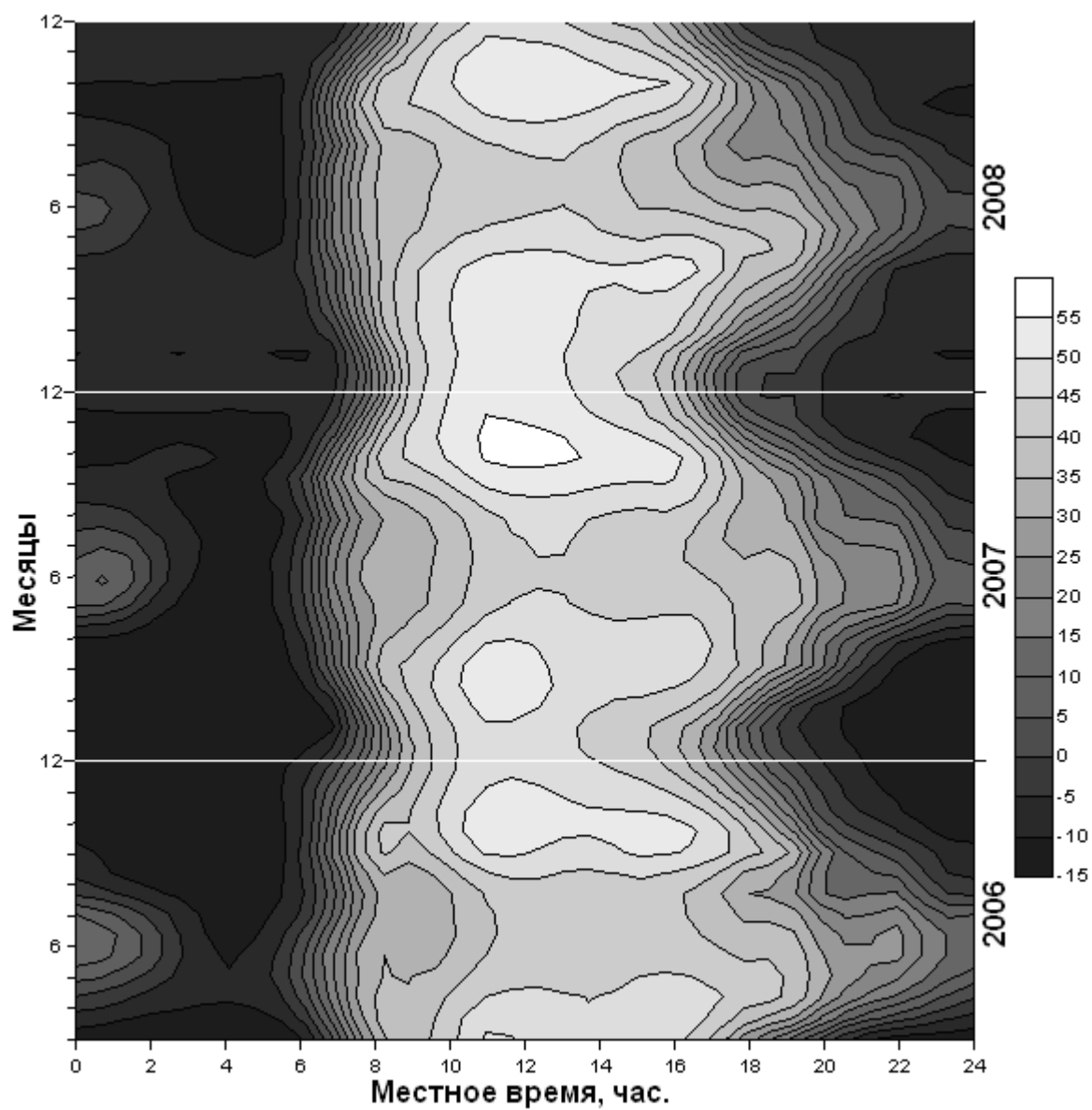


Рисунок 11 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~18 МГц

2 Мониторинг уровня электромагнитного

Для осуществления круглосуточного мониторинга, с целью выявления закономерностей и количественной оценки уровня электромагнитного фона, необходимо, чтобы аппаратура обеспечивала длительные многочасовые измерения. Автоматизация аппаратуры должна быть такой, чтобы не требовалось постоянного контроля оператора, а также обеспечивалась запись результатов.

В 2011 году в Томском государственном университете был разработан и запущен в эксплуатацию цифровой ионозонд «ТОМИОН». Помимо активного режима работы (вертикальное зондирование ионосферы), он может работать в пассивном режиме, т.е. только регистрировать широкополосный сигнал от 1 до 30 МГц [16].

2.1 Описание измерительной аппаратуры

При приеме радиосигналов используется фазированная антенная решетка, состоящая из восьми антенн (4 антенны расположены в направлении «север – юг» и 4 антенны – в направлении «восток – запад»). На рисунке 3 представлена схема расположения приемных (синий цвет) и передающих антенн (красный цвет). Таким образом, на данном измерительном комплексе можно регистрировать широкополосный сигнал в полосе частот 1 – 30 МГц, определять углы прихода радиосигналов, и, как следствие, определять значения электронной концентрации и ее направление, и скорость движения в точке отражения радиоволн от ионосферы.

Преимущество измерительного комплекса «ТОМИОН» в том, что он является полностью цифровым. Это позволило на порядки уменьшить скорость обработки получаемых сигналов, а так же повысить качество получаемых результатов.

Для определения уровня ЭМ фона окружающей среды использовался лишь только режим регистрации сигнала, и последующая его обработка

(разложение в спектр), и определение уровня электрической компоненты напряженности ЭМ поля в СЧ и ВЧ радиодиапазонах.

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 10000 раз короче, чем при использовании предыдущих установок.

Минимальное расстояние между 2 и 3 антеннами 13,33 м, это означает, что на такой приемной базе можно определять углы прихода сигналов с минимальной длиной волны 13,33 м, что соответствует максимальной частоте зондируемого радиосигнала 22,5 МГц. А расстояние между 1 и 4 антеннами 80м, что соответствует длине волны 3,75МГц.

