Вопросы частотно-территориального планирования оперативных радиосетей в условиях горной местности

Issues of frequency-territorial planning for operative radio networks in mountainous terrain

Шогенов / Shogenov T.
Тимур Коммунарович
(shogenov@yandex.ru)
кандидат физико-математических наук, доцент.
Северо-Кавказский институт повышения квалификации сотрудников МВД России (филиал) ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
начальник кафедры специально-технической подготовки.
г. Нальчик

Ключевые слова: радиосеть – radio network; ретранслятор – repeater; симплексный режим – simplex mode; APCO-25; DMR.

В статье рассмотрены технические аспекты организации оперативных радиосетей органов внутренних дел ОВЧ и УВЧ диапазонов, предназначенных для обеспечения специальных мероприятий в условиях горной и горно-лесистой местности (на примере Кабардино-Балкарской республики). Особое внимание уделено вопросам частотно-территориального планирования таких радиосетей с использованием специализированных программных продуктов и геоинформационных систем на основе Рекомендаций Международного союза электросвязи.

The article reviews technical issues of organizing operative radio networks for authorities of the Ministry of the Interior in VHF and UHF frequency ranges to support their special case activities in mountainous and mountain forest terrain (e.g., in the Republic of Kabardino-Balkaria). Special attention is paid to the issues of frequency-territorial planning of such radio networks with the use of dedicated SW products and GIS systems based on recommendations by the International Telecommunication Union.

Решение оперативно-служебных задач подразделениями МВД России в условиях горной и горно-лесистой местности вызывает необходимость организации оперативных радиосетей ОВЧ и УВЧ диапазона, характеризующихся высокой надежностью и защищенностью радиосвязи. Такие радиосети должны обеспечивать не только устойчивый радиообмен речевой информацией, но и передачу с высокой достоверностью в масштабе времени близкому к реальному координатно-временной информации возимой и носимой навигационной аппаратурой потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS (далее – СНС ГЛОНАСС/GPS) в мониторинговые центры, а также предоставлять доступ к информационно-справочным системам органов внутренних дел.

Как правило, такие радиосети создаются на временной основе, в связи с чем требуют тщательного планирования и заблаговременного решения ряда технических вопросов.

При построении оперативных радиосетей в условиях горной и горно-лесистой местности необходимо учитывать следующие факторы:

1. площадь территории обслуживания и геоклиматический характер местности;
2. возможность обеспечения непрерывного режима энергопитания радиооборудования и организации управляющей информационной инфраструктуры;
3. диапазон радиочастот, выделенных для организации радиосвязи;
4. особенности частотно-территориального планирования на конкретной территории, в том числе с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости;
5. тип и архитектуру радиосети;
6. тип радиооборудования, используемого в качестве базовых станций и применяемого личным составом подразделений.

До недавнего времени для организации оперативных радиосетей органов внутренних дел применялись только аналоговые средства радиосвязи. Многолетний опыт эксплуатации аналоговых систем радиосвязи ОВЧ и УВЧ диапазона выявил ряд их принципиальных недостатков, наиболее значимыми из которых являются:

– низкая помехозащищенность и сложность обеспечения электромагнитной совместимости;

– низкая защищенность каналов связи от несанкционированного доступа к передаваемой информации (несмотря на использование средств аналогового скремблирования речевого сигнала);

– необходимость использования дополнительного оборудования для передачи данных.

В связи с этим при организации оперативных сетей органов внутренних дел в настоящее время предпочтение отдается цифровым стандартам подвижной радиосвязи APCO-25, DMR и IDAS [1–3], основными преимуществами которых являются:

1. повышение эффективности использования радиочастотного ресурса за счет уменьшения канальной полосы;

2. поддержка совместного использования аналоговых и цифровых режимов работы средств радиосвязи;

3. высокая помехоустойчивость;

4. высокая защищенность передаваемой информации от несанкционированного доступа;

5. высокое качество приема речевого сигнала;

6. возможность обмена данными при организации удаленного доступа к информационным ресурсам органов внутренних дел и применении спутниковых навигационно-мониторинговых систем для эффективного управления подразделениями органов внутренних дел;

7. возможность реализации как конвенциональных, так и транкинговых радиосетей.

