

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RS.2043-0

(02/2014)

**Характеристики радаров
с синтезированной апертурой,
работающих в спутниковой службе
исследования Земли (активной)
в полосе около 9600 МГц**

Серия RS

Системы дистанционного зондирования



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 МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/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
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

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 RS.2043-0

Характеристики радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной) в полосе около 9600 МГц

(2014)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации предоставлены характеристики радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной), которой распределена полоса около 9600 МГц. Эту информацию следует применять при проведении исследований совместного использования частоты и совместимости с другими радиослужбами, сосуществующими в том же диапазоне частот или в близких диапазонах частот. Этот диапазон частот используется спутниковыми системами дистанционного зондирования, реализованными с полосами передачи радаров различной ширины, составляющей от 100 МГц и вплоть до 1200 МГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что для бортового активного микроволнового дистанционного зондирования требуются определенные диапазоны частот, в зависимости от наблюдаемого физического явления;
- b)* что некоторые полосы частот были распределены для бортового активного микроволнового дистанционного зондирования;
- c)* что ширина полосы передачи радиолокационного датчика непосредственно связана с достижимым разрешением измерений;
- d)* что, как показано в Отчете МСЭ-R RS.2274, существует возрастающий спрос на информацию, получаемую с помощью радаров с высоким разрешением;
- e)* что наблюдения в диапазоне частот 9000 ГГц обеспечивают данные, имеющее важнейшее значение для исследования характеристик Земли и ее природных явлений природы, в том числе данные о состоянии окружающей среды;
- f)* что только в диапазоне частот 9600 МГц обеспечивается наиболее выгодная ситуация в отношении наивысшей возможной ширины полосы в полосе частот, характеризующейся хорошими условиями распространения,

признавая,

что в Рекомендации МСЭ-R RS.1166 содержатся критерии качества и помех для спутниковой службы исследования Земли (активной), в том числе радаров с синтезированной апертурой, работающих на частоте около 9600 МГц,

рекомендует,

чтобы характеристики типовых радиолокационных систем с синтезированной апертурой на борту космических аппаратов, работающих в диапазоне 9 ГГц, которые описаны в Приложении, применялись в исследованиях совместного использования частоты и совместимости, охватывающих спутниковую службу исследования Земли (активную), на частоте около 9600 МГц.

Приложение

Характеристики радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной) на частоте около 9600 МГц

1 Принципы работы радаров с синтезированной апертурой (SAR)

Радар с синтезированной апертурой (SAR) – это когерентная радиолокационная система бокового обзора на борту космического аппарата, которая использует трассу полета спутника для эмулирования сверхбольшой антенны или апертуры электронным образом и которая вырабатывает изображения с высоким разрешением на основе дистанционного зондирования.

В принципе, SAR является активной фазированной антенной решеткой. Однако вместо использования большого числа параллельных элементов антенны SAR использует один антенный элемент с разделением по времени. Различные геометрические позиции антенных элементов обеспечиваются подвижной платформой.

Спутник перемещается в направлении полета, и его надир направлен к центру Земли. Микроволновый луч передается под прямыми углами к направлению полета, облучая полосу обзора. Диапазон означает плоскость в поперечном направлении перпендикулярно направлению полета, азимут означает плоскость в продольном направлении параллельно направлению полета. Ширина зоны обзора означает полосу поверхности Земли, с которой осуществляется сбор данных с помощью радара бокового обзора. Это ширина отображаемой на изображении зоны в плоскости диапазона. Протяженность по долготе зоны обзора определяется движением воздушного судна относительно поверхности, при этом ширина зоны обзора измеряется перпендикулярно протяженности по долготе зоны обзора.

По прошествии определенного времени отдельные циклы передачи/приема (частота повторения импульсов, PRT) завершаются, и собранные данные от каждого цикла сохраняются в бортовой памяти. При обработке сигнала используются значения величины и фазы принимаемых сигналов в следующих подряд импульсах от элементов синтетической апертуры. После определенного числа циклов сохраняемые данные перекомпоновываются для создания изображения с высоким разрешением поверхности Земли, над которой был совершен пролет.

2 Режимы работы радаров с синтезированной апертурой (SAR)

2.1 Геометрия

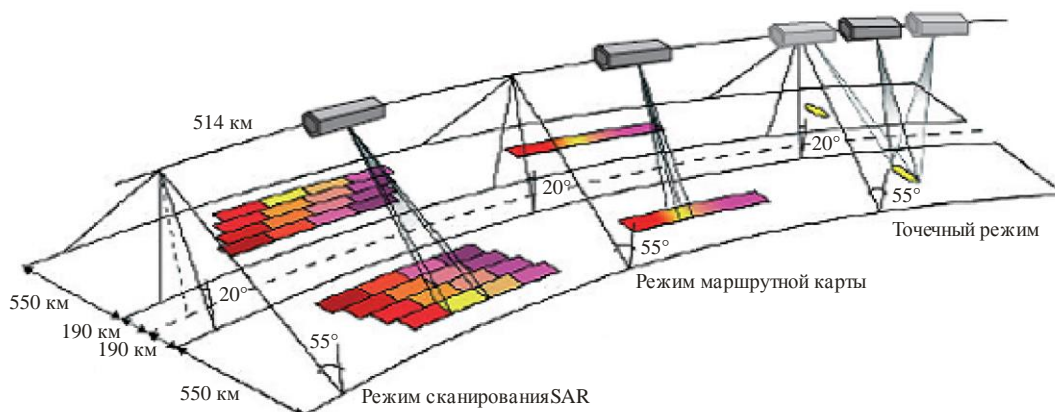
SAR, работающие на частоте вблизи 9,6 ГГц, управляются подаваемыми с Земли командами на включение и выключение, которые требуются для обеспечения просмотра только конкретных областей земной поверхности. Из всех режимов SAR, которые показаны на рисунке 1, полная ширина полосы импульса ЛЧМ – 1200 МГц – предназначена для использования только при работе в точечном режиме.

В других режимах может использоваться полоса частот 9300–9900 МГц, соблюдая положения, приведенные в примечаниях пп. **5.475A**, **5.476A**, **5.478A** и **5.478B** PP.

Традиционный режим маршрутной карты SAR предполагает фиксированное направление наведения антенны, направленной поперечно к траектории платформы. Маршрутная карта – это изображение, ширина которого определяется зоной обзора, и следующее по продольному контуру линии полета самой платформы. В режиме сканирования SAR радар может облучать несколько подзон обзора, сканируя свою антенну в различные позиции.

РИСУНОК 1

Режимы работы системы SAR в рамках распределения 9 ГГц
спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ)



RS.2043-01

Точечный режим – это режим работы SAR для получения наивысшего разрешения путем электронного управления лучом радара, направленного на цель в луче, в результате чего формируется более длинная синтезированная апертура. Точечный режим может улучшить разрешение функции генерирования изображений SAR до менее чем 30 см. Разрешение по азимуту возрастает с ростом числа используемых импульсов.

