

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники»

На правах рукописи



Шмаков Дмитрий Борисович

Эффективность использования радиочастотного спектра системами сухопутной
подвижной и фиксированной служб радиосвязи и способы её повышения на этапе
экспертизы электромагнитной совместимости

Специальность 2.2.13

Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

д-р. техн. наук, доцент

Газизов Тальгат Рашитович

Томск 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА СВЯЗИ И ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА.....	11
1.1 Актуальность обеспечения качества связи.....	11
1.2 Актуальность эффективного использования радиочастотного спектра.....	12
1.3 Радиочастотный спектр и методы оценки эффективности его использования.....	16
1.4 Методика проведения расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и показателей качества радиолинии.....	19
1.5 Обзор программных комплексов для расчета электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.....	21
1.6 Описание моделей, используемых для расчета потерь при распространении радиоволн и прогнозировании напряженности электромагнитного поля.....	25
1.7 Цель и задачи исследования.....	37
2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРЕДЛОЖЕННЫЕ МЕТОДЫ ПО ЕЕ ПОВЫШЕНИЮ.....	40
2.1 Использование данных о рельефе и подстилающей поверхности местности, полученных методом дистанционного зондирования Земли, при проектировании цифровых радиорелейных линий связи.....	40
2.2 Оценка существующих требований к точности указания мест размещения радиоэлектронных средств для проведения расчетов их электромагнитной совместимости.....	43
2.3 Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса радиорелейными линиями связи.....	48

2.4	Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса системами технологической связи диапазона 146–174 МГц.....	65
2.5	Применение рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля.....	73
2.6	Анализ некоторых аспектов системы управления радиочастотным спектром в Российской Федерации.....	76
2.7	Основные результаты главы.....	83
3.	ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УСЛУГ СОТОВОЙ СВЯЗИ В ТОМСКЕ И ЕЕ ДОСТУПНОСТИ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	85
3.1	Комплексная оценка качества услуг сотовой связи в Томске и анализ ее результатов.....	85
3.2	Сравнительный анализ результатов оценки качества услуг сотовой связи в Томске.....	98
3.3	Оценка обеспеченности населения Томской области сервисами мобильной связи и беспроводного мобильного доступа в Интернет.....	115
3.4	Анализ и оценка динамики развития сетей сотовой связи в Томской области.....	121
3.5	Основные результаты главы.....	131
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	136
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Радиосвязь играет важную роль в формировании информационной среды, которая необходима для стабильного развития производственного и научного потенциала страны, поддержания ее обороноспособности, а также для решения важных практических задач в социальной сфере и государственном управлении за счет создания качественных систем коммуникации. Развитие инфраструктуры связи является важным фактором, способствующим росту деловой активности в стране и существенно влияющим на ее экономику. Отрасль связи в Российской Федерации в настоящее время динамично развивается – происходит активное развертывание сотовых сетей связи четвертого и третьего поколений. При этом объем данных, передаваемых по этим сетям, ежегодно возрастает.

Радиочастотный спектр (РЧС), очевидно, является физической основой, необходимой для современных сетей беспроводной связи. Повсеместное развертывание таких сетей в последнее время способствует развитию всех секторов экономики России, включая добывающие отрасли, сферу услуг и образование, повышает производительность труда и уровень благосостояния граждан, качественно улучшая их уровень жизни. Очевидно, что развитие современных сетей связи является катализатором развития отраслей народного хозяйства России.

Состояние исследований. В области управления и эффективного использования РЧС наиболее известными исследователями являются российские ученые М.А. Быховский, А.Л. Бузов, Н.В. Васехо, В.В. Бутенко, В.К. Сарьян, Е.Л. Пустовойтов, В.Б. Белянский, а также ряд зарубежных ученых: D. J. Withers, A. R. Thompson, R. M. Price, J. E. B. Ponsonby, T. A. Th. Spoelstra, R. G. Struzak.

Однако, в настоящее время в некоторых полосах радиочастот ощущается дефицит радиочастотного ресурса (РЧР), особенно в больших городах. Поэтому важно разработать рекомендации по совершенствованию методики проведения экспертизы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств

(РЭС) для повышения эффективности использования РЧС, улучшения качества связи и преодоления цифрового неравенства.

Цель работы – исследовать распространение радиоволн на трассах сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи в Томской области, влияние особенностей их распространения на качество связи и требования к характеристикам оборудования, а также разработать на этой основе рекомендации по совершенствованию методологической и нормативно-технической базы обеспечения ЭМС и управления РЧС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести оценку эффективности использования РЧС системами сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи в Томской области и разработать рекомендации по ее повышению на этапе проведения экспертизы ЭМС РЭС.

2. Провести инструментальными методами оценку качества сотовой связи в г. Томске и ее доступности в Томской области в динамике.

Научная новизна (оригинальные результаты в соответствии с паспортом специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения: области исследований п. 2 «Исследование явлений прохождения электромагнитных волн различных диапазонов через среды, их рассеяния и отражения», п. 6 «Исследование и разработка радиотехнических систем и устройств передачи информации, в том числе радиорелейных и телеметрических, с целью повышения их пропускной способности и помехозащищенности»:

1. Предложена модификация процедуры проведения экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, отличающаяся дополнительной проверкой обоснованности заявленных параметров работы радиоэлектронных средств.

2. Предложены рекомендации по проведению моделирования зон обслуживания систем сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи, отличающиеся использованием альтернативных источников данных о рельефе и подстилающей поверхности.

3. Выполнена в 2016, 2018 и 2020 гг. инструментальными методами комплексная оценка качества сотовой связи в г. Томске, отличающаяся охватом сетей сотовой связи всех операторов, стандартов, технологий и диапазонов радиочастот.

Теоретическая значимость

1. Показано, что модели, используемые операторами сотовой связи для моделирования зон покрытия базовых станций сотовой связи, неточны и нуждаются в оптимизации.

2. Доказано, что существующие подходы к проведению экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств не способствуют эффективному использованию радиочастотного спектра.

Практическая значимость

1. Разработаны рекомендации по изменению существующих подходов к проведению экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

2. Приведены результаты сравнения уровней напряженности поля, полученных по результатам моделирования на основе различных источников данных о рельефе и подстилающей поверхности и результатам измерений.

3. Получены и размещены на общедоступном ресурсе карты покрытия г. Томска сетями сотовой связи.

4. Проведено апробирование рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля в реальных условиях при проведении измерений в г. Томске, позволившее уточнить границы применимости указанных рекомендаций.

5. Проведен анализ ряда аспектов системы управления радиочастотным спектром в Российской Федерации. Дана оценка наиболее спорным положениям нормативно-правовых актов в области управления радиочастотным спектром в РФ.

Методология и методы исследования. В работе использовано математическое моделирование на основе методик Международного союза

электросвязи и получены экспериментальные данные в соответствии с методиками Минкомсвязи России.

Положения, выносимые на защиту

1. Предложенная модификация процедуры проведения экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, заключающаяся в дополнительной проверке обоснованности заявленных параметров работы радиоэлектронных средств, позволяет повысить эффективность использования радиочастотного спектра в 1,5–2 раза для систем сухопутной подвижной службы радиосвязи и в 1,05–1,3 раза для систем фиксированной службы радиосвязи.

2. Предложенные рекомендации по проведению моделирования зон обслуживания систем сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи, отличающиеся использованием альтернативных данных о рельефе и подстилающей поверхности, позволяют повысить точность прогнозирования напряженности поля на 3–8 дБ для диапазона метровых волн.

3. Полученные результаты измерений зон обслуживания базовых станций сотовой связи, учитывающие сети сотовой связи всех операторов, стандартов, технологий и диапазонов радиочастот, позволяют построить карты покрытия этих сетей с точностью позиционирования $\pm 3,5$ м и ± 3 дБ по мощности.

Достоверность результатов основана на использовании: аттестованного измерительного оборудования, прошедшего очередную метрологическую поверку; программного обеспечения для моделирования, имеющего свидетельство об аттестации методики выполнения измерений; методик и рекомендаций Международного союза электросвязи и Минкомсвязи России; достоверных источников статистических данных, совпадении данных, полученных путем измерений в динамике; результатов на практике при их внедрении.

Использование результатов исследования

1. Проект №8.9562.2017/БЧ «Выявление новых подходов к совершенствованию обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры и моделирования систем активного зрения

роботов» в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности.

2. Производственный процесс ООО «Бюро «Сервис» при проектировании и строительстве систем технологической связи, систем широкополосной передачи данных, цифровых радиорелейных линий на нефтегазовых месторождениях Томской и Омской областей, Республики Саха (Якутия) – акт внедрения.

3. Производственный процесс ООО «Транс Телепорт» при проведении испытаний работоспособности систем радиосвязи в ходе выполнения работ по оснащению служебного автотранспорта федерального государственного унитарного предприятия «Ведомственная охрана Росатома» средствами объективного контроля параметров движения, приложение – акт внедрения.

4. Учебный процесс радиотехнического факультета ТУСУР в рамках программы подготовки бакалавров по направлениям «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии» по дисциплинам «Электромагнитная совместимость и управление радиочастотным спектром» и «Электромагнитная совместимость радиосистем» в 2016–2021 гг – акт внедрения..

Апробация результатов. Результаты докладывались и представлялись в материалах следующих симпозиумов и конференций: III Всероссийская научно-техническая конференция «Системы связи и радионавигации», г. Красноярск, 2016; 22-я Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», г. Томск, 2016; 12-я международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ-2016», г. Севастополь, 2016; XII Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2016; Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2017», посвященная 55-летию ТУСУРа, г. Томск, 2017 (участие в 2 секциях); XIII Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», г. Томск, 2017 (участие в 2 секциях); 23-я международная

научно-практическая конференция Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-23-2017), г. Томск, 2017; IV International research conference «Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine» (ITSMSSM 2017), г. Томск, 2017.

Структура и объём диссертации. В состав диссертации входят введение, 3 главы, заключение, список литературы из 76 наименований, приложение на 5 с. Объем диссертации с приложением – 151 с., в т.ч. 59 рисунков и 30 таблиц.

Личный вклад. Все результаты работы получены автором лично или при его непосредственном участии. Выполнение измерений параметров качества связи и их обработка выполнены совместно с коллегами из ФГУП «РЧЦ ЦФО» и «ГРЧЦ». Интерпретация и сравнение результатов измерений выполнены автором лично. Обработка статистических данных, их интерпретация, моделирование и интерпретация его результатов выполнены автором лично.

Публикации. Результаты опубликованы в 12 работах (11 без соавторов):

Вид публикации	Количество	Без соавторов
Статья в журнале из перечня ВАК	3	2
Доклад в трудах конференции, индексируемых в Scopus и(или) Web of Science	1	1
Доклад в трудах других конференций	6	6
Тезисы в трудах других конференций	2	2
ИТОГО:	12	11

Краткое содержание работы. Во введении представлена краткая характеристика работы. В разделе 1 выполнен обзор исследований по обеспечению качества связи и эффективному использованию РЧС, рассмотрена актуальность исследования, описаны используемые в работе модели для расчета потерь при распространении радиоволн и прогнозирования напряженности электромагнитного поля, дан обзор отечественных программных комплексов, используемых для расчета ЭМС РЭС, обоснован выбор программного обеспечения (ПО), используемого для моделирования, сформулированы цель и задачи работы. В разделе 2 выполнена оценка эффективности использования РЧС в Томской области различными радиосистемами, предложены методы по ее повышению и рассмотрены практические аспекты регулирования использования

РЧС в России, предложены решения по его усовершенствованию. В разделе 3 выполнена комплексная оценка качества услуг сотовой связи в Томске в динамике и проведен анализ её результатов, выполнена оценка обеспеченности населения Томской области сервисами мобильной связи и беспроводного мобильного доступа в Интернет на основе статистических данных.

1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА СВЯЗИ И ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

1.1 Актуальность обеспечения качества связи

В данном разделе показана актуальность обеспечения качества связи и приводится краткий обзор исследований по этой теме.

Сотовая связь в современном мире имеет большое значение. Без преувеличения можно сказать, что практически каждый житель РФ сегодня является абонентом той или иной сети мобильной связи. По данным Минкомсвязи РФ, на конец 2017 г. телефонная плотность (проникновение) подвижной радиотелефонной связи на 100 чел. составила 200,3 абонентских устройств [1].

Одним из важнейших направлений развития отрасли связи является обеспечение удовлетворенности потребителей качеством услуг связи и возможности осознанного выбора поставщиков услуг. Для реализации данного направления необходимо обеспечить решение задач управления качеством связи [2]. Исследования качества сотовой связи с использованием драйв-тестов нашли широкое применение в России и за рубежом: в Белоруссии [3], Англии [4], Германии [5] и других странах. Такие исследования проводятся как производителями оборудования и операторами связи, так и местными администрациями связи.

Проблема существенного различия в возможности использования информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), а значит, и в возможности потребления информационных услуг для отдельных категорий населения известна как проблема цифрового неравенства. Проблема эта сложна и многогранна: возможность использования ИКТ определяется не только наличием постоянного доступа в Интернет, но также его стоимостью, доступностью технических средств, наличием навыков использования ИКТ и другими факторами.

В современном мире возможность быстрого и легкого доступа к информации имеет исключительно большое значение. Не вызывает сомнения тот факт, что основным средством хранения и передачи информации является глобальная информационная сеть Интернет. Наличие постоянного доступа к ней определяет для каждого отдельного человека возможность решения им ряда практических задач, таких как доступ к удаленному банковскому обслуживанию, электронным сервисам государственных услуг, дистанционному получению образования, поисковым системам и многим другим. Очевидно, что члены общества, обладающие возможностью постоянного высокоскоростного доступа в сеть Интернет, находятся в преимущественном положении перед теми, кто такого доступа не имеет.

1.2 Актуальность эффективного использования радиочастотного спектра

В данном разделе рассмотрена актуальность эффективного использования РЧС и приводится краткий обзор исследований по этой теме.

РЧС – это ограниченный природный ресурс, имеющий большое значение для развития экономики страны и общества в целом [6]. Как природный ресурс РЧС начал использоваться человеком для достижения практических целей с изобретением радио А.С. Поповым в 1895 г. Начиная с этого, интенсивность использования РЧС постоянно увеличивалась по мере развития систем телевидения, радиовещания и радиосвязи. В настоящее время бурное развитие систем радиосвязи определяет все возрастающие потребности в использовании РЧС, что создает дефицит свободных для назначения радиочастот и вызывает необходимость в повышении эффективности его использования, а значит, и методов управления РЧС.

Постоянное расширение сферы применения систем радиосвязи в различных отраслях экономики, рост трафика в сетях беспроводной передачи данных придают проблеме эффективного использования РЧС важное практическое

значение. Практически каждый гражданин России на сегодняшний день в той или иной мере использует РЧС. Все операторы связи являются коммерческими организациями, основной целью деятельности которых является извлечение прибыли, поэтому все издержки, возникающие при использовании РЧС, в итоге перекладываются на абонентов. Учитывая вышесказанное, становится очевидным, что проблема эффективного использования и управления РЧС касается каждого жителя России.

Многие вопросы, связанные с проблемой управления РЧС, к настоящему времени уже подробно рассмотрены в литературе. В частности, рядом авторов проведено разграничение административного и экономического методов управления РЧС. Управление РЧС в целом является комплексной задачей и решается путем их комбинации. Экономический метод управления РЧС в РФ в настоящее время реализуется посредством взимания платежей за его использование. Такие платежи исчисляются в соответствии с Методикой расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра [7] (далее – Методика) и правилами установления и взимания такой платы [8] (далее – Правила). Ввиду того, что Методика и Правила внедрены на всей территории России, их влияние на развитие отрасли связи в нашей стране чрезвычайно велико. Существует ряд работ, посвященных разработке и анализу методов расчета размеров платы, опубликованных как до утверждения Методики, например [9–12], так и после ее утверждения [13–16]. На данный момент, однако, отсутствуют работы, посвященные анализу Методики и Правил, не дано и детальной оценки отдельным положениям этих документов. Вместе с тем, за 7 лет, прошедших с момента внедрения Методики и Правил в 2012 г., накоплен некоторый опыт администрирования системы взимания платы за использование РЧС, который позволяет дать такую оценку.

РЧС, очевидно, является физической основой для развертывания современных сетей беспроводной связи. Повсеместное развертывание таких сетей, активно происходящее в последнее время, способствует развитию всех секторов

экономики России, включая добывающие отрасли, сферу услуг и образование, повышает производительность труда и уровень благосостояния граждан, качественно улучшая их уровень жизни. Очевидно, что развитие современных сетей связи является катализатором модернизации экономики России, способствующим росту отраслей экономики с высокой добавленной стоимостью.

Радиосвязь играет важную роль в формировании информационной среды, которая необходима для стабильного развития производственного и научного потенциала страны, поддержания ее обороноспособности, а также для решения важных практических задач в социальной сфере и в государственном управлении за счет создания качественных систем коммуникации. Развитие инфраструктуры связи является важным фактором, способствующим росту деловой активности в стране и существенно влияющим на ее экономику. Отрасль связи в Российской Федерации в настоящее время динамично развивается – происходит активное развертывание сотовых сетей связи четвертого и третьего поколений. При этом объем данных, передаваемых по этим сетям, ежегодно возрастает [17].