Отметим, что реализация временных транкинговых радиосетей в горных условиях существенно затруднена, так как такие сети требуют создания дополнительной радиорелейной или кабельной инфраструктуры, обеспечивающей взаимодействие всех базовых станций (ретрансляторов) и управляющих центров. В связи с этим основным типом радиосетей, создаваемых на временной основе в горных условиях, являются конвенциональные радиосети.

Бесперебойное электропитание базового радиооборудования является неотъемлемым условием обеспечения непрерывности связи. Учитывая, что, как правило, установка базовых станций (ретрансляторов) осуществляется в труднодоступных неэлектрофицированных местах, целесообразно использовать автономные системы электропитания на основе солнечных преобразователей энергии. При этом расчет емкости аккумуляторных батарей, мощности солнечных панелей и контроллеров заряда производится исходя из максимально возможной интенсивности радиообмена.

Как отмечалось выше, одним из преимуществ цифровых стандартов подвижной радиосвязи, заявляемых производителями оборудования, является высокое качество приема, выраженное в артикуляционной разборчивости речевого сообщения, которое резко снижается при достижении границы зоны обслуживания (рис. 1, уровень 1). Однако на практике, в зависимости от внешних условий радиообстановки, наблюдается ситуация, когда цифровая радиостанция не способна принимать сообщения, а уровень артикуляционной разборчивости речевого сигнала, принимаемого с помощью аналоговой радиостанции, вполне достаточен для получения сообщения (рис. 1, уровень 2).

Как показывает опыт реализации оперативных радиосетей, учет «пороговых» особенностей цифровых стандартов при осуществлении частотно-территориального планирования при построении оперативных цифровых радиосетей в горных условиях

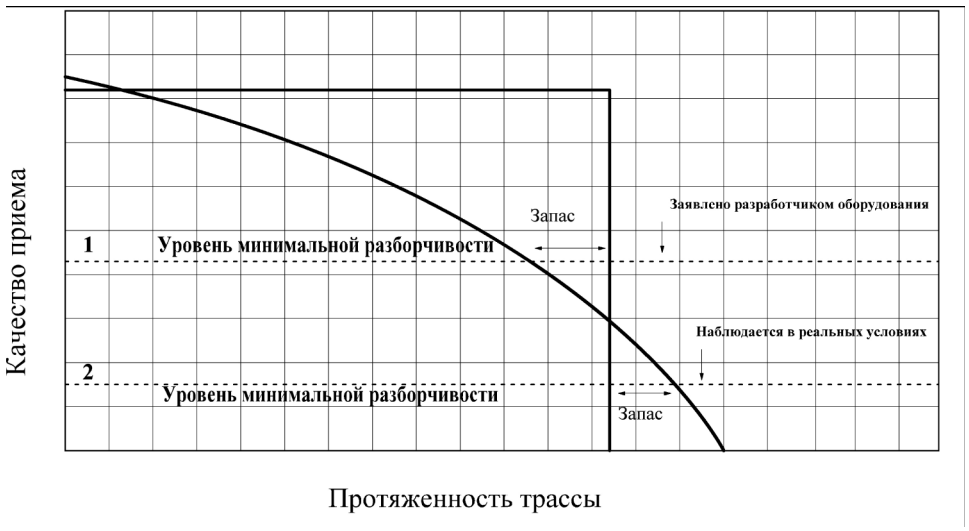


Рис. 1. Изменение качества приема от протяженности трассы радиосвязи

является необходимым условием обеспечения надежности связи.

Этап частотно-территориального планирования – наиболее ответственный этап проектирования радиосети, поскольку проведение натурных испытаний в горных условиях затруднено из-за сложного рельефа местности и требует привлечения специалистов по связи с горной подготовкой.

В настоящее время частотно-территориальное планирование сетей профессиональной подвижной радиосвязи осуществляется с использованием специализированных программных средств, расчетные модели распространения радиоволн в которых учитывают геоклиматические факторы на основе данных геоинформационных систем [4].

