РЕГИОНАЛЬНОЕ СОДРУЖЕСТВО В ОБЛАСТИ СВЯЗИ

Комиссия РСС по регулированию использования радиочастотного спектра и спутниковых орбит

РГ РВ

Док. РГРВ/09/361

Приложение 5

к Док. РГРВ/09/367

« 14 » сентября 2017 г.

Вклад АС
Азербайджанской Республики

Методические указания по учету рельефа местности при проведении расчетов ЭМС для приграничной координации частотных присвоений станциям наземных радиослужб»

2017 г.

Содержание

1. Основные положения 3
1.1 Назначение и область применения..... 3
1.2 Основные определения. 3
2. Общие сведения о приграничной координации частотных присвоений станциями наземных радиослужб……. 4
3. Общие принципы и особенности приграничной координации частотных присвоений станциями наземных радиослужб стран -участников РСС……. 5
3.1 Особенности приграничной координации 5
3.2 Особенности исследования совместимости частотных выделений (присвоений) в Плане «ЖЕНЕВА-06» 7
3.3 Расчет зон обслуживания и помех станций цифрового вещания с учетом рельефа местности..... 12
3.4 Основные принципы приграничной координации частотных присвоений станциям наземных служб..... 15
3.5 Вариант определения координационной зоны в приграничных районах стран -участниковРСС, имеющих горный рельеф..... 16
Приложение 1. Метод расчета напряженности поля……... 20
Приложение 2. Контур координационной зоны между Администрациям связи Азербайджанской Республики и Российской Федерации 45
Список использованных источников 46

Методические указания разработаны членами РГРВ АС Азербайджанской Республики при участии АС Республики Беларусь, АС Республики Казахстан и АС России

1. Основные положения

1.1 Назначение и область применения

Методические указания предназначены для выработки администрациями связи стран-участников РСС согласованных подходов и методов при проведении расчетов ЭМС с учетом рельефа местности для приграничной координации частотных присвоений станциями наземных радиослужб в целях предотвращения взаимных помех между наземными радиослужбами и оптимального использования частотного спектра в приграничных районах.

1.2 Основные определения

В настоящих методических указаниях используются следующие определения:

приграничная координация радиочастот – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на поддержание национальных интересов сопредельных стран при распределении и эффективном использовании спектра в приграничной полосе;

вредные помехи – любое радиоизлучение, приводящее к ухудшению качества связи и радиовещания;

координационная зона –зона, в которой требуется координация частотных присвоений наземных радиослужб;

координационный контур –линия, ограничивающая координационную зону;

Э.И.И.М – произведение мощности, подводимой к антенне, на коэффициент усиления этой антенны в заданном направлении относительно изотропной антенны;

полезная (исследуемая) станция – станция, для которой производится оценка условий приема в зоне обслуживания и по отношению к которой другие станции рассматриваются как источники помех;

полезное поле – электромагнитное поле, создаваемое полезной станцией;

мешающая станция – станция, которая при анализе ЭМС рассматривается как источник помех;

мешающее поле – электромагнитное поле, создаваемое мешающей станцией;

напряженность мешающего поля (Емеш, дБ(мкВ/м)) – это напряженность электромагнитного поля мешающего сигнала для 50% мест и для заданного процента времени от любого потенциального источника помех, к значению которой добавлено соответствующее защитное отношение в децибелах;

защитное отношение – минимальное значение отношения уровня полезного сигнала к уровню мешающего сигнала, в децибелах, при котором обеспечивается требуемое качество приёма.

В необходимых случаях к защитному отношению применяется поправочный

коэффициент на направленность приемной антенны и развязку по поляризации в децибелах. При наличии нескольких мешающих сигналов результирующая напряженность мешающего поля определяется методом расчета суммарной напряженности поля мешающих сигналов;

зона обслуживания- зона, в пределах которой администрация имеет право требовать обеспечения согласованных условий защиты;

зона покрытия - зона радиовещательной станции или группы радиовещательных станций (в случае одночастотной сети), в пределах которой величина полезной напряженности поля равна или превышает величину используемой напряженности поля, определенной для конкретных условий приема и для предусмотренного процента покрываемых местоположений приема**.**

2.Общие сведения о приграничной координации частотных присвоений станциями наземных радиослужб.

Доввода в эксплуатацию РЭС в приграничной зоне Администрация связи должна инициировать запрос на ее координацию со всеми Администрациями, интересы которых могут быть затронуты для получения замечаний. В запрос должны быть включены требуемые технические характеристики РЭС [1].

В виду того, что страны -участники РСС находятся и в Европе и в Азии, в ходе приграничной координации между странами –участниками РСС и другими странами, возможно использование Европейских принципов, одобренных Берлинским соглашением процедур приграничной координации частотных присвоений с европейскими странами, а также принципов, изложенных в Регламенте Радиосвязи [9] и Рекомендациях МСЭ-Р [2,3].

Для организации учета скоординированных частот ведется Частотный регистр [1], который составляется на основе частотных списков, представляемых каждой Администрацией связи, где указаны скоординированные частоты, присвоенные предпочтительные частоты, частоты совместного использования, частоты, скоординированные для планируемых сетей связи и используемые на основе географических планов сетей. Перечень информации, включаемой в Частотный регистр, устанавливается на основе Соглашений между Администрациями связи.

Под вредной радиопомехой в ходе приграничной координации понимается любое радиоизлучение, приводящее к серьезному ухудшению качества радиовещания или трафика службы радиосвязи в следствие превышения максимально допустимой напряженности поля радиопомехи. Метод расчета напряженности поля описан в Приложении 1 [2].

Частота приема должна координироваться при условии, что радиоприемное устройство требует защиты от непреднамеренных радиопомех с сопредельной стороны.

Частота, излучаемая радиопередатчиком должна координироваться, если напряженность поля, создаваемая на линии границы или на расстоянии,

определяемом в Соглашении между Администрациями связи и на определенной высоте (10, 3 или 1,5 м) над уровнем земли, превосходит максимально допустимую напряженность поля радиопомехи.

При необходимости изменения технических характеристик, зарегистрированных в Частотном регистре станций, Администрации связи обязаны известить о своих намерениях затронутые Администрации. При возможном повышении уровня радиопомех в соседней стране обязательна координация. Если ситуация с помехами в соседней стране не меняется либо улучшается, затронутую Администрацию только извещают о таком изменении. Соответственно должны быть внесены изменения в Частотный регистр.

В отдельных странах Администрации могут назначать частоты во временное пользование без координирования, если это не влечет за собой возникновение вредных помех координируемым станциям. Администрации должны быть извещены об этом в кратчайшие сроки. При создании вредных помех соседям действие этих присвоений немедленно приостанавливается.

3. Общие принципы и особенности приграничной координации частотных присвоений станциями наземных радиослужб стран членов РСС

3.1 Особенности приграничной координации

Процедура координации планируемых сетей радиосвязи имеет свои особенности, которые состоят в следующем. Перед началом координирования Администрации связи могут приступить к процедуре консультаций в целях облегчения последующего ввода в действие новой сети. В ходе процедуры консультационного запроса Администрация связи, инициирующая запрос, должна представить следующие технические данные о будущей сети:

- планируемые частоты (частота передачи/приема базовой станции);

– область покрытия всей сети радиосвязи;

– класс станции согласно нормативным документам;

– радиус зоны покрытия;

– эффективная излучаемая мощность;

– максимальная эффективная высота антенны;

– обозначение класса излучений;

– план развития сети.

Защита радиоприемника станции может быть отвергнута в случаях, когда:

– один из координируемых радиопередатчиков затронутой Администрации создает на входе координируемого радиоприемника напряженность поля радиопомехи больше максимально допустимой напряженности поля радиопомехи;

–обеспечение защиты радиоприемника ограничивает использование предпочтительной частоты затронутой Администрацией с учетом условий, налагаемых двухсторонними или многосторонними соглашениями;

– не выполняются условия для размеров зон вредных помех согласно Венскому соглашению.

В случаях, если запрос на координацию станции отвергнут Администрацией связи сопредельной стороны или на этот запрос выдан ответ с условиями ее работы, Администрацией связи должно быть приведено обоснование причин с указанием данных о подлежащей защите радиостанции либо радиостанции, которая может создать помеху планируемой радиостанции.

В целях наиболее эффективного использования радиочастотного спектра, а также во избежание вредных помех и создания возможностей для расширения существующих сетей подвижной связи, Администрации связи сопредельных государств должны учитывать рельеф местности (особенно горный рельеф) в ходе приграничной координации.

Ниже, в Таблице 1, приведены страны–участники РСС, в которых в приграничных зонах имеется горный рельеф.

Таблица1. Страны–участники РСС, в которых в приграничных зонах имеется горный рельеф.

	AZE	**ARM**	**GEO**	**RUS**	**KAZ**	**BLR**	**UZB**	**KGZ**	**TGK**	**UKR**	**MDA**	**TKM**
AZE		■	■	■								
ARM	■		■									
GEO	■	■		■								
RUS	■		■		■							
KAZ				■			■	■				
BLR												
UZB					■			■	■			■
KGZ					■		■		■			
TJK							■	■				
UKR												
MDA												
TKM							■					

3.2. Особенности исследования совместимости частотных выделений (присвоений) в Плане «ЖЕНЕВА-06»

В процессе проведения Региональной конференции радиосвязи (РКР-06) «Женева-2006» для анализа совместимости частотных выделений использовался программный продукт «RCC06 Planning Interface» [12].

Анализ использования данного программного продукта показывает, что в процессе анализа совместимости частотных выделений не учитывался реальный рельеф местности, что привело к большому количеству несовместимых выделений. Частично данные несовместимости были устранены администрациями связи путем подачи деклараций о совместимости. Однако данная работа не была завершена в период проведения Конференции. Многие администрации до настоящего времени при координации продолжают использовать данные 4-й итерации РКР-06 по совместимости и программный продукт «RCC06 Planning Interface»[12], что приводит к необоснованным отказам при координации частотных присвоений плана «Женева-2006».

Данные противоречия можно проиллюстрировать нижеприведенными на рисунках 1-9 примерами.

3.2.1. Граница Республики Казахстан с Кыргызской Республикой.

Совместимость выделения Республики Казахстан «KAZ_14» с выделениями Кыргызской Республики с использованием программного продукта[12].

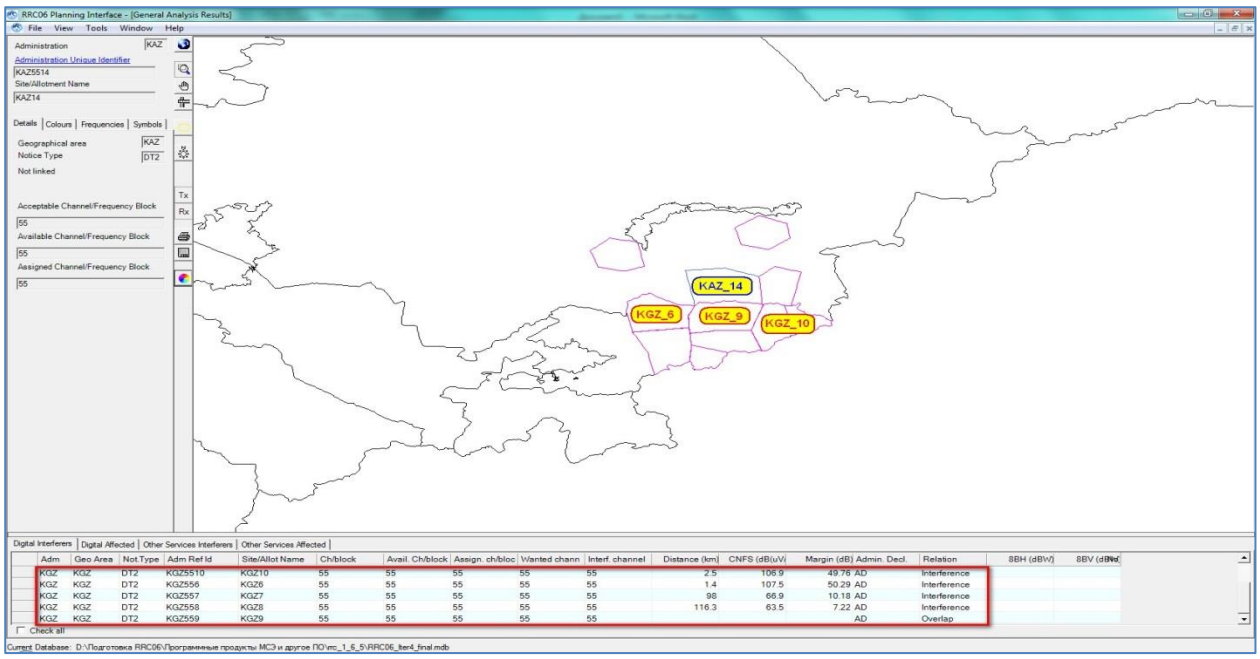


Рис.1

Расположение выделения Республики Казахстан«KAZ_14» с учетом рельефа местности

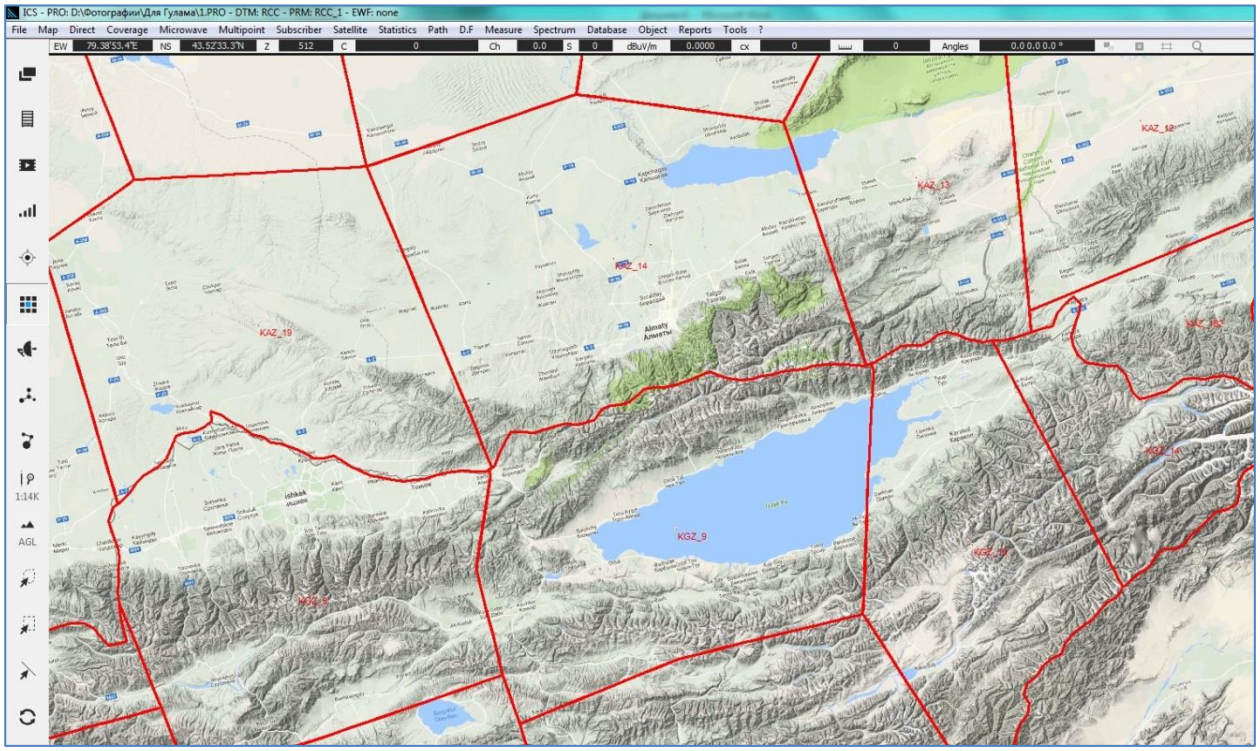


Рис.2

Построение профиля рельефа местности от выделения Республики Казахстан«KAZ_14» в направлении выделений Кыргызской Республики.

