

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R SM.1880**  
(02/2011)

**Измерение занятости спектра**

**Серия SM**  
**Управление использованием спектра**



Международный  
союз  
электросвязи

## 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 Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. 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/en>, 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/en>.)

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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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
<b>SM</b>	<b>Управление использованием спектра</b>
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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2011 г.

© ITU 2011

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 SM.1880

**Измерение занятости спектра**

(2011)

**Сфера применения**

Хотя автоматическое измерение занятости спектра не может полностью заменить визуальные наблюдения, оно вполне подходит для большинства случаев. Занятость частотного канала и занятость полосы частот должны иметь достаточный уровень точности, для того чтобы их можно было, в случае необходимости, сравнить или объединить. Используя соответствующий способ и надлежащий метод можно добиться более эффективного использования существующего оборудования.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что растущий спрос на службы радиосвязи требует максимально эффективного использования радиочастотного спектра;
- b) что эффективное управление использованием спектра может осуществляться удовлетворительно только в том случае, если лица, управляющие использованием спектра надлежащим образом информированы о фактическом использовании спектра и тенденциях в спросе на спектр;
- c) что результаты измерений занятости спектра послужат важным вкладом для:
  - выделений и присвоений частот;
  - проверки жалоб, касающихся блокирования канала;
  - определения степени эффективности использования спектра;
- d) что информация, полученная из баз данных частотных присвоений, не отражает степень загрузки каждого частотного канала;
- e) что некоторые администрации присваивают ту же самую частоту нескольким пользователям для совместного использования;
- f) что желательно сравнить результаты измерений, проведенных разными странами в приграничных районах или, например, в полосах воздушной или морской подвижных служб;
- g) что в настоящее время администрации используют оборудование для автоматического контроля, включая соответствующие методы анализа записей, а также возможность оценки некоторых параметров, которые представляют значительную ценность при обеспечении более эффективного использования спектра;
- h) что при разработке автоматизированной системы сбора данных о занятости спектра для использования их при управлении использованием спектра необходимо определить параметры, которые должны быть измерены, связь между этими параметрами, а также частоту проведения измерений, при которой обеспечивается статистическая достоверность данных;
- j) что процедуры и методы измерения должны быть гармонизированы, с тем чтобы облегчить обмен результатами измерений между разными странами;
- k) что успешное объединение или сочетание данных контроля зависит не только от формата данных, в котором они хранятся, но также от среды и технических условий, в которых эти данные собираются,



*признавая,*

- a) что в разных странах используются различные принципы и методы измерений занятости частотного канала;
- b) что существует конкретный метод получения точных данных о занятости частотного канала и что такие данные, как правило, ложатся в основу для формирования занятости полос частот,

*рекомендует,*

**1** чтобы для измерений занятости спектра использовались процедуры и методы измерения, определенные в Приложении 1;

**2** чтобы в качестве руководства по измерению занятости спектра использовался действующий Справочник по радиоконтролю МСЭ, а соответствующее оборудование отвечало требованиям, упомянутым в этом Справочнике;

**3** чтобы использовался общий формат данных, то есть основанный на строке файл ASCII, полученный на основе формата данных радиоконтроля (RMDF), в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.1809.

## Приложение 1

### 1 Введение

В настоящем Приложении описываются измерения занятости частотного канала, проводимые с использованием приемника или анализатора спектра. Для каждого частотного шага запоминается уровень сигнала. С помощью постобработки определяется процент времени, в течение которого сигнал превышает определенный пороговый уровень. У различных пользователей канала зачастую возникают разные значения напряженности поля в приемнике. Это дает возможность вычислить и представить занятость, создаваемую различными пользователями.

### 2 Определения

**Измерения занятости частотного канала:** Измерения каналов, которые необязательно разнесены на одинаковое расстояние между каналами и, возможно, распределены по нескольким различным полосам частот, производимые для определения того, является ли канал занятым или нет. Цель состоит в том, чтобы измерить как можно больше каналов за возможно короткое время.

**Интервал между повторными измерениями:** Время, затрачиваемое на просмотр всех предназначенных для измерения каналов (заняты они или нет) и возвращение к первому каналу.