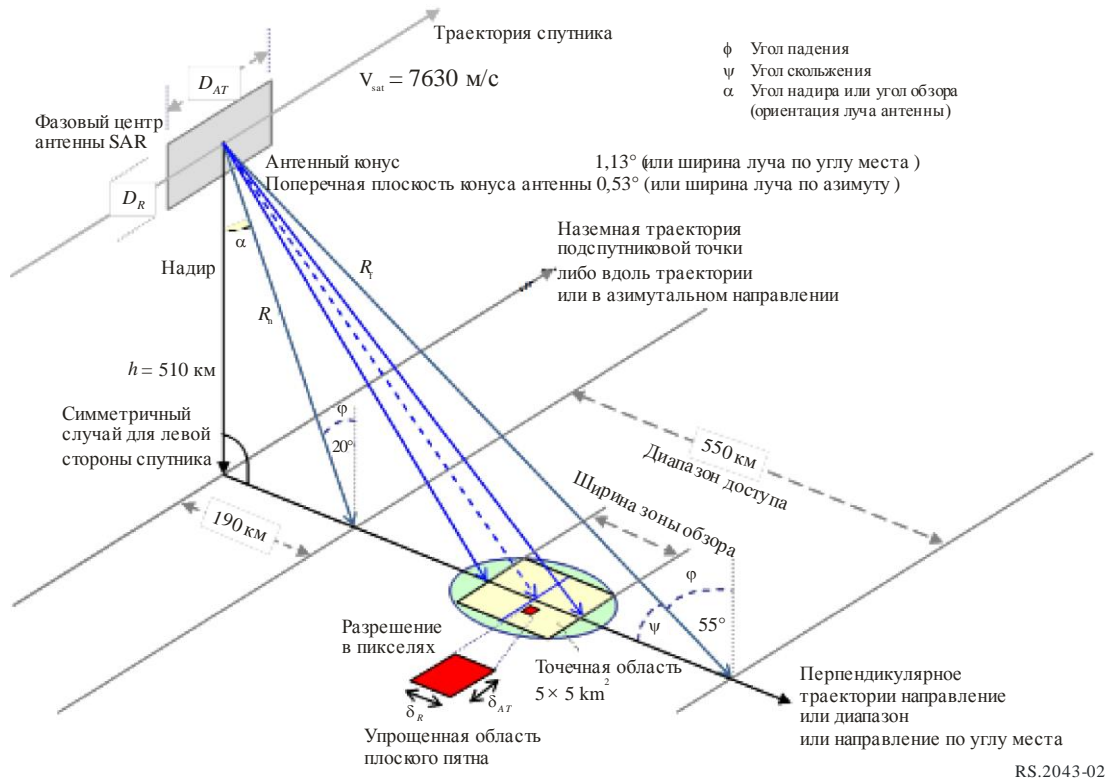
Точечный режим работы обычно обеспечивается за счет сокращения пространственного покрытия, так как другие области в рамках данной зоны обзора SAR не могут облучаться в те моменты, когда луч радара облучает конкретную целевую область. Подробная геометрия формирования изображения в этом режиме показана на рисунке 2.

Данные будут собираться путем просмотра от 49 до 65 подполос шириной 20 км с шагом 0,35 км по азимуту. Эти данные могут использоваться далее для создания мозаики подполос по азимуту для обработки изображения размером 5 км на 5 км.

Все SAR управляются подаваемыми с Земли командами на включение и выключение, которые требуются для обеспечения просмотра только конкретных областей земной поверхности. Команда "включить" запускает передачу радиочастотных импульсов (ЛЧМ) на короткий период времени, порядка пяти секунд или менее, в зависимости от назначения наблюдений.

РИСУНОК 2

Геометрия формирования изображения SAR ССИЗ для точечного режима с высоким разрешением (широкая полоса с шириной полосы импульса с ЛЧМ 1200 МГц)



2.2 Временные характеристики SAR-4 в режиме с высоким разрешением

Как указано в п. 2.1 выше, максимальная ширина полосы – 1200 МГц – используется только в точечном режиме системы SAR-4, когда требуется получаемое с помощью радара изображение с максимальным разрешением.

В этом режиме SAR-4 ведет передачу в течение короткого периода времени (обычно пять секунд) в рамках события облучения SAR ("моментальный снимок"). В течение пяти секунд передачи спутник проходит более 38 км по траектории орбиты, в результате чего постоянно изменяется эффективный угол падения в облучаемую точечную область, как показано на рисунке 2. В точечном режиме в течение оборота спутника по орбите (95 минут) возможно осуществить до 20 моментальных снимков, при этом минимальное время между последовательными снимками составит 1 секунду, что соответствует расстоянию 45 км на земной поверхности. Эта ситуация графически представлена на рисунке 3.

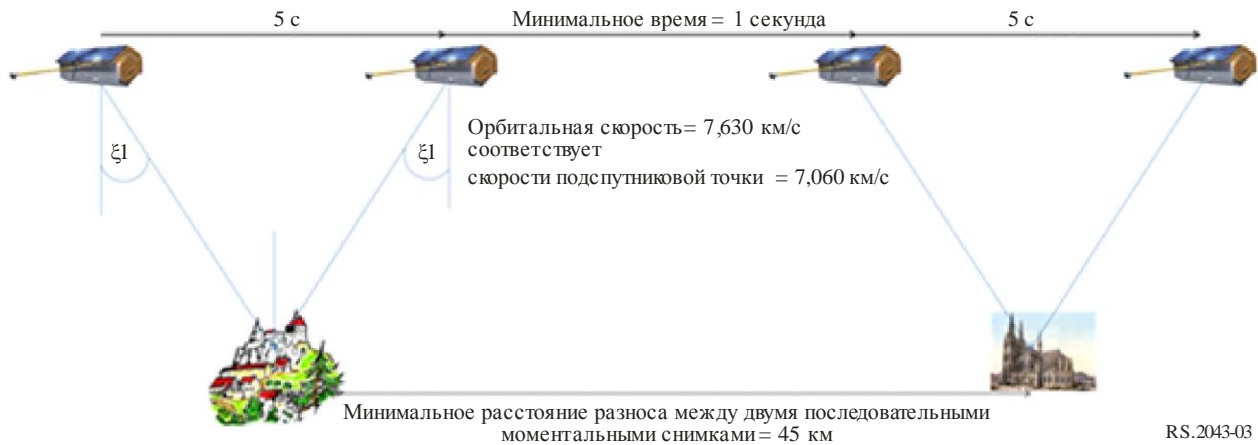
На солнечно-синхронной орбите спутник постоянно перемещается вдоль границы дня-ночи. При типовой высоте 515 км периодичность солнечно-синхронной орбиты обуславливает повторение траектории подспутниковой точки каждый 11 дней. В силу орбитальных требований и в зависимости от географической широты местонахождение радара и соседние области становятся видимыми не чаще двух раз в сутки.

Соседними областями считаются области, затрагиваемые облучением боковыми лепестками антенны. Области с пиковым уровнем и соседние области облучаются не чаще, чем один раз в орбитальный период.