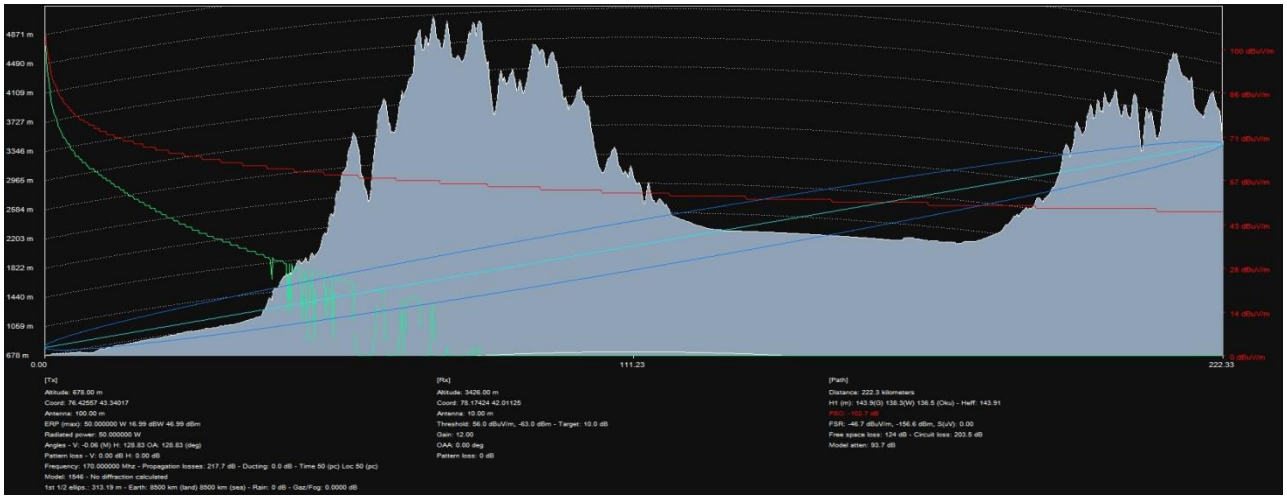


Рис.3

3.2.2Граница Республики Узбекистан с Кыргызской Республикой.

Совместимость выделения Республики Узбекистан «UZB_801» с выделениями Кыргызской Республики с использованием программного продукта [12].

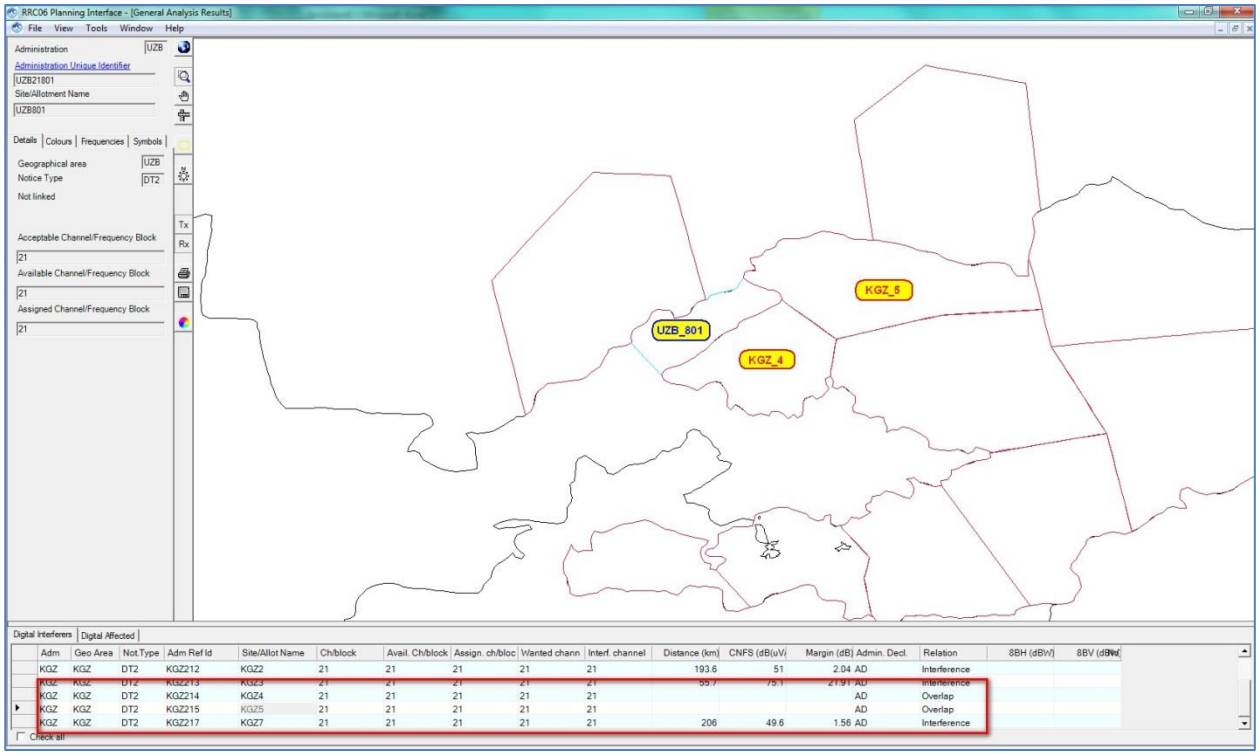


Рис.4

Расположение выделения Республики Узбекистан «UZB_801» с учетом рельефа местности.

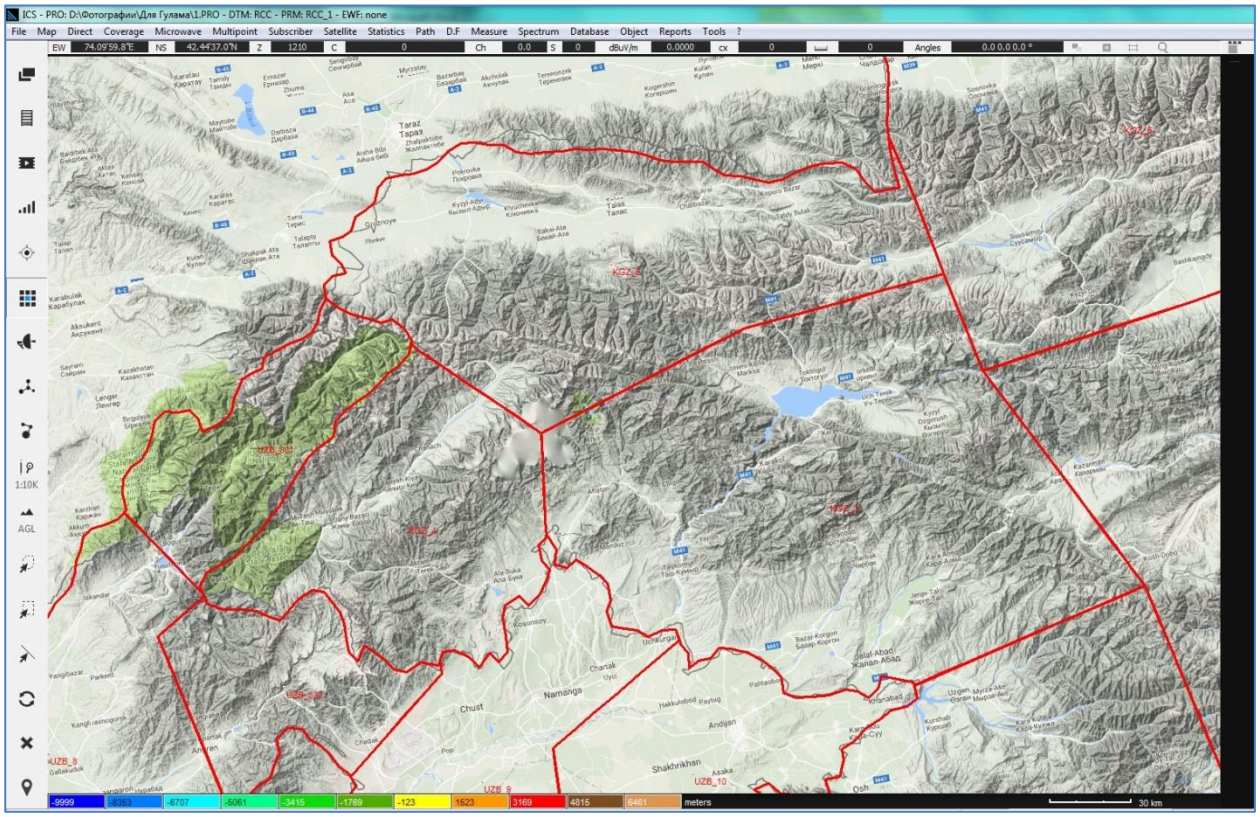


Рис.5

Построение профиля рельефа местности от выделения Республики Узбекистан «UZB_801» в направлении выделений Кыргызской Республики.

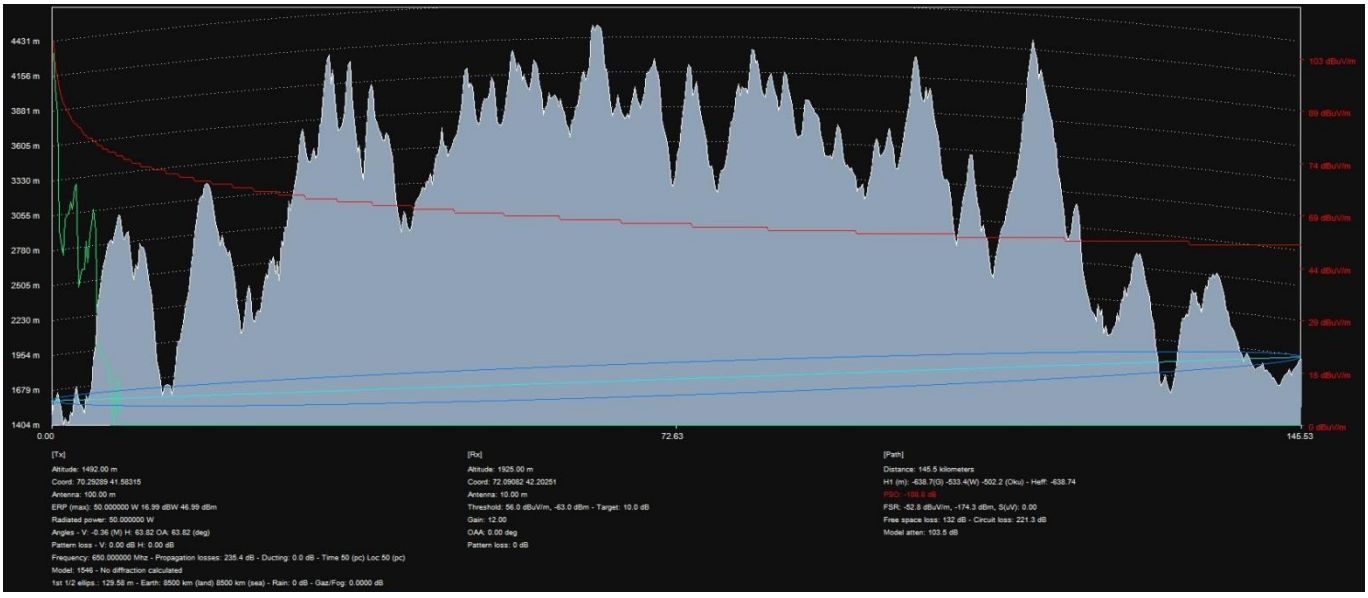


Рис.6

3.2.3 Граница Кыргызской Республики с Республикой Таджикистан.

Совместимость выделения Кыргызской Республики«KGZ_2» с выделениями Республики Таджикистан с использованием программного продукта «RCC06 Planning Interface» [12].