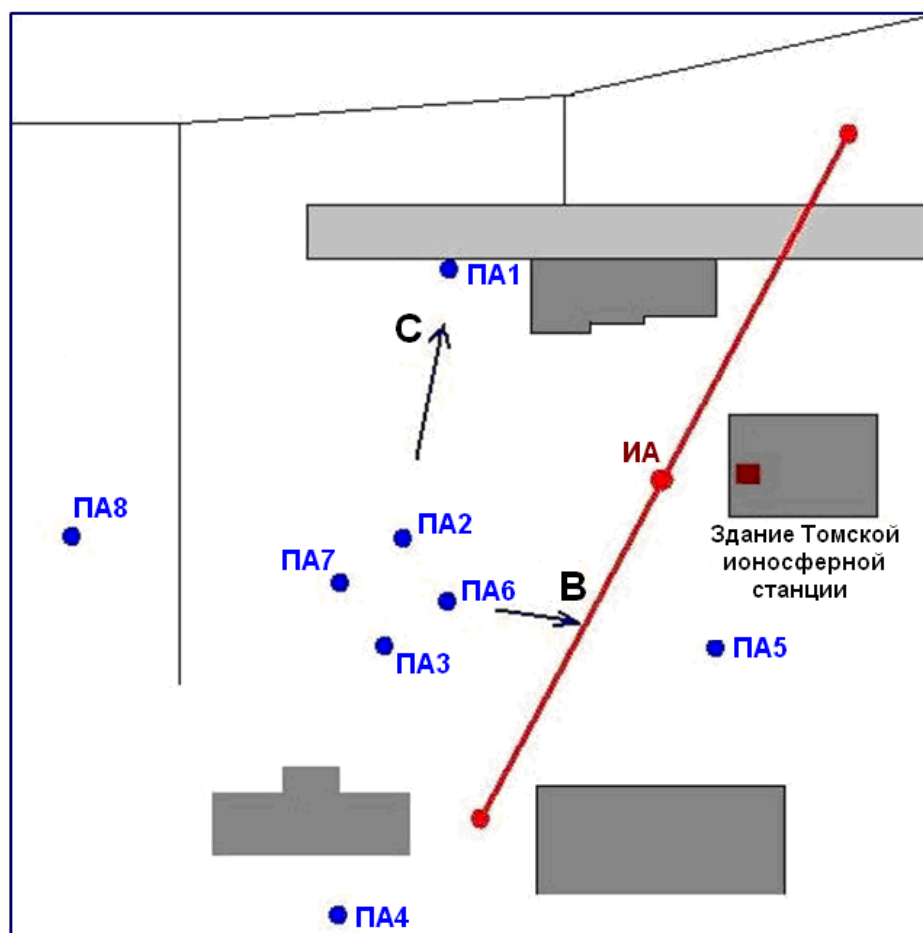


Рисунок 12 – Общая схема приемных и передающих антенн

Основные технические характеристики измерительного комплекса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики измерительного комплекса «ТОМИОН»

№	Характеристики	ТОМИОН
1	Мощность, Вт	100 – 4000
2	Диапазон частот, МГц	0.5 – 30
3	Шаг перестройки частоты, кГц	любой
4	Количество приемных антенн	6
5	Максимальная длительность импульса, мкс	500
6	Форма импульса	любая
7	Наличие доплеровского смещения частоты	есть
8	Минимальное время зондирования	1 с
9	Возможность фазовых измерений	есть
10	Трехмерная ионограмма	есть
11	Аналоговое или цифровое преобразование сигналов	есть
12	Цифровая обработка сырых данных	есть
13	Частота дискретизации отраженных сигналов, МГц	100
14	Частота дискретизации I и Q компонент, МГц	до 100
15	Автоматическая обработка ионограмм	есть
16	Возможность исследования мелкомасштабной структуры ионосферы	есть
17	Возможность пассивного наклонного зондирования	есть
18	Возможность оперативного предоставления данных в сети Интернет	есть
19	Предоставление данных в Мировой центр базы данных	есть
20	Предоставление данных в Росгидромет	есть

2.2 Методика мониторинга

При мониторинге уровня электромагнитного фона необходимо регистрировать все электромагнитные поля, независимо от их происхождения: внеземное (космическое), атмосферное или антропогенное (индустриальные помехи и работа радиосредств различного назначения). Для нашего случая близка методика, которая используется для исследования случайных радиосигналов [12, 17].

На любой случайно выбранной частоте напряжение радиосигналов $U(t)$ представляет собой сложный случайный процесс [18]. В рабочей полосе частот оно складывается из суммы всех СЧ и ВЧ сигналов, приходящих от большого количества источников радиоизлучения различными путями с кратковременными и длительными изменениями [12]:

$$U^2(t) = \sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^{n_i} U_{i,j}^t(t), \quad (3)$$

где $U_{i,j}(t)$ – напряжение j -го луча i -го источника, V – случайное число попадающих в полосу приема радиостанций, n_i – количество лучей, приходящих от i -ой станции.

Каждые 3 минуты происходит регистрация широкополосного сигнала, далее сигнал преобразуется в цифровую форму. Уже с цифровым сигналом продолжается работа. Необходимо определить спектр сигнала.

Для определения сигналов на любой частоте f_k используется дискретное преобразование Фурье, определяющее квадратурные составляющие (I_k и Q_k) по всем каналам.

$$I_k = A_k \cos(\varphi_k) \quad (4)$$

$$Q_k = A_k \sin(\varphi_k) \quad (5)$$

Частота дискретизации оцифровки сигнала 100 МГц. Время оцифровки не менее 1 мс. Таким образом, в спектре принимаемых сигналов разрешение по частоте составляет 1 кГц, а полоса частот до 50 МГц (число отчетов $N_F=50000$). Анализ сигналов повышенного уровня осуществляется

по всем из восьми каналов. В спектре сигнала выделяются те сигналы, которые превосходят шум.

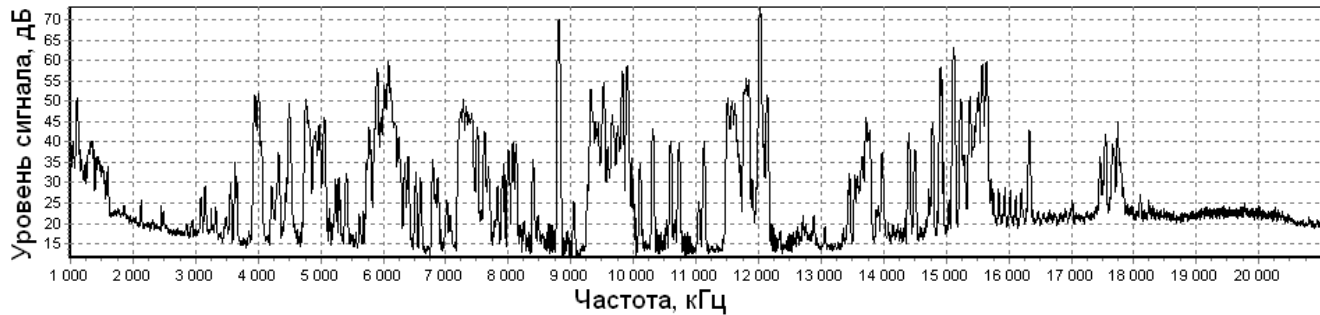


Рисунок 13 – Спектр принимаемого широкополосного сигнала

Такое малое время оцифровки сигнала позволяет получить достоверные данные об уровне электромагнитного фона в СЧ и ВЧ радиодиапазонах, т.к. за это время ионосферная плазма не претерпевает значительных изменений. Если сравнивать с предыдущими установками, когда время регистрации занимало целых 15 минут, то за это время электронная концентрация ионосферы может значительно измениться, особенно во время восхода и заката Солнца.

Критерием выделения сигнала является превышение амплитуды сигнала на 5 дБ выше порогового значения P_F , которое является средним значением спектральной плотности мощности в полосе частот ± 2 МГц.

Те значения амплитуд спектральных гармоник сигнала, которые превышают P_F , являются сигналами повышенного уровня. Частоты и амплитуды этих сигналов записываются в таблицу для последующей обработки.