Система SAR-4 передает импульсы с фиксированным рабочим циклом длительностью 50 мкс, после которого следуют 120 мкс молчания. Синхронизация импульсов адаптируется к фиксированной частоте повторения импульсов. В течение 50 мкс каждого импульса передачи немодулированный сигнал несущей передачи (CW) сканирует по всей ширине полосы 1200 МГц ("ЛЧМ-импульс"). В результате этого рабочий цикл передачи, как показано в таблице 1, остается постоянным при всех условиях, зависимых от ширины импульса и частоты повторения импульсов.

РИСУНОК 3

Минимальное расстояние разнесения между двумя последовательным целями

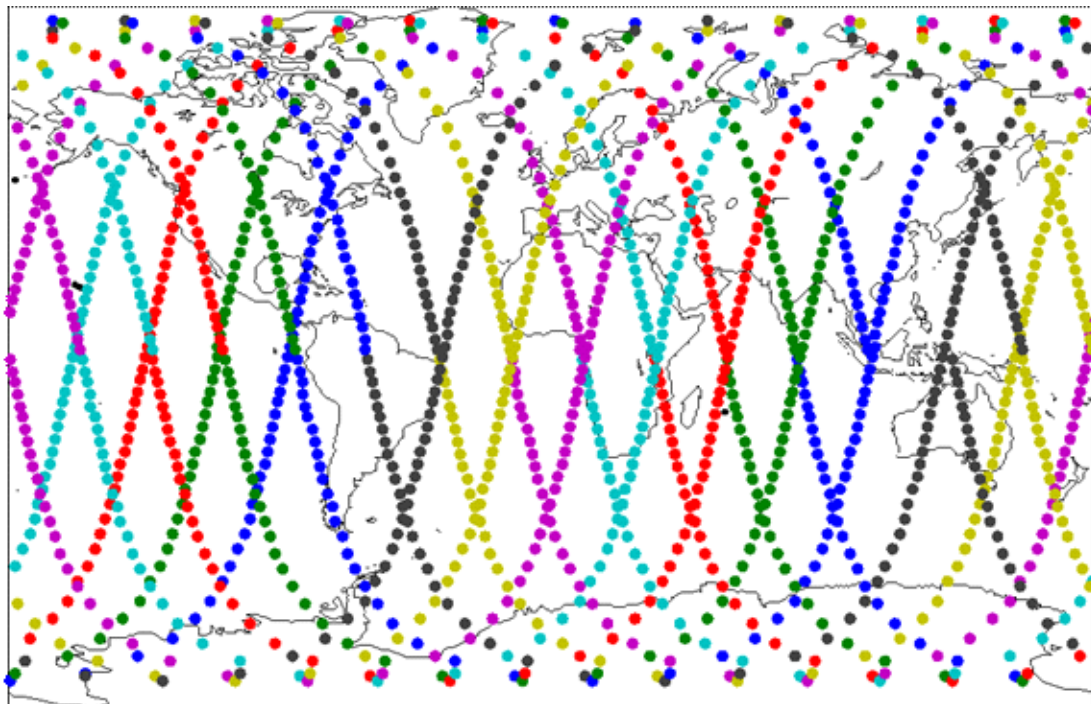


Другие режимы SAR описаны в Отчете МСЭ-R RS.2178.

На рисунке 4 показаны наземные траектории подспутниковой точки для 14 орбитальных периодов спутника SAR-4. В течение каждого орбитального периода Земля поворачивается примерно на $23,7^\circ$. В случае верхней трассы (угол места 90°) над одним местоположением орбита до и орбита после него появится на нижних максимальных углах места (близко к горизонту) станции.

РИСУНОК 4

Траектория SAR-4 подспутниковых точек для 14 орбитальных периодов продолжительностью 1 час. 34 мин. 49 с каждый (15,19 витков в сутки)



RS.2043-04

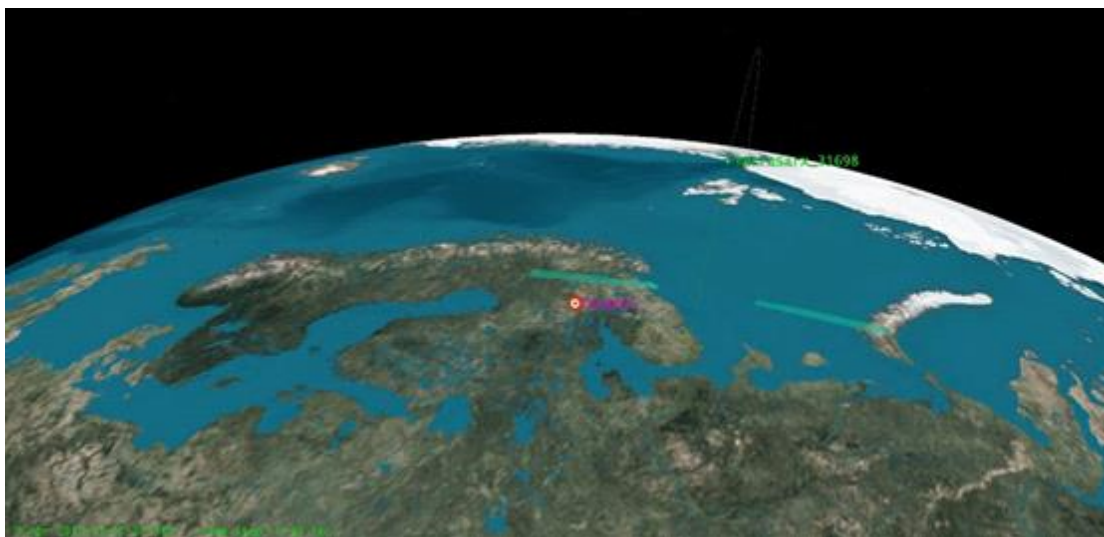
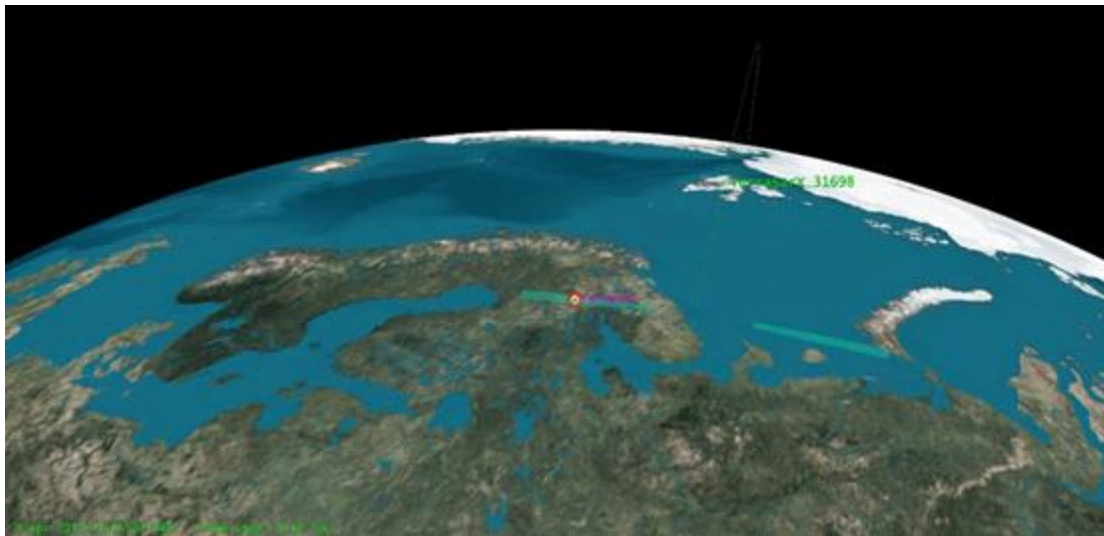
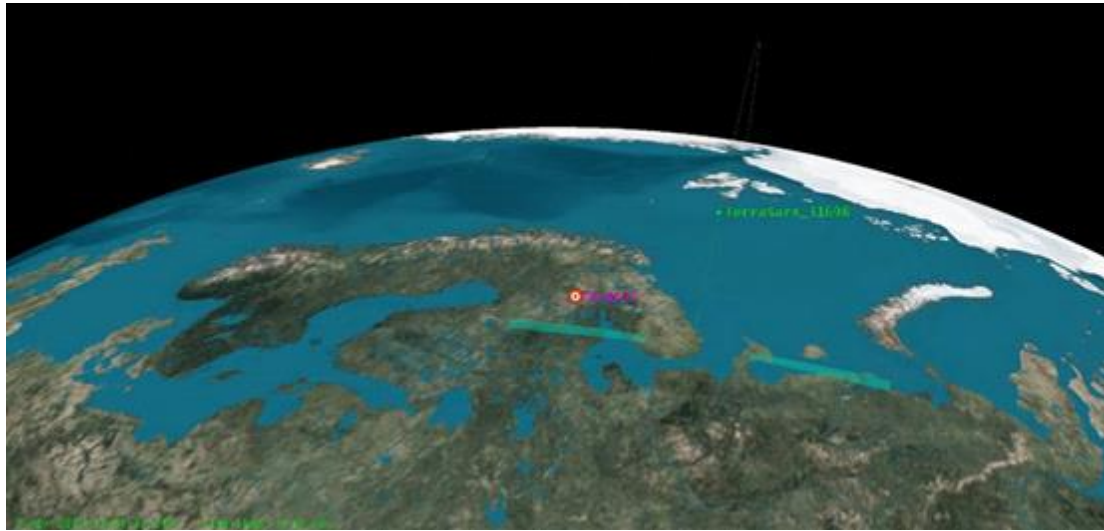
На рисунке 5 представлены примеры верхних трасс и их соответствующие условия облучения на трех типовых широтах. На каждой фотографии на рисунке 5 по обеим сторонам от траектории спутника выделена голубая область. Это область, в которой аппаратура SAR будет облучать область в точечном режиме в конкретный момент времени.