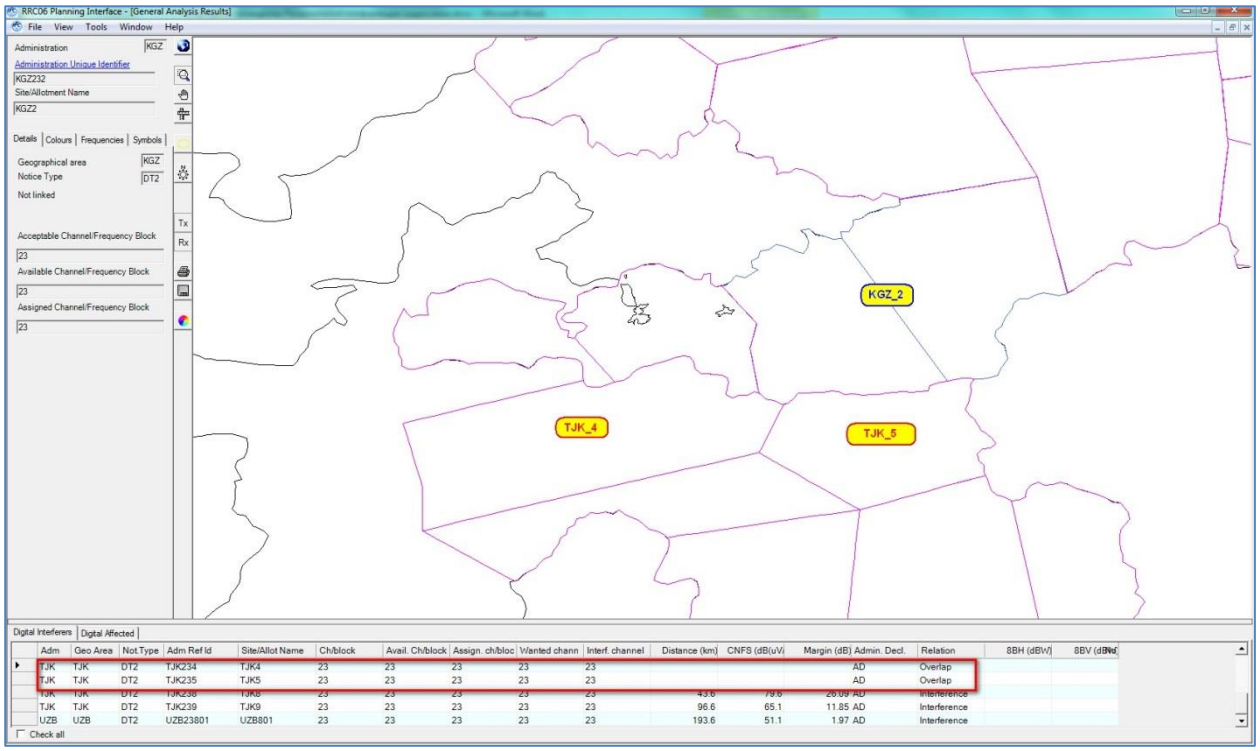


Рис.7

Расположение выделения Кыргызской Республики«KGZ_2» с учетом рельефа местности.

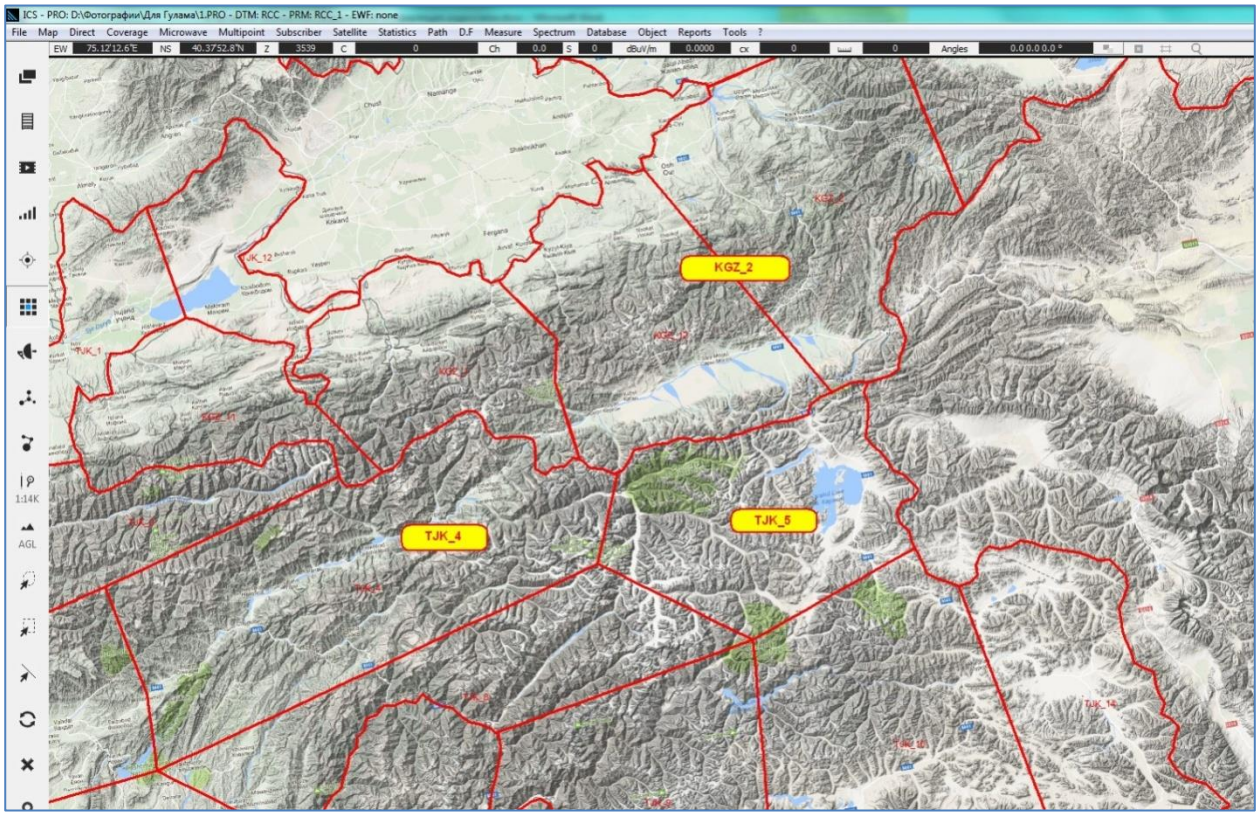


Рис.8

Построение профиля рельефа местности от выделения Кыргызской Республики«KGZ_2» в направлении выделений Республики Таджикистан.

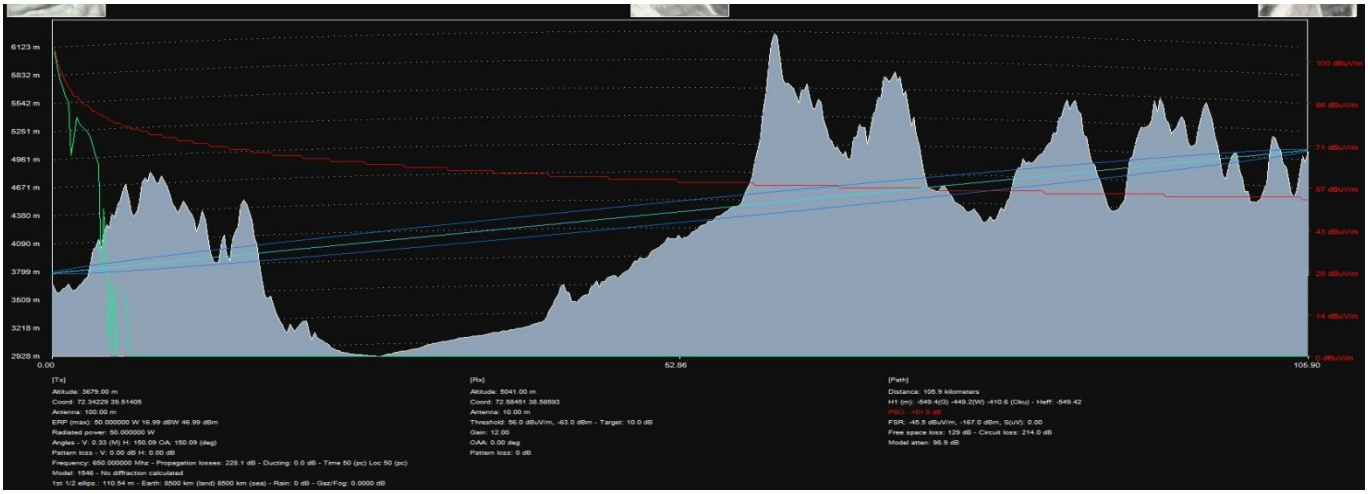


Рис.9

Проведенные исследования и проведенный анализ показали что, при использовании в расчетах информации о рельефе местности, рассмотренные выше выделения полностью совместимы.

3.3 Расчет зон обслуживания и помех станций цифрового вещания с учетом рельефа местности.

При проведении расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств радиовещательной службы в процессе координационных встреч или рассмотрения координационных запросов администрации связи, при наличии взаимной договоренности, могут использовать следующие Рекомендации МСЭ-Р, учитывающие данные о рельефе местности:

- МСЭ-Р 1546-5 «Метод прогнозирования распространения радиоволн для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц»[2];
- МСЭ-Р 1812-4. «Метод прогнозирования распространения сигнала, пригодный для наземных служб связи "из пункта в зону" в диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц»[3];
- МСЭ-Р 2001-2. «Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц»[111];
- МСЭ-Р 525-3/526-13. «Распространение радиоволн в свободном пространстве»/ «Распространение радиоволн за счет дифракции» [12].

При отсутствии взаимной договоренности об используемых Рекомендациях МСЭ-Р администрации связи при проведении расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств радиовещательной службы в процессе координационных встреч или рассмотрения координационных запросов должны использовать информацию о распространении радиоволн, изложенную в Приложении 2 Главы 2 заключительных актов Региональной конференции радиосвязи «Женева-2006»[13].

Следует отметить, что выбор соответствующей Рекомендации зависит от ряда особенностей, таких как - рельеф местности (равнина, горы), тип трасс распространения радиосигналов (сухопутная, морская, смешанная), наличие аномальных зон распространения радиосигналов и т.д..

Хорошие результаты при выборе Рекомендации дают сравнение расчетных данных с данными натурных измерений напряженности электромагнитного поля сигналов, создаваемых радиовещательными станциями.

Так, например, для Республики Беларусь наименьшие расхождения расчетных данных с данными натурных измерений получаются при использовании Рекомендации МСЭ-Р 1546[2].В тоже время для Республики Казахстан (отдельные районы) - при использовании Рекомендаций МСЭ-Р 525/526 [12].

Расчеты зон обслуживания и зон помех, проводимые с использованием различных Рекомендаций, дают различные результаты, что можно продемонстрировать на нижеприведенном примере.

Полезная станция:

Пункт установки	ТВК	ЭИМ, дБВт	Н ант.,м.	Стандарт вещания
Gulustan(AZE)	22	30	196	DVB-T

Результаты расчетов (Е мин. - 54 дБ мкВ/м, Н пр. - 10 метров)