**Время наблюдения:** Время, необходимое системе для выполнения требуемых измерений в одном канале. Это время включает любые затраты на обработку, например сохранение результатов в память/на диск.

**Максимальное число каналов:** Максимальное число каналов, которые могут быть просмотрены в течение интервала между повторными измерениями.

**Продолжительность передачи:** Средняя продолжительность отдельной радиопередачи.

**Длительность контроля:** Общее время, в течение которого производятся измерения занятости.

**Предварительно установленный пороговый уровень измерения:** Если сигнал принимается с уровнем напряженности, превышающим пороговый уровень, канал считается занятым.

**Час наибольшей нагрузки:** Самый высокий уровень занятости канала в течение 60-минутного периода.

### 3 Требования

#### 3.1 Оборудование

Подходящая система, способная производить измерения занятости частотного канала с помощью регистрации полос частот, будет состоять из радиоприемника или анализатора спектра, соответствующей антенны, кабеля, ПК/контроллера с адаптером интерфейса, подходящего программного обеспечения для сбора данных и соответствующего программного обеспечения для постобработки.

Другие элементы могут включать GPS для мобильной/кочевой работы станции, модем для обеспечения связи в целях дистанционного обмена данными и осуществления управления, градуировку системы для отслеживаемых измерений напряженности поля, антенные переключатели, фильтры и аттенюаторы для многополосных и/или подверженных сильным ЭМП сред.

#### 3.2 Соображения относительно выбора места расположения

Место расположения должно выбираться таким образом, чтобы ожидаемая мощность сигнала излучений, представляющих интерес, была выше ожидаемого порогового уровня. Отношение между этими двумя параметрами определит район, в пределах которого произведенное измерение будет относиться к любой станции, уровень эффективной излучаемой мощности (э.и.м.) или уровень эквивалентной изотропной излучаемой мощности (э.и.и.м.) которой превышает определенное значение.

Ожидаемая напряженность сигнала может быть оценена с учетом характеристик лицензированных станций, работающих в данном районе, их профиля излучений с использованием моделирующих программных средств. Пороговое значение может быть оценено с учетом чувствительности системы (минимального уровня шума) или предыдущих измерений, выполненных при аналогичных условиях на таком же оборудовании и с такой же конфигурацией.

Если нет никакой предварительной информации, то обследование места расположения можно провести с использованием переносного оборудования. Это особенно важно в том случае, если размещение оборудования окончательно и его будущие перемещения будет нелегко осуществить.

В идеальном варианте результаты измерений должны сопровождаться отчетом об анализе, проведенном с целью выбора подходящего места расположения, с указанием района и источников излучения, которые должны быть учтены.

#### 3.3 Параметры, связанные со временем

Существует тесная взаимосвязь между временем наблюдения, числом каналов, средней продолжительностью передачи и длительностью контроля.

*Интервал между повторными измерениями* напрямую зависит от времени наблюдения и числа каналов. На интервал между повторными измерениями также влияет *время обработки* (передача данных между приемником и контроллером), которое должно быть как можно короче.

*Интервал между повторными измерениями* = (Время наблюдения × Число каналов идентичной полосы пропускания) + Время обработки.

*Время наблюдения в расчете на канал* ограничено скоростью сканирования оборудования для контроля. Для поддержания достаточно короткого интервала между повторными наблюдениями при использовании относительно медленного оборудования должно быть уменьшено число каналов, в которых проводятся измерения.

При применении этого уравнения к анализаторам спектра в случае, когда RBW (ширина полосы по разрешению) равно пропускной способности канала, *число каналов* можно считать равным числу буферов<sup>1</sup> на каждую развертку, а время наблюдения – времени запаздывания на каждый буфер.

К анализаторам БПФ (быстрое преобразование Фурье) этот принцип также применяется, особенно в том случае, если количество каналов, подлежащих сканированию, превышает размер БПФ, а развертка все еще выполняется. Однако в этом случае количество просканированных каналов должно быть разделено на количество каналов, оцененных по каждому отдельному БПФ.

---

<sup>1</sup> Буферы в статистике означают группы (или категории или классы) данных, которые подпадают под некоторый диапазон значений.