В силу движения самого спутника подспутниковая точка перемещается по подспутниковой траектории¹ со скоростью 7,06 км/с. Цель облучается только тогда, когда она находится в пределах выделенной голубым цветом области (в пределах лепестка главного луча спутника), и максимальное время облучения составляет 5–7 секунд в зависимости от фактического местоположения цели относительно траектории спутника.

Когда учитываются и главный луч, и боковые лепестки, максимальное время облучения будет более продолжительным. Последствия в форме вредных помех будут зависеть от рассматриваемой службы и системы. Представленная ниже информация базируется на облучении главным лепестком.

¹ Траектория подспутниковых точек на поверхности Земли, заданная виртуальной линией между космическим кораблем и центром Земли.

РИСУНОК 5
Зона облучения спутниками (верхняя трасса спутника)

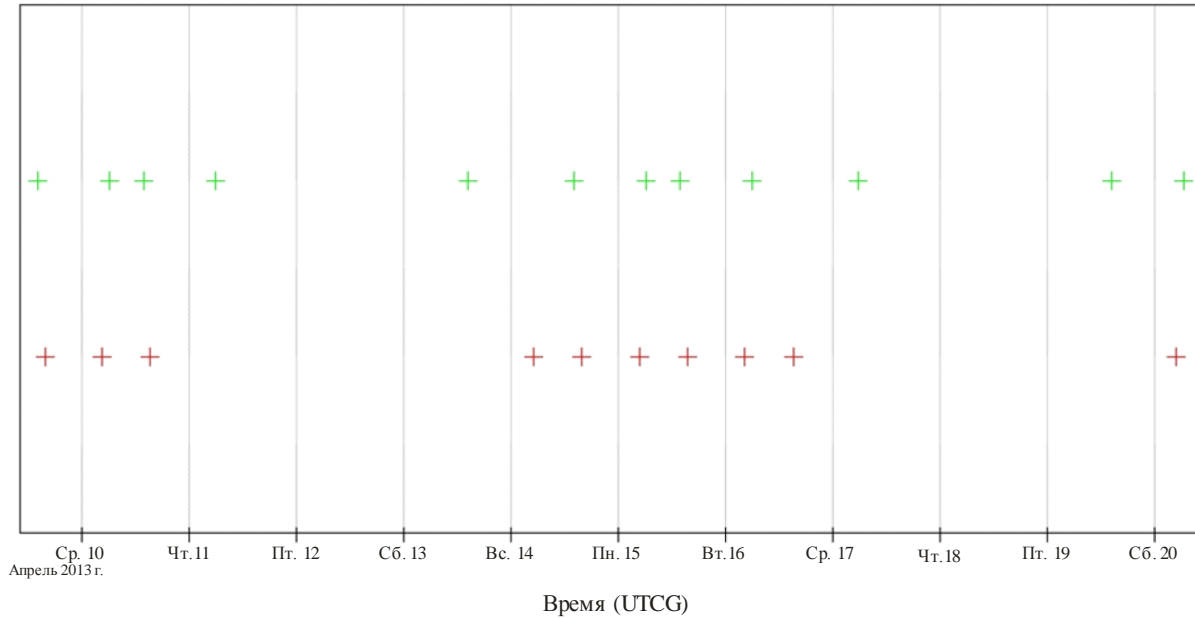


На рисунке 6 и в таблице 1 для данного местоположения на Земле показано время облучения и аккумуляция в течение 11 дней, после чего траектория подспутниковых точек в точности повторяется. На высоких широтах возможно до четырех облучений в день. Как показано на рисунке 6, число облучений в сутки изменяется от 0 до 4.