Роль цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) в функционировании и развитии инфраструктуры связи России, по-прежнему, велика. Неравномерность распределения населения по территории страны обуславливает существование больших по площади слабозаселенных территорий с неразвитой инфраструктурой, для которых организация линий связи при помощи ЦРРЛ практически безальтернативна. Но их применение этими случаями не ограничивается. В настоящее время ЦРРЛ всех диапазонов радиочастот широко используются для организации каналов связи между различными элементами сотовых сетей даже в чертах областных центров. Очевидным преимуществом ЦРРЛ перед прокладкой оптических линий связи в данном случае является быстрота и относительная дешевизна организации линии связи. Помимо этого, ЦРРЛ нередко используются в энергетике в качестве резервных каналов связи. Такое их активное использование уже приводит к дефициту свободного РЧР, необходимого для организации их работы, причем проблема становится острее в связи с постоянным ростом требований к объему и скорости передаваемых по сетям связи данных.

Диапазоны радиочастот 7,9–8,4 ГГц, 10,7–11,7 ГГц, 12,75–13,25 ГГц, предназначенные для организации работы радиорелейных линий и имеющие наиболее выгодные с точки зрения ослабления радиоволн в гидрометеорах характеристики, загружены практически полностью. В настоящее время идет вынужденное освоение более высоких диапазонов радиочастот: 17,7–19,7 ГГц, 21,2–23,6 ГГц, 36–40,5 ГГц, а также безлицензионных диапазонов 71–76 ГГц, 81–86 ГГц и 92–94 ГГц. Очевидно, что с течением времени потребность в использовании ЦРРЛ будет только возрастать, а значит, в недалеком будущем можно ожидать полного исчерпания РЧР и в этих диапазонах. Освоение же еще более высоких диапазонов радиочастот сталкивается с очевидными трудностями, среди которых можно выделить значительное поглощение радиоволн в гидрометеорах, сложность построения аппаратуры связи и обеспечения ЭМС РЭС.

В сложившейся ситуации особенно важным становится рациональное, эффективное и экономное отношение к имеющемуся в распоряжении ограниченному природному ресурсу – РЧС. Такое отношение предполагает его использование исходя из принципа разумной достаточности. Применительно к ЦРРЛ это означает, что выбранные энергетические параметры проектируемой ЦРРЛ должны быть минимальными, но при этом обеспечивающими ее удовлетворительную работу с требуемым запасом на замирания. Здесь и далее под запасом на замирания будем понимать превышение уровня принимаемого сигнала над уровнем чувствительности приемника при заданной частоте битовых ошибок (bit error rate или BER).

Несмотря на бурное развитие сотовой связи, системы технологической связи (СТС) диапазона 146–174 МГц, по-прежнему, находят широкое применение в различных отраслях экономики России. Например, в Томской области они активно используются в таких отраслях как транспорт, энергетика, транспортировка нефти и газа по трубопроводам, а также различными экстренными службами. Широкое использование этих систем объясняется простотой и относительной дешевизной их развертывания, а также специфическими требованиями многочисленных

отраслевых руководящих документов к надежности связи и независимости ее от операторов связи.

1.3 Радиочастотный спектр и методы оценки эффективности его использования

В данном разделе приведено описание методов обеспечения эффективного использования РЧС.

В литературе, посвященной использованию РЧС, встречаются два понятия: «радиочастотный спектр» и «радиочастотный ресурс». В соответствии со ст. 2 Федерального закона «О связи» [18] радиочастотный спектр определяется как упорядоченная совокупность радиочастот в установленных Международным союзом электросвязи (МСЭ) пределах, которые могут быть использованы для функционирования радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств. МСЭ, в свою очередь, определяет пределы частот, относящихся к РЧС, в Регламенте радиосвязи (РР). РР затрагивает все существующие службы радиосвязи, включая фиксированную, сухопутную, морскую и воздушную подвижные службы, спутниковую, радиовещательную, любительскую и др. Каждые 3–4 года он пересматривается на Всемирных конференциях радиосвязи (ВКР) и является международным договором, обязательным для исполнения всеми государствами–членами МСЭ, в том числе Российской Федерацией. В соответствии с РР, РЧС подразделяется на 9 диапазонов частот от 3 кГц до 3000 ГГц.

Нормативно закреплённого определения понятия «радиочастотный ресурс» нет. Как правило, оно используется в тех случаях, когда РЧС рассматривается в качестве производственного ресурса в привязке к какой-либо ограниченной территории, определенному диапазону радиочастот, используемой полосе радиочастот, времени работы РЭС в эфире. Помимо технических параметров, рядом авторов в это понятие включаются также различные экономические характеристики зоны обслуживания, такие как численность населения, размер

платы за использование РЧС и другие [19, 20]. В рамках данного исследования будут использоваться оба понятия, как РЧС, так и РЧР, в соответствии с представленным выше описанием.

На настоящий момент на национальном уровне не существует единой нормативно-закрепленной методики оценки эффективности использования РЧС. Вместе с тем, рядом авторов проблема оценки эффективности использования РЧС затронута в работах, так или иначе связанных с управлением РЧС. По этой тематике в первую очередь стоит выделить ряд работ М.А. Быховского [21–24] и других авторов [25–28].

На международном уровне такая методика предложена МСЭ в рекомендации МСЭ-R SM.1046-3 [29]. Эта методика позволяет сравнивать эффективность использования РЧС различными радиосистемами. Она также позволяет оценивать преимущества, получаемые при изменении параметров работы одной и той же радиосистемы, с точки зрения выигрыша в использовании РЧС, так как технические характеристики радиопередатчиков, приемников и антенн оказывают существенное влияние на эффективность использования РЧС и путем их оптимизации можно достичь существенной экономии используемого частотного ресурса.

В основу методики положен параметр «ширина полосы–пространство–время», а мерой оценки использования РЧС является коэффициент использования спектра, определяемый как:

$$U = BST, \quad (1.1)$$

где B – ширина полосы радиочастот, S – пространство, в котором невозможна работа других пользователей, T – время работы РЭС, в которое невозможна работа других пользователей.

На практике фактор времени работы РЭС можно не учитывать, так как чаще всего РЭС излучает радиоволны (или может их излучать) постоянно, поэтому коэффициент использования РЧС может быть вычислен путем умножения используемой ширины полосы радиочастот излучения на площадь созданной этим излучением зоны помех.

Эффективность использования РЧС, согласно методике, может быть выражена как:

$$SUE = \frac{M}{U}, \quad (1.2)$$

где SUE – эффективность использования РЧС, M – полезный эффект, получаемый с помощью рассматриваемой системы связи, U – коэффициент использования спектра для этой системы связи.

При сравнении эффективности использования РЧС для двух разных радиосистем для каждой из них потребуется определить значение параметра M . Правила определения этого параметра методикой не установлены. В каждом конкретном случае его можно определить, исходя из специфики ситуации, для которой производится оценка, например, можно выразить его в скорости передачи данных радиосистемы, сумме денежных средств, уплачиваемых пользователями спектра, или в иных единицах.

Для сравнения эффективности использования РЧС двух радиосистем предлагается использовать величину, называемую относительной спектральной эффективностью, выразить которую можно как:

$$RSE = \frac{SUE_1}{SUE_2}, \quad (1.3)$$

где RSE – относительная спектральная эффективность, SUE_1 , SUE_2 – эффективность использования РЧС двух сравниваемых радиосистем.

При сравнении эффективности использования РЧС одной и той же радиосистемой при исходных и измененных параметрах ее работы, например, при сниженной мощности, достаточно сравнить радиус зоны обслуживания, так как он определяет ее площадь, а остальные параметры остаются неизменными. В рамках данного исследования при оценке эффективности использования РЧС применяется описанный выше подход.

1.4 Методика проведения расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и показателей качества радиолинии

В данном разделе приведено описание некоторых спорных положений методики проведения расчетов ЭМС РЭС, а также описание методики расчета показателей качества радиолинии.

Порядок проведения экспертизы возможности использования заявленных РЭС и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС в Российской Федерации определяется решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) от 07.11.2016 №16-39-01 (с многочисленными изменениями). В соответствии с указанным порядком, для проведения экспертизы ЭМС заявителем представляются данные о географических координатах конкретных мест размещения планируемых для использования РЭС с точностью «до единиц угловых секунд в системе координат ГСК-2011» [30].

В настоящее время деятельность операторов связи по развёртыванию сетей связи приводит к росту концентрации антенно-фидерных устройств (АФУ) приемо-передающей аппаратуры на ограниченных площадках – антенно-мачтовых сооружениях и крышах высотных зданий. Это вызывает необходимость проведения расчетов ЭМС РЭС с учетом излучений их антенных систем в промежуточной и ближней зонах. Для этого необходимо обладать полной и точной информацией о взаимном расположении антенн.

В соответствии с вышеуказанным решением ГКРЧ, для проведения экспертизы ЭМС РЭС достаточно того, чтобы поступившая заявка соответствовала установленным требованиям, а также, чтобы технические характеристики РЭС, которые планируется использовать, не превышали максимальных значений, изложенных в решении ГКРЧ для соответствующей полосы радиочастот. При этом организация, проводящая экспертизу ЭМС, не вправе потребовать от заявителя обосновать выбранные параметры работы РЭС (мощность, коэффициент усиления антенны и др.) или принять самостоятельное

решение о снижении этих параметров в случае их явно необоснованного завышения. Такое положение вещей может приводить к дефициту РЧС в наиболее загруженных полосах радиочастот.

Расчет основных показателей качества цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ), связанных с надежностью аппаратуры и условиями распространения радиоволн, таких как коэффициент неготовности и коэффициент сильно поражённых ошибками секунд, является одним из этапов проектирования ЦРРЛ. Для указанного расчета необходимо, помимо прочего, проведение оценки дифракционного ослабления радиоволны за счет препятствий, расположенных в минимальной зоне Френеля (определение числа препятствий на интервале, их аппроксимация, расчет дифракционных потерь за счет препятствий) [31].

Для такой оценки, в свою очередь, необходимо располагать точными данными о рельефе и подстилающей поверхности местности, а также данными о наличии на трассе ЦРРЛ местных предметов (строений). Существует возможность получить данные о рельефе местности при помощи топографических карт, однако на них отсутствуют данные о подстилающей поверхности (например, высоте леса и наличии отдельных строений). Непосредственная оценка высоты препятствий путем измерений на местности весьма трудоемка и не всегда возможна из-за труднодоступности местности.

Альтернативным источником более точных данных о рельефе, который можно использовать для моделирования и последующего анализа профиля интервала ЦРРЛ, являются данные ДЗЗ, полученные NASA по заказу Национального агентства геопроостранственной разведки США (NGA) в ходе одной из миссий (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) космического шаттла «Endeavour» [32]. В ходе данной миссии получены данные о рельефе и подстилающей поверхности для 80% суши между 60 градусом северной и 56 градусом южной широты. Отсчеты по высоте рельефа получены с точностью до 1 угловой секунды, т.е. приблизительно через каждые 30 м.

1.5 Обзор программных комплексов для расчета электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств

В данном разделе представлен обзор программных комплексов для проведения расчетов ЭМС РЭС, зон обслуживания РЭС, потерь при распространении радиоволн и построения профилей пролетов РРЛ.

В рамках данного исследования необходимы моделирование зон обслуживания РЭС, построение профилей пролетов РРЛ, расчет потерь при распространении радиоволн. Для этого используются специализированные программные комплексы. Рассмотрим отечественные программные комплексы, рекомендованные для использования при расчете границ зоны покрытия, в соответствии с [33]:

1) геоинформационная система проектирования и анализа радиосетей «ПИАР» версии 4.60 (ПИАР 4.60), разработчик ООО НПФ «ЯР», г. Ярославль;

2) программно-методический комплекс планирования и анализа радиосетей «Эфир» версии 4.4 (ПМК «ЭФИР»), разработчик ООО НПФ «Радиян-М», г. Москва;

3) расчетно-аналитический комплекс для управления радиочастотным спектром (ПК РАКУРС-М), разработчик ФГУП «НИИР», г. Москва.

Приведем краткий обзор названных выше программных комплексов в соответствии с информацией, представленной их производителями на официальных сайтах (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики программных комплексов

Параметр	Программный комплекс		
	ПИАР 4.60	ПМК «ЭФИР»	ПК РАКУРС-М
Диапазон частот анализа, МГц	27–18000	27–30000	Нет данных
Точность установки координат объектов, м	15	30	Нет данных
Диапазон мощностей передатчиков, Вт	$10^{-3} - 10^6$	Нет данных	Нет данных
Диапазон высот подвеса антенн, м	1 – 600	Нет данных	Нет данных
Дискрет установки ДНА по азимуту, град.	0,1	Нет данных	Нет данных
Возможность использования рельефа SRTM-3	Да	Нет данных	Нет данных
Возможность использования рельефа SRTM-1	Да	Нет данных	Нет данных
Среднеквадратическая погрешность синтезированной поверхности рельефа для среднепересеченной местности, м	5	1,5–2	Нет данных
Среднеквадратическое отклонение результатов расчета напряженности поля от экспериментальных измерений, дБ	4	Нет данных	Нет данных
Шаг сетки частот анализа ЭМС, Гц	1	Нет данных	Нет данных
Используемые модели распространения радиоволн	P.370, P.676, P.838, P.526, P.529, P.1546, COST231-Хата	P.370, PN.833, P.1546, P.1812	P.368, P.525, P.1147, P.1546, P.1812, P.2001, Окамура-Хата, Буллингтона

Согласно информации, представленной разработчиком ПК РАКУРС-М, указанный комплекс предназначен для решения задач управления РЧС в интересах радиовещательной и сухопутной подвижной служб радиосвязи, способен проводить расчеты зон покрытия для сетей стандартов DVB-T, DVB-T2, DVB-H, LTE, T-DAB, DRM+, RAVIS, TVA, TETRA, DMR, APCO и других. Разработчиком не представлено какой-либо информации о параметрах, указанных в таблице 1.1, не считая используемых моделей распространения радиоволн.

Программные комплексы ПИАР 4.60 и ПМК «ЭФИР» имеют схожий базовый функционал: оба комплекса, по информации разработчиков, позволяют проводить расчеты контуров напряженности электромагнитного поля РЭС и отображать их на карте местности, анализировать ЭМС РЭС, отображать в графическом виде профиль рельефа местности, имеют собственные встроенные базы данных РЭС, антенн.

Программный комплекс ПИАР 4.60, однако, имеет ряд дополнительных функций, не заявленных разработчиками ПМК «ЭФИР»: возможность

использования рельефа, полученного методом дистанционного зондирования земли (SRTM-1, SRTM-3), возможность проведения расчетов качественных показателей ЦРПЛ на основании методики ГОСТ Р 53363-2009, расчета санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки. Разработчиками ПИАР 4.60 представлено наиболее детализованное описание своего программного продукта.

Дополнительно отметим, что ПИАР 4.60 имеет свидетельство об аттестации методики выполнения измерений №32/037-2002 от 19.03.2002, выданное 32 Государственным научно-исследовательским испытательным институтом Министерства обороны Российской Федерации (32 ГНИИИ МО РФ), согласно которому аттестация осуществлена по результатам теоретических и экспериментальных исследований, а методика выполнения измерений (МВИ) позволяет производить измерения напряженности поля в диапазоне 0–100 дБмкВ/м в диапазоне частот 30–18000 МГц. При этом предел допускаемого значения погрешности измерения напряженности электрического поля не превышает $\pm 3,3$ дБ при доверительной вероятности 0,95, а предельное значение погрешности прогнозирования уровня электромагнитного поля с учетом параметрической адаптации по результатам измерений составляет ± 12 дБ.

Таким образом, единственным программным комплексом из рассмотренных, удовлетворяющим необходимым требованиям, является ПИАР 4.60. На рисунке 1.1 представлен пример расчета зоны покрытия БС сети стандарта GSM–1800 в Томске с помощью ПИАР 4.60, скриншот с экрана. На рисунке 1.2 представлено сравнение расчета зоны покрытия для цифрового телевизионного передатчика в с. Молчаново Томской области на ПИАР 4.60 и данные о зоне покрытия этого передатчика с сайта РТРС.