Необходимо, чтобы система контроля осуществляла сканирование с приемлемой скоростью, чтобы определить отдельные короткие передачи.

Существуют два принципиально отличающихся подхода к получению данных о занятости канала:

- a) Перехват любой передачи в наблюдаемой полосе. Этот подход требует максимального интервала между повторными измерениями, то есть половины минимального интервала времени включения или выключения какой-либо передачи в соответствующей полосе, в зависимости от того, какой из них короче. Этот метод обеспечивает точность, независимую от результата занятости, и может допустить меньшую длительность контроля.
- b) Статистический подход: В частности, когда рассматриваются пакеты цифровых систем, минимальное время передачи может быть слишком непродолжительным для практического применения вышеупомянутого принципа. Однако если время контроля достаточно продолжительное для того, чтобы получить достаточное количество выборок, то результат занятости будет правильным даже при гораздо более продолжительных интервалах между повторными измерениями, поскольку статистическая вероятность захвата передачи по сравнению с вероятностью ее пропуска такая же, как и рабочий цикл передачи. Однако точность статистического подхода зависит от показателя занятости, описываемого ниже.

*Длительность контроля* зависит от интервала между повторными измерениями, типовых ожидаемых продолжительностей передач, числа частотных каналов, предназначенных для сканирования, а также требуемой точности результатов.

Длительность контроля должна быть достаточной для того, чтобы можно было проконтролировать все соответствующие излучения. Если схема распределения времени не известна, то первоначальные оценки должны учитывать длительность, составляющую не менее 24 часов или кратную 24 часам. При контроле в течение одной недели наблюдается разница в занятости в разные рабочие дни и во время выходных. Продолжительность в семь периодов по 24 часа или более длительные периоды времени (например, один год) дают более надежную информацию о занятости.

### 3.4 Точность и уровень статистической достоверности

Между точностью и интервалом между повторными наблюдениями отсутствует линейная зависимость. В случае измерений 100 каналов с достижимым на практике интервалом между повторными измерениями в 1 с, число каналов может быть увеличено до 1000 с интервалом между повторными измерениями в 10 с без чрезмерного воздействия на уровень достоверности/точность.

Между занятостью и числом выборок существует линейная зависимость, необходимая для достижения требуемого уровня достоверности. Чем ниже занятость, тем больше потребуется выборок.

В таблице 1 предлагается сравнение независимых выборок, то есть наиболее простого случая, использующих центральную предельную теорему, и зависимых выборок, использующих цепи Маркова первого порядка, которые мало отличаются от более сложных математических моделей.

На рисунке 1 показано количество требуемых независимых выборок в сравнении с занятостью спектра при 10% относительной точности и 95% уровне достоверности.

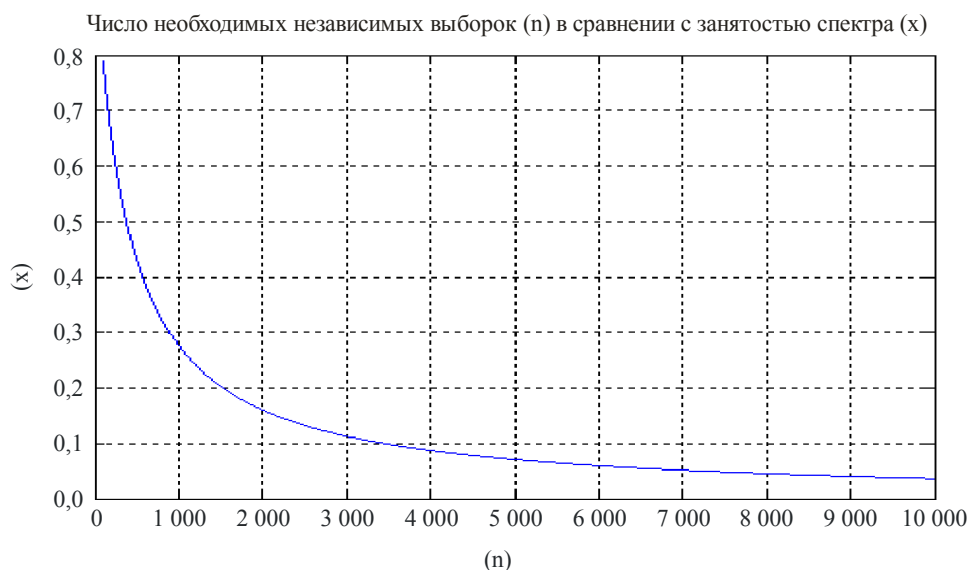
ТАБЛИЦА 1

**Число зависимых и независимых выборок, необходимых для достижения 10% относительной точности и 95% уровня достоверности для различного процента занятости (предполагается что период выборки равен 4 с)**