Для каждого сигнала повышенного уровня по значению I и Q компонент вычисляются значения амплитуды (A) и фазы (φ) ВЧ-сигналов:

$$A_k = \sqrt{I_k^2 + Q_k^2}, \quad (6)$$

$$\varphi_k = \arctg(I_k/Q_k) \quad (7)$$

На рисунке 14 схематично представлен метод определения углов прихода сигнала. Метод определения углов прихода сигналов повышенного уровня используется в двух ортогональных направлениях по оси X с севера

на юг запада и по оси Y с востока на запад. Вдоль каждого направления рассчитываются тангенсы углов прихода сигнала по формуле:

$$tg\alpha_x = \frac{\sin\alpha_x}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha_x}}, \quad (8)$$

$$tg\alpha_y = \frac{\sin\alpha_y}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha_y}}, \quad (9)$$

где α_x и α_y – наиболее вероятные углы прихода сигнала. Набор этих углов определяется из их вероятностного распределения. Эти распределения строятся из набора заранее рассчитанных углов по следующим формулам:

$$\sin\alpha_{ij} = \frac{\lambda}{L_{ij}} \cdot \frac{\Delta\varphi_{ij}}{2\pi}, \quad (10)$$

где λ – длина волны радиосигнала, L_{ij} – расстояния между приемными антеннами.

$$\Delta\varphi_{ij} = \arctg\left(\frac{S_{ij}}{C_{ij}}\right), \quad (11)$$

$$C_{ij} = \cos\varphi_i \cos\varphi_j + \sin\varphi_i \sin\varphi_j, \quad (12)$$

$$S_{ij} = \sin\varphi_i \cos\varphi_j - \cos\varphi_i \sin\varphi_j, \quad (13)$$

$$\cos\varphi_i = \frac{I_i}{\sqrt{I_i^2 + Q_i^2}}, \quad (14)$$

$$\sin\varphi_i = \frac{Q_i}{\sqrt{I_i^2 + Q_i^2}}, \quad (15)$$

где I_i и Q_i – квадратурные составляющие по всем восьми приемным каналам ($i=1, \dots, 8$).

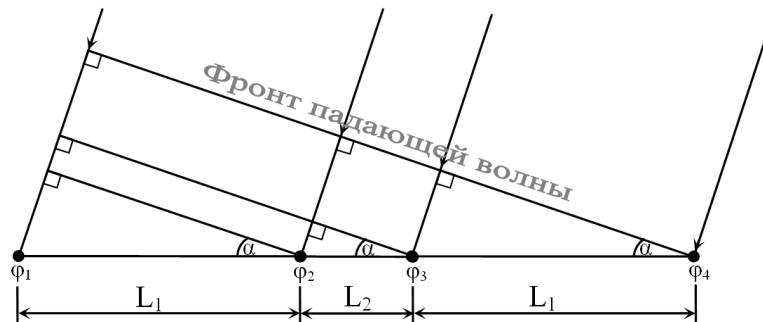


Рисунок 14 – Метод определения углов прихода сигнала

В итоге азимутальное направление луча (α), отсчитываемое в направлении от севера на восток, определяется по следующим формулам:

$$\sin\alpha = tg\alpha_y, \quad (16)$$

$$\cos\alpha = \operatorname{tg}\alpha_x \quad (17)$$

А вертикальное направление луча (β), отсчитываемое от нормального падения на поверхность земли, рассчитывается по следующим формулам:

$$\sin\beta = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2\alpha_x + \operatorname{tg}^2\alpha_y + \operatorname{tg}^2\alpha_x \cdot \operatorname{tg}^2\alpha_y}} \quad (18)$$

Регистрация углов прихода в дальнейшем позволит осуществлять пассивное зондирование ионосферы путем расчёта трасс радиоволн и по углу прихода рассчитывать точку отражения от ионосферы, применив условие (1).

2.3 Результаты мониторинга

На рисунке 16 представлено частотно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц, зарегистрированное 6 апреля 2016 года.

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.

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 [19].

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

На рисунке 15 изображены углы прихода сигналов в СЧ и ВЧ радиодиапазонах в городе Томске. На карте изображены азимутальные углы прихода, от белого цвета к синему обозначено возрастание частоты от 1 кГц до 30 МГц. На белом квадрате изображены углы наклона над поверхностью Земли, соответствующая цветовая гамма для диапазона частот [19].

Далее при обобщении частотно-суточных вариаций за период 1 год получается сезонно-суточное распределение ЭМ фона окружающей среды. Ранее в Томске проводился мониторинг ЭМ фона СЧ и ВЧ радиодиапазонов в период 2006-2008 годов. Соответственно есть данные, с которыми можно сравнить получившиеся значения и выявить закономерности.

Уровень ЭМ фона рассчитывался децибелах по формуле:

$$D_E = 20 \lg \left(\frac{E}{E_0} \right), \quad (19)$$

где $E_0 = 1 \text{ мкВ/м}$, а E – электрическая компонента напряженности ЭМ поля.

В период 2006-2008 годов значения критической частоты F2-области ионосферы не опускались ниже 2 МГц, уровень солнечной активности был невысоким, и фактически не было геомагнитных возмущений. K_p -индекс, который характеризует уровень возмущенности геомагнитного поля, только изредка превышал стандартные значения 3 – 4, а величина потока мощности солнечного радиоизлучения $F_{10.7}$ изменялась в пределах 70 – 100.



Рисунок 15 – Угловое распределение принимаемых сигналов в диапазоне от 1 кГц до 30 МГц

Резкое отличие наблюдается между низкочастотной областью диапазона (< 7 МГц) и высокочастотной областью (> 10 МГц). Поэтому необходимо рассмотреть отдельно каждый поддиапазон.

Диапазон частот от 1 до 7 МГц. На рисунке 17 изображен уровень ЭМ фона в диапазоне частот от 1 до 3 МГц в период 2016 года. Видно резкое изменение уровня электромагнитного фона при восходе и закате Солнца. В ночные часы, когда активность Солнца минимальна, наблюдается максимум от 25 до 35 дБ. Минимальные значения уровня электромагнитного фона достигаются в дневное время от 0 до -15 дБ. В диапазонах частот 5 – 7 МГц (символ «~» означает полосу частот $\pm 0,5$ МГц), представленных на рисунках 18, 19, область минимума в дневное время уменьшается, а область максимума в ночное время увеличивается. Минимум наблюдается с 10 до 16 LT и находится в диапазоне -5 – 15 дБ. А максимум в пределах 35 – 50 дБ в ночное время в 18 – 6 LT. Из рисунков видно, что в ночные часы и когда интенсивность излучения Солнца минимальна, наблюдается максимум ЭМ фона в данном радиодиапазоне. А в освещенное время суток, особенно летом, когда продолжительность освещенности дня максимальна, наблюдается минимум интенсивности принимаемых

радиосигналов. Заметно изменение минимального значения уровня ЭМ фона от лета к зиме, оно увеличивается от -15 дБ до +20 дБ. Также уже было отмечено, что при увеличении частоты от 1 МГц до 7 МГц область минимума днем уменьшается, а область максимума ночью увеличивается.