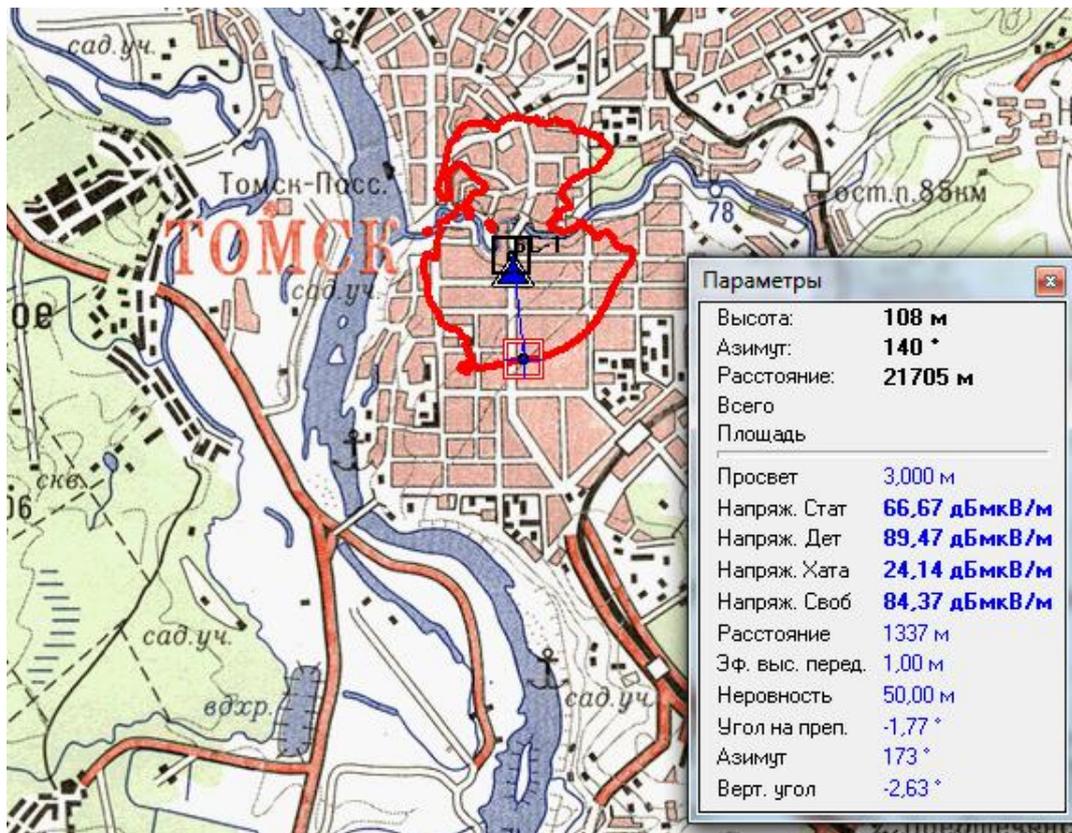


Рисунок 1.1 – Скриншот расчета зоны покрытия для БС стандарта GSM–1800 в Томске с помощью ПИАР 4.60

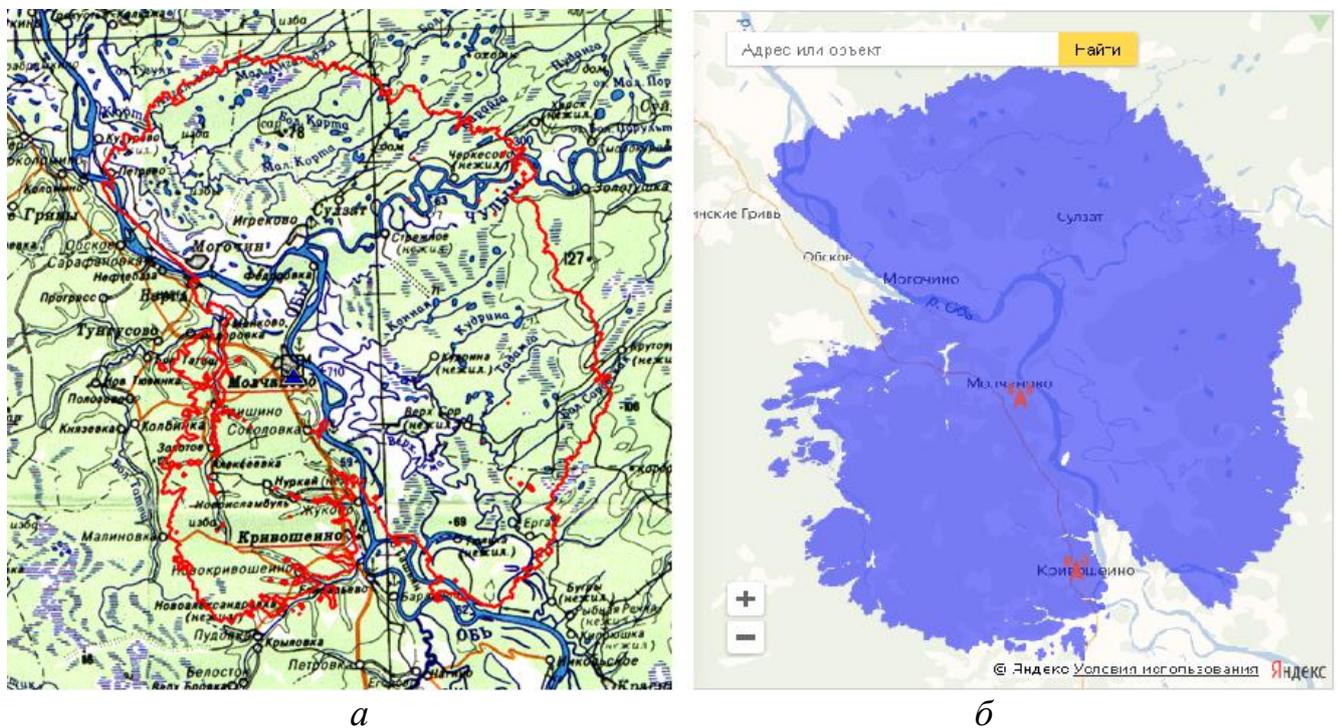


Рисунок 1.2 – Скриншот расчета зоны покрытия для цифрового телевизионного передатчика в с. Молчаново Томской области с помощью ПИАР 4.60 (а) и данные о зоне покрытия этого передатчика с сайта РТРС (б)

1.6 Описание моделей, используемых для расчета потерь при распространении радиоволн и прогнозировании напряженности электромагнитного поля

В данном разделе представлено описание моделей, которые могут использоваться при проведении расчетов потерь при распространении радиоволн и прогнозировании напряженности электромагнитного поля. Приведено краткое описание используемых моделей.

В соответствии с обзором, приведенным в разделе 1.5, для проведения расчетов выбран программный комплекс ПИАР 4.60. Приведем в таблице 1.2 перечень моделей, которые позволяет использовать этот комплекс, а ниже дадим их краткое описание.

Таблица 1.2 – Модели, используемые программным комплексом ПИАР 4.60

Рекомендация МСЭ	Название в оригинале (английский)	Перевод (русский)
Rec. ITU-R P.370	VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz	Кривые распространения в диапазонах частот от 30 МГц до 1000 МГц
Rec. ITU-R P.676	Attenuation by atmospheric gases and related effect	Затухание в атмосферных газах и связанные эффекты
Rec. ITU-R P.838	Specific attenuation model for rain for use in prediction methods	Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования
Rec. ITU-R P.526	Propagation by diffraction	Распространение радиоволн за счет дифракции
Rec. ITU-R P.529	Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands	Методы прогнозирования для наземной службы связи с подвижными объектами в диапазонах частот от 30 МГц до 1000 МГц
Rec. ITU-R P.1546	Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz	Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4 000 МГц
Rec. ITU-R P.1410	Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial broadband radio access systems operating in a frequency range from 3 to 60 GHz	Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в полосе частот от 3 до 60 ГГц

Дополнительно используются расширенная модель Хата на диапазон до 2 ГГц (COST231-Хата), собственная статистическая модель и модель распространения радиоволн в свободном пространстве.

Приведем краткое описание моделей из таблицы 1.2.

Рекомендация МСЭ-R Р.370 содержит ряд кривых, отражающих зависимости напряженности электромагнитного поля в диапазоне частот 30–1000 МГц от расстояния для наземных и морских трасс (пример на рисунке 1.3). Кривые построены на основе обобщения данных многочисленных измерений, проведенных по большей части в местностях с умеренным климатом, в Европе и Северной Америке. При этом измерения напряженности поля проводились для дистанций менее 500 км, поэтому для больших расстояний кривые могут быть не точными. Тем не менее, кривые продлены методом экстраполяции и на большее расстояние, до 1000 км. На расстояниях, превышающих 500 км, они могут использоваться лишь в качестве рекомендации для примерного определения напряженности поля. Представлены кривые для определения напряженности поля, превышаемой в 50% местоположений, для разного процента времени (ряд: 50%, 10%, 5%, 1%).

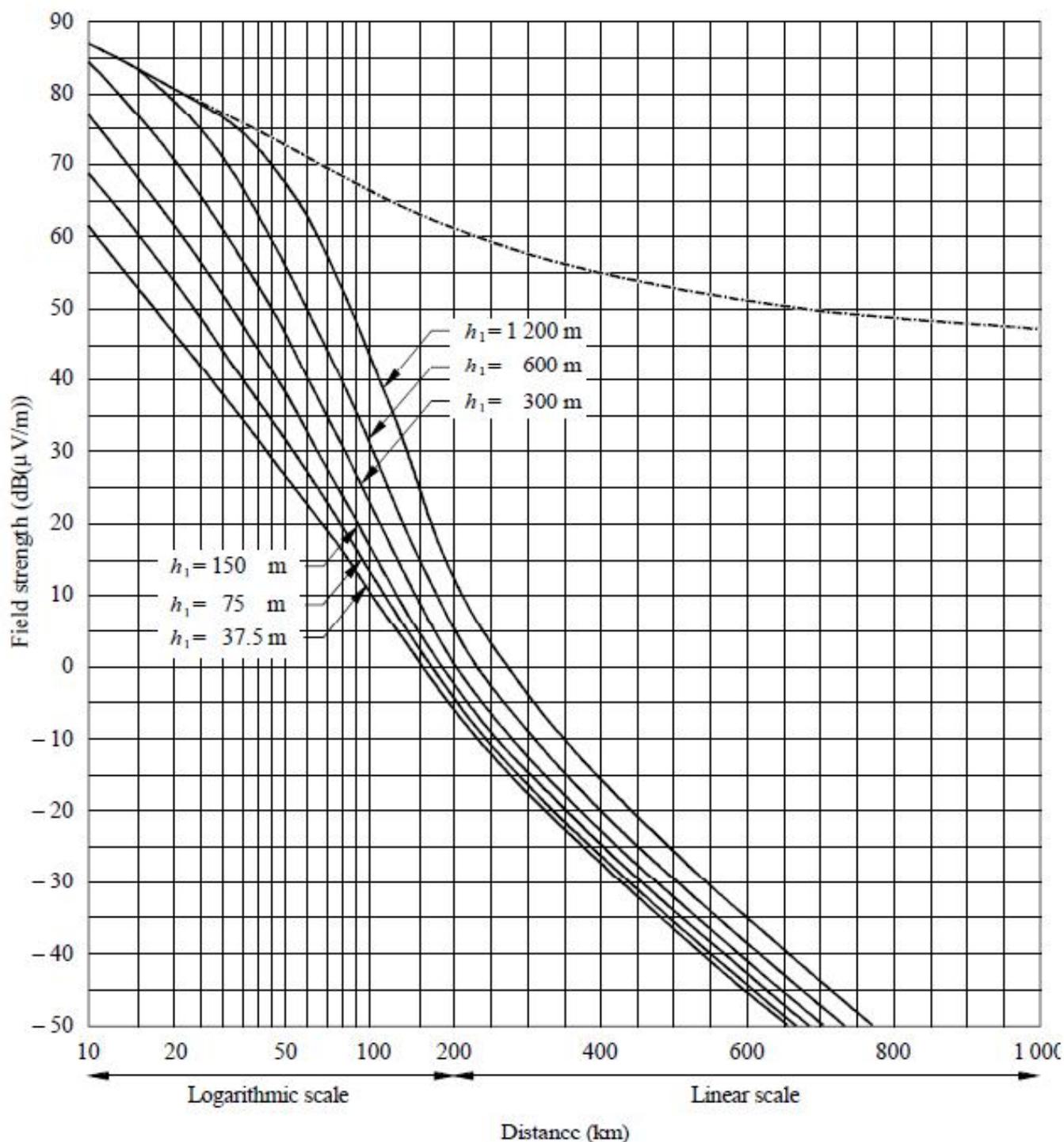


Рисунок 1.3 – Семейство кривых для определения напряженности поля в зависимости от расстояния для диапазона 450–1000 МГц согласно рекомендации МСЭ-R P.370, 50% времени

В рекомендации МСЭ-R P.676 представлены методы расчета затухания радиоволн за счет поглощения в атмосферных газах для диапазона радиочастот 1–1000 ГГц. Представлено три различных метода расчета, которые применимы на наземных и на наклонных (Земля–космос) трассах. Первый метод является

наиболее точным и основан на суммировании индивидуальных линий поглощения (спектральных линий) различных газов, составляющих атмосферу Земли. В частности, учитываются резонансные линии кислорода и водяного пара, а также поглощение молекулами азота на частотах выше 100 ГГц. Метод дает наибольшую точность результатов, если доступны местные метеорологические данные о давлении, температуре и плотности водяного пара в атмосфере на различных высотах. Если эти данные неизвестны для рассматриваемой местности, допускается использовать усредненные данные. Второй и третий методы являются упрощенными и могут использоваться для приблизительных расчетов в диапазоне радиочастот 1–350 ГГц. Они применимы для ограниченного диапазона метеоусловий, однако, для высот от уровня моря до высоты 10 км результаты расчетов по этим методам хорошо согласуются с результатами расчетов по первому методу.

На рисунке 1.4 показаны графики для расчета погонного затухания в атмосферных газах, в соответствии с первым методом по рекомендации МСЭ-R P.676. Данные на графиках приведены для частот от 0 до 1000 ГГц с шагом 1 ГГц, при атмосферном давлении 1013 гПа и температуре окружающей среды +15°C, для двух различных концентраций водяного пара: красной линией показана эталонная атмосфера (7,5 г/м³), синей – сухая атмосфера.

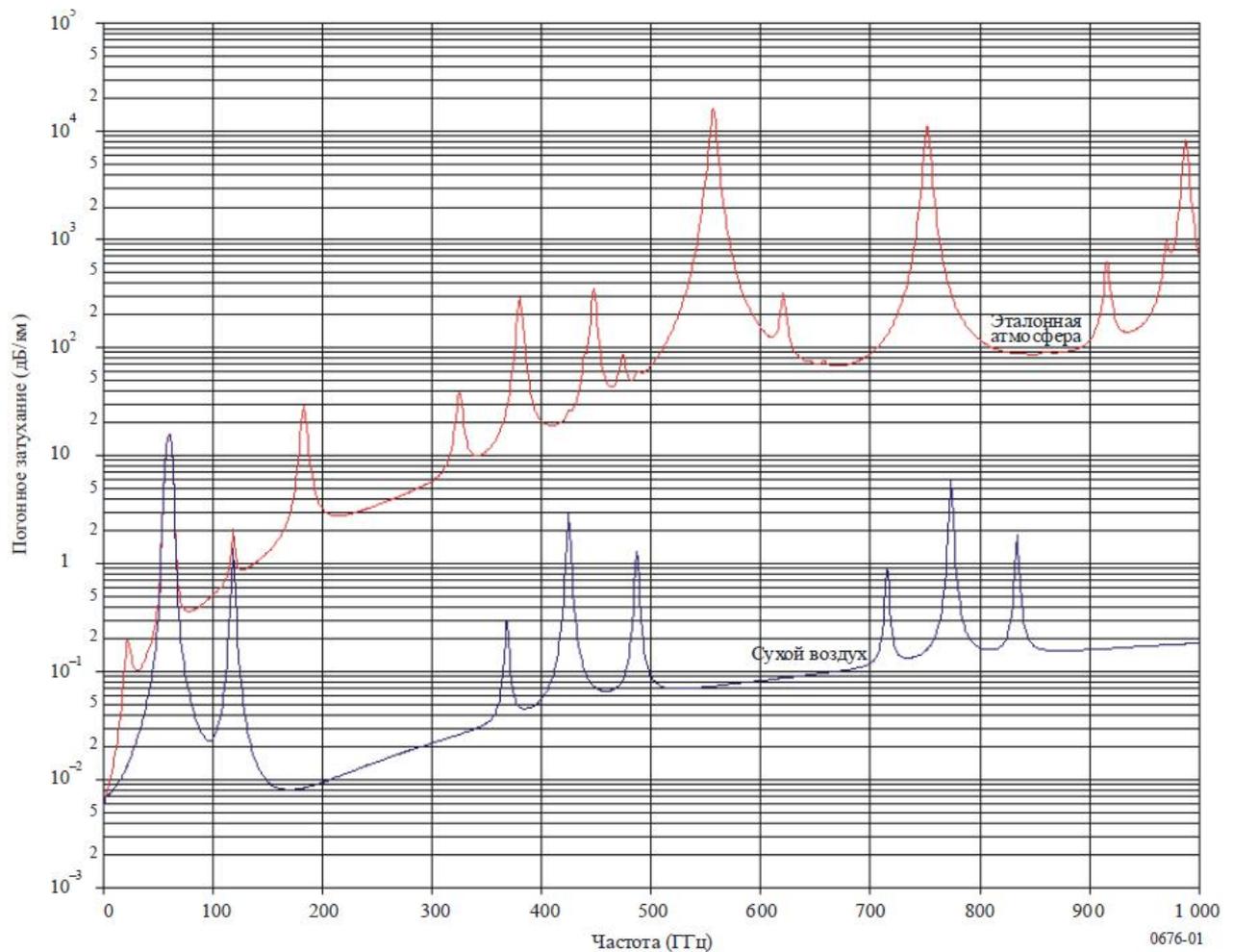


Рисунок 1.4 – Погонное затухание в атмосферных газах, включая центры линий поглощения, в соответствии с рекомендацией МСЭ-R P.676

Рекомендация МСЭ-R P.838 позволяет провести расчет ослабления сигнала в дожде в зависимости от его интенсивности для диапазона радиочастот 1–1000 ГГц. В рекомендации приведены коэффициенты для оценки погонного ослабления в дожде в зависимости от частоты для сигналов с горизонтальной и вертикальной поляризацией в табличной и графической формах.