Занятость (%)	Число необходимых независимых выборок	Число необходимых зависимых выборок	Количество часов, необходимое для выборки
6,67	5 368	16 641	18,5
10	3 461	10 730	12
15	2 117	6 563	7,3
20	1 535	4 759	5,3
30	849	2 632	2,9
40	573	1 777	2,0
50	381	1 182	1,3
60	253	785	0,9
70	162	166	0,2

РИСУНОК 1

**Число необходимых зависимых и независимых выборок в сравнении с занятостью спектра при 10% относительной точности и 95% уровне достоверности**



SM.1880-01

### 3.5 Соображения, касающиеся измерений занятости

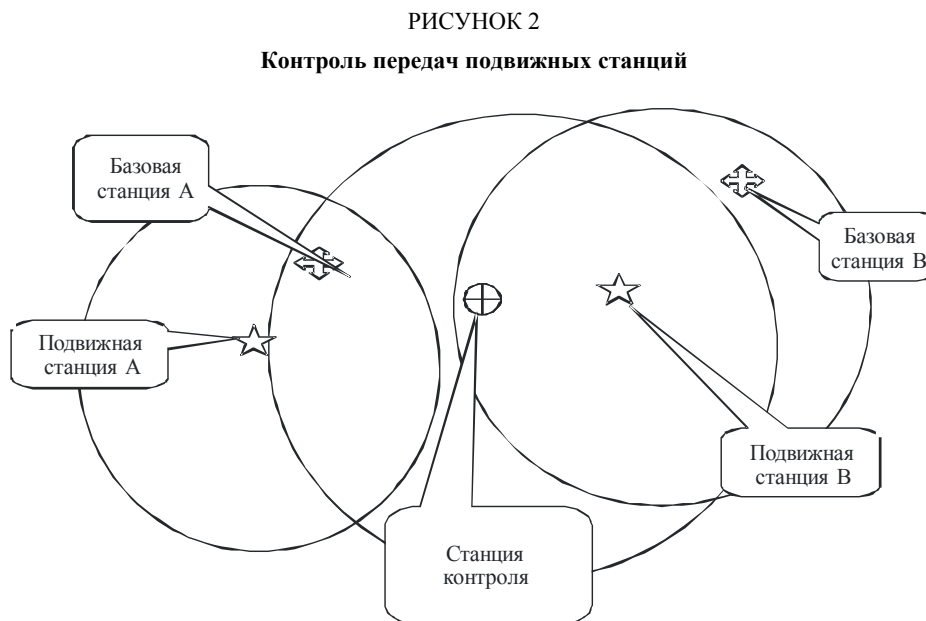
#### 3.5.1 Определение излучений

Простая регистрация уровня не позволяет отличить полезные излучения от нежелательных излучений, если несколько пользователей работают на одной частоте в пределах зоны покрытия системы контроля. Все излучения, если они превышают выбранное пороговое значение, рассматриваются как занятые каналы.

Использование современного программного обеспечения реального времени и программного обеспечения для постобработки может позволить отличать разных пользователей, принимая во внимание информацию, например, о напряженности поля или направлении прибытия в приемник, информацию о селективном коде, характеристиках модулирования.

### 3.5.2 Контроль передач подвижных станций

Возможен случай, когда полезный подвижный объект (подвижная станция А) расположен намного дальше от станции контроля, чем своя базовая станция пользователя (базовая станция А). Поэтому уровень принимаемого сигнала может быть ниже установленного порогового уровня контроля, хотя и достаточно большим для использования на соответствующей базовой станции (см. рис. 2).