Рекомендация МСЭ-Р1546

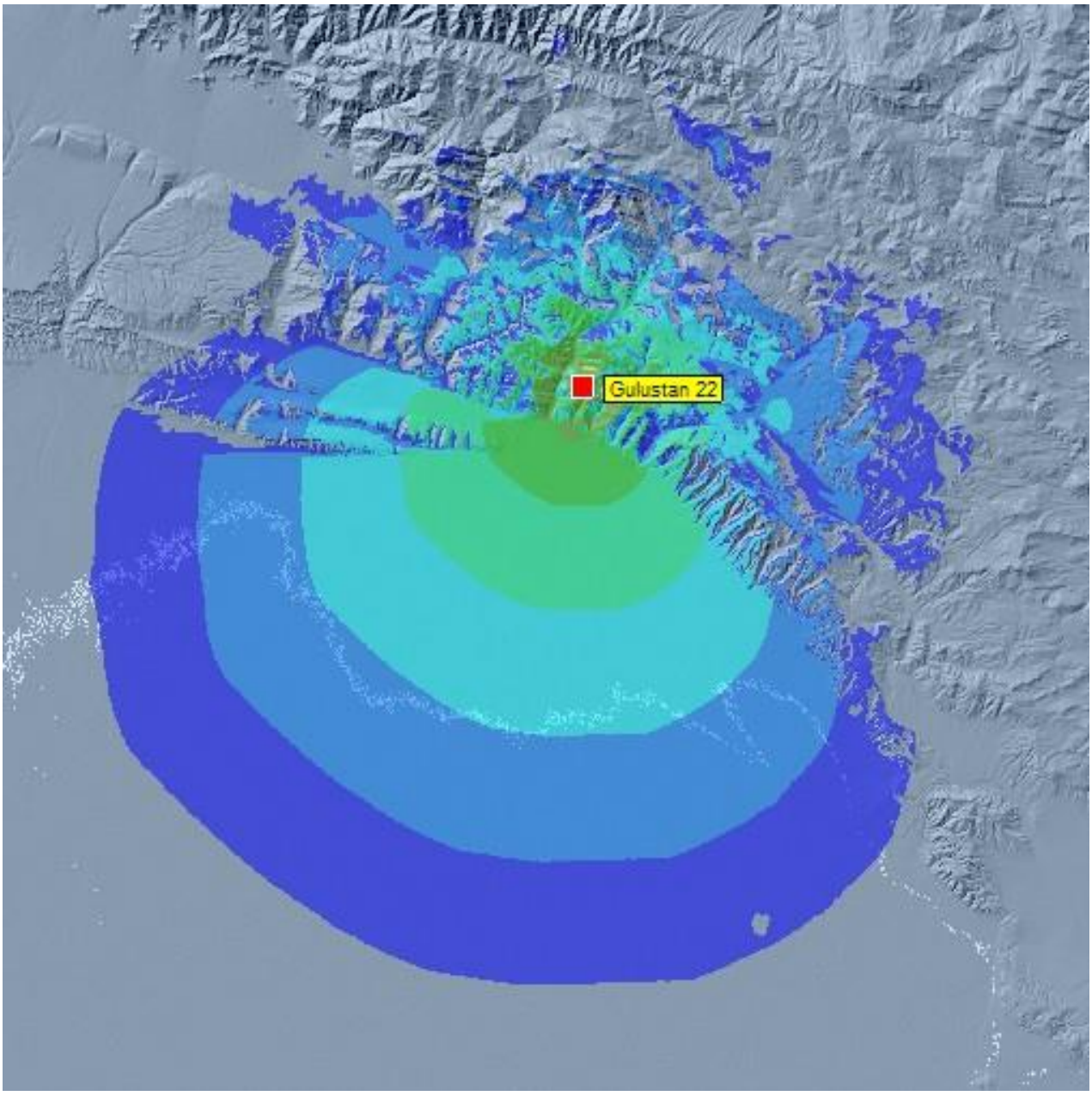


Рис.10

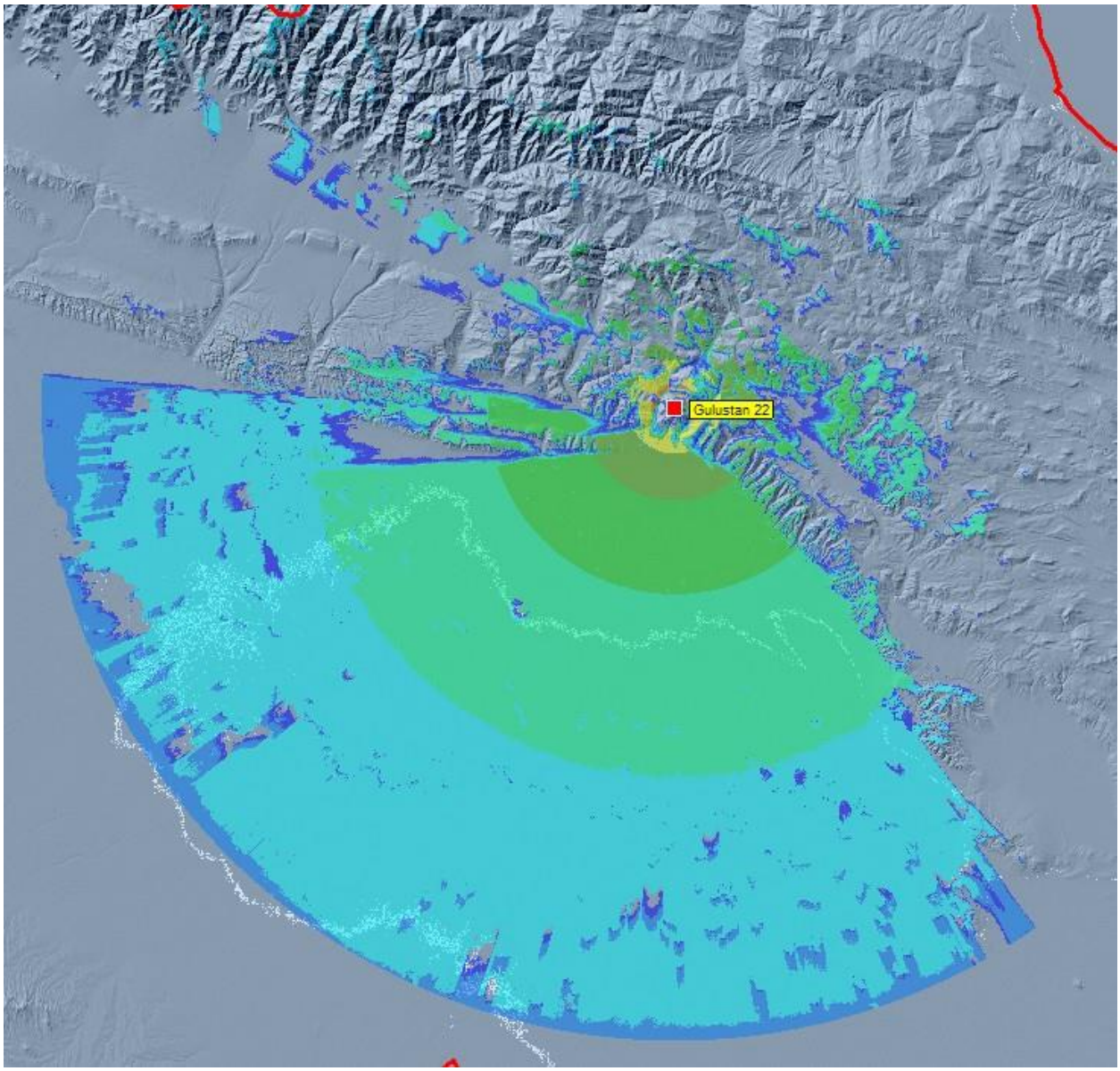


Рис.11

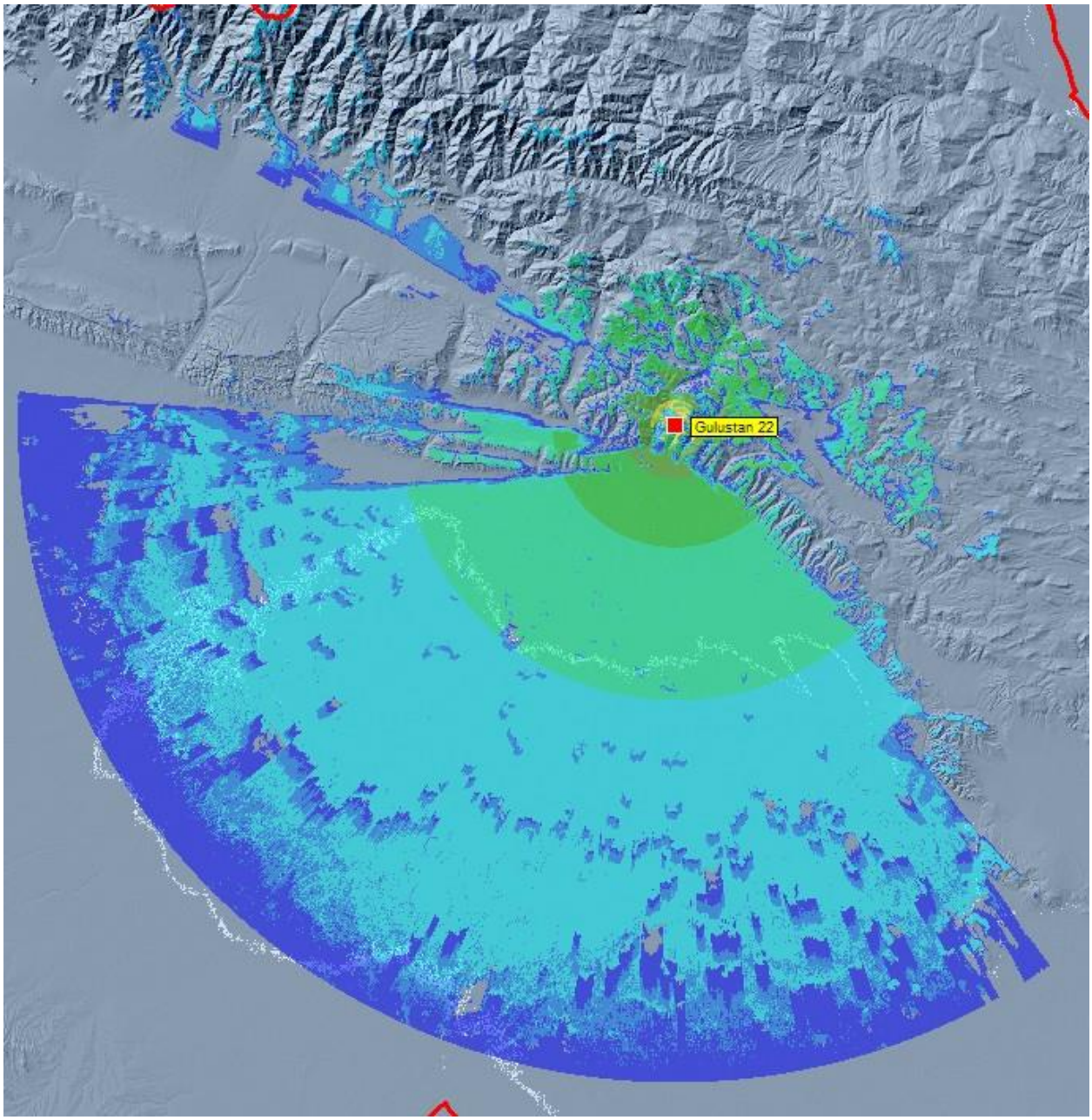


Рис.12

3.4.Основные принципы приграничной координации частотных присвоений станциям наземных служб.

Перед началом проведения работ по координации частотных присвоений станциям радиовещательной службы затронутым администрациям связи необходимо согласовывать технические критерии и принципы, на которых будут основываться данные работы, а именно:

- используемую цифровую модель местности (GOTOPO30, SRTM,ASTER…);
- используемый метод расчета напряженности поля (Рекомендации МСЭ-Р [2, 3, 11,12]);

- величину защищаемой напряженности поля полезного сигнала;
- величину допустимого превышения значения напряженности поля мешающего сигнала над требуемым (0.5, 1 дБ или другое значение);
- метод расчета мешающего воздействия (дуэльная ситуация, суммирование мощностей);
- учет диаграммы направленности приемной антенны;
- учет, при наличии, дополнительных ослаблений напряженности поля полезного сигнала различными препятствиями (растительный покров);
- вид защищаемого приема (портативный, фиксированный);
- алгоритм выбора контрольных точек для расчета помех в точках координационного контура на границе зоны обслуживания полезной станции;
- программное обеспечение;
- после согласования технических критериев и принципов, на которых будут основываться координационные соглашения, перед началом координации конкретных частотных присвоений/выделений необходимо провести контрольные расчёты полезных и мешающих сигналов на какой-то согласованной трассе или ряде трасс с помощью ПО, используемого переговаривающимися сторонами. В случае несовпадения результатов, исследуются и устраняются причины несовпадений. Если это не удаётся, принимается согласованное решение об использовании на переговорах одного из имеющихся расчётных комплексов.

3.5. Метод определения координационной зоны в приграничных районах стран – участников РСС, имеющих горный рельеф.

В программном обеспечении, используемом Бюро Радиосвязи МСЭ-Р [10] для выработки координационных требований по радиовещательным службам, не учитывается географический рельеф. Это обстоятельство в большинстве случаев порождает необходимость осуществления координации со странами, не нуждающимися в этом. В некоторых случаях требуется координация со странами, чьи границы находятся на расстоянии в несколько сотен километров от места установки планируемых станций, которая по своей сути не являются необходимой. Ниже, на рисунке 13, представлена вырезка из ИФИК-а № 2840, где требуется координация частотных присвоений «Vladikavkaz S O» Российской Федерации с наземными службами Азербайджанской Республики.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
117028915	NOR	586	35	NOR- DTT775NKOM	NOR	ADD	VASSENDEN	GT1	2			19		G
117029004	RUS	586	35	RUS110203067BT	RUS	MODIFY	SANKT PETERBURG LEN	GT1	4	RUS351201		51		
117029005	RUS	586	35	RUS1205030490B T	RUS	MODIFY	VLADIKAVKAZ S O	GT1	2			51		ARM,AZE,GEO,TUR
117028936	NOR	594	36	NOR- DTT552NKOM	NOR	ADD	ÅRDAL 2	GT1	1			18		
117028807	NOR	594	36	NOR- DTT570NKOM	NOR	ADD	BØRVE	GT1	1			21.1		

Рисунок 13. Вырезка из ИФИК-а № 2840

В ходе проведения анализа с использованием Программного обеспечения ATDI были разработаны зоны покрытия сигнала и профили рельефа вышеуказанного присвоения в направлении границы Азербайджанской Республики (Рис. 14, 15)

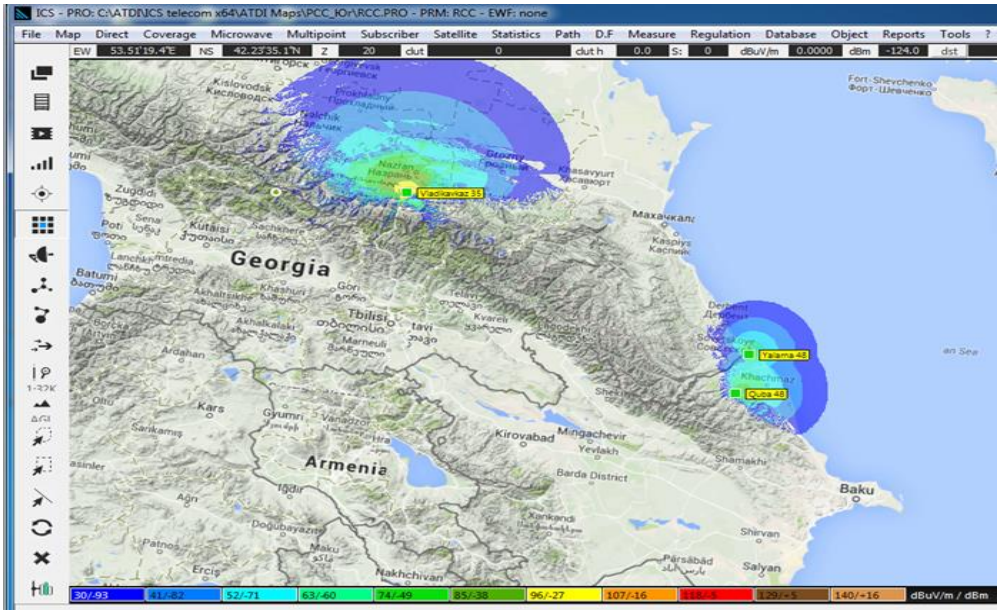


Рисунок 14. Зона покрытия частотного присвоения «Vladikavkaz S O» Российской Федерации.