На рисунке 1.5 приведены графики для определения частотно-зависимого коэффициента α для оценки погонного затухания в дожде в зависимости от поляризации сигнала.

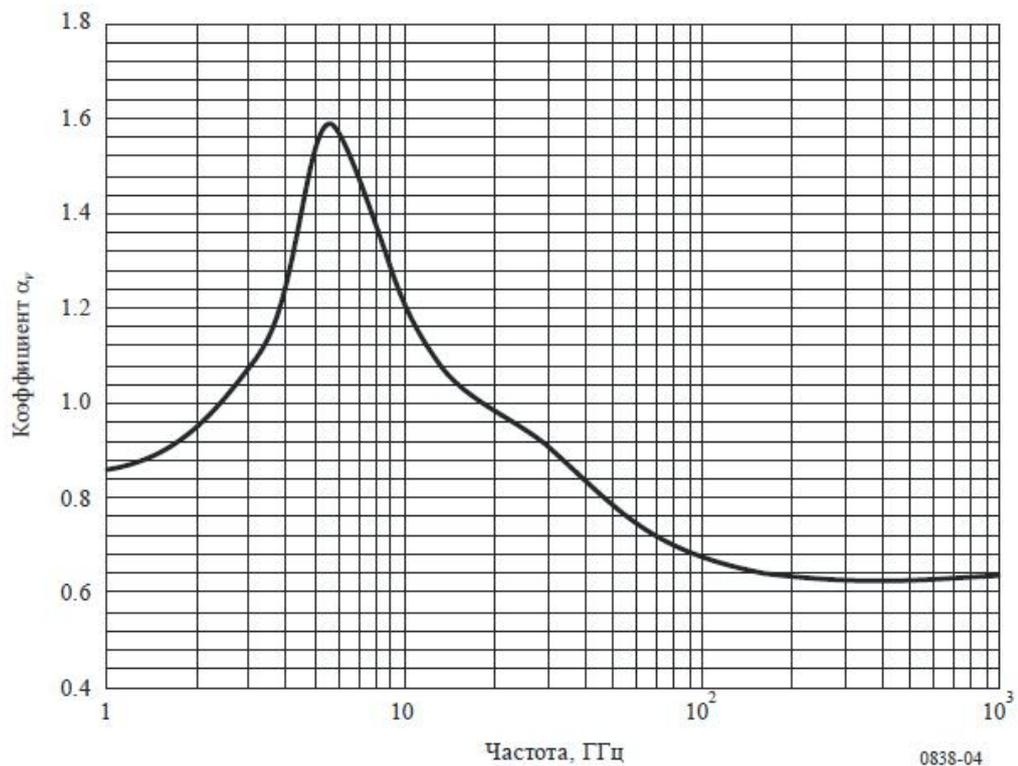
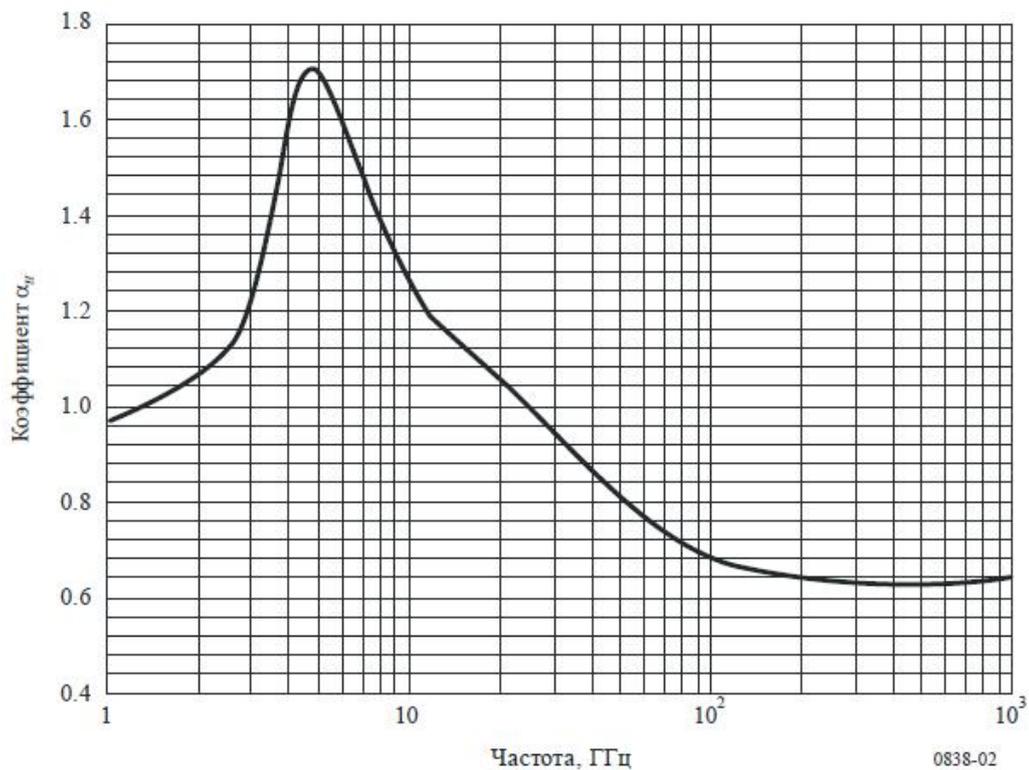
*a**б*

Рисунок 1.5 – Коэффициент α для оценки погонного затухания в дожде в зависимости от частоты в соответствии с рекомендацией МСЭ-R P.838 для вертикальной (*a*) и горизонтальной (*б*) поляризации

Рекомендация МСЭ-R P.526 содержит несколько моделей, позволяющих оценить влияние дифракции на напряженность принимаемого электромагнитного поля. Известно, что дифракцию радиоволн при распространении над поверхностью земли вызывают неровности рельефа, характер подстилающей поверхности, а также искусственные препятствия, в частности, застройка. При решении задачи о характере распространения радиоволны между двумя отдельными точками А и В пространство между ними можно разбить на ряд так называемых эллипсоидов Френеля или зон Френеля. При этом фокусы эллипсоидов находятся в рассматриваемых точках, а радиус каждого эллипсоида в некоторой точке между приемником и передатчиком зависит лишь от расстояния между ними и частоты. На практике обычно рассматривают только первый эллипсоид Френеля и считают, что дифракцией можно пренебречь, если внутри него нет каких-либо препятствий. Рекомендация позволяет провести расчет дифракционных потерь для препятствий различной формы, клиновидных и закругленных, как изолированных, так и при их каскадном расположении. На рисунке 1.6 приведен график для расчета дифракционных потерь на клиновидном препятствии.

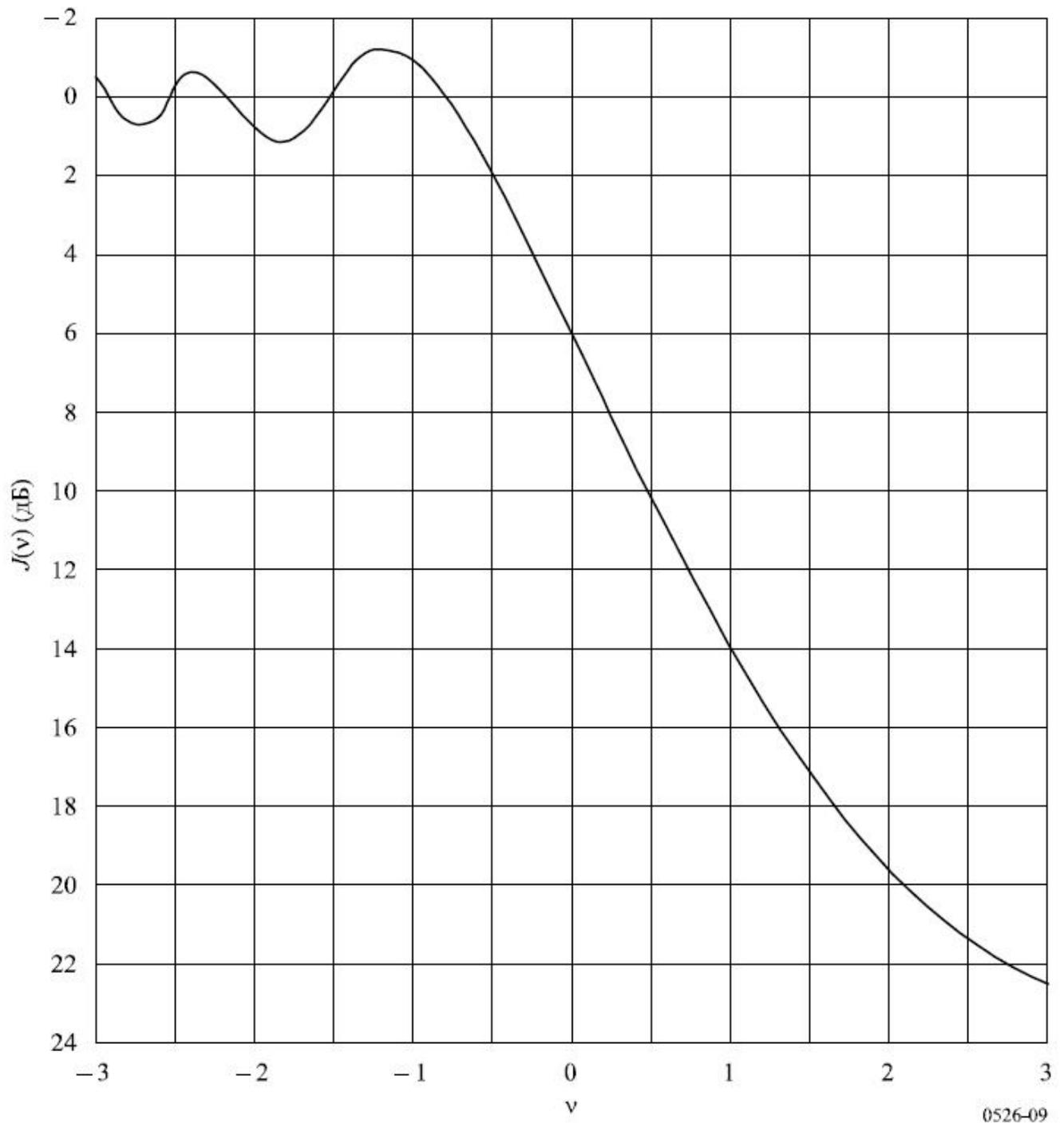


Рисунок 1.6 – Зависимость дифракционных потерь на клиновидном препятствии в соответствии с рекомендацией МСЭ-R P.526 от параметра v

В рекомендации МСЭ-R P.529 представлены кривые, позволяющие спрогнозировать напряженность электромагнитного поля для наземной службы связи с подвижными объектами в зависимости от расстояния для диапазона частот 30–250 МГц, а также для частот в окрестности значений 450 МГц и 900 МГц. Данные представлены для напряженности поля, превышаемой в 50%

местоположений, для 50% времени. Кривые для диапазона частот 30–250 МГц представлены для сельской местности, при этом высота подвеса антенны базовой станции находится в пределах от 10 м до 600 м, высота подвеса антенны мобильной станции составляет 1,5 м. При необходимости их можно использовать для пригорода с уменьшением значений прогнозируемой напряженности поля на 3 дБ и для города с уменьшением на 5 дБ. Кривые для частот в окрестности значений 450 МГц (рисунок 1.7) и 900 МГц (рисунок 1.8) представлены для городской местности, исходя из предположения, что высота подвеса антенны мобильной станции равна 1,5 м, а высота подвеса антенны базовой станции находится в пределах от 30 м до 1000 м.

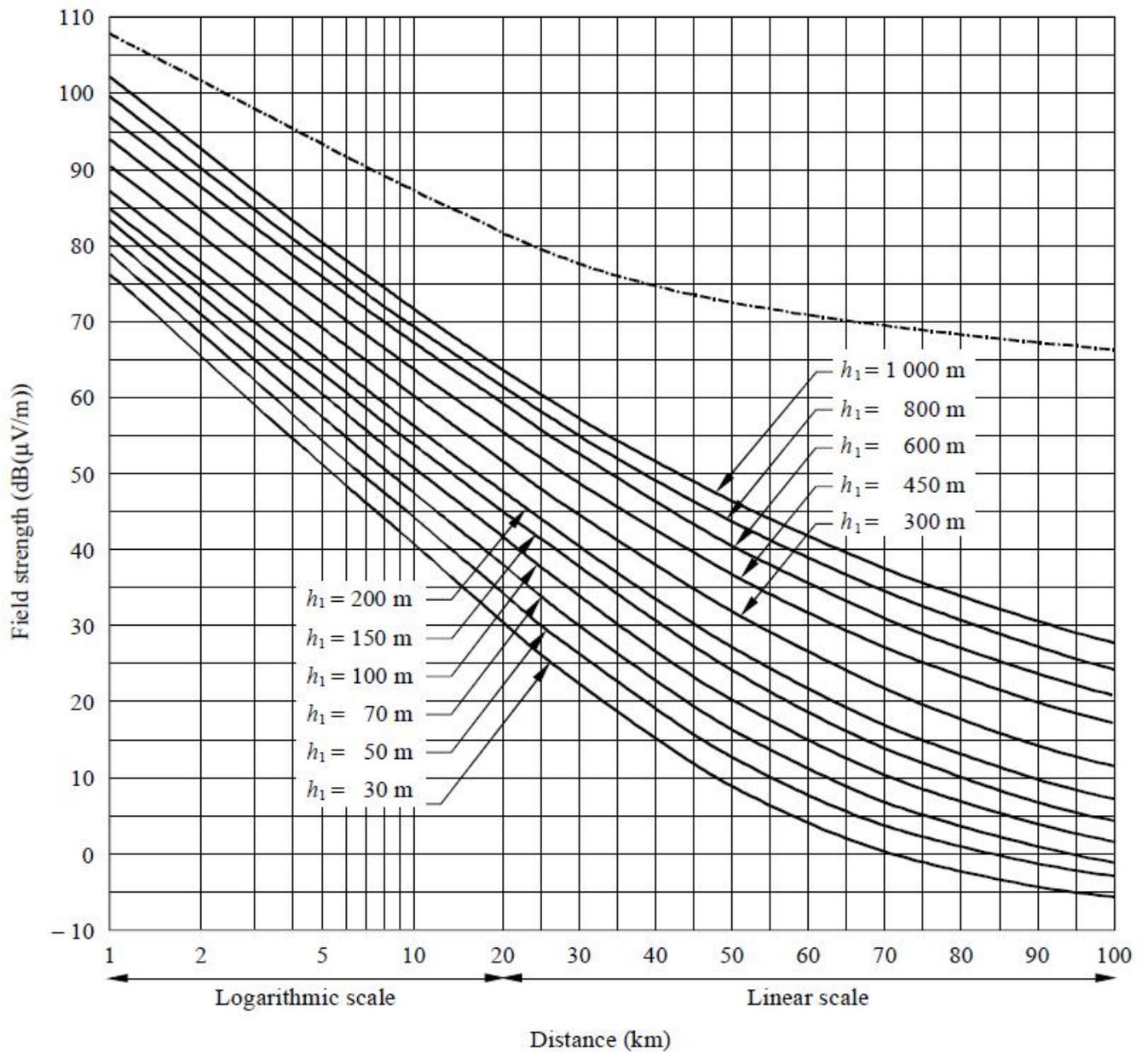


Рисунок 1.7 – Семейство кривых для определения напряженности поля в зависимости от расстояния для частот в окрестности 450 МГц согласно рекомендации МСЭ-R P.529, 50% времени

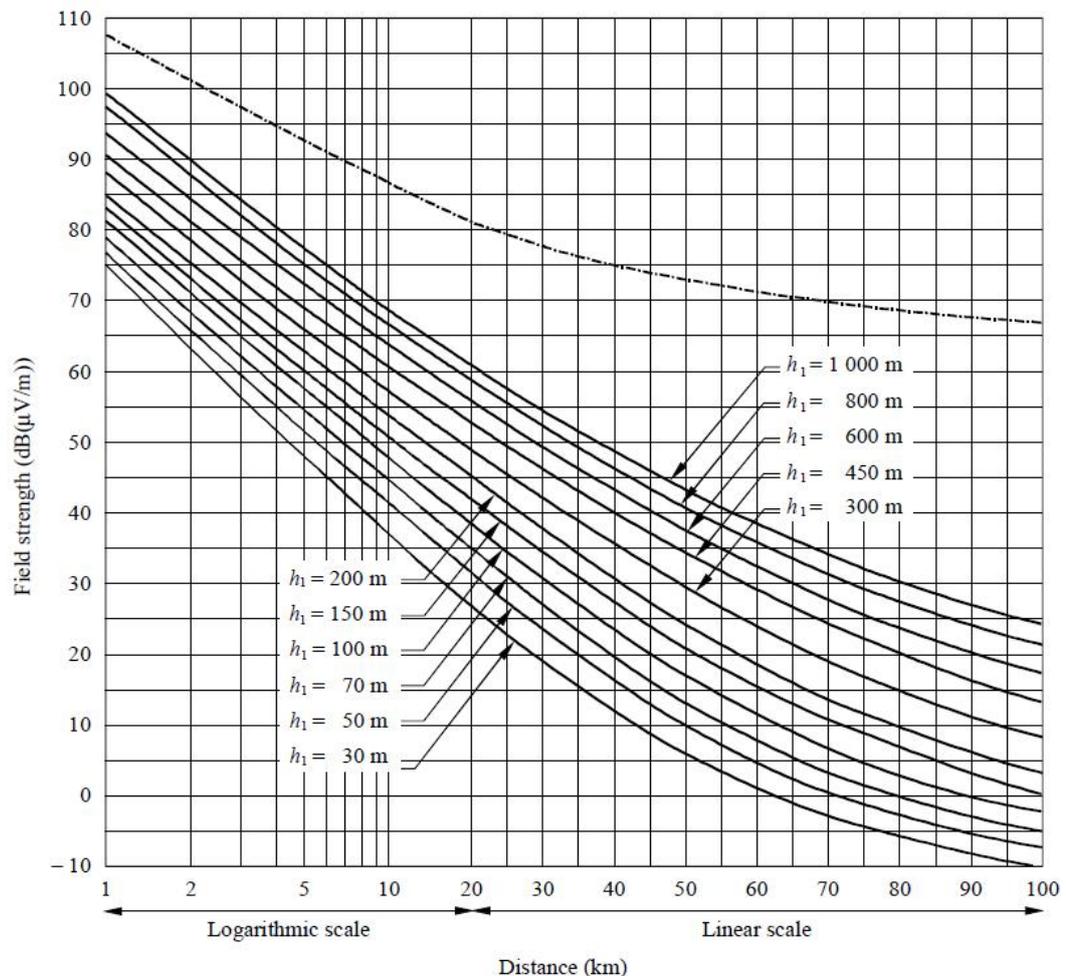


Рисунок 1.8 – Семейство кривых для определения напряженности поля в зависимости от расстояния для частот в окрестности 900 МГц согласно рекомендации МСЭ-R P.529, 50% времени

Рекомендация МСЭ-R P.1546 приведено описание методов прогнозирования напряженности электромагнитного поля в зависимости от расстояния для сухопутных, морских и смешанных трасс длиной от 1 км до 1000 км в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц. Для прогнозирования используются полученные эмпирическим путем кривые напряженности поля, являющиеся функциями расстояния, высоты подвеса антенны, частоты и процента времени, в течение которого значения напряженности превышаются. Рекомендация предназначена в основном для радиовещательной и подвижной служб радиосвязи, когда высота подвеса антенны базовой станции превышает высоту уровня препятствий на местности. В случае, если высота подвеса антенны базовой станции меньше

уровня близкорасположенных препятствий, данная рекомендация не обеспечит точного прогнозирования уровня напряженности поля.