SM.1880-02

И наоборот, сигналы от подвижного объекта пользователя вне зоны покрытия (подвижная станция В) могут приниматься на станции контроля, но не будут слышны на основной базовой станции пользователя.

Любая из вышеописанных ситуаций может привести к получению недостоверных результатов, поскольку результаты занятости могут оказаться показательными не для всей сети подвижной связи, а только для района, охваченного местом контроля.

### 3.5.3 Распространение

При установлении пороговых уровней приемника следует также учитывать условия распространения, а распространение следует контролировать в течение всего периода измерения.

## 3.6 Представление и анализ собранных данных

При необходимости результаты могут запоминаться каждые 5, 15, 30 или 60 минут. На основе этих данных можно готовить презентации в виде таблиц, текстовых графиков, линейных графиков/гистограмм и карт. После того как из данных выборки получена необходимая информация, эти необработанные данные выборки можно будет исключить.

Система представления должна как минимум содержать расположение станции контроля, дату и период измерения, частоту, тип пользователя(ей), использованный пороговый уровень, занятость в час наибольшей нагрузки, а также интервал между повторными измерениями.



### 3.6.1 Типичный пример напряженности поля, используемой для проведения различия между пользователями

В случае если регистрируется напряженность поля, из результатов измерения можно извлечь дополнительную информацию.

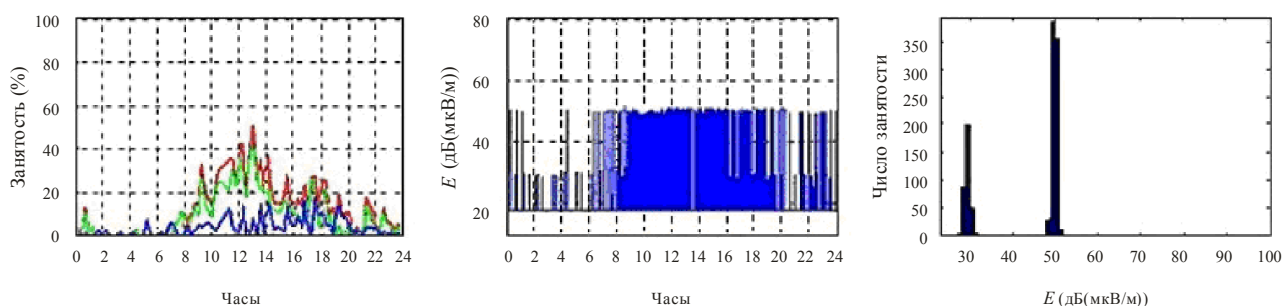
Левый график на рисунке 3 широко используется для представления занятости с разрешением 15 минут обычно только с одной кривой. Красной кривой на левом графике показана общая занятость, создаваемая всеми пользователями данного канала. Зеленой кривой на левом графике изображена занятость, которая создается станцией, принимаемой с уровнем около 49 дБ(мкВ/м) (см. правый график), а синей кривой обозначена занятость, создаваемая всеми остальными пользователями; в данном случае вторым пользователем, принимаемым с уровнем около 29 дБ(мкВ/м).

На среднем графике показаны уровни, полученные за определенный период времени. Оценены только уровни, превышающие пороговый уровень (здесь: 20 дБ(мкВ/м)).

На правом графике показано статистическое распределение полученных уровней напряженности поля. В этом примере уровень в 49 дБ(мкВ/м) был измерен около 380 раз в течение 24-часового периода, 50 дБ(мкВ/м) – около 350 раз и т. д.