РИСУНОК 6

Возможности облучения за полный 11-дневный период на высоких широтах

Время доступа – 9 апреля 2013 года 15:59:38



RS.2043-06

ТАБЛИЦА 1

**Аккумулятивное время потенциальных облучений за полный 11-дневный период
на высоких широтах**

Время начала (UTCG)	Время окончания (UTCG)	Продолжительность (с)
9 апреля 2013 г. 14:04:58.246	9 апреля 2013 г. 14:05:05.008	6,762
9 апреля 2013 г. 15:38:58.735	9 апреля 2013 г. 15:39:06.027	7,292
10 апреля 2013 г. 04:29:51.820	10 апреля 2013 г. 04:29:58.819	6,999
10 апреля 2013 г. 06:03:50.310	10 апреля 2013 г. 06:03:57.310	7,000
10 апреля 2013 г. 13:47:56.501	10 апреля 2013 г. 13:48:04.209	7,708
10 апреля 2013 г. 15:21:49.102	10 апреля 2013 г. 15:21:55.247	6,145
11 апреля 2013 г. 05:46:48.240	11 апреля 2013 г. 05:46:54.287	6,047
13 апреля 2013 г. 14:30:27.763	13 апреля 2013 г. 14:30:33.100	5,337
14 апреля 2013 г. 04:55:30.126	14 апреля 2013 г. 04:55:35.471	5,345
14 апреля 2013 г. 14:13:22.852	14 апреля 2013 г. 14:13:29.144	6,291
14 апреля 2013 г. 15:47:27.234	14 апреля 2013 г. 15:47:35.117	7,882
15 апреля 2013 г. 04:38:19.663	15 апреля 2013 г. 04:38:26.098	6,435
15 апреля 2013 г. 06:12:13.167	15 апреля 2013 г. 06:12:20.630	7,464
15 апреля 2013 г. 13:56:19.267	15 апреля 2013 г. 13:56:26.513	7,246
15 апреля 2013 г. 15:30:15.649	15 апреля 2013 г. 15:30:22.348	6,699
16 апреля 2013 г. 04:21:07.202	16 апреля 2013 г. 04:21:14.804	7,602
16 апреля 2013 г. 05:55:10.750	16 апреля 2013 г. 05:55:17.266	6,517
16 апреля 2013 г. 15:13:05.560	16 апреля 2013 г. 15:13:11.149	5,589
17 апреля 2013 г. 05:38:06.586	17 апреля 2013 г. 05:38:12.148	5,562
19 апреля 2013 г. 14:21:42.280	19 апреля 2013 г. 14:21:48.106	5,826
20 апреля 2013 г. 04:46:41.507	20 апреля 2013 г. 04:46:47.403	5,896
20 апреля 2013 г. 06:20:30.148	20 апреля 2013 г. 06:20:38.073	7,924
Общие статистические данные	Значение	
Минимальная продолжительность (с)	5,337	
Максимальная продолжительность (с)	7,924	
Средняя продолжительность (с)	6,617	
Общая продолжительность (с)	145,568	

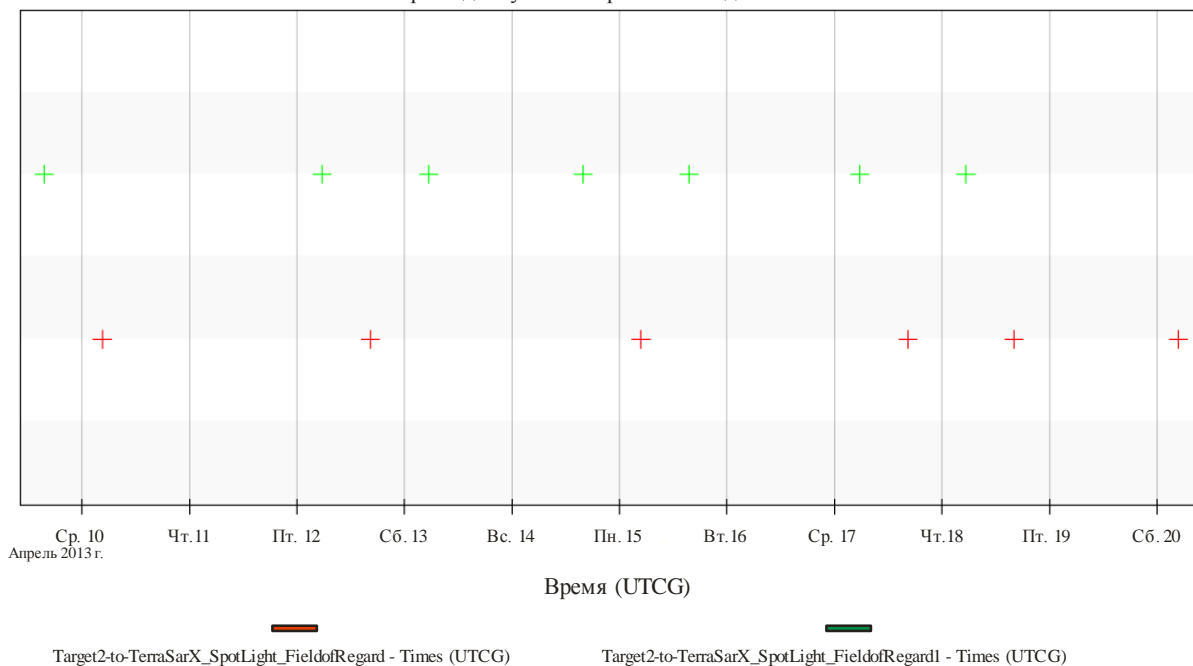
Общее возможное время облучения составляет 145,568 секунд в течение 11 дней, что соответствует 0,02% времени.

На рисунке 7 и в таблице 2 показаны условия местоположения радара на средних широтах. В этих случаях число возможных облучений в сутки изменяется от 0 до 2.