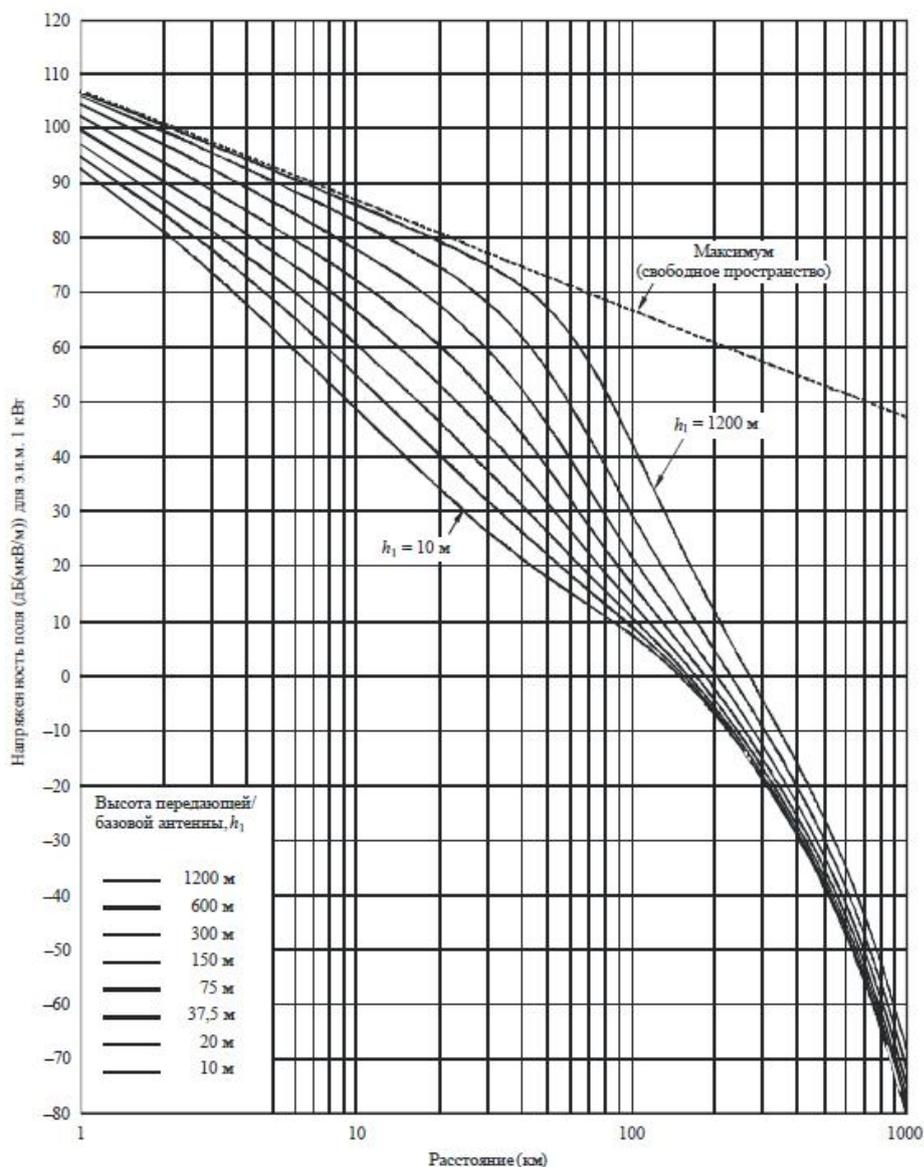


Рисунок 1.9 – Семейство кривых для определения напряженности поля в зависимости от расстояния для частот в окрестности 600 МГц согласно рекомендации МСЭ-R P.1546, 50% времени

Модель распространения радиоволн в свободном пространстве, то есть в однородной изотропной среде, является эталонным понятием в радиотехнике. Реальные потери при распространении всегда больше, однако, эта модель также имеет ограниченное практическое применение. Расчеты потерь при распространении радиоволны в свободном пространстве можно провести двумя способами, которые относятся к разным типам служб радиосвязи. В случае, если

передатчик обслуживает множество приемников, распределенных по территории по закону случайного распределения, что характерно для радиовещательной и сухопутной подвижной служб радиосвязи, то в точке, расположенной на некотором расстоянии от передатчика, среднеквадратическое значение модуля напряженности поля можно рассчитать как:

$$E = \frac{\sqrt{30p}}{d}, \quad (1.4)$$

где p – эквивалентная изотропно-излучаемая мощность передатчика (Вт), d – расстояние от передатчика до рассматриваемой точки (м).

В случае, если рассматривается линия связи между двумя пунктами, что характерно для радиорелейных линий, то основные потери при передаче целесообразно рассчитывать как:

$$L = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right), \quad (1.5)$$

где d – расстояние (м), λ – длина волны (м).

Статистические модели для расчета потерь при распространении радиоволн иногда также называют эмпирическими, так как они основаны на большом количестве данных о напряженности поля, полученных экспериментальным путем. Известными статистическими моделями являются модели Окамура–Хаты, Уолфиша–Икегами, Кся–Бертони и другие. Статистическая модель, используемая программным комплексом ПИАР 4.60, позволяет проводить расчет потерь для диапазона частот 27–18000 МГц при высоте подвеса антенн 1–600 м. При этом разработчики не предоставляют детальной информации об используемой статистической модели.

1.7 Цель и задачи исследования

Как следует из раздела 1.1, существует актуальная задача обеспечения населения качественной связью и мобильным доступом в сеть Интернет. Проблема цифрового неравенства в Томской области практически до настоящего

момента не исследовалась, хотя и опубликован ряд статей, посвященных проблеме цифрового неравенства в России и мире в целом, например [34–36]. В указанных статьях проблема цифрового неравенства рассматривается на макроуровне, даются оценки экономическим и социальным аспектам данной проблемы, таким как уровень дохода пользователей и уровень их образования. Технической же стороне проблемы не уделено достаточного внимания. Кроме того, оценки, сделанные для России и мира в целом, не дают представления о масштабах проблемы для отдельно взятого региона. Поэтому целесообразно провести оценку качества сотовой связи в Томске путем измерений, причем в динамике, а также выполнить некоторые количественные оценки доступности беспроводного подключения к сети Интернет для различных районов Томской области и выявить наиболее острые проблемы в обеспеченности связью. Комплексное рассмотрение проблемы цифрового неравенства в Томской области в рамках данной работы, очевидно, невозможно. Поэтому целесообразно ограничиться оценкой возможности мобильного беспроводного подключения к сети Интернет для населения Томской области как одного из важнейших факторов, определяющих доступность информационно-коммуникационных сервисов.

Как следует из раздела 1.2, существует проблема дефицита РЧС в отдельных полосах радиочастот. Вопросам эффективного использования РЧС посвящены работы [37–39]. Авторами отмечается резкий рост потребления услуг в беспроводных сетях передачи данных, предлагаются как экономические, так и технические методы повышения эффективности использования РЧС. Среди технических методов предлагаются внедрение новых технологий радиосвязи, оптимизация передаваемого интернет-трафика, внедрение механизма динамического управления РЧС (так называемое «когнитивное радио») [40–43]. Не отрицая важности этих решений, отметим, что отдельным задачам, а именно оптимизации параметров работы ЦРРЛ с целью более эффективного использования ими РЧС, имеющей существенное практическое значение, не уделено достаточного внимания. Основными параметрами, определяющими энергетику пролета ЦРРЛ, являются коэффициент усиления антенн и мощность

передатчиков. В связи с тем, что указанные параметры одновременно влияют и на возможность повторного назначения одних и тех же радиочастотных каналов на ограниченной территории, представляется целесообразным оценить обоснованность их выбора на этапе проектирования, выполнить оценку эффективности использования РЧС радиорелейными линиями, выявить имеющиеся ресурсы для повышения эффективности его использования, предложить возможные решения для повышения эффективности использования РЧС.

Как следует из раздела 1.4, существуют некоторые спорные положения в существующей методике проведения экспертизы ЭМС РЭС, предположительно, не способствующие эффективному использованию РЧС. В связи с этим целесообразно дать оценку существующим требованиям к точности указания мест размещения РЭС и к достаточности предоставляемых для экспертизы ЭМС данных и их обоснованности.

Цель работы – исследовать распространение радиоволн на трассах сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи в Томской области, влияние особенностей их распространения на качество связи и требования к характеристикам оборудования, а также разработать на этой основе рекомендации по совершенствованию методологической и нормативно-технической базы обеспечения ЭМС и управления РЧС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести оценку эффективности использования РЧС системами сухопутной подвижной и фиксированной служб радиосвязи в Томской области и разработать рекомендации по ее повышению на этапе проведения экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

2. Провести инструментальными методами оценку качества сотовой связи в г. Томске и ее доступности в Томской области в динамике.

2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРЕДЛОЖЕННЫЕ МЕТОДЫ ПО ЕЕ ПОВЫШЕНИЮ

2.1 Использование данных о рельефе и подстилающей поверхности местности, полученных методом дистанционного зондирования Земли, при проектировании цифровых радиорелейных линий связи

В данном разделе представлены результаты и показаны преимущества моделирования интервалов ЦРРЛ на основе данных, полученных методом ДЗЗ в сравнении с его моделированием на основе данных, полученных при помощи топографических карт местности. Результаты, приведенные в данном разделе, опубликованы в работе [44].

Для моделирования использовано программное обеспечение «ПИАР» 4.60 (геоинформационная система проектирования и анализа радиосетей) [45]. Приведем пример моделирования пролета условной ЦРРЛ из точки А в точку Б, основываясь на данных, полученных с топографической карты местности (рисунок 2.1а) и на основе данных ДЗЗ (рисунок 2.1б).

На рисунке 2.1 зеленым цветом показано сечение рельефа местности или продольный профиль радиорелейного интервала, красным цветом показана линия визирования антенн (прямая, соединяющая фазовые центры левой и правой антенн), синим цветом показана область пространства, существенная при распространении радиоволн (область пространства, в которой распространяется основная часть передаваемой мощности, причем в нашем случае рассматривается только первая зона Френеля).

Определим просвет ЦРРЛ как минимальную разность высот между профилем радиорелейного интервала и прямой, соединяющей центры левой и правой антенн [31]. Тогда видно, что значения перекрытия зоны Френеля,

рассчитанные на основе данных, полученных из двух разных источников, существенно разнятся (просветы 10 м и 6,5 м соответственно).

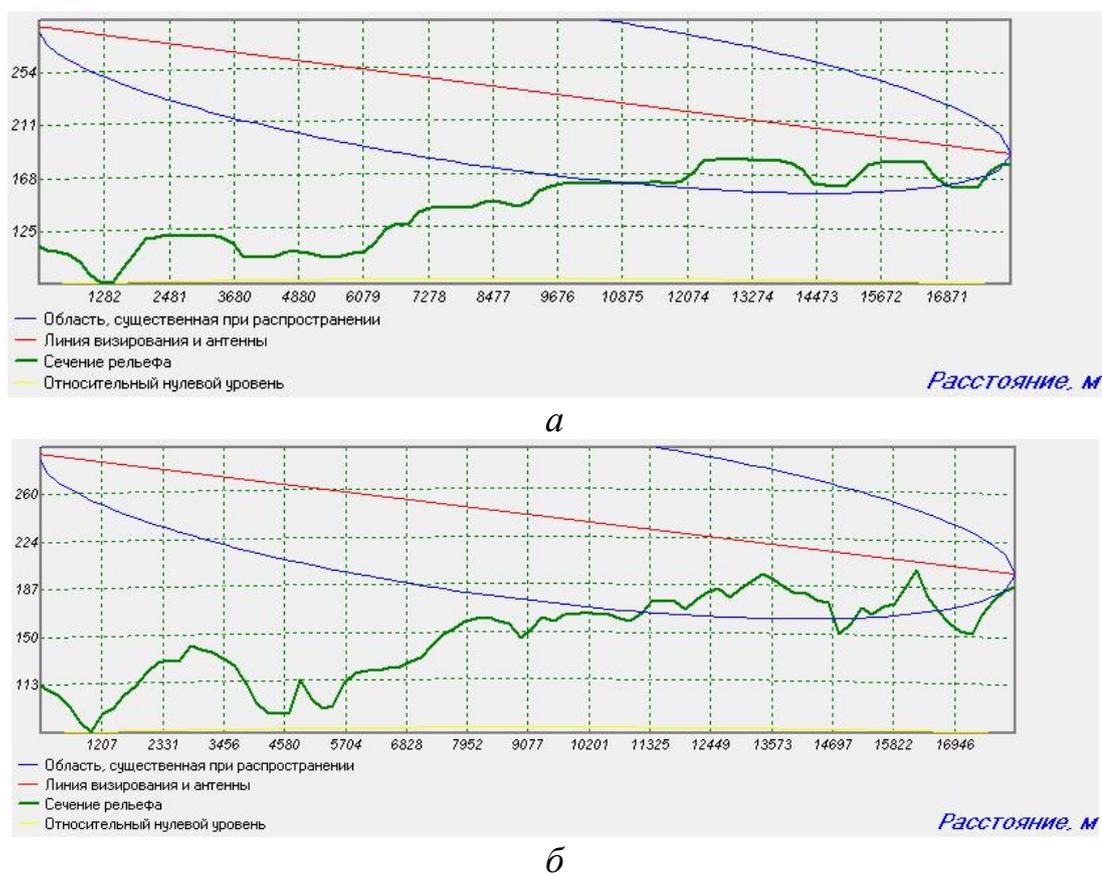


Рисунок 2.1 – Сечение рельефа по линии А–Б на основе данных с топографических карт, просвет 10 м (а) и ДЗЗ, просвет 6,5 м (б)

Непосредственное измерение высоты препятствия в критической точке (с минимальным просветом), проведенное с точностью до 1 м при помощи лазерного дальномера, дает значение просвета 6 ± 1 м, что подтверждает большую точность данных ДЗЗ. Кроме того, в ходе неоднократно проведенных натуральных испытаний на ЭМС РЭС выявлено, что измеренное значение напряженности электромагнитного поля в точке лучше согласуется с результатами моделирования, проведенного на основе данных ДЗЗ, чем полученных с топографических карт местности. Этот факт также косвенно свидетельствует о большей точности данных ДЗЗ. Известно, что использование неполных (неточных) данных о структуре трассы ЦРРЛ может привести к ошибкам в проектировании ЦРРЛ и, как следствие, к срыву связи на интервале за счет частичного или полного перекрытия препятствием зоны Френеля [46]. Приведем в таблице 2.1. сравнение результатов

моделирования и измерений для напряжённости поля от различных радиовещательных передатчиков метрового диапазона длин волн.