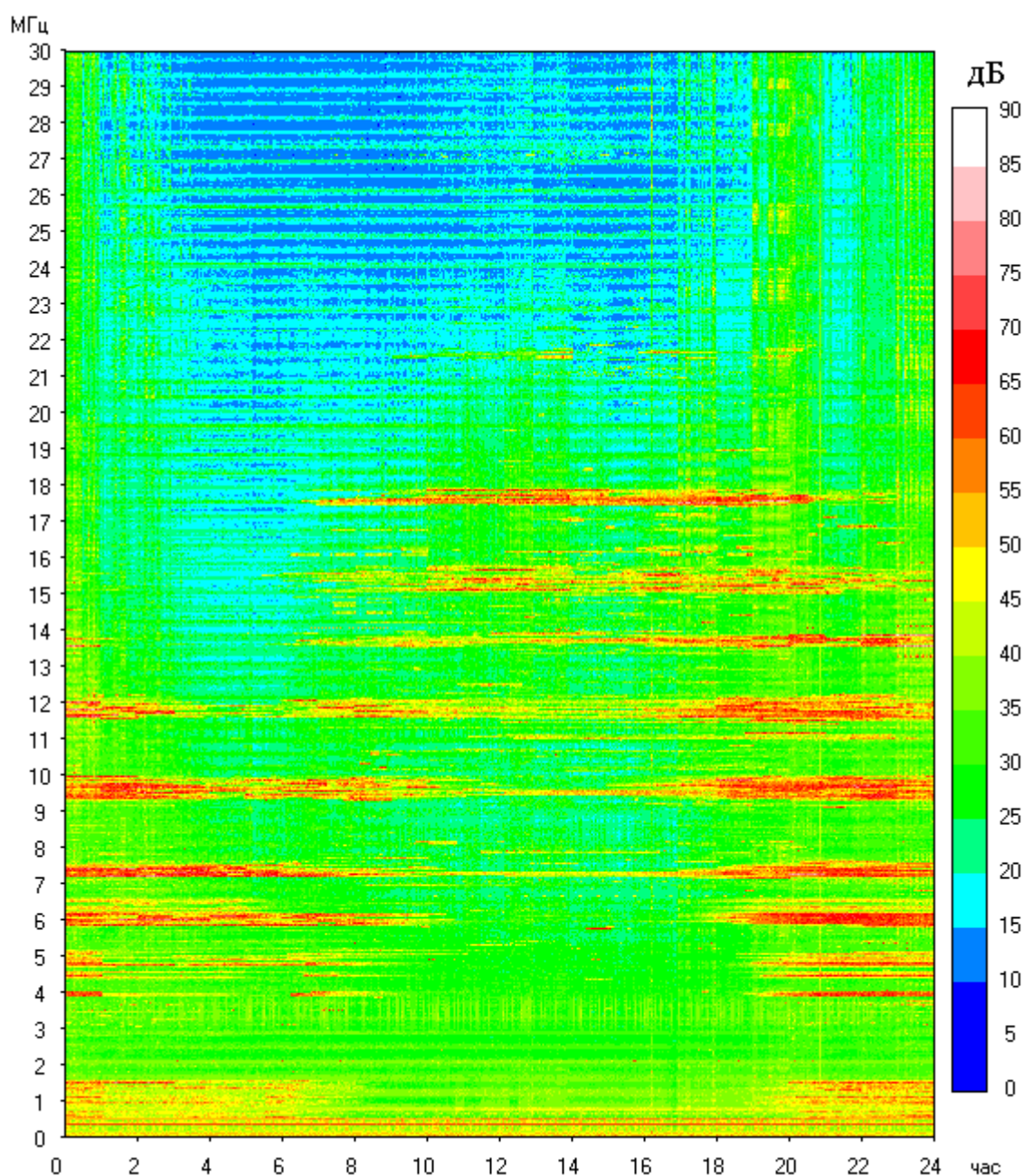


Рисунок 16 – Частотно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот от 1 кГц до 30 МГц

Диапазон частот выше 10 МГц. На рисунках 20 – 21 представлены сезонно-суточные распределения уровня ЭМ фона в диапазоне 10 – 12 МГц. Здесь уже начинают наблюдаться небольшие минимумы (-5 – 10 дБ) в

ночное время (22 – 8 LT), особенно зимой. Максимальные значения уровня электромагнитного фона (35 – 50 дБ) наиболее выражены летом в ночное время (19 – 8 LT) и в дневное время (9 – 18 LT) зимой в промежутке от 25 до 40 дБ. На рисунках 22 – 24 представлены распределения для диапазона 13 – 18 МГц. Есть небольшое поглощение в дневное время частот ~13 МГц, но в основном максимум (40 – 50 дБ) уровня электромагнитного фона достигается днем и плавно уменьшается с закатом Солнца и далее опять возрастает с восходом. В летнее время резких минимумов не наблюдается. Противоположная картина наблюдается зимой, когда длительность дня минимальная. Минимальное значение уровня электромагнитного фона лежит в диапазоне от -15 до 10 дБ в промежуток времени 22 – 6 LT.

Поведение сезонно-суточного распределения объясняется точно также, как и частотно-суточного распределения. В диапазоне 1 – 7 МГц днем происходит поглощение за счет сильной ионизации области D, а в ночное время с заходом Солнца, электронная концентрация уменьшается и преобладает радиосвязь в этом частотном диапазоне. Более высокие частоты 10 – 18 МГц, за счет высокой ионизации области F2 в дневное время, отражаются от нее, а ночью, когда электронная концентрация области F2 сильно уменьшается, уходят в космическое пространство.

При сравнительном анализе подтверждены ранее полученные основные физические принципы формирования уровня ЭМ фона в Томске. По качественным характеристикам экспериментальные данные совпадают с ранее полученными, однако имеется количественное отличие, связанное с изменением состояния ионосферы, т.к. наблюдения проводились в разных циклах солнечной активности и в разных их фазах, и связанное с изменением расписания Мирового радиовещания.