Процесс частотно-территориального планирования сетей профессиональной подвижной радиосвязи включает четыре основных этапа:

– анализ имеющихся исходных данных и подготовка массива данных для формирования частотно-территориального плана;

– расчет «начального» радиопокрытия без учета помех и, при необходимости, корректировку исходных данных;

– формирование частотного плана и расчет итогового радиопокрытия с учетом помех;

– количественную оценку качества планирования, визуализацию результатов расчета итогового радиопокрытия с учетом помех, формирование частотно-территориального плана.

Распространение радиоволн ОВЧ и УВЧ диапазона в условиях сложного рельефа горной и горно-лесистой местности характеризуется влиянием следующих факторов:

1) отсутствием условий прямой радиовидимости на большей части территории обслуживания радиосети;

2) многолучевостью и, как следствие, интерференцией радиоволн;

3) дифракцией радиоволн на острых пиках горных вершин;

4) атмосферной рефракцией;

5) отражением и поглощением радиосигнала лиственным покровом.

Исходя из влияния указанных факторов прогноз зон покрытия в условиях сложного горного рельефа целесообразно проводить на основе Рекомендаций Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи МСЭ-R P.1812-1 (2009 г.)[1].

В качестве примера реализации временной оперативной радиосети на основе стандарта DMR рассмотрим радиосеть, предназначенную для обеспечения радиосвязи между подвижными абонентами в горной части Черекского района Кабардино-Балкарской Республики (районный центр пос. Кашхатау) и г. Нальчик. В составе радиооборудования использованы средства радиосвязи системы MOTOTRBO™ цифрового стандарта DMR: ретрансляторы DP-3000, возимые радиостанции УВЧ диапазона DM-3401 и носимые радиостанции УВЧ диапазона DP-3401. В качестве антенн ретрансляторов применялись антенны 5/8λ с круговой

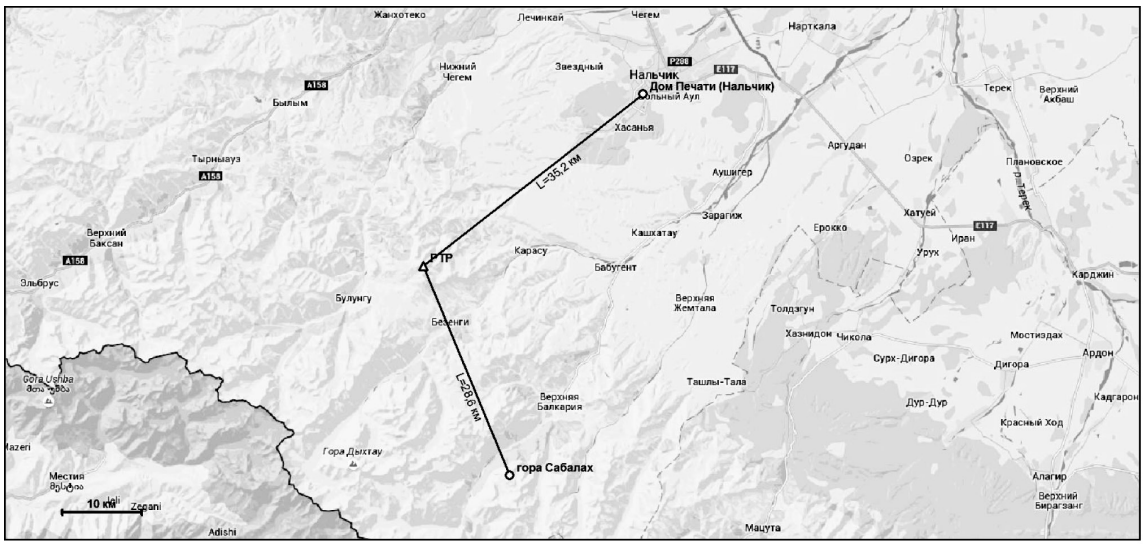


Рис. 2. Ситуационный план оперативной радиосети

[1] Рекомендация МСЭ-R P.1812-1 (2009). Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ.