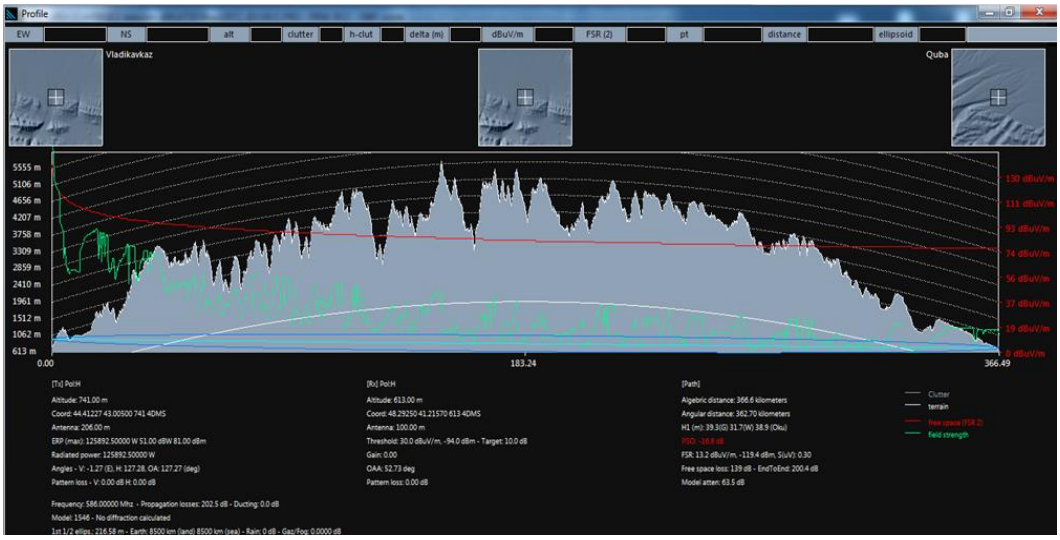


Рисунок 15. Профиль рельефа местности от присвоения «Vladikavkaz S O» в направлении Азербайджанской Республики

Как видно из зоны покрытия и профиля сигналы ТВ станции «Vladikavkaz S O» не могут проникнуть на территорию Азербайджанской Республики из-за горного рельефа в приграничных районах стран.

Принимая во внимание вышеуказанное, в целях упрощения процесса координации частотных присвоений станциям радиовещательной службы в приграничных районах, имеющих горный рельеф, для упрощения процесса координации частотных присвоений между странами-участниками РСС с территориями, на которых расположены горные районы (Таблица 1), может быть использован метод координационной зоны.

Для применения метода координационной зоны необходимо предпринять следующие шаги:

1. Определить существующие или планируемые частотные присвоении в приграничных районах каждой страны, сигналы которых могут проникать на территорию соседней страны;
2. Выбрать максимальную мощность и максимальную высоту подвеса антенны передатчика в существующих или планируемых присвоениях;
3. Провести расчеты зоны покрытия и профили рельефа местности от выбранных присвоений в направлении соседней страны с помощью программного обеспечения, учитывая максимальную выбранную мощность и высоту подвеса антенны передатчика. Во время подготовки профилей рельефа местности могут быть использованы результаты ранее проведенных радиомониторинговых работ.

4. Анализировать зоны покрытия и профиля рельефа местности;
5. Определить точки координационного контура и их координаты, при которых вещательные сигналы не проникают в соседнюю страну.
6. Нумеровать точки координационного контура последовательно и подготовить таблицы с указанием номер и координаты выбранных точек координационного контура.
7. Отметить точки координационного контура на карте и объединить линиями.

Координационные зоны между Администрациями связи Азербайджанской Республикой и Российской Федерацией, Исламской Республикой Иран и Грузией были определены, согласованы и эти координационные зоны успешно используются при координации частотных присвоений с Администрациями связи этих стран.

Пример контура координационной зоны на карте и в табличной форме между Администрациями Связи Азербайджанской Республики и Российской Федерации приведен в Приложении 2.

Приложение 1

МЕТОД РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

1. Максимальные значения напряженности поля

Напряженность поля не должна превышать максимального значения E_{max}, которое определяется следующим образом:

$$E_{max} = E_{fs} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для сухопутных трасс} \quad (1a),$$

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для морских трасс,} \quad (1b),$$

гдеE_{fs} – напряженность поля в свободном пространства для э.и.м. 1 кВт, определяемая как:

$$E_{fs} = 106{,}9 - 20\log(d) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad (2)$$

и E_{se}– усиление, возникающее для кривых для морских трасс и определяемое как:

$$E_{se} = 2{,}38\{1 - \exp(-d/8{,}94)\}\log(50/t) \quad \text{дБ,} \quad (3)$$

где:

d: расстояние (км);

t: процент времени.

В принципе нельзя допускать, чтобы любая поправка, которая повышает напряженность поля, давала значения, превышающие эти пределы для рассматриваемого семейства кривых и расстояния. Однако ограничение максимальных значений следует применять только в случаях, указанных в Приложении 6[2]

2. Определение высоты передающей/базовой антенны

Используемая в расчетах высота передающей/базовой антенны, h_1, зависит от типа и длины трасса и от различных элементов данных о высоте, которые не всегда имеются.

Для морской трассы h_1 соответствует высоте антенны над уровнем моря.

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей/базовой антенны, h_{eff}, определяется как ее высота в метрах над средним уровнем земли на расстояниях 3–15 км от передающей/базовой антенны в направлении приемной/подвижной антенны. Если значение эффективной высоты передающей/базовой антенны, h_{eff}, не известно, эту высоту следует оценить из общей географической информации.

Значение h_1, которое должно использоваться в расчетах, получают с использованием метода, приведенного ниже в пп. 2.1, 2.2 или 2.3, в зависимости от случая.

2.1. Сухопутная трасса длиной менее 15 км

Для сухопутных трасс менее 15 км следует использовать один из приведенных ниже двух методов.

2.1.1. Отсутствие информации о рельефе местности

В случае отсутствия информации о рельефе местности при составлении прогнозов распространения значение h_1 рассчитывают в соответствии с длиной трассы d следующим образом:

$$h_1 = h_a \quad \text{м} \quad \text{для} \quad d \le 3 \text{ км} \tag{4}$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d-3)/12 \quad \text{м} \quad \text{для} \quad 3 \text{ км} < d < 15 \text{ км}, \tag{5}$$

где h_a – высота антенны над землей (например, высота мачты).

2.1.2 Наличие информации о рельефе местности

В случае наличия информации о рельефе местности при прогнозировании распространения:

$$h_1 = h_b \quad \text{м}, \tag{6}$$

где h_b – высота антенны над высотой рельефа местности, усредненной для расстояний в диапазоне $0{,}2d$ и d км. Следует отметить, что использование этого метода для определения h_1может сопровождаться немонотонным моделированием в прогнозируемой напряженности поля при расстоянии свыше 15 км. Хотя это может в действительности иметь место, такое моделирование данной модели может быть нежелательным для некоторых приложений. Поскольку следует избегать немонотонного моделирования, величина h_1должна быть установлена на уровне значения, характерного для таких случаев.

2.2 Сухопутные трассы длиной 15 км и более

Для этих трасс:

$$h_1 = h_{eff} \quad \text{м}. \tag{7}$$

2.3 Морские трассы

Понятие h_1 для полностью морских трасс определяют как физическую высоту антенны над поверхностью моря. Настоящая Рекомендация ненадежна для морской трассы при значениях h_1 меньше приблизительно 3 м, и следует соблюдать абсолютный нижний предел в 1 м.

3. Применение высоты передающей/базовой антенны

Значение h_1 определяет выбор кривой или кривых, из которых надо получить значения напряженности поля, а также экстраполяцию или интерполяцию, которая может потребоваться. При этом выделяют следующие случаи.

3.1 Высота передающей/базовой антенны, h_1, в диапазоне 10–3000 м

Если значение h_1 совпадает с одним из восьми значений высоты, для которых приведены кривые, а именно 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 или 1200 м, то требуемую напряженность поля можно получить непосредственно из приведенной на графике кривой или соответствующих табулированных значений. В противном случае требуемая напряженность поля должна быть интерполирована или экстраполирована из значений напряженности поля, полученных из двух кривых, с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf})\log(h_1 / h_{inf}) / \log(h_{sup} / h_{inf}) \qquad \text{дБ(мкВ/м)}, \qquad (8)$$

где:

h_{inf}: 600 м, если h_1> 1200 м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота меньше h_1;

h_{sup}: 1200 м, если h_1> 1200 м, в противном случае ближайшая номинальная эффективная высота больше h_1;

E_{inf}: значение напряженности поля для h_{inf} на требуемом расстоянии;

E_{sup}: значение напряженности поля для h_{sup} на требуемом расстоянии.

Напряженность поля, получающаяся при экстраполяции для h_1> 1200 м, должна быть при необходимости ограничена так, чтобы она не превышала максимум, определенный в п. 1 данного Приложения 1.

Настоящая Рекомендация не действительна для h_1> 3000 м.

3.2 Высота передающей/базовой антенны, h_1, в диапазоне 0–10 м

Метод для h_1 меньше 10 м зависит от того, проходит ли трасса над сушей или над морем.

Для сухопутной трассы:

Для сухопутной трассы напряженность поля на требуемом расстоянии d км для $0 \le h_1 < 10$ м рассчитывается с использованием уравнения:

$$E = E_{zero} + 0{,}1h_1(E_{10} - E_{zero}) \qquad \text{дБ(мкВ/м)}, \qquad (9)$$

где:

$$E_{zero} = E_{10} + 0{,}5(C_{1020} + C_{h1neg10}) \qquad \text{дБ(мкВ/м)} \qquad (9a)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \qquad \text{дБ} \qquad (9b)$$

$C_{h1neg10}$: поправка C_{h1} в рассчитанной в дБ формуле (12), содержащейся в пункте 3.3, ниже, на требуемом расстоянии для $h_1 = -10$ м;

E_{10} и E_{20}: напряженности поля в дБ(мкВ/м), рассчитанные согласно пункту 4.1, выше, на требуемом расстоянии для $h_1 = 10$ м и $h_1 = 20$ м, соответственно.

Следует иметь в виду, что поправки C_{1020} и $C_{h1neg10}$ должны стремиться к отрицательным величинам.

Для морской трассы:

Следует отметить, что для морской трассы h_1 не должна быть меньше 1 м. Для этой процедуры требуется расстояние, при котором трасса имеет свободное от препятствий пространство в 0,6 первой зоны Френеля от поверхности моря. Это задается уравнением:

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \quad \text{км,} \tag{10a}$$

где f – номинальная частота (МГц), а функция D_{06} определена в п. 15в Рекомендации МСЭ-Р[2].

Если $d > D_{h1}$, то нужно также рассчитать расстояние просвета, составляющее 0,6 зоны Френеля, для морской трассы при высоте передающей/базовой антенны 20 м, которое определяется следующим образом:

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \quad \text{км.} \tag{10b}$$

Тогда напряженность поля для требуемого расстояния d и значения h_1 определяется следующим образом:

$$E = E_{max} \quad \text{дБ(мкВ/м) для} \quad d \le D_{h1} \tag{11a}$$

$$= E_{Dh1} = (E_{D20} - E_{Dh1)} \log(d / D_{h1}) / \log(D_{20} / D_{h1}) \quad \text{дБ(мкВ/м) для} \quad D_{h1} < d < D_{20} \tag{11b}$$

$$= E'(1 - F_s) + E''F_s \quad \text{дБ(мкВ/м) для} \quad d \ge D_{20}, \tag{11c}$$

где:

E_{max}: максимальное значение напряженности поля для требуемого расстояния, определяемое в п. 1 данного Приложения 1;

E_{Dh1}: E_{max} для расстояния D_{h1} в соответствии с п. 1данного Приложения 1;

E_{D20}: $E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20}))\ \log\ (h_1/10)/\log\ (20/10)$;

$E_{10}(x)$: напряженность поля для h_1 = 10 м, интерполированная для расстояния x;

$E_{20}\ (x)$: напряженность поля для h_1 = 20 м, интерполированная для расстояния x;

E' : $E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d))\ \log\ (h_1/10)/\log\ (20/10)$;

E'': напряженность поля для расстояния d, рассчитанная с помощью уравнения (9);

F_S : $(d - D_{20})/d$.

3.3 Отрицательные значения высоты передающей/базовой антенны, h_1

Для сухопутных трасс эффективная высота передающей/базовой антенны, h_{eff}, может иметь отрицательное значение, поскольку ее получают на основе средней высоты рельефа местности на расстояниях 3–15 км. Поэтому h_1 может оказаться отрицательной. В этом случае следует учитывать влияние дифракции, вызываемой близлежащими естественными препятствиями.

Процедура для отрицательных значений h_1 состоит в получении значения напряженности поля для $h_1 = 0$, как описано в п. 3.2, и добавлении поправки C_{h1}, рассчитываемой приведенным ниже способом.

Влияние дифракционных потерь учитывается с помощью поправки, C_{h1}, которая определяется в случаях a) и b) следующим образом:

a) В случае, если база данных о рельефе местности имеется, а потенциальная возможность перелома кривой при переходе вблизи $h_1 = 0$ не имеет значения при применении данной Рекомендации, то угол просвета местности θ_{eff1} от передающей/базовой антенны необходимо рассчитывать как угол места для линии, которая как раз проходит, не задевая все препятствия на местности на расстоянии до 15 км от передающей/базовой антенны в направлении приемной/подвижной антенны (но не проходит за нее). Этот угол просвета, который должен иметь положительное значение, следует использовать вместо θ_{tca} в уравнении (32c) в методе поправки на угол просвета местности, приведенном в п. 11 данного Приложения 1, чтобы получить C_{h1d}. Следует иметь в виду, что применение этого метода может привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_1 = 0$.

b) В случае, если база данных о рельефе местности отсутствует, или если база данных о рельефе местности имеется, но данный метод не должен привести к перелому кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_1 = 0$, то (положительный) эффективный угол просвета местности θ_{eff2} можно рассчитать в предположении наличия препятствия высотой h_1 на расстоянии 9 км от передающей/базовой антенны. Следует отметить, что этот метод используется для трасс любой длины, даже если они короче 9 км. Другими словами, местность считают приблизительно соответствующей неравномерному клину на расстоянии 3–15 км от передающей/базовой антенны, среднее значение для которого получается при 9 км, как показано на Рис. 1. Этот метод не так явно учитывает изменения рельефа, зато гарантирует также отсутствие перелома кривой напряженности поля при переходе вблизи $h_1 = 0$. Поправка, которая добавляется к напряженности поля в этом случае, рассчитывается по следующему уравнению:

$$C_{h1} = 6{,}03 - J(\nu) \qquad \text{дБ,} \tag{12}$$

где:

$$J(\nu) = \left[6{,}9 + 20\log\left(\sqrt{(\nu - 0{,}1)^2 + 1} + \nu - 0{,}1 \right) \right] \text{при } \nu > -0{,}7806 \tag{12a}$$

$$J(\nu) = 0\text{, иначе} \tag{12b}$$

$$\nu = K_\nu \theta_{eff\,2} \tag{12c}$$

и

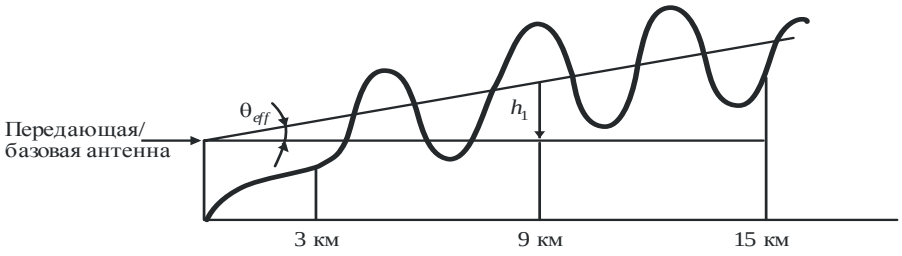
$$\theta_{eff\,2} = \arctan(-h_1 / 9\,000) \qquad \text{градусы} \tag{12d}$$

K_ν = 1,35 для 100 МГц

K_ν = 3,31 для 600 МГц

K_ν = 6,00 для 2000 МГц.