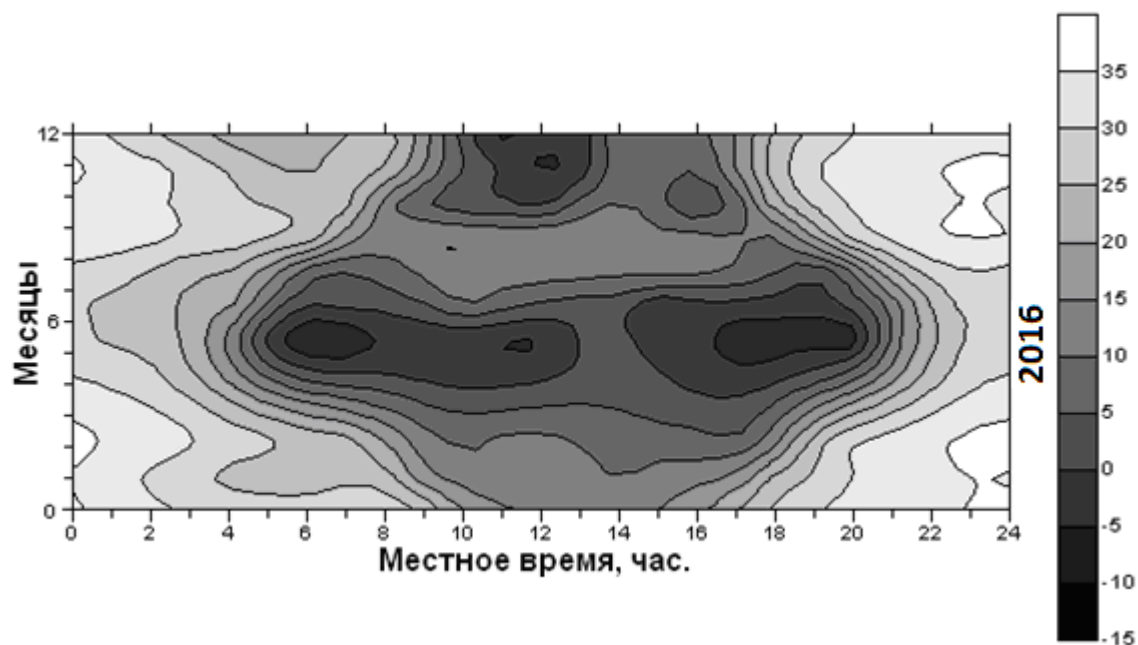


Рисунок 17 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот 1 – 3 МГц

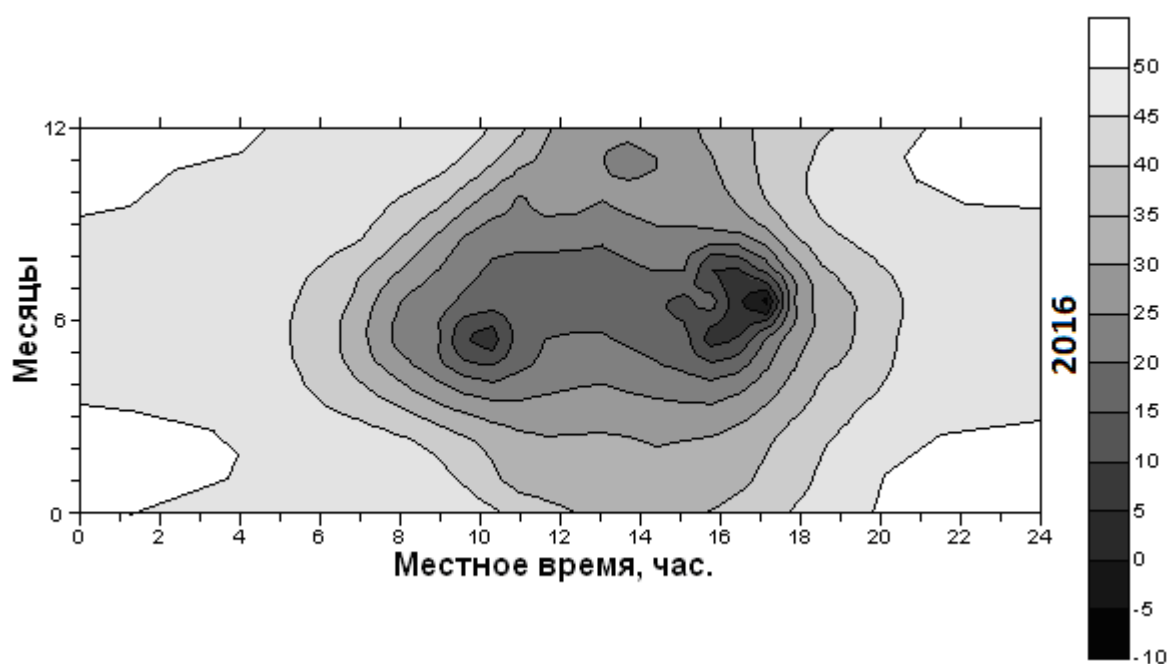


Рисунок 18 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот 5 – 6 МГц

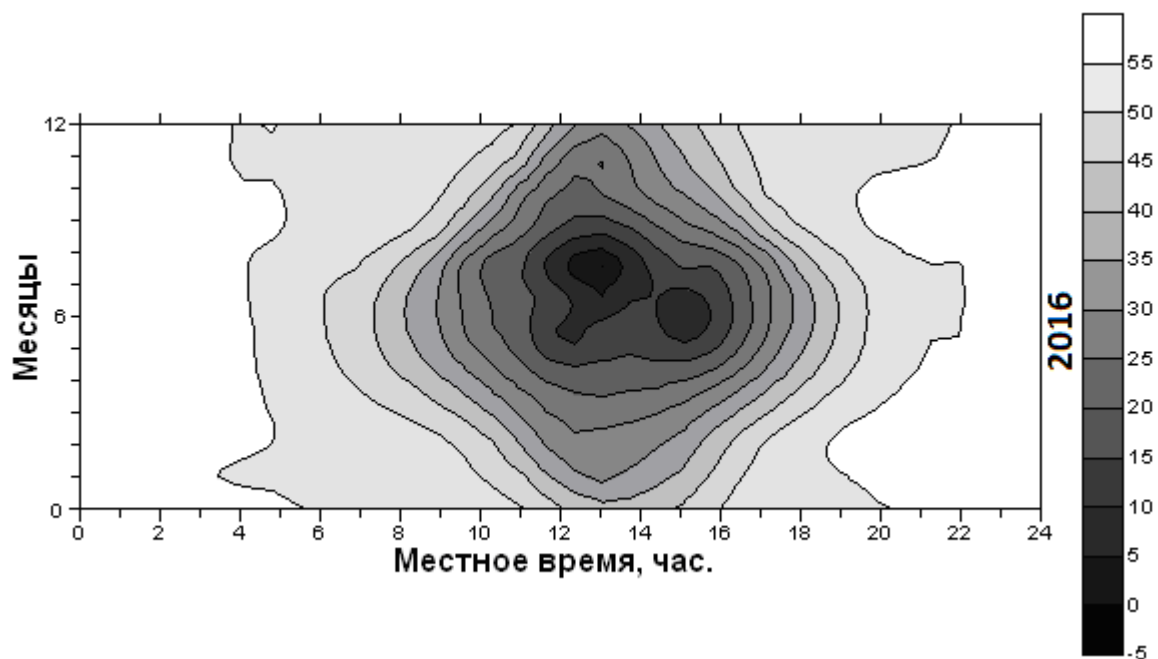


Рисунок 19 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 7 МГц

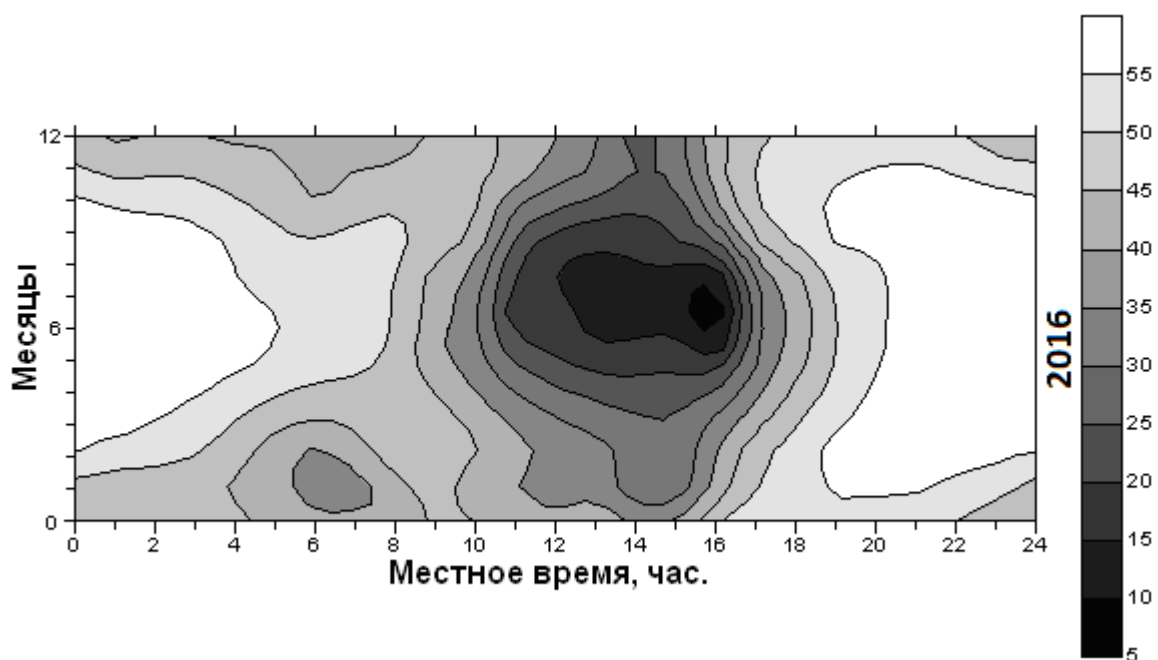


Рисунок 20 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 10 МГц

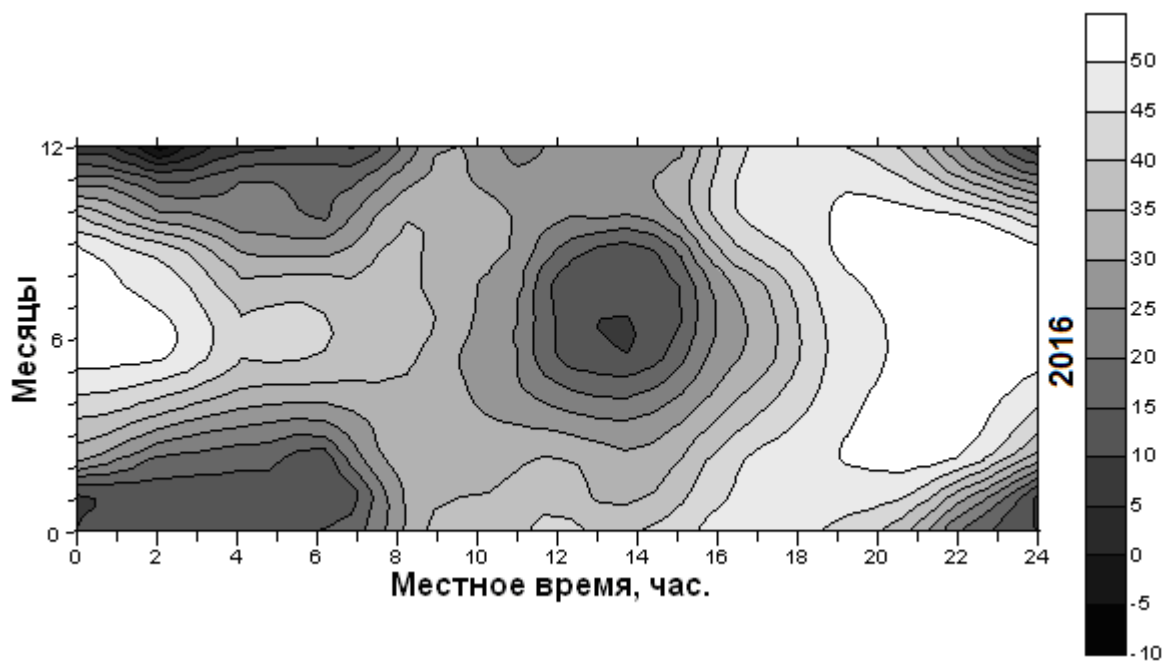


Рисунок 21 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 12 МГц

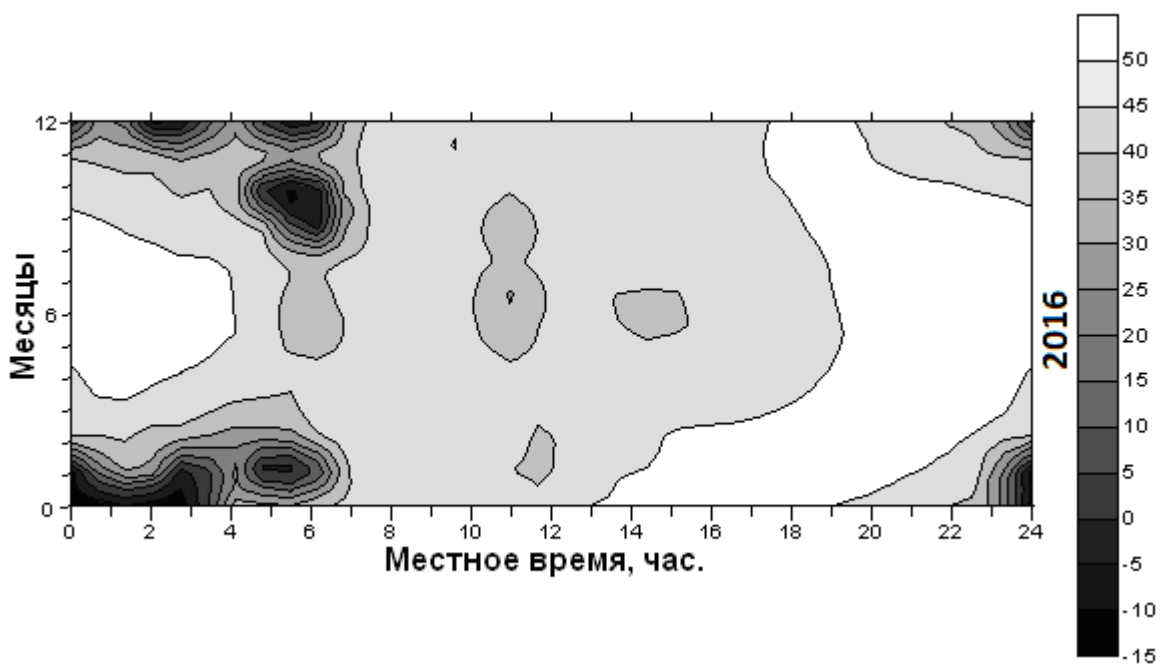


Рисунок 22 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~ 13 МГц

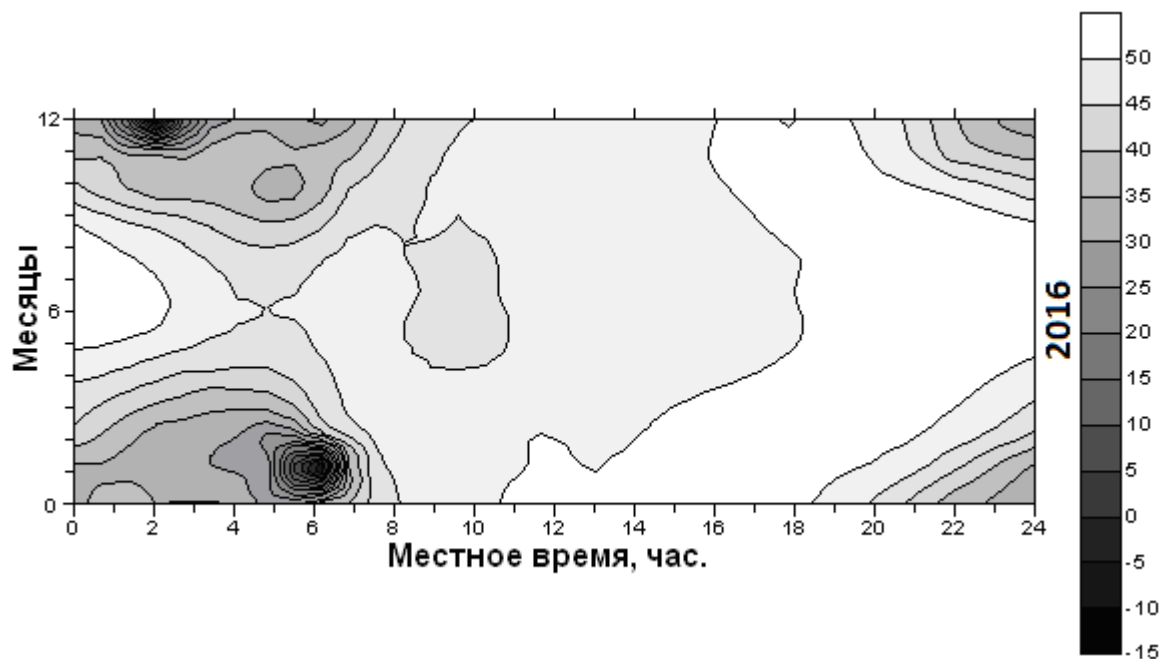


Рисунок 23 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~15 МГц

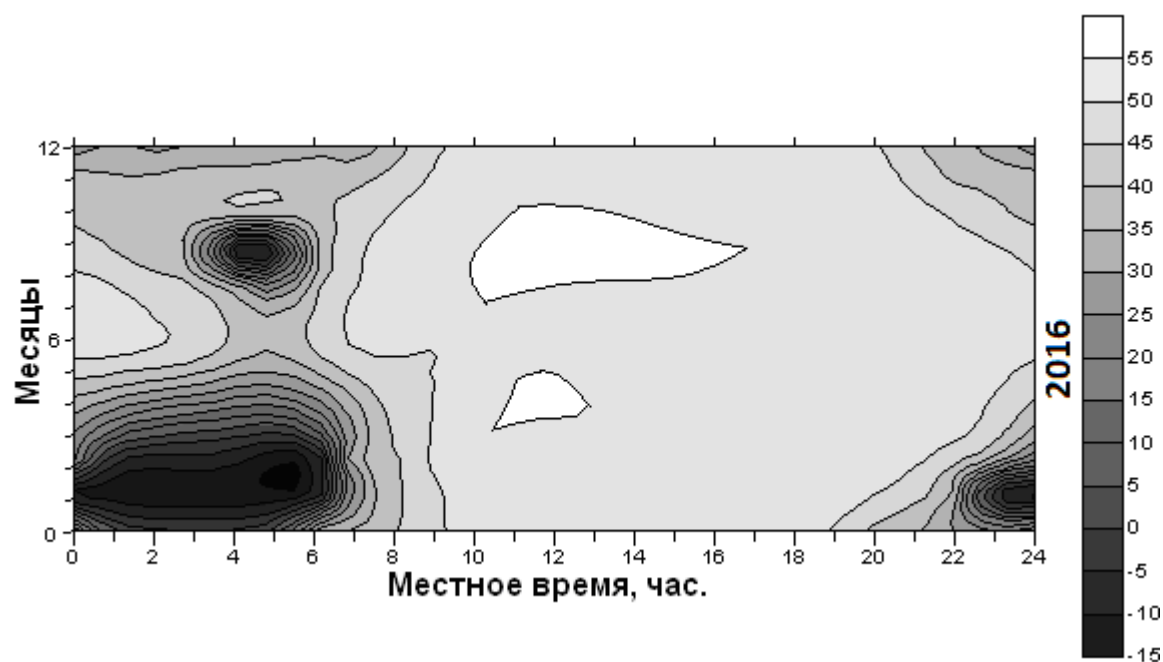


Рисунок 24 – Сезонно-суточное распределение уровня электромагнитного фона в диапазоне частот ~18 МГц