РИСУНОК 7

Возможности облучения за полный 11-дневный период на средних широтах

Время доступа – 9 апреля 2013 года 18:52:56



RS.2043-07

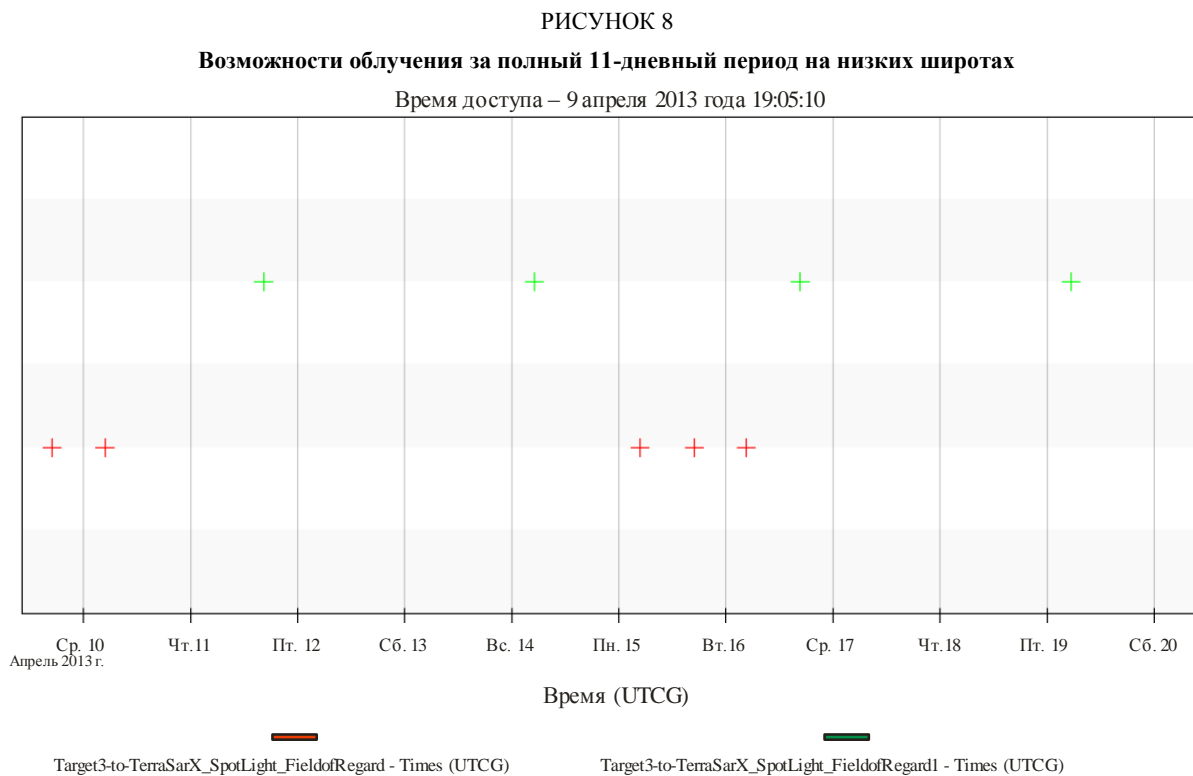
ТАБЛИЦА 2

**Аккумулярованное время потенциальных облучений
за полный 11-дневный период на высоких широтах**

Время начала (UTCG)	Время окончания (UTCG)	Продолжительность (с)
9 апреля 2013 г. 15:34:45.714	9 апреля 2013 г. 15:34:52.069	6,355
10 апреля 2013 г. 04:34:36.995	10 апреля 2013 г. 04:34:44.635	7,639
12 апреля 2013 г. 05:34:20.860	12 апреля 2013 г. 05:34:27.843	6,983
12 апреля 2013 г. 16:17:22.834	12 апреля 2013 г. 16:17:29.214	6,38
13 апреля 2013 г. 05:17:18.746	13 апреля 2013 г. 05:17:23.991	5,246
14 апреля 2013 г. 15:43:10.577	14 апреля 2013 г. 15:43:16.078	5,501
15 апреля 2013 г. 04:43:04.397	15 апреля 2013 г. 04:43:11.070	6,673
15 апреля 2013 г. 15:26:06.532	15 апреля 2013 г. 15:26:13.786	7,255
17 апреля 2013 г. 05:42:41.045	17 апреля 2013 г. 05:42:48.910	7,865
17 апреля 2013 г. 16:25:46.303	17 апреля 2013 г. 16:25:53.630	7,327
18 апреля 2013 г. 05:25:39.006	18 апреля 2013 г. 05:25:45.093	6,088
18 апреля 2013 г. 16:08:37.576	18 апреля 2013 г. 16:08:43.009	5,433
20 апреля 2013 г. 04:51:25.641	20 апреля 2013 г. 04:51:31.402	5,761
Общие статистические данные	Значение	
Минимальная продолжительность (с)	5,246	
Максимальная продолжительность (с)	7,865	
Средняя продолжительность (с)	6,500	
Общая продолжительность (с)	84,506	

В этом случае общее время доступа сокращается до 84,5 секунд в течение 11 дней, что соответствует 0,009% времени.

На рисунке 8 и в таблице 3 показаны условия возможных облучений на низких широтах. В этих случаях число возможных облучений в сутки изменяется от 0 до 2.



RS.2043-08

ТАБЛИЦА 3

**Аккумулятивное время потенциальных облучений
за полный 11-дневный период на низких широтах**

Время начала (UTCG)	Время окончания (UTCG)	Продолжительность (с)
9 апреля 2013 г. 17:00:08.771	9 апреля 2013 г. 17:00:15.801	7,03
10 апреля 2013 г. 04:43:31.960	10 апреля 2013 г. 04:43:38.416	6,456
11 апреля 2013 г. 16:26:02.928	11 апреля 2013 г. 16:26:09.455	6,528
14 апреля 2013 г. 05:09:00.363	14 апреля 2013 г. 05:09:06.089	5,725
15 апреля 2013 г. 04:51:56.973	15 апреля 2013 г. 04:52:02.103	5,13
15 апреля 2013 г. 16:51:29.517	15 апреля 2013 г. 16:51:35.145	5,628
16 апреля 2013 г. 04:34:50.485	16 апреля 2013 г. 04:34:58.396	7,911
16 апреля 2013 г. 16:34:25.460	16 апреля 2013 г. 16:34:30.684	5,224
19 апреля 2013 г. 05:17:18.707	19 апреля 2013 г. 05:17:25.754	7,047
Общие статистические данные	Значение	
Минимальная продолжительность (с)	5,13	
Максимальная продолжительность (с)	7,911	
Средняя продолжительность (с)	6,298	
Общая продолжительность (с)	56,679	

Для целей на низких широтах число доступов в сутки ограничено величиной менее 2, а общее время возможного облучения составляет 56,6 секунд, что соответствует 0,006% времени.

3 Технические характеристики датчиков SAR ССИЗ

Технические характеристики активных датчиков на борту космического аппарата, работающих в диапазоне частот 9 ГГц, приведены в таблице 4.

Соответствующие диаграммы направленности усиления антенны всех систем SAR приведены в таблицах 5–8, соответственно.

В таблице 5 представлены диаграммы направленности антенны SAR-4. Диаграммы направленности антенны систем SAR-1 – SAR-3 представлены в Отчете МСЭ-R RS.2094.

ТАБЛИЦА 4

Технические характеристики систем SAR ССИЗ

Параметр	SAR-1	SAR-2	SAR-3	SAR-4
Высота орбиты (км)	400	619	506	510
Наклонение орбиты (градусы)	57	98	98	98
Центральная частота РЧ (ГГц)	9,6	9,6	9,6	9,3–9,9 ^(*)
Пиковая излучаемая мощность (Вт)	1 500	5 000	25 000	7 000
Модуляция импульса	Линейная частотная модуляция (ЛЧМ)	Линейная частотная модуляция	Линейная частотная модуляция	Линейная частотная модуляция
Ширина полосы ЛЧМ (МГц)	10	400	450	1 200
Длительность импульса (мкс)	33,8	10–80	1–10	50
Частота повторения импульсов (импульсов/с)	1 736	2 000–4 500	410–515	6 000
Рабочий цикл (%)	5,9	2,0–28,0	0,04–0,5	30
Коэффициент сжатия диапазона	338	< 12 000	450–4 500	60 000
Тип антенны	Волноводно-щелевая	Планарная решетка	Планарная фазированная решетка	Планарная решетка
Пиковое усиление антенны (дБи)	44,0	44,0–46,0	39,5–42,5	47,0
э.и.и.м. (дБВт)	75,8	83,0	83,5–88,5	85,5
Ориентация антенны относительно надира	20° to 55°	34°	20°–44°	18,5°–49,3°
Ширина луча антенны	5,5° (El) 0,14° (Az)	1,6–2,3° (El) 0,3° (Az)	1,1–2,3° (El) 1,15° (Az)	1,13° (El) 0,53° (Az)
Поляризация антенны	Линейная вертикальная	Линейная (ГГ) или (ВВ)	Линейная горизонтальная/вертикальная	Линейная горизонтальная/вертикальная
Шумовая температура системы (К)	551	500	600	500

(*) Окончательное значение зависит от решения, которое будет принято по пункту 1.12 повестки дня ВКР-15.