Эффективный угол просвета для $h_1 < 0$



θ_{eff}: эффективный угол просвета местности (позитивный)
h_1: использованная в расчетах высота передающей/ базовой антенны

P.1546-25

Рис.1

Эту поправку, значение которой всегда меньше нуля, добавляют к значению напряженности поля, полученному для $h_1 = 0$.

4. Интерполяция напряженности поля в зависимости от расстояния

На рисунках 1–24 (Приложение 2 [2])приведены графики зависимости напряженности поля от расстояния d в диапазоне 1−1000 км. Не требуется никакой интерполяции для расстояния, если значения напряженности поля считываются непосредственно по этим графикам. Для повышения точности и для предоставления возможности использования компьютера для расчетов значения напряженности поля следует получать из соответствующих таблиц (см. п. 3 Приложения 1). В этом случае, если только d не совпадает с одним из табулированных расстояний (таблица 1), напряженность поля E (дБ(мкВ/м)) необходимо линейно интерполировать по логарифму расстояния с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d / d_{inf}) / \log(d_{sup} / d_{inf}) \qquad \text{дБ(мкВ/м),} \tag{13}$$

где:

d: расстояние, для которого требуется прогноз;

d_{inf}: ближайшее расстояние по таблице, меньшее чем d;

d_{sup}: ближайшее расстояние по таблице, большее чем d;

E_{inf}: значение напряженности поля для d_{inf};

E_{sup}: значение напряженности поля для d_{sup}.

Настоящая Рекомендация не действительна для значений d больше 1000 км.

5.Интерполяция и экстраполяция напряженности поля в зависимости от частоты

Значения напряженности поля для требуемой частоты следует получать путем интерполяции между значениями для номинальных частот в 100, 600 и 2000 МГц. Для частот ниже 100 МГц или выше 2000 МГц интерполяция должна быть заменена экстраполяцией от двух самых близких значений номинальной частоты. Для большинства трасс можно использовать интерполяцию или экстраполяцию логарифма частоты, но для некоторых морских трасс, когда требуемая частота ниже 100 МГц, необходимо использовать другой метод.

Для сухопутных трасс или для морских трасс, если требуемая частота выше 100 МГц, требуемая напряженность поля E рассчитывается следующим образом:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf})\log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \qquad (14)$$

где:

f: частота, для которой требуется прогноз (МГц);

f_{inf}: нижняя номинальная частота (100 МГц при f< 600 МГц, в противном случае 600 МГц);

f_{sup}: верхняя номинальная частота (600 МГц при f< 600 МГц, в противном случае 2000 МГц);

E_{inf}: значение напряженности поля для f_{inf};

E_{sup}: значение напряженности для f_{sup}.

Для морских трасс с требуемой частотой меньше 100 МГц следует использовать другой метод на основе длины трассы, для которой 0,6 первой зоны Френеля как раз свободно от препятствий на поверхности моря. Метод приблизительного расчета этого расстояния приведен в п. 17.

Этот другой метод необходимо использовать, если выполняются все из перечисленных ниже условий:

– Трасса является морской.

– Требуемая частота ниже 100 МГц.

– Требуемое расстояние меньше расстояния, при котором морская трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на частоте 600 МГц, задаваемый с помощью $D_{06}(600, h_1, 10)$(Приложение17[2]).

Если не выполняется любое из приведенных выше условий, следует использовать стандартный метод интерполяции или экстраполяции, определяемый уравнением (14).

Если выполняются все приведенные выше условия, то требуемая напряженность поля должна рассчитываться следующим образом:

$$E = E_{max} \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для} \quad d \le d_f \qquad (15a)$$

$$= E_{df} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \log(d / d_f) / \log(d_{600} / d_f) \quad \text{дБ(мкВ/м)} \quad \text{для} \quad d > d_f, \qquad (15b)$$

где:

E_{max}: максимальное значение напряженности поля на требуемом расстоянии в соответствии с п. 1 данного Приложения 1;

E_{d_f}: максимальное значение напряженности поля на расстоянии d_f в соответствии с п. 1 данного Приложения 1;

d_{600}: расстояние, на котором трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на частоте 600 МГц и которое рассчитывается как $D_{06}(600, h_1, 10)$ в соответствии с п. 17;

d_f: расстояние, на котором трасса имеет просвет в 0,6 зоны Френеля на требуемой частоте и которое рассчитывается как $D_{06}(f, h_1, 10)$ в соответствии с п. 17;

$E_{d_{600}}$: напряженность поля на расстоянии d_{600} и на требуемой частоте, рассчитываемая с помощью уравнения (14).

6. Интерполяция напряженности поля в зависимости от процента времени

Значения напряженности поля для заданного процента времени между 1% и 50% времени необходимо рассчитывать путем интерполяции между номинальными значениями для 1% и 10% или между номинальными значениями для 10% и 50% времени с помощью следующего уравнения:

$$E = E_{sup}(Q_{inf} - Q_t)/(Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf}(Q_t - Q_{sup})/(Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \qquad (16)$$

где:

t: процент времени, для которого требуется прогноз;

t_{inf}: нижний номинальный процент времени;

t_{sup}: верхний номинальный процент времени;

$Q_t = Q_i\ (t/100)$;

$Q_{inf} = Q_i\ (t_{inf}/100)$;

$Q_{sup} = Q_i\ (t_{sup}/100)$;

E_{inf}: значение напряженности поля для процента времени t_{inf};

E_{sup}: значение напряженности поля для процента времени t_{sup},

где $Q_i(x)$ – обратная дополнительная функция кумулятивного нормального распределения.

Настоящая Рекомендация действительна для значений напряженности поля, превышаемых только в течение процентов времени в диапазоне 1–50%.

Интерполяция за пределами диапазона 1–50% времени неприменима.

Приближенное представление функции $Q_i(x)$ приведено в п. 16 [2].

ТАБЛИЦА 1

Значения расстояния (км), использованные в таблицах напряженности поля

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1 000

7. Смешанные трассы

В приведенном ниже описании метода для смешанных трасс используются $E_{land}(d)$ и $E_{sea}(d)$ для обозначения напряженности поля на расстоянии d от передающей/базовой антенны при репрезентативной высоте местных препятствий на приемной/подвижной антенне, R_2, для полностью сухопутных и полностью морских трасс, соответственно, с интерполяцией/экстраполяцией при необходимости по высоте передающей/ базовой антенны h_1, частоте и проценту времени.

Для определения напряженности поля для любой смешанной трассы с сухопутными и морскими участками следует выполнить приведенные ниже шаги. Если трасса одновременно включает участки холодного и теплого моря, для расчета $E_{sea}(d)$ следует использовать кривые для теплого моря. Значение h_1 необходимо рассчитывать в соответствии с п. 2данного Приложения 1, принимая высоту поверхности моря так, как это делается для суши. Обычно это значение h_1 используют как для $E_{land}(d)$, так и для $E_{sea}(d)$. Однако при h_1 меньше 3 м его следует по-прежнему использовать для $E_{land}(d)$, но для $E_{sea}(d)$ надо использовать значение 3 м.

Напряженность поля для смешанной трассы, E, определяется следующим выражением:

$$E = (1-A)\cdot E_{land}(d_{total}) + A\cdot E_{sea}(d_{total}) \qquad (17)$$

с коэффициентом интерполяции для смешанной трассы A, определяемым следующим образом:

$$A = A_0(F_{sea})^V, \quad (18)$$

где F_{sea} – доля трассы над морем, а $A_0(F_{sea})$ – базовый коэффициент интерполяции, приведенный на рисунке 2 и представленный уравнением:

$$A_0(F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3}, \quad (19)$$

V рассчитывается с помощью выражения:

$$V = \max\left[1{,}0; 1{,}0 + \frac{\Delta}{40{,}0}\right] \quad (20)$$

с

$$\Delta = E_{sea}(d_{total}) - E_{land}(d_{total}) \quad (21)$$

Данное руководство завершает обсуждение метода для смешанных трасс, использующего базовые кривые, приведенные в Приложениях 2–4Рекомендации МСЭ-Р [2]. Однако соответствующий тип прибрежной полосы на картах районов прибрежной зоны, представленных на карте мира МСЭ в цифровой форме (IDWM), не следует истолковывать в качестве зон прибрежной полосы в следующем контексте.

Метод для смешанных трасс, приведенный в уравнении (17), носит общий характер. Его можно применять также к случаям, когда семейства кривых напряженности поля определены для разных зон распространения. (Например, различные зоны распространения можно было бы точно определить путем внесения изменений в базовые кривые напряженности поля, приведенные в Приложениях 2–4Рекомендации МСЭ-Р [2], использовав метод, представленный в Приложении 7Рекомендации МСЭ-Р [2], или иной альтернативный метод определения зон, например тот, который был использован в Соглашении GE06.Эти различные определения зон, вероятно, могут включать зоны прибрежной полосы, однако они определены в качестве отдельных зон распространения с условиями распространения, которые больше подходят для морских трасс, чем для сухопутных.) Если к тому же необходимо рассчитать напряженность поля для смешанной трассы, пересекающей две или более различные зоны распространения, то рекомендуется использовать следующий метод для смешанной трассы:

а) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях зон распространения, при которых нет переходов между сушей и морем или сушей и прибрежной полосой, используется приведенная ниже процедура расчета напряженности поля:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}), \qquad (22)$$

где:

E: напряженность поля для смешанной трассы (дБ(мкВ/м));

$E_i(d_{total})$: напряженность поля для трассы в зоне i, равной по длине смешанной трассе (дБ(мкВ/м));

d_i: длина трассы в зоне i;

d_{total}: длина всей трассы,

b) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях зон распространения, при которых имеется только одна категория распространения по сухопутному участку и одна категория распространения в морской или в береговой зоне, используется уравнение (22);

c) для всех частот и всех процентов времени при таких сочетаниях трех или более зон распространения, в которых имеется только одна граница между сушей и морем или между сушей и береговой зоной, используется приведенная ниже процедура расчета напряженности поля:

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}}, \qquad (23)$$

где:

E: напряженность поля для смешанной трассы (дБ(мкВ/м));

$E_{land,i}$: напряженность поля для сухопутного участка трассы i, равного по длине смешанной трассе, i = 1, ..., n_l; n_lравно числу пересекаемых сухопутных зон (дБ(мкВ/м));

$E_{sea,j}$: напряженность поля для морского и прибрежного участков трассы j, равного по длине смешанной трассе, j = 1, ..., n_s; n_sравно числу пересекаемых морских и береговых зон (дБ(мкВ/м));

A: коэффициент интерполяции, приведенный в п. 8.1 Приложения 5 (отметим, что "доля трассы, проходящей над морем" рассчитывается как $\frac{d_{sT}}{d_{total}}$);

d_i, d_j: длина трассы в зонах i, j;

d_{lT}: длина всего сухопутного участка трассы $= \sum_{i=1}^{n_l} d_i$;

d_{sT}: общая длина морского и прибрежного участков трассы $= \sum_{j=1}^{n_s} d_j$;

d_{total}: длина всей трассы распространения $= d_{lT} + d_{sT}$.

7.1 Коэффициент интерполяции *A* для смешанной трассы, применимый для метода, который был утвержден РКР-06

Используются следующие обозначения:

N_s: общее число морских и береговых зон;

n: номер морской или береговой зоны трассы; n = 1, 2, ...,N_s;

M_l: общее число сухопутных зон;

m: номер сухопутной зоны трассы; m = 1, 2, ...,M_l;

d_{sn}: расстояние, проходимое в морской или береговой зоне n (км);

d_{lm}: расстояние, проходимое в сухопутной зоне m (км).

Тогда:

$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn}$: общая длина проходимых морских и прибрежных участков трассы (24a)

$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm}$: общая длина проходимых сухопутных участков трассы (24b)

$d_T = d_{sT} + d_{lT}$: длина всей трассы распространения. (24c)

Необходимы следующие значения напряженности поля:

$E_{sn}(d_{total})$: значение напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для расстояния d_{total}, которое предполагается находящимся целиком в морской или береговой зоне типа n;

$E_{lm}(d_{total})$: значение напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для расстояния d_{total}, которое предполагается находящимся целиком в сухопутной зоной типа m.