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении сформулируем основные научные результаты и выводы.

1. Проведен литературный обзор, включающий описание структуры ионосферы, физические процессы и условия распространения радиоволн в СЧ и ВЧ радиодиапазонах, проведенные ранее исследования уровня электромагнитного фона окружающей среды, технические характеристики и методику работы измерительного комплекса «ТОМИОН».

2. В течение 2016 года проведен мониторинг уровня ЭМ фона в СЧ и ВЧ радиодиапазонах на измерительном комплексе «ТОМИОН».

3. Сделан анализ данных, который подтвердил ранее полученные основные физические принципы формирования уровня ЭМ фона в Томске.

4. Подтверждено, что уровень ЭМ фона в окружающей среде в первую очередь зависит от состояния ионосферной плазмы, которое контролируется уровнем солнечной активности, сезоном года и мировым временем, а также зависит от расписания работы Мировой сети радиовещания.

5. В результате проведения непрерывного круглосуточного мониторинга на Томской ионосферной станции на ионозонде «ТОМИОН» в течение 2016 года были выявлены сезонно-суточные закономерности в распределении уровня ЭМ фона в СЧ и ВЧ радиодиапазонах, которые заключаются в следующем:

а) в полосе частот от 1 до 7 МГц выявлено, что минимальные значения уровня электромагнитного фона достигаются в дневное время и находятся в диапазоне от 0 до -15 дБ, а максимальные в ночное время и находятся в диапазоне от 40 до 55 дБ;

б) в полосе частот от 10 до 13 МГц выявлено, что минимальные значения уровня электромагнитного фона достигаются в дневное время (11 – 15 LT) и находятся в диапазоне от 5 до 15 дБ, а также в зимнее время (20 – 7 LT) от -10 до 10 дБ; максимальные значения начинают свой рост во время заката и спад после восхода Солнца и лежат в диапазоне от 45 до 55 дБ;