ТАБЛИЦА 5

Диаграмма направленности антенны SAR-1 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма направленности	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 44,0 - 0,397(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 24,5$ $G_v(\theta_v) = 9,5$ $G_v(\theta_v) = 22,5$	$\theta_v < 7,1$ $7,1 \leq \theta_v \leq 30$ $30 < \theta_v \leq 60$ $\theta_v > 60$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 612,2(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -12$ $G_h(\theta_h) = 0 - 27,0 (\theta_h)$ $G_h(\theta_h) = -35$	$\theta_h \leq 0,14$ $0,14 < \theta_h \leq 0,44$ $0,44 < \theta_h \leq 1,3$ $\theta_h > 1,3$
Диаграмма направленности луча	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

ТАБЛИЦА 6

Диаграмма направленности антенны SAR-2 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма направленности	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 46,0 - 0,835(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,0$ $G_v(\theta_v) = 26,0$ $G_v(\theta_v) = 10,0$	$\theta_v < 3,8$ $3,8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 444,5(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -16$ $G_h(\theta_h) = -20,0 (\theta_h)$	$\theta_h \leq 0,3$ $0,3 < \theta_h \leq 0,7$ $\theta_h > 0,7$
Диаграмма направленности луча	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

ТАБЛИЦА 7

Диаграмма направленности антенны SAR-3 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма направленности	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 42,5 - 9,92(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31,4 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10,5 - 0,133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0,0 - 9,07(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1,9 - 12,08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1,15$ $1,15 \leq \theta_h < 4,13$ $\theta_h \geq 4,13$
Диаграмма направленности луча	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

ТАБЛИЦА 8

Диаграмма направленности антенны SAR-4 вблизи частоты 9,6 ГГц

Диаграмма направленности	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,9 - 0,83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 11,0$	$\theta_v < 1,1$ $1,1 \leq \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -10,97 - 2,00 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,0$	$\theta_h \leq 0,5$ $0,5 < \theta_h \leq 12$ $\theta_h > 12$
Диаграмма направленности луча	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

В таблице 9 представлена альтернативная диаграмма направленности антенны, которая должна использоваться в случае, если необходимо рассматривать более точную модель средних уровней боковых лепестков (на 3 дБ ниже максимального уровня боковых лепестков).

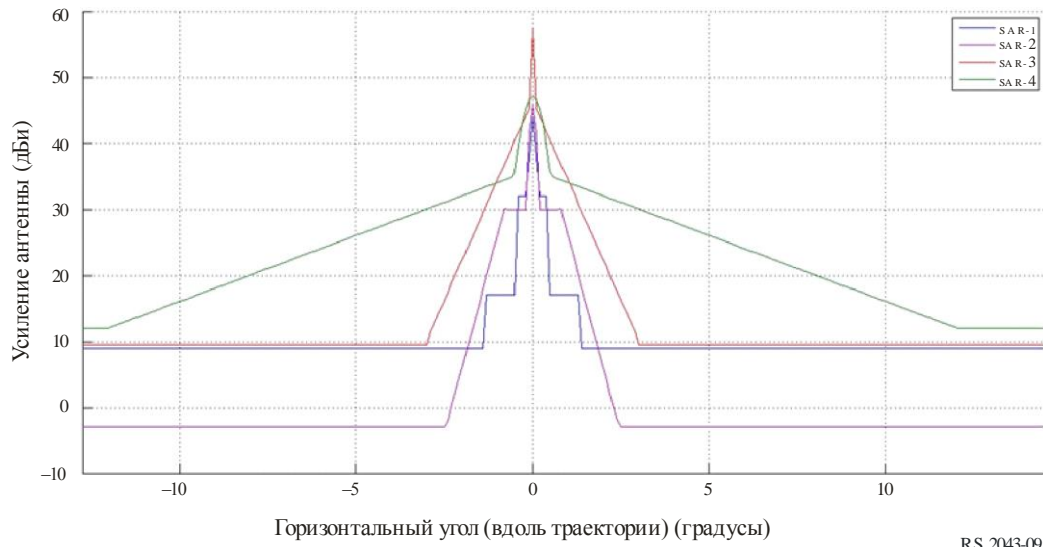
ТАБЛИЦА 9

Средняя диаграмма направленности усиления антенны SAR-4 на частоте вблизи 9,6 ГГц

Диаграмма направленности	Усиление $G(\theta)$ (дБи) как функция угла от оси θ (градусы)	Угловой диапазон (градусы)
Вертикальная (по углу места)	$G_v(\theta_v) = 47,0 - 9,91 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35,189 - 1,944\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 21,043 - 0,468\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 12,562 - 0,185\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 3,291$	$\theta_v < 1,149$ $1,149 \leq \theta_v \leq 9,587$ $9,587 \leq \theta_v \leq 29,976$ $29,976 \leq \theta_v \leq 50$ $\theta_v > 50,0$
Горизонтальная (по азимуту)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45,53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -11,210 - 4,022\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -26,720 - 0,953\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35,031 - 0,388\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -41,936 - 0,158\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -51,387$	$\theta_h \leq 0,542$ $0,542 < \theta_h \leq 5,053$ $5,053 < \theta_h \leq 14,708$ $14,708 < \theta_h \leq 30,00$ $30,00 < \theta_h \leq 59,915$ $\theta_h > 59,915$
Диаграмма направленности луча	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