РИСУНОК 3

#### Усовершенствованная обработка данных о занятости



SM.1880-03

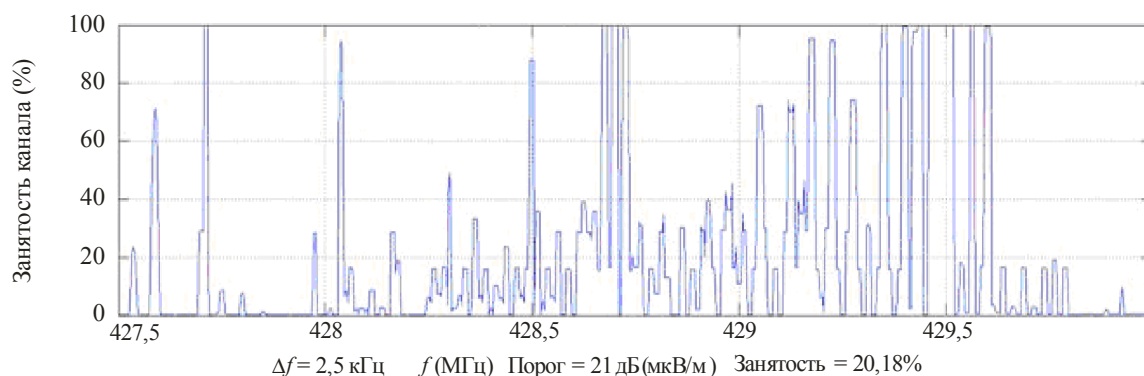
### 3.6.2 Представление занятости полосы частот в процентах

Помимо представления занятости каждого отдельного канала, должна также представляться занятость всей измеренной полосы частот.

На рисунке 4 изображена средняя занятость за 24 часа по каждому отдельному частотному шагу.

РИСУНОК 4

#### Средняя занятость за 24 часа



SM.1880-04

В качестве примера, предполагается, что та или иная полоса частот может быть отсканирована в 1000 шагов за 10 с. На каждом шаге имеется 8640 значений напряженности поля в течение 24-часового периода. Если в данном случае пороговый уровень в канале/шаге превышает 4320 раз, то будет показана занятость 50%. На полученном графике, который представлен выше, нет никакой информации о времени и нет указаний на то, когда эта 50-процентная занятость была соблюдена. Это ограничение должно учитываться при использовании представления этого типа.

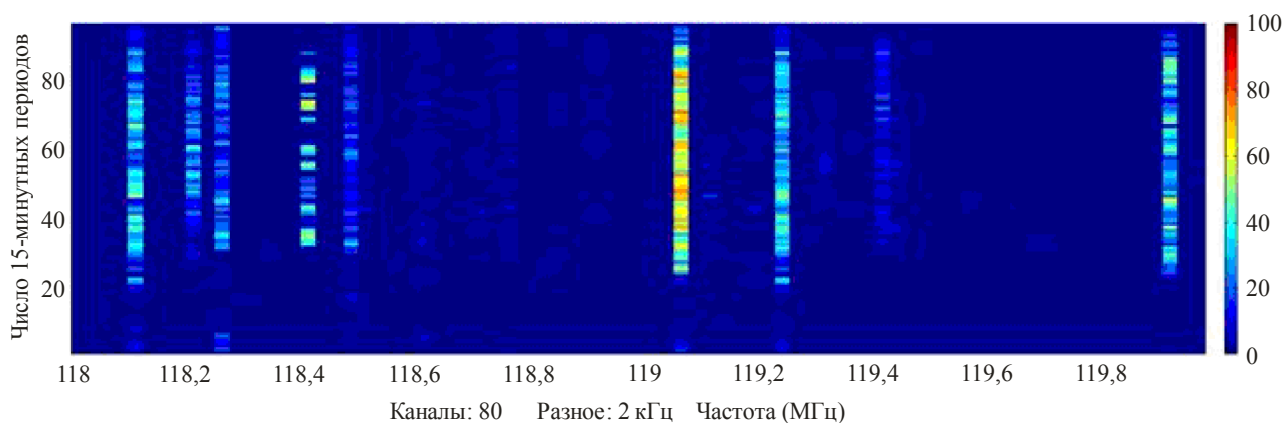
### 3.6.3 Представление занятости полосы частот с помощью цветов

Для того чтобы получить быстрый обзор, занятость в расчете на канал и при выбранном временном разрешении (как правило 15 минут) можно также представлять в цвете. На рисунке 5 приведен пример.

При данном представлении информация о времени по-прежнему доступна (96 значений за 24 часа). Цветные столбики представляют занятость (а не напряженность поля). На оси Y, слева, указывается время, но не в часах, а в 96 периодах по 15 минут.

РИСУНОК 5

#### Представление занятости полосы частот с помощью цветов (спектрограмма)



SM.1880-05