Таблица 2.1 – Сравнение напряжённости поля от различных передатчиков метрового диапазона по результатам моделирования и измерений

Точка измерений	$E \pm 3,3$ дБмкВ/м (Топографическая карта)	$E \pm 3,3$, дБмкВ/м (SRTM3)	$E \pm 3,3$, дБмкВ/м (SRTM1)	$E \pm 1,5$, дБмкВ/м (измерение)
Радиовещательный передатчик 102,1 МГц (г. Томск, ул. Больничная, 11А, 56°29'40" / 84°58'30"), 178 м, 1 кВт				
56N2126 085E0750 с. Богашёво	77,69	74,89	69,21	67,9
56N3632 084E5308 г. Северск	87,29	83,19	78,86	77,5
56N2750 084E5812 г. Томск, ул. Усова	105,51	102,67	98,82	97,5
56N2758 084E5742 г. Томск, пр. Кирова	106,92	102,32	98,42	97,2
Радиовещательный передатчик 92,6 МГц (г. Томск, ул. Больничная, 11А, 56°29'40" / 84°58'30"), 130 м, 1 кВт				
56N2126 085E0750 с. Богашёво	75,6	73,1	69,1	67,4
56N3632 084E5308 г. Северск	73,6	71,1	67,9	65,8
56N2750 084E5812 г. Томск, ул. Усова	94,6	92,2	91,2	89,4
56N2758 084E5742 г. Томск, пр. Кирова	96,4	93,7	92,6	90,2
Радиовещательный передатчик 91,1 МГц (г. Томск, ул. Больничная, 11А, 56°29'40" / 84°58'30"), 156 м, 1 кВт				
56N2126 085E0750 с. Богашёво	83,6	81,4	78,2	76,1
56N3632 084E5308 г. Северск	73,3	71,3	67,3	64,3
56N2750 084E5812 г. Томск, ул. Усова	96,2	93,2	89,7	86,5
56N2758 084E5742 г. Томск, пр. Кирова	101,4	99,2	96,1	92,9

Вывод

Целесообразно использование данных о рельефе, полученных методом ДЗЗ, позволяющее повысить точность расчета основных показателей качества ЦРРЛ и снизить затраты на проектирование ЦРРЛ.

2.2 Оценка существующих требований к точности указания мест размещения радиоэлектронных средств для проведения расчетов их электромагнитной совместимости

В данном разделе показана недостаточность существующих требований к точности указания мест размещения РЭС для экспертизы ЭМС и предложено возможное решение – введение требования предоставлять ситуационный план размещения антенны на конкретном объекте [47].

Оценим значение 1 угловой секунды в единой государственной системе геодезических координат 1995 г. [48] (далее – СК-95) в метрах. Для этого используем программный комплекс «Геоинформационная система ПИАР 4.60» [44]. Изменяя координаты пробной точки относительно опорной на 1 угловую секунду последовательно по широте и долготе, получаем оценку расстояния между указанными точками: 17 м при изменении на 1 угловую секунду по долготе и 30 м при соответствующем изменении по широте. Оценка произведена для опорной точки, расположенной на территории г. Томска с координатами: 56N3000, 85E0000. Проведенная оценка показана на рисунках 2.2, 2.3.

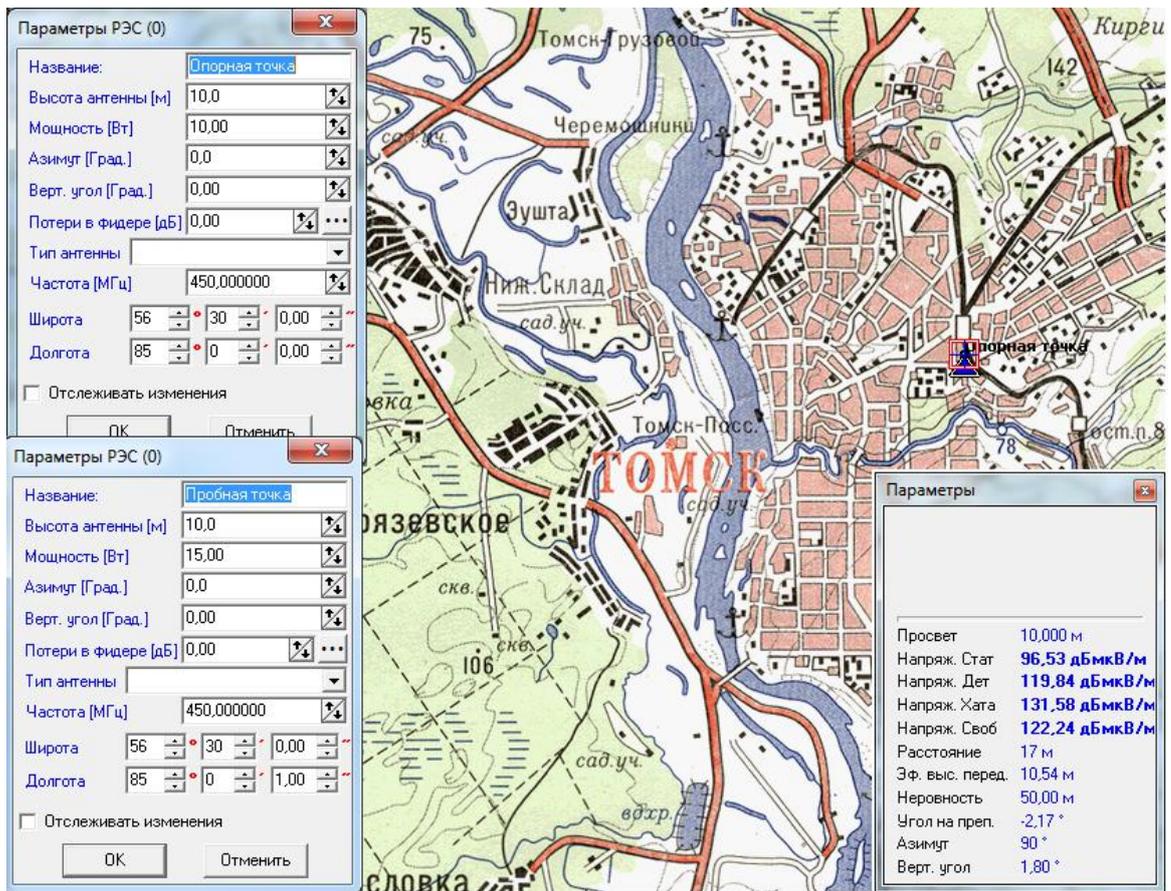


Рисунок 2.2 – Скриншот программы при проведении оценки расстояния между двумя точками с разностью координат 1 угловая секунда по долготе

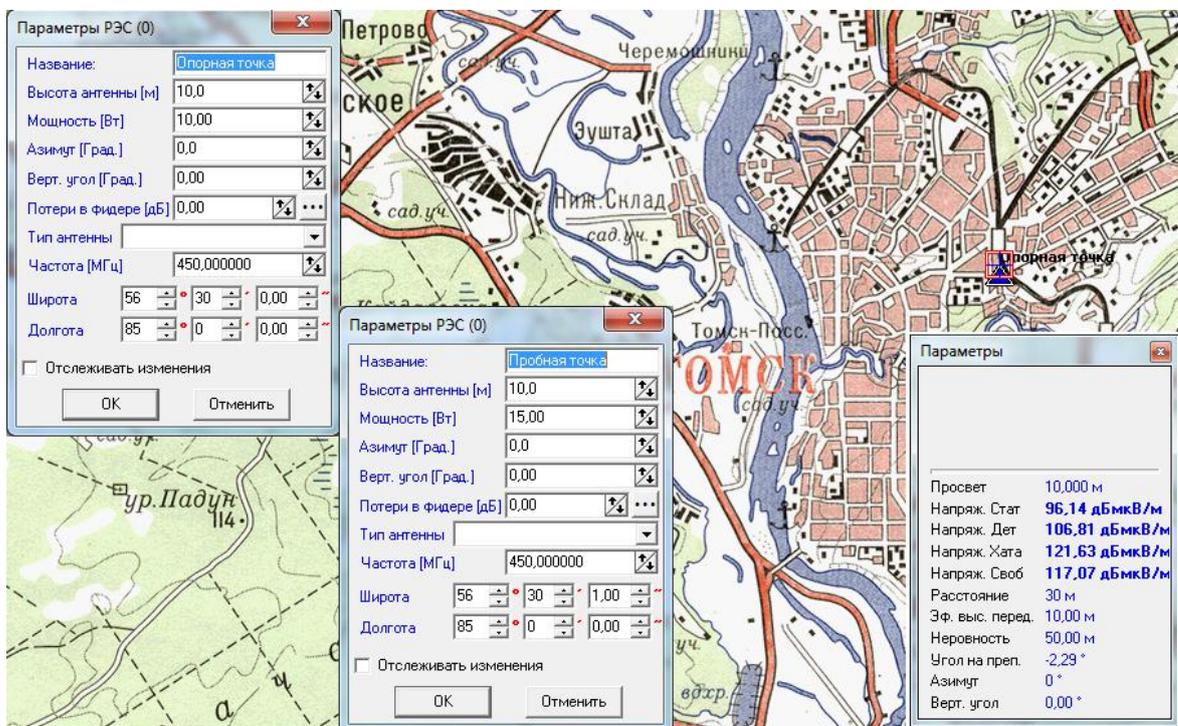


Рисунок 2.3 – Скриншот программы при проведении оценки расстояния между двумя точками с разностью координат 1 угловая секунда по широте

Отметим, что оценочное значение 1 угловой секунды в метрах зависит от координат места размещения РЭС. Для определения этого значения можно также обратиться к соответствующему государственному стандарту [49].

В теории антенн подробно описаны различные подходы к определению границ дальней зоны (ДЗ) антенн. Между тем, электрические размеры антенн современных радиотехнических комплексов постоянно увеличиваются, что связано с интенсивным освоением все более коротких волн радиодиапазона. Для таких антенн граница ДЗ существенно отодвигается: например, для антенн современных радиорелейных линий диапазона 81–86 ГГц граница ДЗ может находиться в десятках метров от антенны.

Известна формула для оценки границы дальней зоны:

$$r \approx 2 \frac{D^2}{\lambda}, \quad (2.1)$$

где D – максимальный габаритный размер антенны (м), λ – длина волны (м).

Проиллюстрируем сказанное, выполнив оценку границы дальней зоны по формуле 2.1 для нескольких распространенных типов антенн (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Оценка границы ДЗ для распространенных типов антенн

№ п/п	Антенна	Средняя частота рабочего диапазона, ГГц	Длина волны, мм	Размер антенны, м	Граница ДЗ (оценка), м
1	Ericsson Mini-link PT 6020	83,5	3,6	0,2	22
				0,3	50
				0,6	200
2	AlfoPlus80 series SIAE Microelettronica	83,5	3,6	0,3	50
				0,6	200
3	NEC ePASOLINK 71–76	73,5	4	0,3	45
				0,6	180
4	Радиомост ДОК РРС-350-Q60/ММ	41,5	7,2	0,6	100
5	Ubiquiti airFiber (AF-24) - РРС 24 ГГц со встроенной антенной	24	12,5	0,65	68
6	ЦРРС МИК-РЛ 15Р+	15	20	0,6	36
				1,0	100
				1,8	324
7	Motorola РТР 54200	5,5	55	0,34	4

Как видно из таблицы 2.1, антенные системы РЭС могут оказаться в ближней и промежуточной зонах излучения других РЭС, что чревато возникновением множества помехоопасных ситуаций. Существующие же требования к точности указания мест размещения РЭС не позволяют разделить их на одном объекте и провести требуемые расчеты. В такой ситуации возможен только апостериорный анализ ЭМС, т.е. проведение экспериментальной проверки непосредственно на объекте, что не всегда возможно и требует значительных затрат. Отдельно на рисунке 2.4 приведены изображения антенн из таблицы 2.2.

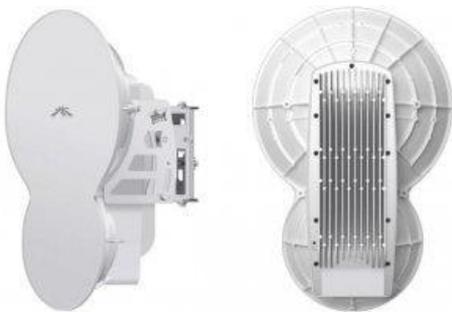
*a**б**в**г**д**е**ж**a* - Ericsson Mini-link PT 6020*б* - AlfoPlus80 series SIAE Microelettronica*в* - NEC ePASOLINK 71-76*г* - Радиомост ДОК PPC-350-Q60/MM*д* - Ubiquiti airFiber (AF-24)*е* - ЦРРС МИК-РЛ 15Р+*ж* - Motorola PTP 54200

Рисунок 2.4 – Изображения антенн

Вывод

Показана недостаточность существующих требований к точности указания конкретных мест размещения РЭС для целей проведения экспертизы ЭМС. Обоснована необходимость их ужесточения.

Возможное решение данной проблемы – введение требования предоставлять ситуационный план размещения антенны РЭС на конкретном объекте с последующей фиксацией данного плана в разрешении на использование радиочастот. Это дало бы точную информацию о месте размещения РЭС и позволило бы провести расчеты ЭМС.

2.3 Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса радиорелейными линиями связи

В данном разделе рассматривается проблема эффективного использования ограниченного природного ресурса – радиочастотного спектра. Показано, что имеет место дефицит свободного радиочастотного ресурса в отдельных диапазонах радиочастот. На примере Томской области выполнена оценка эффективности использования радиочастотного спектра радиорелейными линиями диапазона 8 ГГц. Для проведения оценки выполнены расчеты потерь при распространении радиоволн и запаса на замирания на интервалах радиорелейной линии. При проведении расчетов использованы данные о подстилающей поверхности местности, полученные методом дистанционного зондирования земли с точностью до одной угловой секунды. Предложены возможные решения для повышения эффективности использования радиочастотного спектра. Результаты, приведенные в данном разделе, опубликованы в [50].

Проведение оценки

На этапе проектирования РРЛ определяются, помимо прочего, значения коэффициентов усиления антенн РРЛ и мощностей их передатчиков, составляется

частотно-территориальный план, который впоследствии проходит ряд экспертиз, в том числе на предмет возможности использования заявленных РЭС и их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС.

Отметим, что максимально возможные значения мощностей передатчиков РРЛ и, в некоторых случаях, их эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) на территории РФ определяются в отдельности для каждого диапазона радиочастот соответствующими решениями ГКРЧ, которые могут быть использованы неограниченным кругом лиц для упрощенного получения разрешений на использование радиочастот [51]. Для справки приведем в таблице 2.3 эти значения для РРЛ различных диапазонов радиочастот.

Таблица 2.3 – Максимальные значения мощностей передатчиков РРЛ по диапазонам радиочастот, в соответствии с решениями ГКРЧ, по состоянию на сентябрь 2017 г.

№	Диапазон радиочастот, ГГц	№ решения ГКРЧ	Максимальная разрешенная мощность передатчика РРЛ, Вт
1	7,25–7,55	09-04-06-2	1*
2	7,9–8,4	09-01-06	1*
3	10,7–11,7	09-03-04-1	1
4	12,75–13,25	09-02-08	0,5
5	14,5–15,35	08-23-09-001	0,5
6	17,7–19,7	07-21-02-001	0,5
7	21,2–23,6	06-16-04-001	0,5
8	24,25–29,50	09-03-04-2	0,5
9	36–40,5	06-14-02-001	0,5
10	71–76; 81–86	10-07-04-1	0,15
11	92–94; 94,1–95	10-07-04-2	0,15

* – дополнительно ограничивается максимальная ЭИИМ передатчиков на уровне 55 дБВт

Приведем в таблице 2.4 статистические данные о фактических значениях мощностей передатчиков радиорелейных станций (РРС), зарегистрированных установленным порядком на территории Томской области (взято для примера) с разбивкой по диапазонам радиочастот. Данные получим из [52] по состоянию на сентябрь 2017 г. Это позволит нам оценить количество радиорелейных станций, использующих максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность.

Таблица 2.4 – Статистические данные о мощностях передатчиков РРС, зарегистрированных на территории Томской области

№	Диапазон радиочастот, ГГц	Количество РРС, шт.	Количество РРС, использующих максимальную разрешенную мощность	
			шт.	%
1	7,25–7,55	471	154	32,7
2	7,9–8,4	513	57	11,1
3	10,7–11,7	367	35	9,5
4	12,75–13,25	227	46	20,3
5	14,5–15,35	543	344	63,4
6	17,7–19,7	194	39	20,1
7	21,2–23,6	644	160	24,8
8	24,25–29,50	8	0	0,0
9	36–40,5	299	0	0,0
10	71–76; 81–86	462	148	32,0
11	92–94; 94,1–95	0	0	0

Руководящего документа, регламентирующего требуемое значение запаса на замирания для РРЛ различных диапазонов частот, нет, но из [53] известны типовые рекомендуемые значения запаса на замирания для РРЛ различных диапазонов радиочастот: для 5,67–8,4 ГГц оно равно 37 дБ.

Выполним расчет потерь при распространении радиоволн для конкретной радиорелейной линии, использующей максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность, и сравним полученные значения запаса на замирания с рекомендованным в [52]. Для примера рассмотрим ЦРРЛ, которая расположена на территории Томской области, имеет среднюю частоту рабочего диапазона 8,15 ГГц, реальную чувствительность приемников (при заданном BER) минус 102 дБВт. Коэффициент усиления антенн на передающей и приемной сторонах всех пролетов РРЛ одинаков и равен 43 дБ. Расчет произведем с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности с помощью программного комплекса [54]. Результаты расчета приведены в таблице 2.5, схема построения РРЛ приведена на рисунке 2.5.