РИСУНОК 9

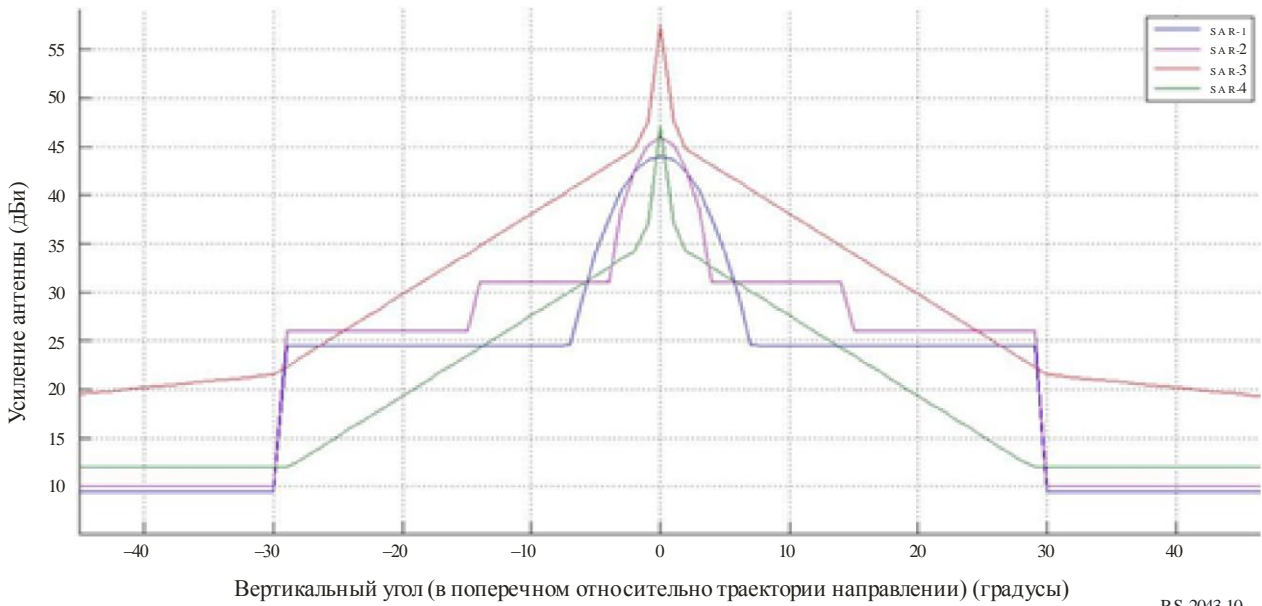
Диаграмма направленности антенны вдоль траектории



RS.2043-09

РИСУНОК 10

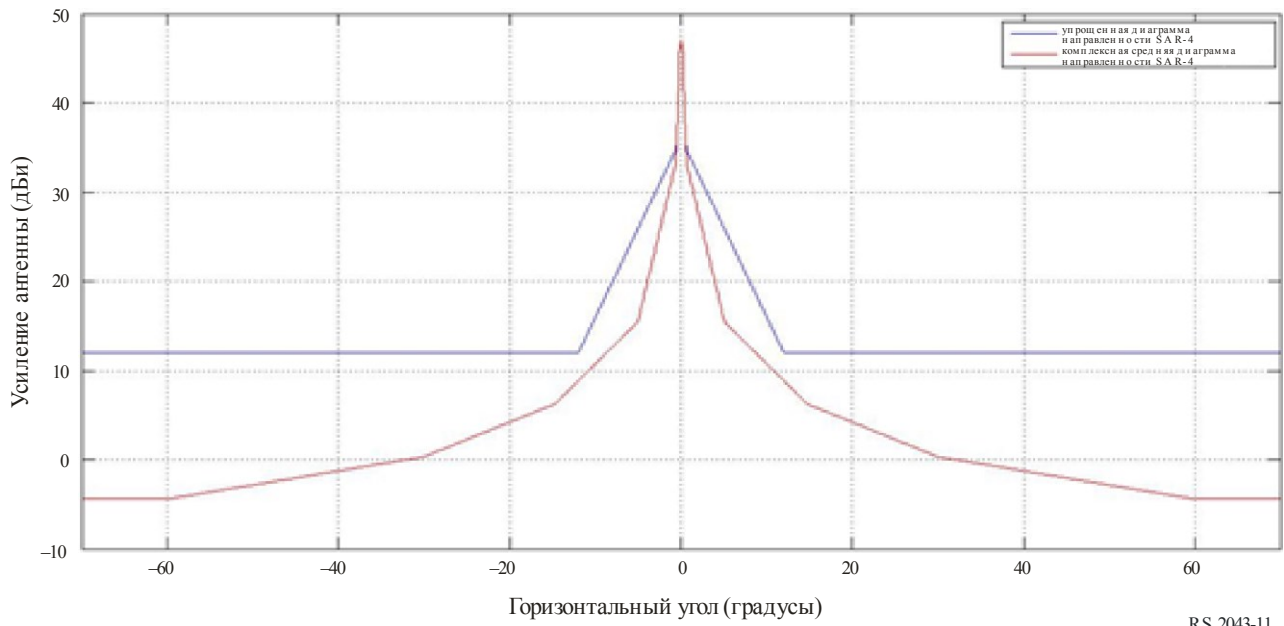
Диаграмма направленности антенны в поперечном направлении относительно траектории



RS.2043-10

РИСУНОК 11

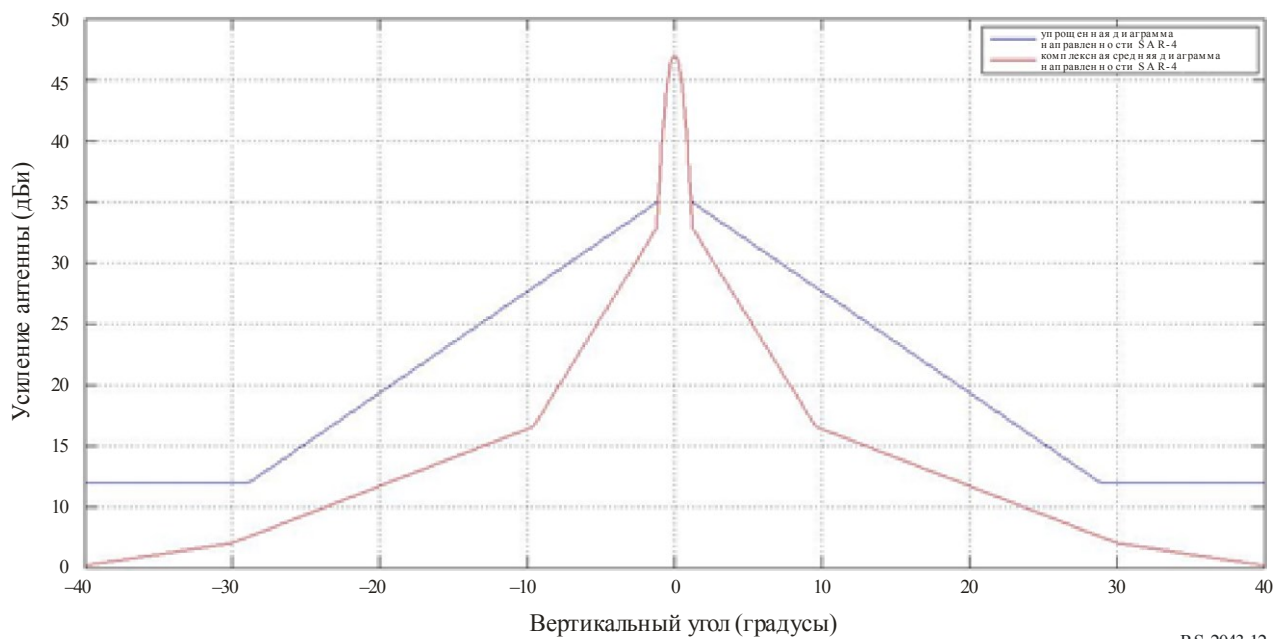
Упрощенные диаграммы направленности пиковых значений и комплексные средние диаграммы направленности вдоль траектории для SAR-4



RS.2043-11

РИСУНОК 12

Упрощенные диаграммы направленности пиковых значений и комплексные средние диаграммы направленности в поперечном направлении относительно траектории для SAR-4



RS.2043-12