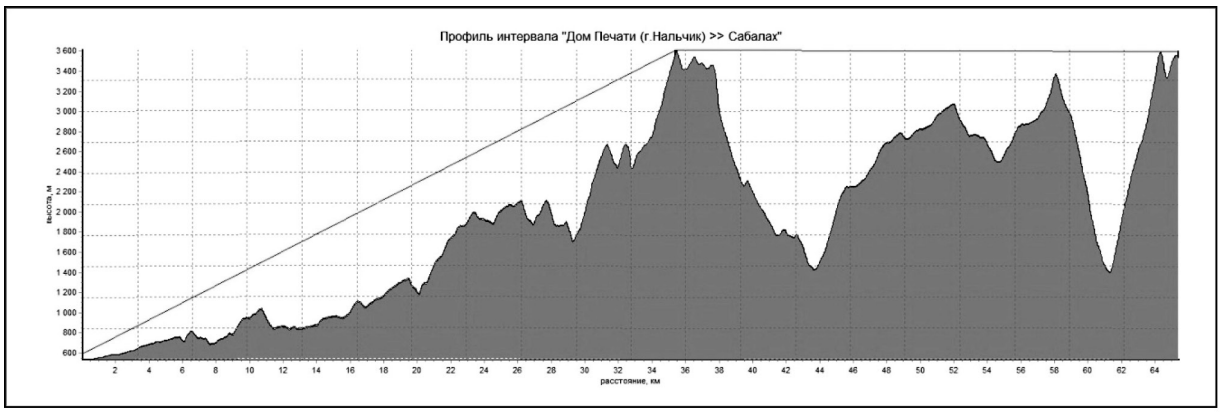


Рис. 3. Профиль интервала оперативной радиосети

диаграммой направленности ANLI A-100MU с коэффициентом усиления 5 дБи. Проектирование радиосети включало подготовительный этап, на котором проводились изучение геоклиматических характеристик районов обслуживания сети, предварительный выбор участков размещения базовых станций, расчет зон покрытия в различных вариантах размещения базового радиооборудования. По результатам подготовительного этапа было принято решение о построении конвенциональной радиосети двухчастотного симплекса с тремя зоновыми ретрансляторами, два из которых размещались на вершинах г. Сабалах и г. Каракая. Третий ретранслятор размещался на крыше высотного здания Дома Печати в г. Нальчик. Ситуационный план радиосети и профиль интервала приведены на рис. 2 и 3.

Прогноз зон покрытия осуществлялся с помощью программного комплекса «Зона-Подвижная связь»[2], разработанного ЗАО «Информационный космический центр «Северная Корона» (г. Санкт-Петербург). В данном программном комплексе реализованы модели и методики прогнозирования распространения радиоволн, основанные на рекомендациях Бюро радиосвязи Международного союза электросвязи: P.1812-1 (2009 г.), P.1546-4 (2009 г.) [3], P.526-11 (2009 г.)[4], а также ряда других. Указанные модели и методики позволяют проводить расчеты зон радиопокрытия в диапазоне от 30 МГц до 3000 МГц с учетом данных карт SRTM и GTOPO30 (для P.1812-1).

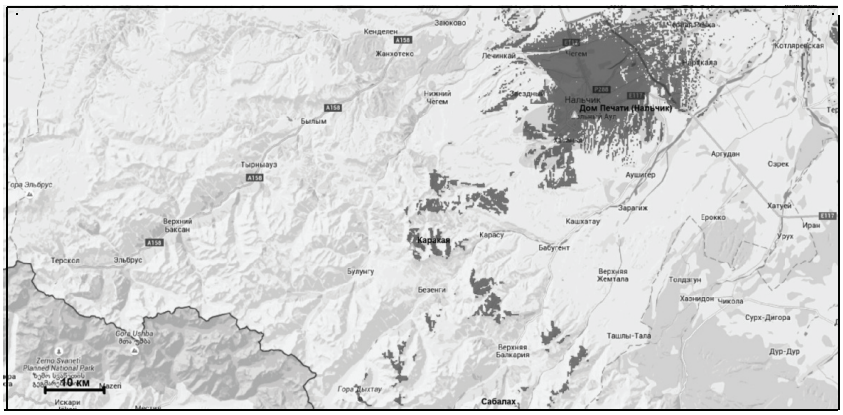
В качестве исходных данных в программном комплексе «Зона-Подвижная радиосвязь» используются следующие параметры радиооборудования и окружающей среды:

1. Географические координаты установки базовых станций (ретрансляторов).
2. Высоты подвеса антенн базовых станций (ретрансляторов).
3. Диаграмма направленности и усиление антенны базовой станции (ретранслятора).
4. Потери в антенно-фидерном тракте базовой станции (ретранслятора).
5. Уровень выходной мощности передатчика базовой станции (ретранслятора).
6. Чувствительность приёмника базовой станции (ретранслятора).
7. Коэффициент усиления антенны абонентской радиостанции.
8. Уровень выходной мощности абонентской радиостанции.
9. Чувствительность приемника абонентского оборудования.
10. Диапазон рабочих частот.
11. Затухание в свободном пространстве для данного диапазона частот.
12. Характер рельефа и грунта.
13. Уровень помех в используемом диапазоне частот.

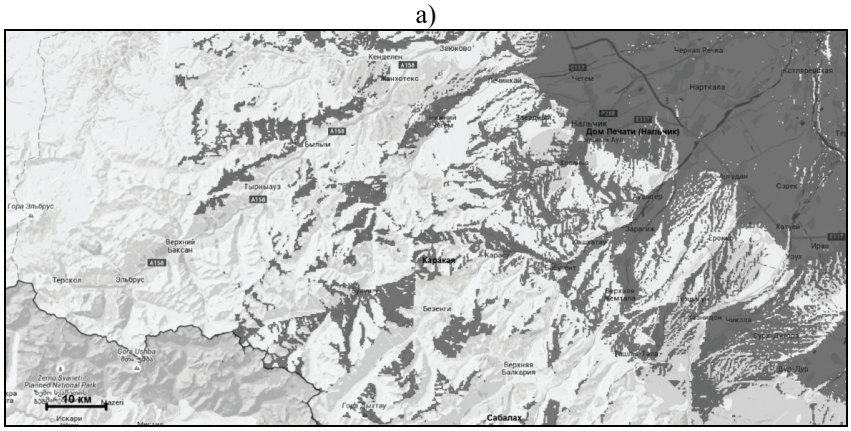
В качестве исходных технических характеристик радиооборудования использовались тактико-технические данные, приведенные в документации указанных выше средств радиосвязи.

На рис. 4 приведены прогнозные зоны покрытия базовых станций, размещенных: на крыше высотного здания Дома Печати (г. Нальчик) (рис. 4а), на вершине горы Каракая (рис. 4б), на вершине горы Сабалах (рис. 4в). Общая картина зоны радиопокрытия территории обслуживания радиосети отражена на рис. 4г.

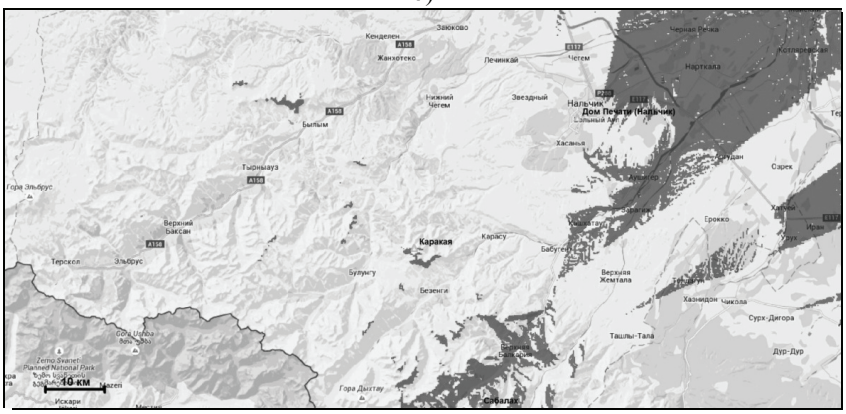
[2]Программный комплекс «Зона». Опция «Подвижная радиосвязь». Руководство пользователя.
[3]Recommendation ITU-R P.1546-4 (10/2009). Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz.
[4]Рекомендация МСЭ-R P.526-11. Распространение радиоволн за счет дифракции.