в) в полосе частот от 15 до 18 МГц минимумы достигаются ночью и лежат в диапазоне от -15 до 5 дБ, а максимумы в дневное время (8 – 16 LT) от 45 до 55 дБ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шулейкин М.В. Курс радиотехники Ч. I; Распространение электромагнитной энергии. М. Первое русское радиобюро, 1923.
2. Breit G, M.A. Tuve Test of the Existence of the Conducting Layer — Phys Rev, 28, 554 ,1926.
3. Щукин А.Н. О количественных измерениях напряженности поля коротковолновых-станций — В сб Вестник теоретической и экспериментальной электротехники, т II–III, 21, 1930.
4. Appleton E.V. Wireless Studies of the Ionosphere—J Inst Elec Eng, 71, 642 (1932).
5. Appleton E.V, W.J.G Beynon . The Application of Ionospheric Data to Radio Communication Problems – Proc Phys Soc , 52, 518, (1940).
6. Чавдаров С.С. Относительный коэффициент отражения радиоволн по наблюдениям в г. Ростове на Дону. — Ученые записки Ростовского государственного университета, 1947, 9, №5.
7. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм — М: Наука, 1977.
8. Данилов А.Д. Популярная астрономия. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. — 230с.
9. Казимировский Э.С. Планета в космической плазме. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. — 184с.
10. Колесник А.Г, Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология: Учебное пособие. — Томск: ТМЛ-ПРЕСС, 2009. — 336 с.
11. Кашпровский В.Е. Экспериментальное исследование распространения радиоволн. М.: Наука, 1980. — 151с.
12. Комарович В.Ф., Сосунов В.Н. Случайные радиопомехи и надежность КВ связи. — М.: Изд. Связь, 1977. — 135 с.
13. Web-сайт расписания работы Мировой сети радиовещания <http://www.hfcc.org>

14. Колесник С.А., Колмаков А.А., Топольник С.В., Шинкевич Б.М. Электромагнитный фон высокочастотного и среднечастотного диапазона в западной Сибири // [Электронный журнал] "Исследовано в России" – 2002. – 5. – С. 191-201. Режим доступа к журн.: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/018.pdf>
15. Колесник С.А., Шошин Е.Л. Электромагнитный фон урбанизированных северных территорий. – Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. – 124 с.
16. 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.
17. Хмельницкий Е.А. Оценка реальной помехо-защищенности приема сигналов в КВ диапазоне. М.: Изд. Связь, 1975. – 232 с.
18. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. – М.: Сов. Радио, 1974. – 552 с.
19. Kolesnik E.S. et al. Monitoring electromagnetic fields in the frequency band from 1 kHz to 30 MHz on the ionosonde "TOMION" // 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE 10035, 100352I (November 29, 2016); doi:10.1117/12.2249470

Список участия в конференциях автора

1. Колесник Е.С. и др. Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // XII Международная Школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 3 – 8 июля 2016.
2. Колесник Е.С. и др. Мировая база данных параметров регулярных слоев ионосферы // XII Международная Школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 3 – 8 июля 2016.
3. Колесник Е.С. и др., Режим активного радиозондирования на ионозонде «ТОМИОН» // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн». Томск, 1 – 9 июля 2016.
4. Колесник Е.С. и др., Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн». Томск, 1 – 9 июля 2016.
5. Колесник Е.С. и др., Мировая база данных параметров регулярных слоев ионосферы // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн». Томск, 1 – 9 июля 2016.
6. Колесник Е.С., Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // Всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск, 17 – 18 мая 2016.
7. Колесник Е.С. и др., Режим активного радиозондирования на ионозонде «ТОМИОН» // XXII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 30 июня – 3 июля 2016.
8. Колесник Е.С. и др., Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // XXII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 30 июня – 3 июля 2016.

Список публикаций автора

1. Kolesnik E.S. ets. Monitoring electromagnetic fields in the frequency band from 1 kHz to 30 MHz on the ionosonde "TOMION" // 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE 10035, 100352I (November 29, 2016); doi:10.1117/12.2249470
2. Kolesnik E.S. ets. Mathematical modeling of the receiving antennas of Ionosonde "TOMION" // 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE 9680, 968078 (November 19, 2015); doi:10.1117/12.2206107. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2206107>
3. Kolesnik E.S. ets. The long-term variations of critical frequency in the F2 region of ionosphere and solar activity // 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE 9680, 968077 (November 19, 2015); doi:10.1117/12.2206090. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2206090>
4. Колесник Е.С. и др., Метод активного радиозондирования на ионозонде «ТОМИОН» // Материалы XXII Международного симпозиума [Электронный ресурс]. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016.
5. Колесник Е.С. и др., Метод пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // Материалы XXII Международного симпозиума [Электронный ресурс]. – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2016.
6. Колесник Е.С. и др., Режим активного радиозондирования на ионозонде «ТОМИОН» // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», посвященная 80-летию отечественных ионосферных исследований. РРВ-25 : тр. конф., Томск, 4 – 9 июля 2016г. – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та систем упр. И радиоэлектроники, 2016. – Т.І. -291с.
7. Колесник Е.С. и др., Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», посвященная 80-летию

отечественных ионосферных исследований. РРВ-25 : тр. конф., Томск, 4 – 9 июля 2016г. – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та систем упр. И радиоэлектроники, 2016. – Т.І. -291с.

8. Колесник Е.С. и др., Мировая база данных параметров регулярных слоев ионосферы // XXV Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», посвященная 80-летию отечественных ионосферных исследований. РРВ-25 : тр. конф., Томск, 4 – 9 июля 2016г. – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та систем упр. И радиоэлектроники, 2016. – Т.І. -291с.

9. Колесник Е.С., Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН» Труды XIII Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. Томск, 17–18 мая 2016 г. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 190 с.

10. Колесник Е.С.. Долгопериодные вариации критической частоты F-области ионосферы и солнечная активность // Актуальные проблемы радиофизики: Труды Международной молодежной научной школы. Томск, 8-9 октября 2015г. / под ред. В.И. Сусяева. – Томск: изд-во НТЛ, 2015.- 96 с.

Список дипломов автора

1. Диплом первой степени на XXV Всероссийской открытой конференции «Распространение радиоволн» и XII Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника за доклад Режим пассивного радиозондирования ионосферы на ионозонде «ТОМИОН», 3 – 8 июля 2016., г. Томск.

2. Диплом первой степени на Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов, 17 -18 мая 2016 г., г. Томск.

Уважаемый пользователь! Обращаем ваше внимание, что система «Антиплагиат» отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заимствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение.

Отчет о проверке № 1

дата загрузки: 13.06.2017 13:39:20
пользователь: liza.wheelwright@gmail.com / ID: 4699945
отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»
на сайте <http://www.antiplagiat.ru>

Информация о документе

№ документа: 2
Имя исходного файла: диплом магистр_Final.doc
Размер текста: 2082 кБ
Тип документа: Прочее
Символов в тексте: 59251
Слов в тексте: 7394
Число предложений: 371

Информация об отчете

Дата: Отчет от 13.06.2017 13:39:20 - Последний готовый отчет
Комментарии: не указано
Оценка оригинальности: 81.74%
Заимствования: 18.26%
Цитирование: 0%



Оригинальность: 81.74%
Заимствования: 18.26%
Цитирование: 0%

Источники

Доля в тексте	Источник	Ссылка	Дата	Найдено в
11.1%	[1] Современное состояние методов и техники наземного вертикального радиозондирования ионосферы (~15М)	http://ipg.geospace.ru	19.12.2016	Модуль поиска Интернет
11.04%	[2] Скачать (в формате pdf) [244 Мб в архиве]	http://ipg.geospace.ru	15.12.2016	Модуль поиска Интернет
10.98%	[3] Скачать (в формате pdf) [9 Мб]	http://ipg.geospace.ru	14.12.2016	Модуль поиска Интернет