Коэффициент интерполяции[1], A, задается уравнениями (18)–(20), но когда доля трассы проходит над морем, F_{sea}, как показано на рисунке 26 и в уравнении (18), которая определяется уравнением

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_{total}}, \quad (25)$$

Δ, используемая в уравнении (20), теперь определяется следующим выражением:

[1] Коэффициент интерполяции пригоден для всех частот и всех процентов времени. Необходимо отметить, что интерполяция применяется только к:
- смешанным морским и сухопутным трассам;
- смешанным прибрежным и сухопутным трассам;
- к смешанным сухопутным и (морским + прибрежным) трассам,

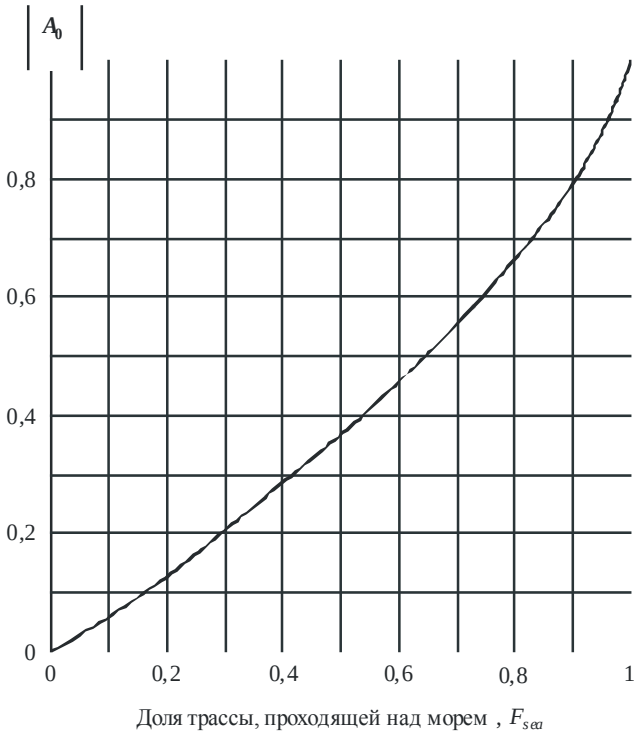
но не к:
- сочетанию сухопутных трасс;
- или любым сочетаниям морскихи/илиприбрежных трасс.

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_{total}) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_{total}) \frac{d_{lm}}{d_{lT}} . \qquad (26)$$

На рисунке 2 приведен $A_0(F_{sea},)$, который применим для всех процентов времени.

РИСУНОК 2

Базовый коэффициент интерполяции, A_0, для смешанной трассы распространения



8. Поправка на высоту приемной/подвижной антенны

Значения напряженности поля, даваемые кривыми для сухопутных трасс и соответствующими таблицами в настоящей Рекомендации, предназначены для эталонной приемной/подвижной антенны с высотой, равной или выше высоты наземного покрова вокруг приемной/подвижной антенны, R_2, и 10 м. Примерами эталонной высоты могут служить 20 м для городского района, 30 м для городского района плотной застройки и 10 м для пригородного района. Для морских трасс номинальным значением R_2 является 10 м.

Если приемная/подвижная антенна находится на суше, то прежде всего надо учесть угол места падающего луча путем расчета модифицированной высоты репрезентативного местного препятствия R_2' (м), определяемой следующим выражением:

$$R_2' = (1000 d R_2 - 15 h_1)/(1000 d - 15) \quad \text{м}, \qquad (27)$$

где h_1 и R_2выражены в м, а горизонтальное расстояние d – в км. Репрезентативная высота местного препятствия R_2' рассчитывается таким образом, что представляет эталонную точку высоты для приемника, расположенного на расстоянии 15 м за препятствием на пути скользящего падения луча от передатчика.

Репрезентативная высота R_2' представляет эталонную высоту, на которой приемник будет испытывать воздействие скользящего падения (ν = 0).

Необходимо отметить, что $R_2' \approx R_2$при $h_1 < 6{,}5d + R_2$.

При необходимости значение R_2' должно быть ограничено так, чтобы оно было не меньше 1 м.

Если приемная/подвижная антенна находится в городском районе, то тогда поправка задается следующим выражением:

Поправка $= 6{,}03 - J(\nu)$ дБ для $h_2 < R_2'$ (28a)

$= K_{h2} \log(h_2 / R_2')$ дБ для $h_2 \geq R_2'$, (28b)

где $J(\nu)$ определяется уравнением (12a),

и

$$\nu = K_{nu} \sqrt{h_{dif\,2} \theta_{clut\,2}} \quad (28c)$$

$$h_{dif\,2} = R_2' - h_2 \quad \text{м} \quad (28d)$$

$$\theta_{clut2} = \arctan(h_{dif\,2} / 27) \quad \text{градусы} \quad (28e)$$

$$K_{h2} = 3{,}2 + 6{,}2 \log(f) \quad (28f)$$

$$K_{nu} = 0{,}0108 \sqrt{f} \quad (28g)$$

f: частота (МГц).

В городском районе в случаях, когда R_2' меньше 10 м, поправка, задаваемая уравнением (28a) или (28b), должна быть уменьшена на $K_{h2}\log(10/R_2')$.

Когда приемная/подвижная антенна находится на суше в сельском районе или в открытой местности, поправка задается уравнением (28b) для всех значений h_2, установив R_2' равным 10 м.

В приводимом ниже тексте выражение "рядом с морем" относится к тем случаем, когда приемная/подвижная антенна находится либо над морем, либо в непосредственной близости к морю без существенных препятствий в направлении передающей/базовой станции.

Когда приемная/подвижная антенна рядом с морем имеет $h_2 \geq 10$ м, поправку следует рассчитывать с помощью уравнения (28b), установив R_2' равным 10 м.

Когда приемная/подвижная антенна рядом с морем имеет $h_2 < 10$ м, следует использовать другой метод, основанный на длине трассы, для которой 0,6 зоны Френеля как раз проходит над препятствиями на поверхности моря. Метод приблизительного расчета этого расстояния приведен в п. 18(Приложение 5[2]).

Расстояние d_{10}, на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения h_1 и для h_2 = 10 м, следует рассчитать как $D_{06}(f, h_1, 10)$ в п. 18.

Если требуемое расстояние равно или больше чем d_{10}, то вновь поправку к требуемому значению h_2 необходимо рассчитать с помощью уравнения (28b), установив R_2' равным 10 м.

Если требуемое расстояние меньше чем d_{10}, то поправку, которую надо добавить к значению напряженности поля E, необходимо рассчитать следующим образом:

$$\text{Поправка} = 0{,}0 \text{ дБ для } d \leq d_{h2} \quad (29a)$$

$$= C_{10}\log(d/d_{h2})/\log(d_{10}/d_{h2}) \text{ дБ для } d_{h2} < d < d_{10}, \quad (29b)$$

где:

C_{10}: поправка для требуемого значения h_2 на расстоянии d_{10} по уравнению (28b) при R_2' равном 10 м;

d_{10}: расстояние, на котором трасса как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для h_2= 10 м и которое рассчитывается как $D_{06}(f, h_1, 10)$, определяемое в п. 18;

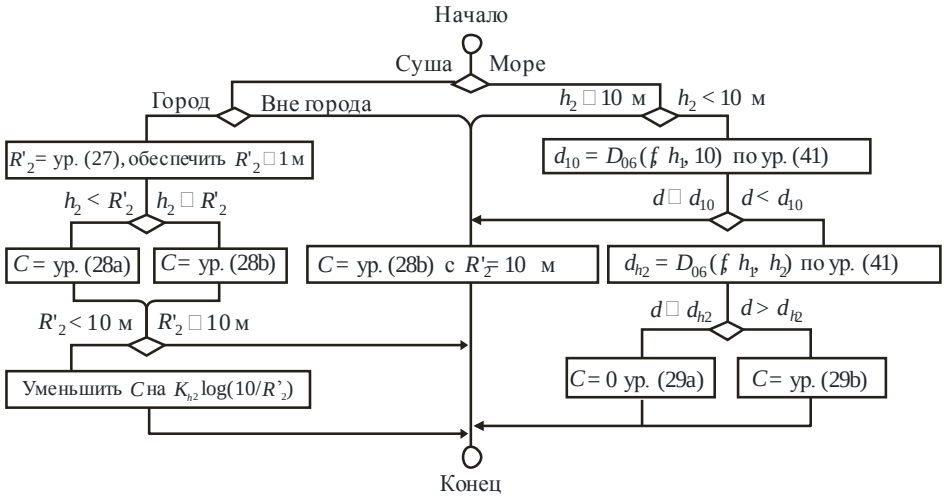
d_{h2}: расстояние, на котором канал как раз имеет просвет в 0,6 зоны Френеля для требуемого значения h_2 и которое рассчитывается как $D_{06}(f, h_1, h_2)$, определяемое в п. 18.

Настоящая Рекомендация не действительна для высоты приемной/подвижной антенны, h_2, менее 1 м вблизи берега или меньше 3 м вблизи моря.

Вышеуказанная полная поправка для высоты приемной/подвижной антенны приведена на блок-схеме на рисункеЗ.

РИСУНОК 3

Блок-схема для поправки к высоте приемной/подвижной антенны



9. Поправка на подверженный влиянию местных препятствий приемник

Эта поправка применяется в случае, если передающий/базовый терминал находится выше или рядом с сушей, на которой находится препятствие. Поправку следует применять во всех таких случаях, в том числе в случае, если антенна находится выше высоты препятствия. Поправка равна нулю, если терминал выше, чем зависимая от частоты высота просвета над препятствием.

$$\text{Поправка} = -J(\nu) \quad \text{дБ,} \tag{30a}$$

где $J(\nu)$ задается уравнением (12a) или (12b),

и

$$\nu = K_{nu}\sqrt{h_{dif1}\theta_{clut1}} \quad \text{при } R_1 \geq h_a \tag{30b}$$

$$= -K_{nu}\sqrt{h_{dif1}\theta_{clut1}} \quad \text{иначе} \tag{30c}$$

$$h_{dif1} = h_a - R_1 \quad \text{м} \tag{30d}$$

$$\theta_{clut1} = \arctan(h_{dif1}/27) \quad \text{градусы} \tag{30e}$$

$$K_{nu} = 0{,}0108\sqrt{f} \tag{30f}$$

f: частота (МГц).

R_1 – высота препятствия, m, над поверхностью земли вблизи передающего базового терминала.

10. Поправка на угол просвета местности

Для сухопутных трасс в случае нахождения приемной/подвижной антенны на сухопутном участке смешанной трассы, если требуется более высокая точность для прогнозирования напряженности поля в условиях приема в конкретных зонах, например в небольшой зоне приема, можно ввести поправку на угол просвета местности. Угол просвета местности определяется выражением:

$$\theta_{tca} = \theta \quad \text{градусы,} \tag{31}$$

где θ – угол места для линии от приемной/подвижной антенны, которая как раз проходит, не задевая всех препятствий на местности в направлении передающей/базовой антенны на расстоянии до 16 км, но не выходит за передающую/базовую антенну.

При расчете θ не нужно учитывать кривизну поверхности Земли. Угол θ_{tca} должен быть ограничен так, чтобы он был не менее +0,55° или не более +40,0°.

Когда имеется соответствующая информация об угле просвета местности, то поправка, добавляемая к напряженности поля, рассчитывается следующим образом:

$$\text{поправка} = J(\nu') - J(\nu) \quad \text{дБ,} \tag{32a}$$

где $J(\nu)$ определяется уравнением (12a):

$$\nu' = 0{,}036\sqrt{f}\ ; \tag{32b}$$

$$\nu = 0{,}065\,\theta_{tca}\sqrt{f}\ ; \tag{32c}$$

θ_{tca}: угол просвета местности (градусы);

f: требуемая частота (МГц).

Следует отметить, что кривые напряженности поля для сухопутной трассы учитывают потери за счет типичного экранирования приемной/подвижной антенны плавно закругляющейся местностью. Поэтому поправки на угол просвета местности оказываются нулевыми при малом положительном угле, типичном для положений приемной/подвижной антенны.

На рисунке 4 иллюстрируется поправка на угол просвета местности для номинальных частот.

11. Изменчивость в зависимости от места в прогнозах сухопутной зоны покрытия

Методы прогнозирования зоны покрытия предназначены для получения статистических данных об условиях приема в данной зоне, а не в той или иной точке.

Интерпретация таких статистических данных зависит от размера рассматриваемой зоны.

Когда один терминал на трассе радиосигнала является стационарным, а другой перемещается, потери на трассе будут непрерывно меняться в зависимости от места в соответствии с совокупностью влияний на него. Такие влияния целесообразно подразделить на три основные категории:

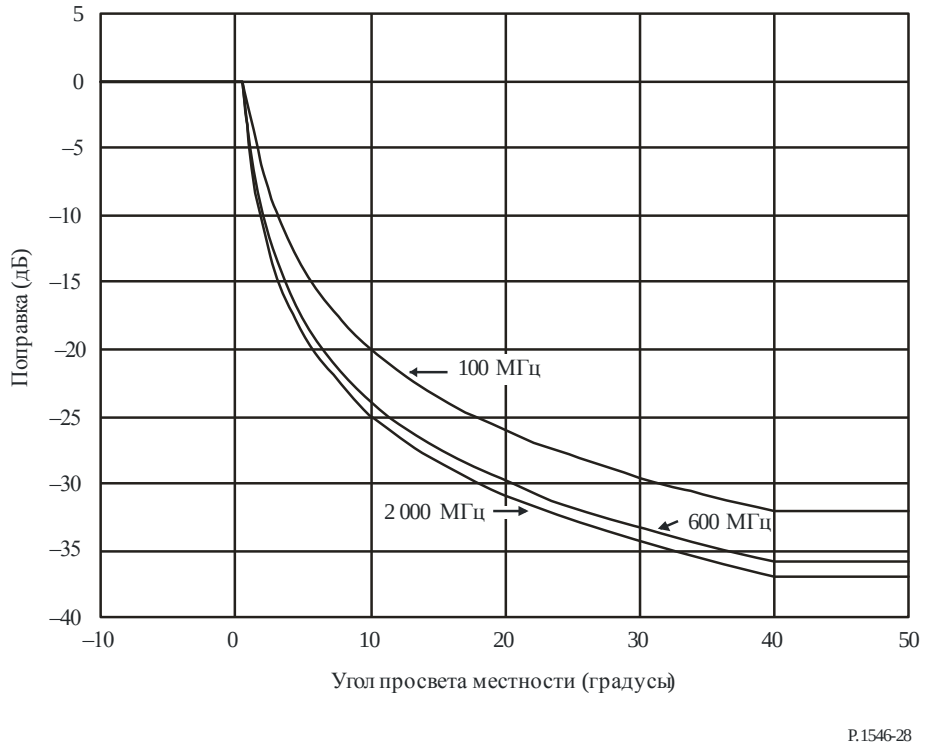
Изменения многолучевости: изменения сигнала, возникающие в масштабе порядка длины волны за счет векторного сложения эффектов многолучевого распространения, например отражений от земной поверхности, зданий и т. д. Обычно статистика таких изменений, как установлено, подчиняется рэлеевскому распределению.