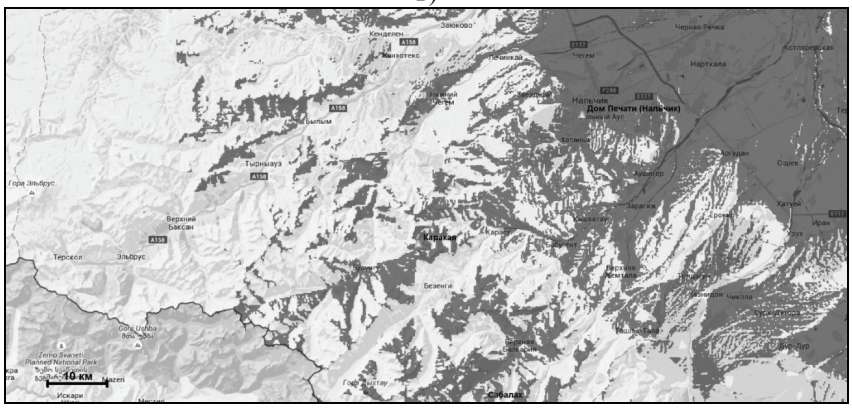
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Зоны покрытия ретрансляторами: а) БС «Дом Печати (Нальчик)», б) БС «гора Каракая», в) БС «гора Сабалах», г) общая зона покрытия

Таблица 1

Расчетные параметры в контрольной точке «с. Верхняя Балкария»

Расчет направления "Сабалах - АС "Контроль"	
Параметры абонентской станции	
Широта положения	N43°07'16,76"
Долгота положения	E43°27'06,19"
Высота точки над уровнем моря, м	1142,9
Высота антенны над УЗ, м	1,5
Результаты расчета	
Параметр	**Значение**
Наименование станции	гора Сабалах
Широта положения БС	N43°02'22,68"
Долгота положения БС	E43°22'46,47"
Высота площадки БС над уровнем моря, м	3562,32
Высота подвеса антенны БС над УЗ, м	10
Рабочая частота на передачу, МГц	460
Максимальная мощность УМ, Вт	40
Дальность, км	10,868
Потери на трассе, дБ	108,18
- потери в своб. пространстве, дБ	106,38
- потери на рельефе, дБ	1,8
Напряженность поля, дБ(мкв/м)	69,99
Мощность на входе приемника, дБм	-60,32

Примечания:
1. УМ – усилитель мощности;
2. УЗ – уровень Земли;
3. Координаты представлены в системе координат WGS-84.

Таким образом, каждый ретранслятор обеспечивал свою зону обслуживания. При этом настройки приемных и передающих частот каждого ретранслятора обеспечивали их взаимодействие по «цепочке», что позволяло организовать «сквозную» связь между подвижными абонентами по всей территории обслуживания.

Расчетные параметры оперативной радиосети в контрольных точках (с. Верхняя Балкария, пос. Кашхатау, с. Карасу) приведены в таблицах 1–3. Следует отметить, что по расчетным данным радиосвязь в пос. Кашхатау могла обеспечиваться как через ретранслятор, установленный в точке «гора Сабалах», так и через ретранслятор, установленный в точке «гора Каракая», что позже было подтверждено экспериментально.

Экспериментальная проверка работоспособности оперативной радиосети осуществлялась путем проведения контрольных радиообменов с использованием носимых и возимых радиостанций как в контрольных точках, так и в произвольных точках на территории обслуживания с определением местоположения контрольного оборудования с помощью навигационной аппаратуры потребителей СНС ГЛОНАСС/GPS ПНИК-И (индекс 14Ц894).

Результаты проведения контрольных радиообменов в целом подтвердили расчетные данные по прогнозу зон покрытия.

Таким образом, построение оперативных радиосетей в условиях горной местности включает в себя ряд этапов, требующих учета влияния различных факторов на распространение радиоволн. При этом наиболее важным этапом является этап частотно-территориального планирования в решении вопроса размещения базового радиооборудования с целью оптимального покрытия зоны обслуживания.