Для расчета потерь при распространении радиоволн используем методику [55]. Покажем процесс проведения расчетов по этой методике для всех пролетов рассматриваемой ЦРРЛ. При помощи программного комплекса [53] построим продольные профили пролетов с учетом рельефа и подстилающей поверхности

местности (рисунки 2.6а – 2.16а), а также их трехмерные модели (рисунки 2.6б – 2.16б), которые используем для проведения расчетов.

Для построений, приведенных на рисунках 2.6–2.16, использованы данные, полученные Национальным агентством геопроостранственной разведки США (NGA) методом дистанционного зондирования Земли во время одной из миссий космического шаттла «Endeavour» (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). В ходе данной миссии получены данные о рельефе и подстилающей поверхности для 80% суши между 60-м градусом северной и 56-м градусом южной широты. Отсчеты по высоте рельефа получены с точностью до 1 угловой секунды, т.е. приблизительно через каждые 30 м [56]. Результаты проведенных ранее выборочных измерений высоты на местности подтвердили точность используемых данных [57].

Таблица 2.5 – Расчет потерь на трассе ЦРРЛ

№	Пролет РРЛ	Длина пролета, км	Загухание сигнала в дожде, дБ	Дифракционные потери при средней рефракции, дБ	Потери распространения в свободном пространстве, дБ	Ослабление в атмосферных газах, дБ	Запас на замирания, дБ
1	A-B	41,8	9,6	0	143,1	0,49	39,6
2	B-C	37,2	8,6	5	142,1	0,44	40,7
3	C-D	37,9	8,7	0	138,0	0,32	44,9
4	D-E	36,6	8,4	0	141,9	0,43	40,9
5	E-F	29,8	6,9	0	140,2	0,35	42,7
6	F-G	25,2	5,8	0	138,7	0,30	44,2
7	G-H	38,8	9,0	0	142,5	0,46	40,3
8	H-I	21,5	5,0	0	137,3	0,25	45,7
9	I-J	46,5	10,7	0	144,2	0,56	38,5
10	J-K	29,4	6,8	0	140,2	0,35	42,7
11	K-L	29,4	6,8	0	140,2	0,35	42,7

Произведенный расчет показывает, что лишь на двух интервалах запас на замирания имеет значение, близкое к рекомендованному: на интервале A-B 39,6 дБ и 38,5 дБ на интервале I-J. На остальных интервалах фактический запас на замирания составляет от 40,3 до 45,7 дБ, существенно превышая рекомендованный.

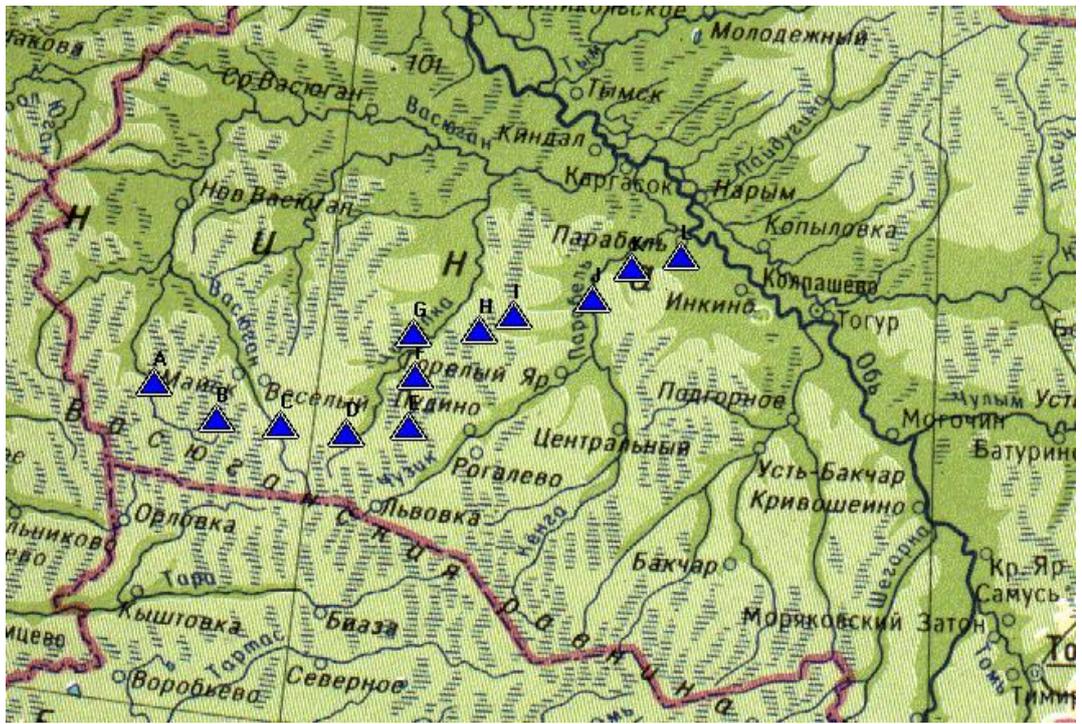


Рисунок 2.5 – Схема построения рассматриваемой ЦРРЛ

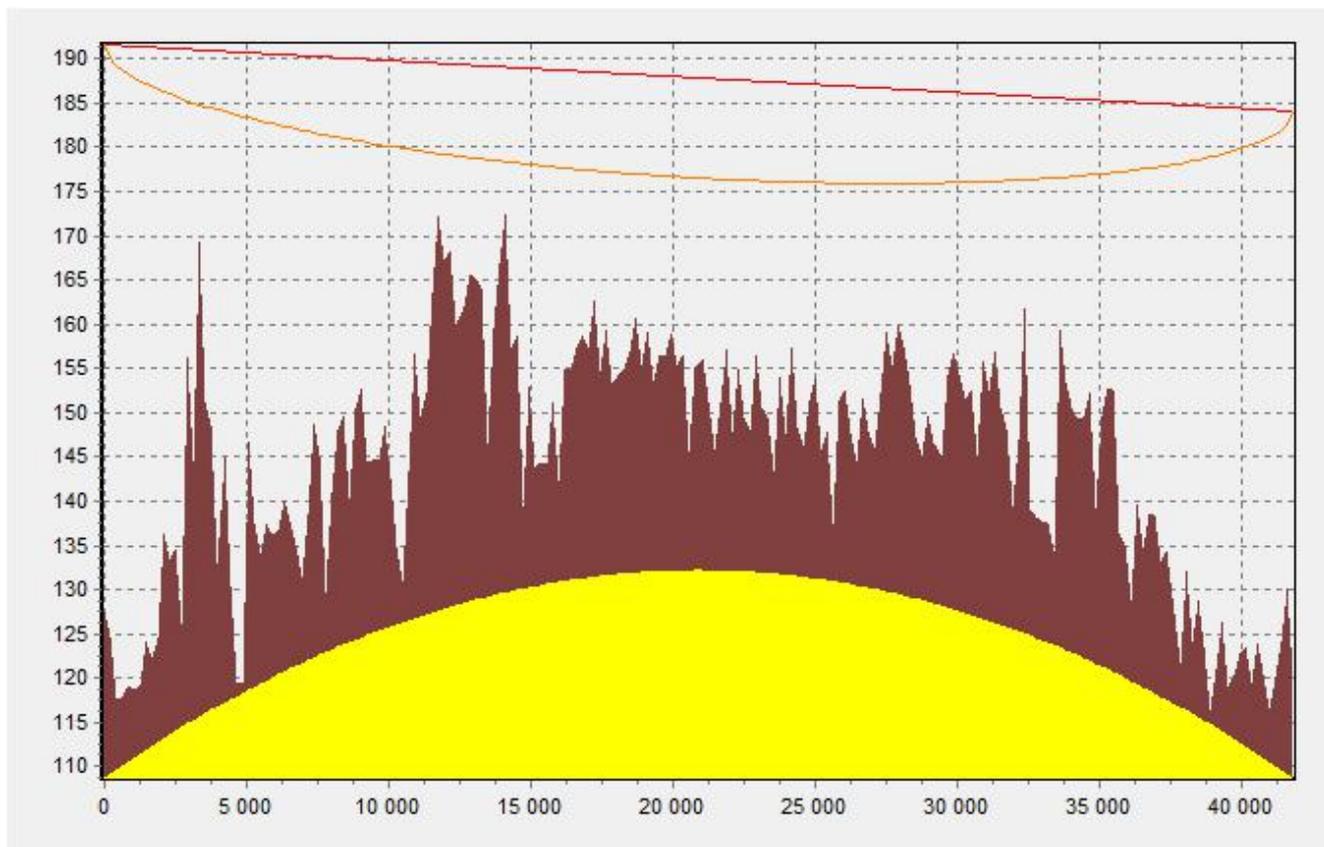
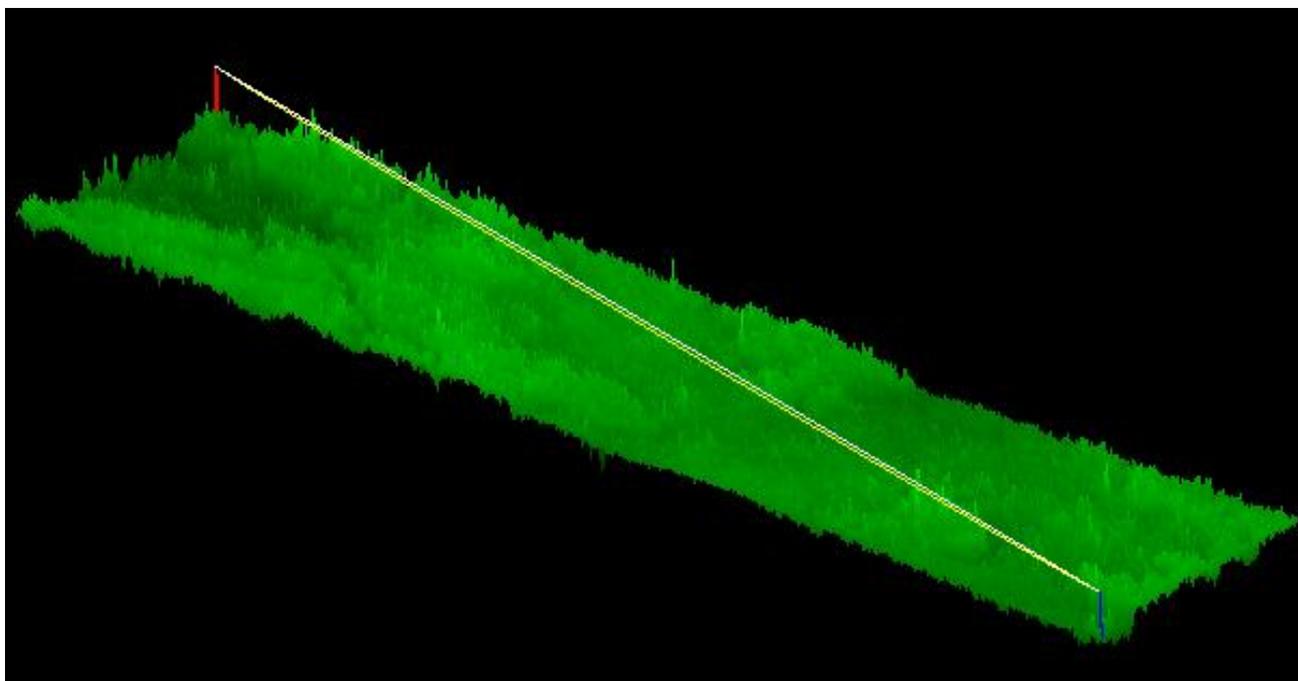
*a**б*

Рисунок 2.6 – Продольный профиль пролета А-В с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета А-В (*б*)

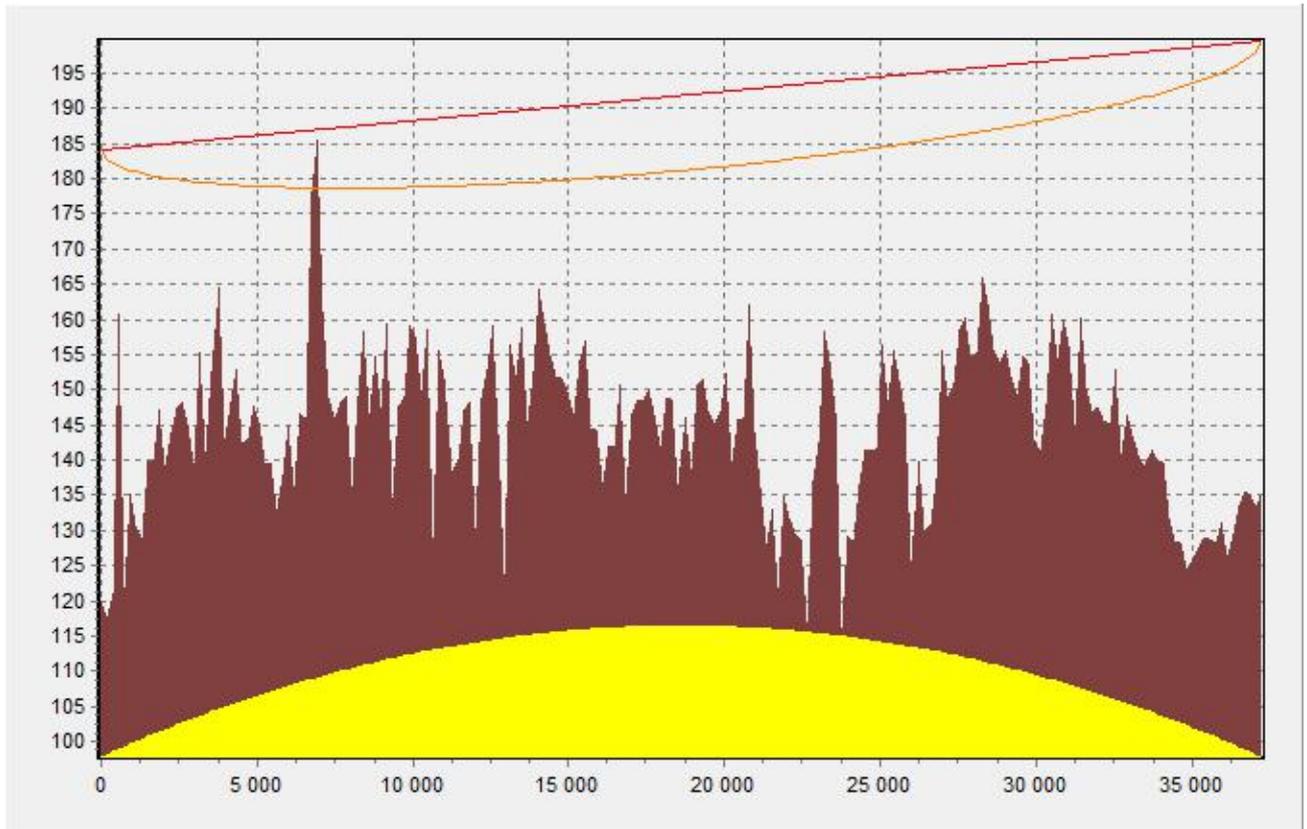
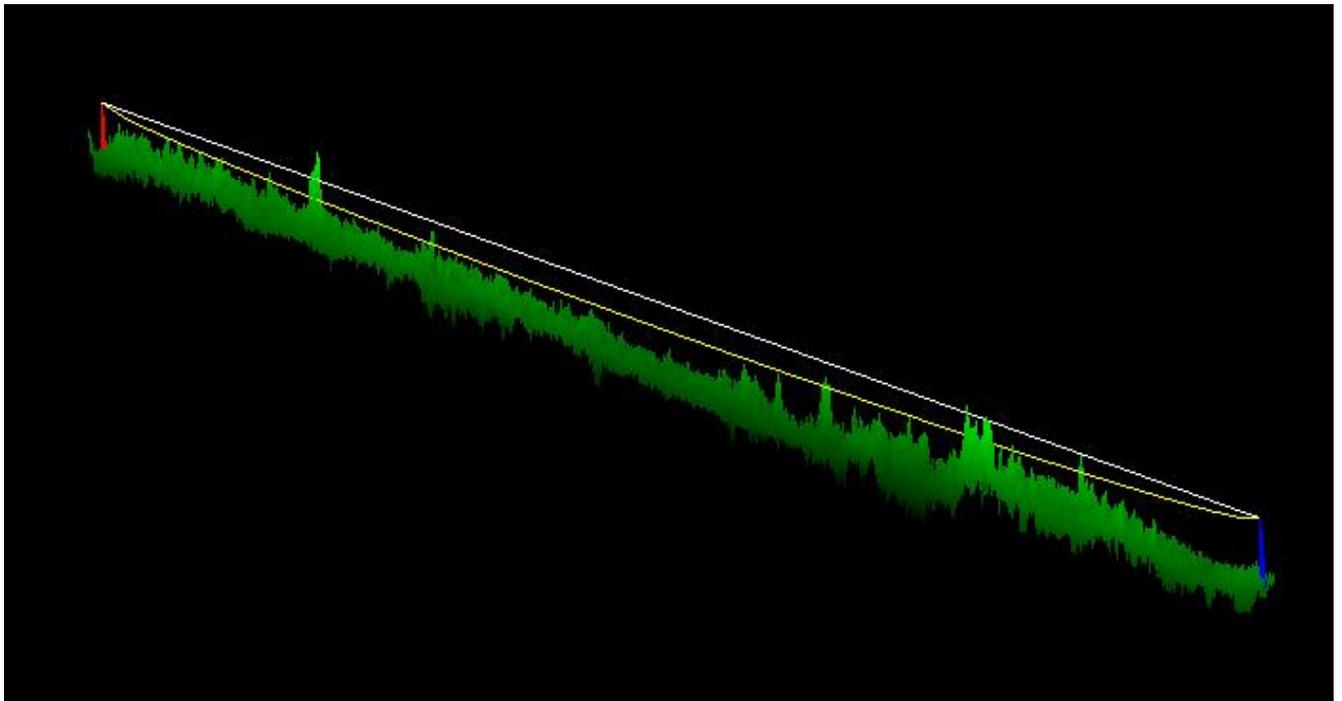
*a**б*