Местные изменения наземного покрова: изменения сигнала, возникающие за счет препятствий, создаваемых наземным покровом в непосредственной близости, например зданиями, деревьями и т. д., в масштабе, соответствующем размеру таких объектов. Масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем для изменений многолучевости.

Изменения трассы: изменения сигнала, которые возникают за счет изменения геометрии всей трассы распространения, например при наличии холмов и т. п. Для всех трасс, кроме очень коротких, масштаб таких изменений обычно бывает существенно больше, чем при местных изменениях наземного покрова.

РИСУНОК 4

Угол просвета местности (градусы)



В настоящей Рекомендации, как правило, изменчивость в зависимости от места относится к пространственной статистике местных изменений наземного покрова. Эти данные полезны для масштабов, существенно превышающих изменения наземного покрытия и в которых изменения трассы оказываются незначительными. Поскольку изменчивость в зависимости от места определяется без учета изменений многолучевости, то она не зависит от ширины полосы системы.

При планировании радиосистем необходимо также принимать во внимание эффекты многолучевого распространения. Влияние таких эффектов зависит от системы и определяется шириной полосы, модуляцией и схемой кодирования. Руководство по моделированию этих эффектов приведено в Рекомендации МСЭ-R P.1406.

Изменчивость в зависимости от места определяется по-разному. В некоторых текстах она определяется как относящаяся к колебанию дополнительных потерь на трассе по всей зоне обслуживания передатчика, включая, таким образом, полное влияние рельефа местности, помимо дополнительного влияния местного экранирования. В других случаях она относится к колебанию потерь на трассе для всех точек, находящихся в определенном радиусе действия от передатчика. Третье определение относится к колебанию напряженности поля на небольшой территории, обычно представленной в виде квадрата со стороной от 500 м до 1 км.

Поскольку метод, представленный в Рекомендации МСЭ-Р [2]., включает поправку для h_2, учитывающую окружающие условия (п. 8 данного Приложения 1), и позволяет использовать угол просвета местности, зависящий от ее рельефа (п. 10данного Приложения 1), то существует риск двойного учета этого влияния при применении поправок на изменчивость в зависимости от места.

Представленный ниже метод позволяет осуществить оценку изменчивости в зависимости от места на территории небольшого района и подходит для случаев, когда угол просвета местности применяется для того, чтобы более точно определить местные медианные уровни напряженности поля.

В тех случаях, когда угол просвета местности не применяется, соответствующее значение изменчивости в зависимости от места будет выше и, как правило, будет изменяться пропорционально радиусу зоны обслуживания, поскольку учитывает широкое разнообразие рельефов местности и влияние местных препятствий.

Широкий анализ данных позволяет предположить, что распределение медианного уровня напряженности поля из-за изменчивости наземного покрытия для таких зон в городских и пригородных районах соответствует логарифмическому нормальному распределению.

Так, при нахождении приемной/подвижной антенны в сухопутной зоне напряженность поля E, которая будет превышаться для q% мест, определяется следующим образом:

$$E(q) = E(\text{медиана}) + Q_i(q/100)\sigma_L(f) \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (33)$$

где:

$Q_i(x)$: обратное дополнительное кумулятивное нормальное распределение в зависимости от вероятности;

σ_L: стандартное отклонение гауссовского распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне.

Приближенное представление функции $Q_i(x)$ приведено в п. 16 (Приложение 5 Рекомендации МСЭ-Р [2]).

Значения стандартного отклонения зависят от частоты и среды, и эмпирические исследования показали, что они имеют существенный разброс. Репрезентативные значения для зон размером 500 м × 500 м определяются следующим выражением:

$$\sigma_L = K + 1{,}3\log(f) \quad \text{дБ}, \quad (34)$$

где:

K = 1,2 для приемников с антеннами ниже высоты местных препятствий в городских или пригородных районах для подвижных систем с всенаправленными антеннами на высоте крыши автомобиля;

K = 1,0 для приемников с антеннами, установленными на крыше вблизи высоты местных препятствий;

K = 0,5 для приемников в сельских районах;

f: требуемая частота (МГц).

Как отмечалось выше, если зона, к которой должна относиться изменчивость, больше 500 м × 500 м или если речь идет об изменчивости, относящейся ко всем зонам в заданном интервале, а не об изменениях внутри отдельной зоны, значение σ_L оказывается больше. Эмпирические исследования показали, что изменчивость в зависимости от места возрастает (в отношении значений для небольших районов) не более чем на 4 дБ для радиуса в 2 км и не более чем на 8 дБ – для радиуса в 50 км.

Процент мест q может меняться от 1 до 99. Настоящая Рекомендация не действительна для процентов мест меньше 1% или больше 99%. Приведенные выше значения недействительны для расстояний менее 1 км.

Поправка в зависимости от места не вводится, когда приемная/подвижная антенна находится рядом с морем.

Следует отметить, что для некоторых целей планирования (например, для многосторонних планов выделения) обычно необходимо использовать определение "изменчивости в зависимости от места" с учетом известной степени многолучевого замирания. Это позволяет рассматривать случаи подвижного приемника, постоянно находящегося в многолучевом нуле, или антенны на крыше, когда надо принимать несколько частот, а антенна не может быть оптимально установлена для всех частот. Кроме того, при таком планировании может также потребоваться учет изменчивости в большей зоне, чем предполагается в настоящей Рекомендации.

В этом контексте для планирования ряда служб радиосвязи оказались пригодными значения, приведенные в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Значения изменчивости, используемые в некоторых случаях планирования

	Стандартное отклонение (дБ)		
	100 МГц	**600 МГц**	**2000 МГц**
Цифровое радиовещание	5,5	5,5	5,5

12. Ограничение поля в силу тропосферного рассеяния

Существует вероятность того, что напряженность поля, рассчитанная с использованием методов, приведенных в пунктах 1–12 настоящего Приложения 1, занижена, поскольку не было полностью учтено тропосферное рассеяние.

В случае наличия информации рельефе местности предполагаемое значение поля, обусловленное тропосферным рассеянием, следует рассчитывать, прибегнув к следующей процедуре. Это предполагаемое значение может затем использоваться в качестве "минимального" для всего прогнозирования напряженности поля (п.9 Приложения1).

Рассчитывается угол рассеяния на трассе в градусах, θ_s, используя формулу:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \qquad \text{градусы,} \qquad (35)$$

где:

θ_{eff}: угол просвета местности терминала h_1 в градусах, рассчитанный с использованием метода, приведенного в подпункте а) пункта 4.3, независимо от того, какое значение имеет h_1, положительное или отрицательное (градусы);

θ: угол просвета местности терминала h_2 в градусах, рассчитанный как показано в п. 11, имея в виду, что это угол места относительно местной горизонтали (градусы);

d: длинна трассы (км);

a: 6370 км, радиус Земли;

k: 4/3, эффективный коэффициент радиуса Земли для медианных условий рефракции.

Если θ_s меньше нуля, устанавливается θ_s равный нулю.

Рассчитывается напряженность поля, спрогнозированная для тропосферного рассеяния E_{ts}, с использованием формулы:

$$E_{ts} = 24{,}4 - 20\log(d) - 10\,\theta_s - L_f + 0{,}15N_0 + G_t \qquad \text{дБ (мкВ/м),} \qquad (36)$$

где:

L_f = потери, зависящие от частоты;

$$= 5\log(f) - 2{,}5(\log(f) - 3{,}3)^2 \qquad (36а)$$

N_0 = 325, рефракция медианной поверхности, в единицах N, типичных для измерений в умеренном климате;

G_t = усиление в зависимости от времени;

$= \quad 10{,}1\left(-\log(0{,}02t)\right)^{0{,}7}$; (36b)

d: длина трассы или требуемое расстояние (км);

f: требуемая частота (МГц);

t: требуемый процент времени.

13. Разница значений высоты антенн

Для учета разницы значений высоты двух антенн требуется поправка.

Эта поправка рассчитывается следующим образом:

$$\text{Поправка} = 20\log\left(\frac{d}{d_{slope}}\right) \quad \text{дБ,} \qquad (37)$$

где d – горизонтальное расстояние, а наклонное расстояние, d_{slope}, задается следующим образом.

Если имеется информация о рельефе местности, используется:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6}\left[\left(h_a + h_{tter}\right) - \left(h_2 + h_{rter}\right)\right]^2} \quad \text{км.} \qquad (37a)$$

Если информации о рельефе местности не имеется, используется:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6}\left(h_a - h_2\right)^2} \quad \text{км,} \qquad (37b)$$

h_{tter} и h_{rter} – высота местности в метрах над уровнем моря в местах размещения передающего/базового и приемного/подвижного терминалов, соответственно.

Обусловливаемая уравнением (37a) геометрия гипотенузы нереалистична для трасс, протяженность которых достаточно велика для того, чтобы стала значимой кривизна земной поверхности, но для таких протяженных трасс соответствующая ошибка является пренебрежимо малой. Задаваемая уравнением (37) поправка весьма мала, за исключением коротких трасс и высоких значений h_1, однако рекомендуется использовать эту поправку во всех случаях во избежание принятия произвольного решения в качестве точного.

14. Эквивалентные базовые потери при передаче

При необходимости базовые потери при передаче, эквивалентные заданной напряженности поля, определяются с помощью следующего выражения:

$$L_b = 139{,}3 - E + 20\log f \quad \text{дБ,} \qquad (40)$$

где:

L_b: базовые потери при передаче (дБ);

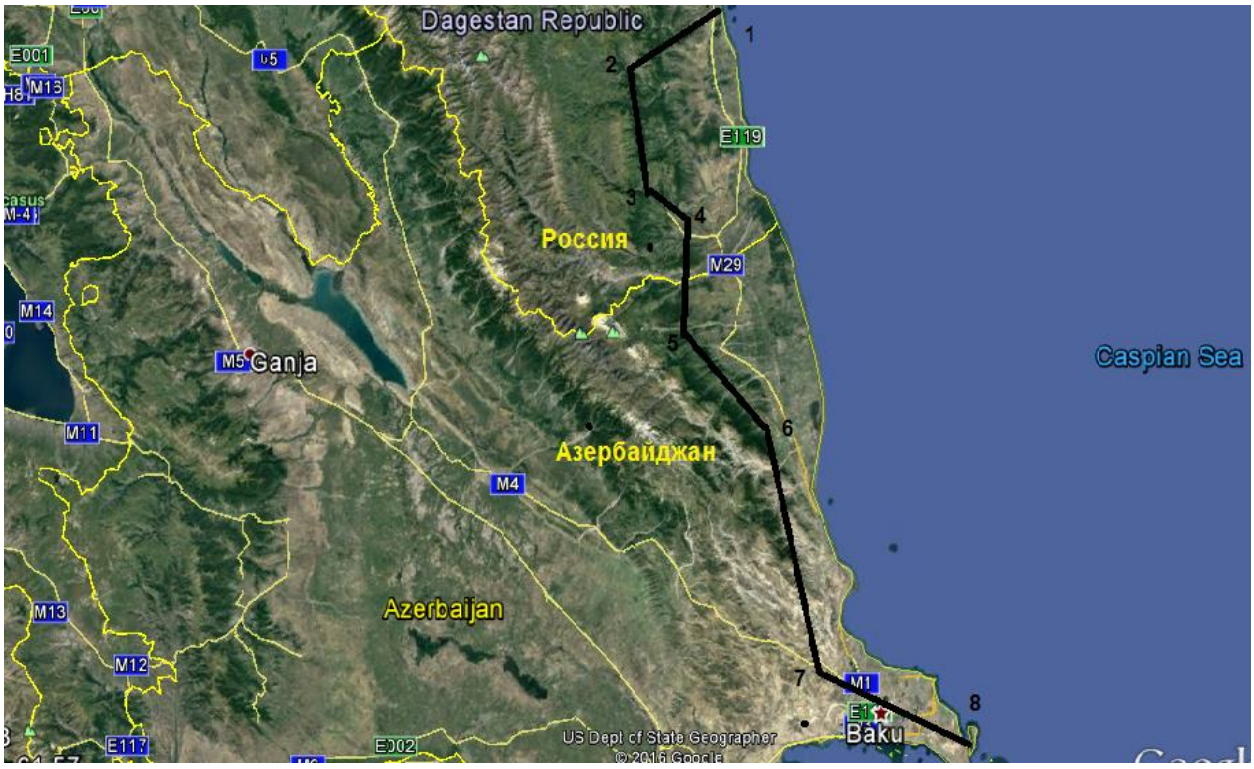
E: напряженность поля (дБ(мкВ/м)) для э.и.м. 1 кВт;

f: частота (МГц).

Приложение 2

Контур координационной зоны между Администрациями Связи Азербайджанской Республики и Российской Федерации

№ К.Т	Долгота	Широта
1	047E2500	43N2000
2	047E1500	43N1500
3	047E3000	43N3500
4	047E1000	43N3500
5	047E0500	43N0700
6	047E2500	43N0000
7	047E5500	43N0000
8	047E7500	43N1300



Список использованных источников

1.Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем, Под редакцией д.т.н., проф. М.А. Быховского – Москва, 2006

2. Рекомендация МСЭ-Р Р.1546-5. Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц

3. Рекомендация МСЭ-Р Р.1812-4.Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ.

4. Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В., Краснощеков Р.А. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания. Справочник. М. Радио и связь, 1988 — 144.

5. Стандарт ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

6. ETSI TR 101 190 V1.3.2 (2011-05). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB Terrestrial Services; Transmission Aspects.

7. Рекомендация МСЭ-РР.526-13.Распространение радиоволн за счет дифракции

8. Стандарт ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04) European Standard Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).

9. Регламент радиосвязи. Том 1-4_Женева: МСЭ, 2016.

10.RCC06 Planning Interface.

11.РекомедацияМСЭ-Р 2001-2.Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц.

12. Рекомендация МСЭ-Р 525-3/526-13. Распространение радиоволн в свободном пространстве»/ «Распространение радиоволн за счет дифракции.

13. Заключительные акты Региональной конференции радиосвязи «Женева-2006».