Таблица 2

Расчетные параметры в контрольной точке «пос. Кашхатау»

Расчет направления "Сабалах - АС "Контроль"		**Расчет направления "Каракая - АС "Контроль"**	
Параметры абонентской станции		**Параметры абонентской станции**	
Широта положения	N43°18'13,47"	Широта положения	N43°18'13,47"
Долгота положения	E43°35'49,58"	Долгота положения	E43°35'49,58"
Высота точки над уровнем моря, м	686,65	Высота точки над уровнем моря, м	686,65
Высота антенны над УЗ, м	1,5	Высота антенны над УЗ, м	1,5
Результаты расчета		**Результаты расчета**	
Параметр	**Значение**	**Параметр**	**Значение**
Наименование станции	гора Сабалах	Наименование станции	гора Каракая
Широта положения БС	N43°02'22,68"	Широта положения БС	N43°16'40,12"
Долгота положения БС	E43°22'46,47"	Долгота положения БС	E43°14'41,46"
Высота площадки БС над уровнем моря, м	3562,32	Высота площадки БС над уровнем моря, м	3566,46
Высота подвеса антенны БС над УЗ, м	10	Высота подвеса антенны БС над УЗ, м	10
Рабочая частота на передачу, МГц	460	Рабочая частота на передачу, МГц	451
Максимальная мощность УМ, Вт	40	Максимальная мощность УМ, Вт	40
Дальность, км	34,273	Дальность, км	28,745
Потери на трассе, дБ	116,36	Потери на трассе, дБ	127,6
- потери в своб. пространстве, дБ	116,36	- потери в своб. пространстве, дБ	114,84
- потери на рельефе, дБ	0	- потери на рельефе, дБ	12,76
Напряженность поля, дБ(мкв/м)	61,95	Напряженность поля, дБ(мкв/м)	50,7
Мощность на входе приемника, дБм	-68,36	Мощность на входе приемника, дБм	-79,61

Примечания:
1. УМ – усилитель мощности;
2. УЗ – уровень Земли;
3. Координаты представлены в системе координат WGS-84.

Таблица 3

Расчетные параметры в контрольной точке «с. Карасу»

Расчет направления "Каракая - АС "Контроль"	
Параметры абонентской станции	
Широта положения	N43°17'35,86"
Долгота положения	E43°26'10,68"
Высота точки над уровнем моря, м	1294,98
Высота антенны над УЗ, м	1,5
Результаты расчета	
Параметр	**Значение**
Наименование станции	гора Каракая
Широта положения БС	N43°16'40,12"
Долгота положения БС	E43°14'41,46"
Высота площадки БС над уровнем моря, м	3566,46
Высота подвеса антенны БС над УЗ, м	10
Рабочая частота на передачу, МГц	451
Максимальная мощность УМ, Вт	40
Дальность, км	15,687
Потери на трассе, дБ	123,84
- потери в своб. пространстве, дБ	109,58
- потери на рельефе, дБ	14,26
Напряженность поля, дБ(мкв/м)	54,43
Мощность на входе приемника, дБм	-75,89

Примечания:
1. УМ – усилитель мощности;
2. УЗ – уровень Земли;
3. Координаты представлены в системе координат WGS-84.

Литература

1. Чивилев, С. В. Решения профессиональной конвенциональной радиосвязи на базе стандарта DMR / С.В. Чивилев // Технологии и средства связи. – 2007. – № 6. – С. 70–73

2. Цифровые системы радиосвязи стандарта DMR для МВД России / В.Н. Щелочков [и др.] ; под ред. М.Л. Тюркина // Информационные технологии, связь и защита информации. – 2012. – Вып. 2. – С. 176.

3. Система цифровой радиосвязи «Радон» стандарта АРСО-25 УМВД России по Ярославской области / А.С. Дмитриев [и др.] ; под ред. М.Л. Тюркина // Информационные технологии, связь и защита информации. – 2012. – Вып. 2. – С. 114–115

4. Частотно-территориальное планирование сетей подвижной профессиональной радиосвязи стандарта DMR [Электронный ресурс] / Е.О. Гладкова [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 3 (2). – Режим доступа: http://brni.info/view/issue-3.html#/20, свободный. – Загл. с экрана.