Рисунок 2.7 – Продольный профиль пролета В-С с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета В-С (*б*)

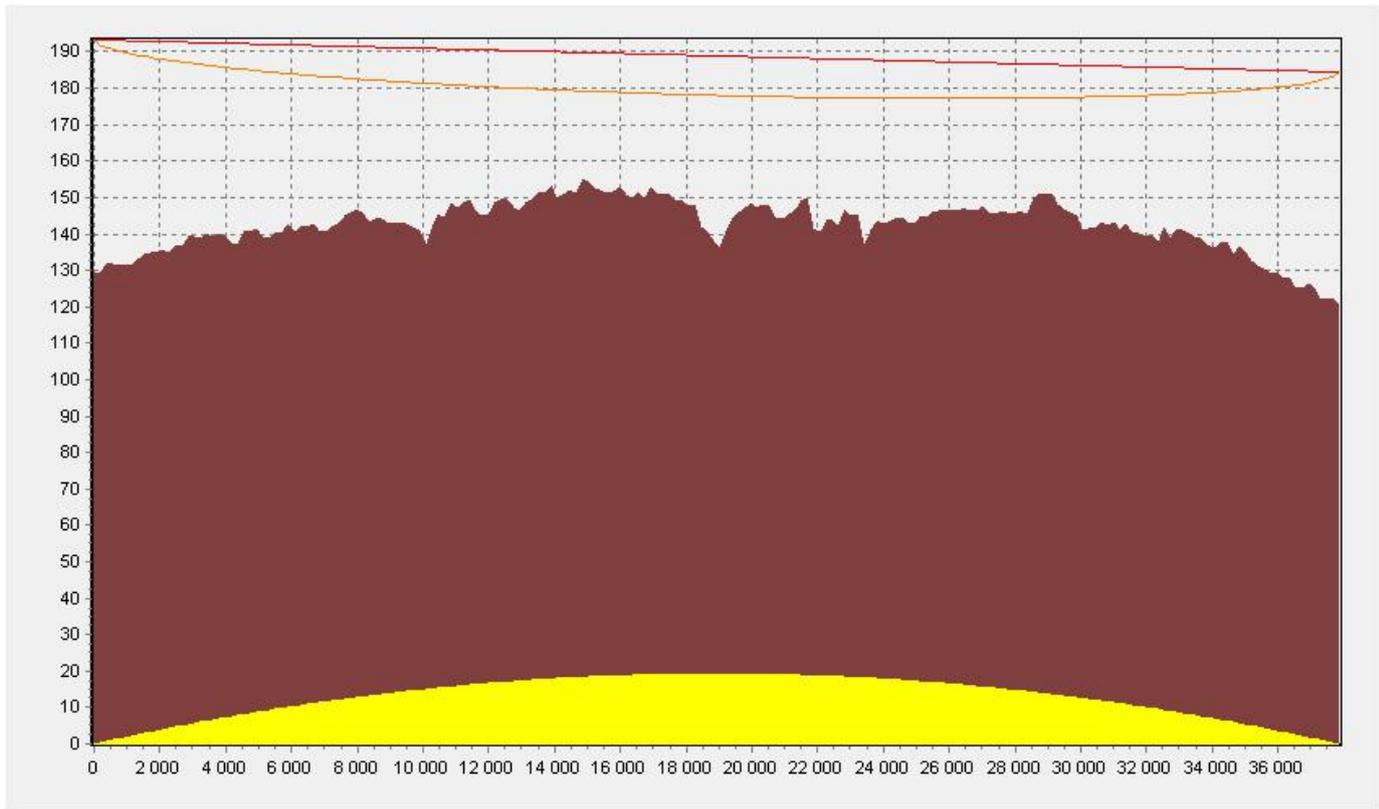
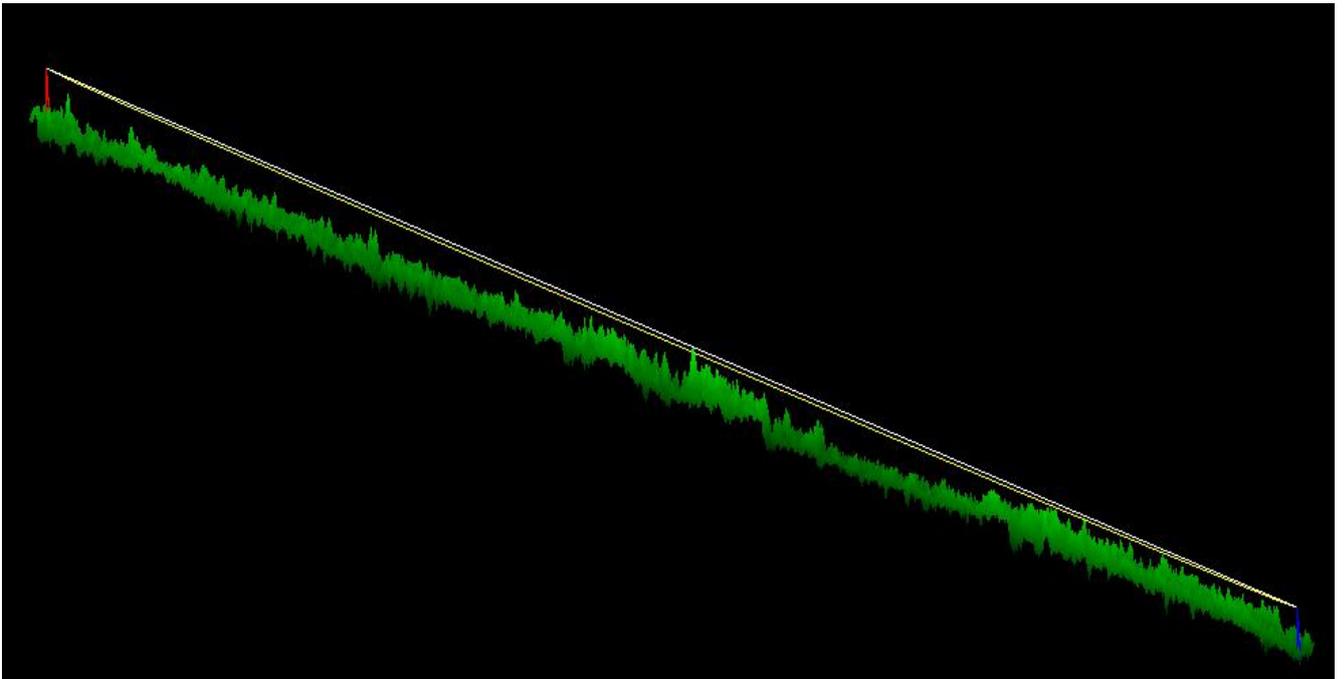
*a**б*

Рисунок 2.8 – Продольный профиль пролета С-D с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета С-D (*б*)

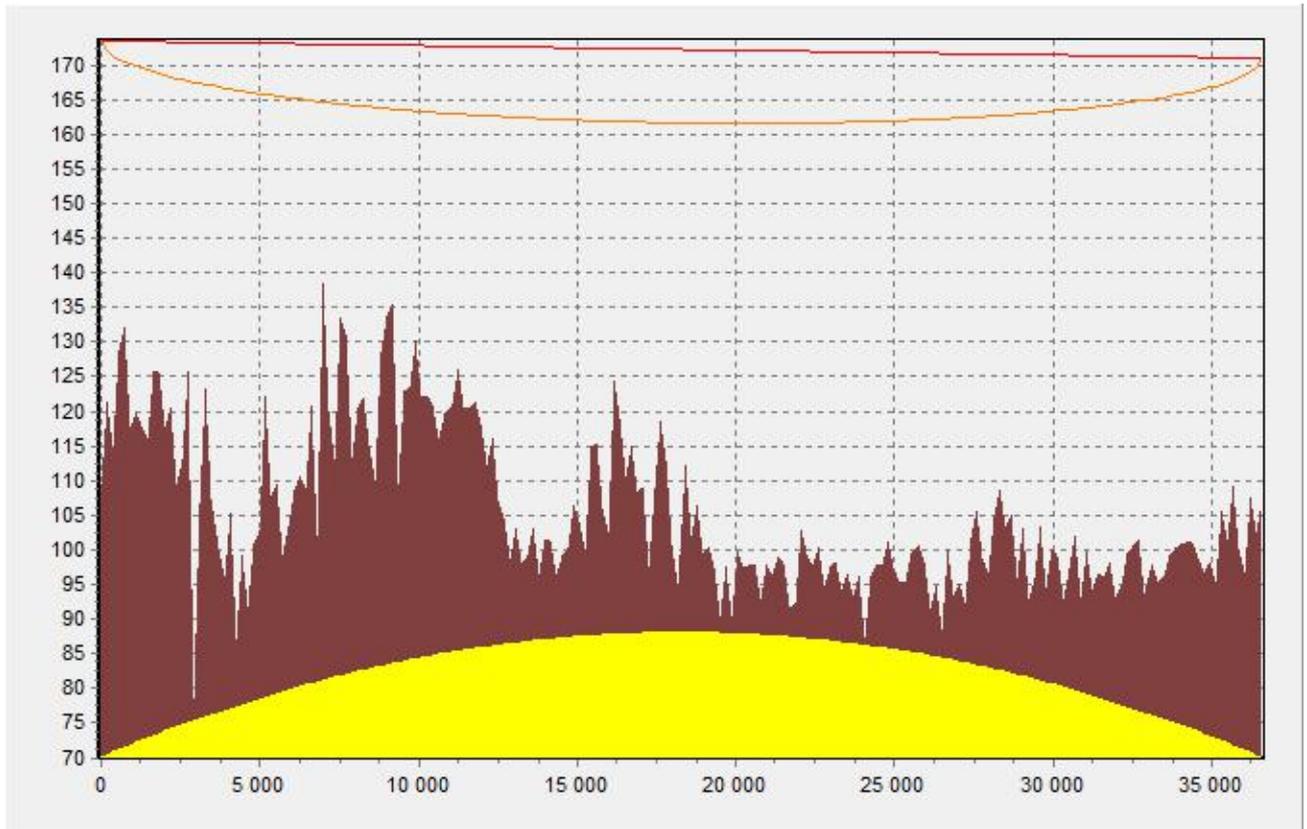
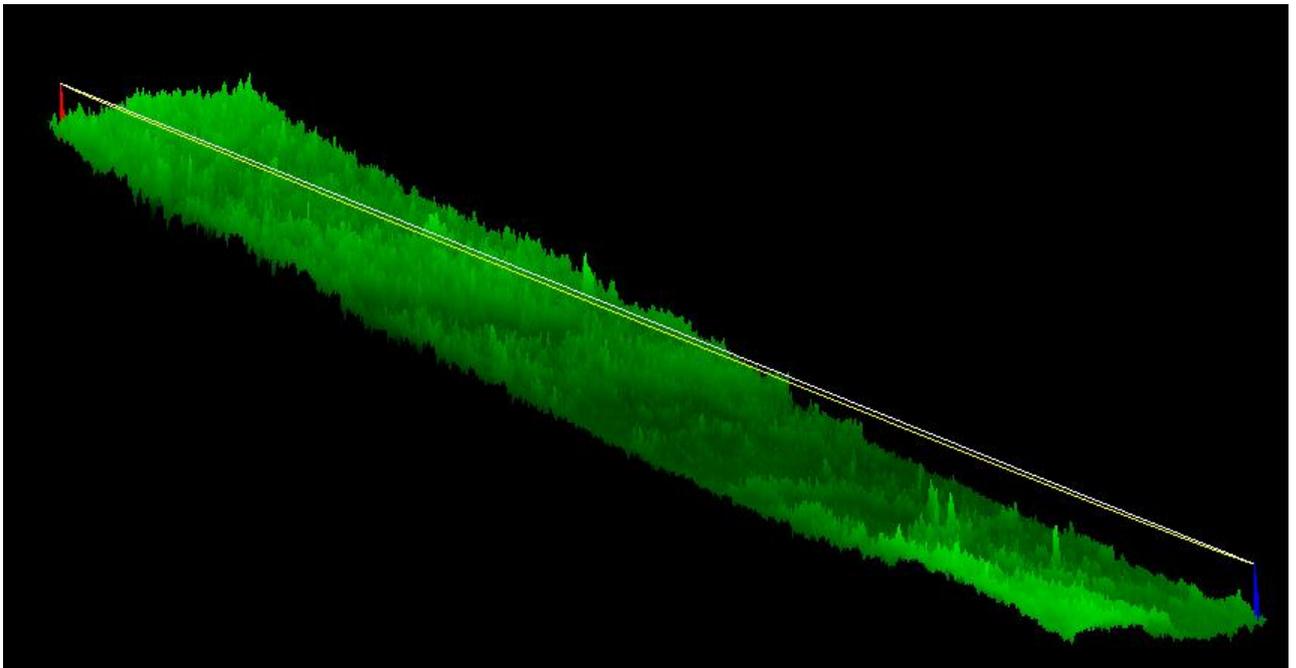
*a**б*

Рисунок 2.9 – Продольный профиль пролета D-E с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета D-E (*б*)

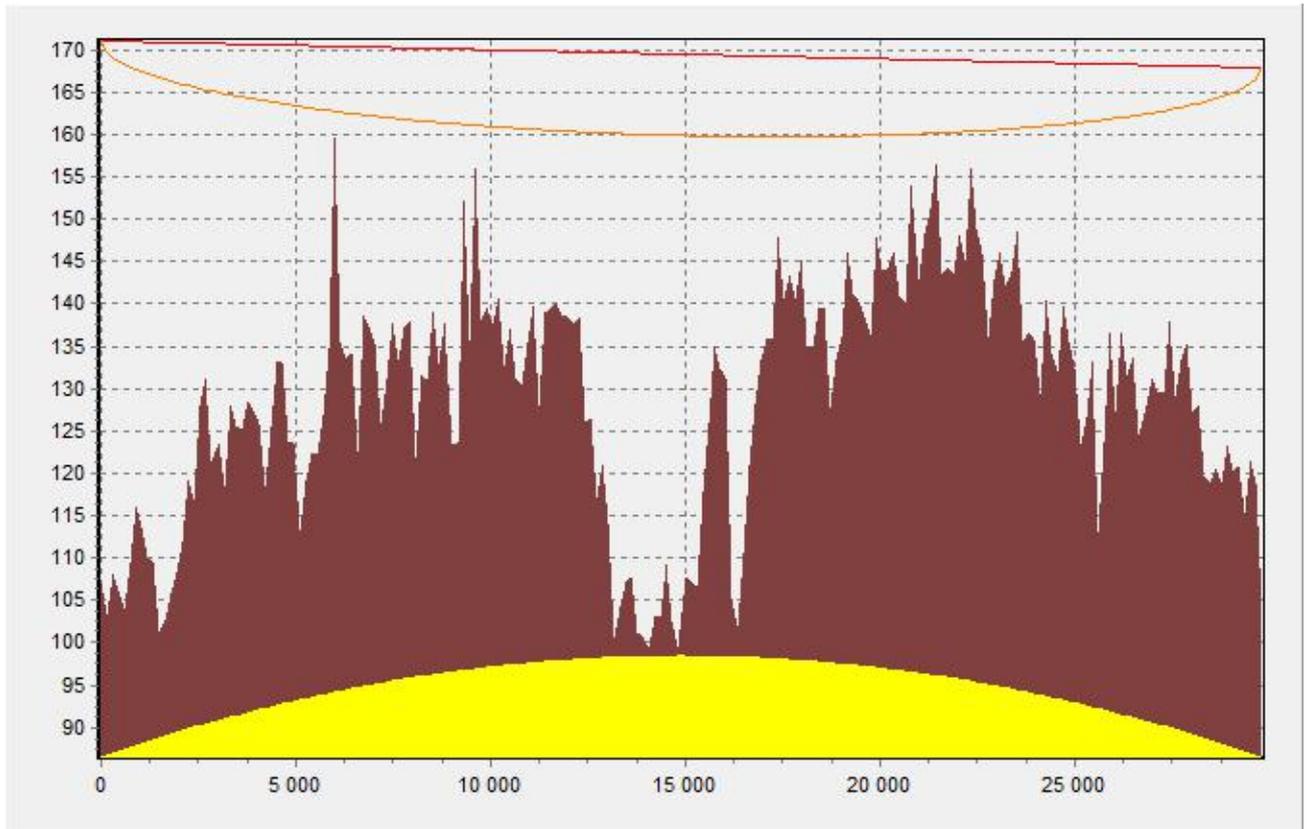
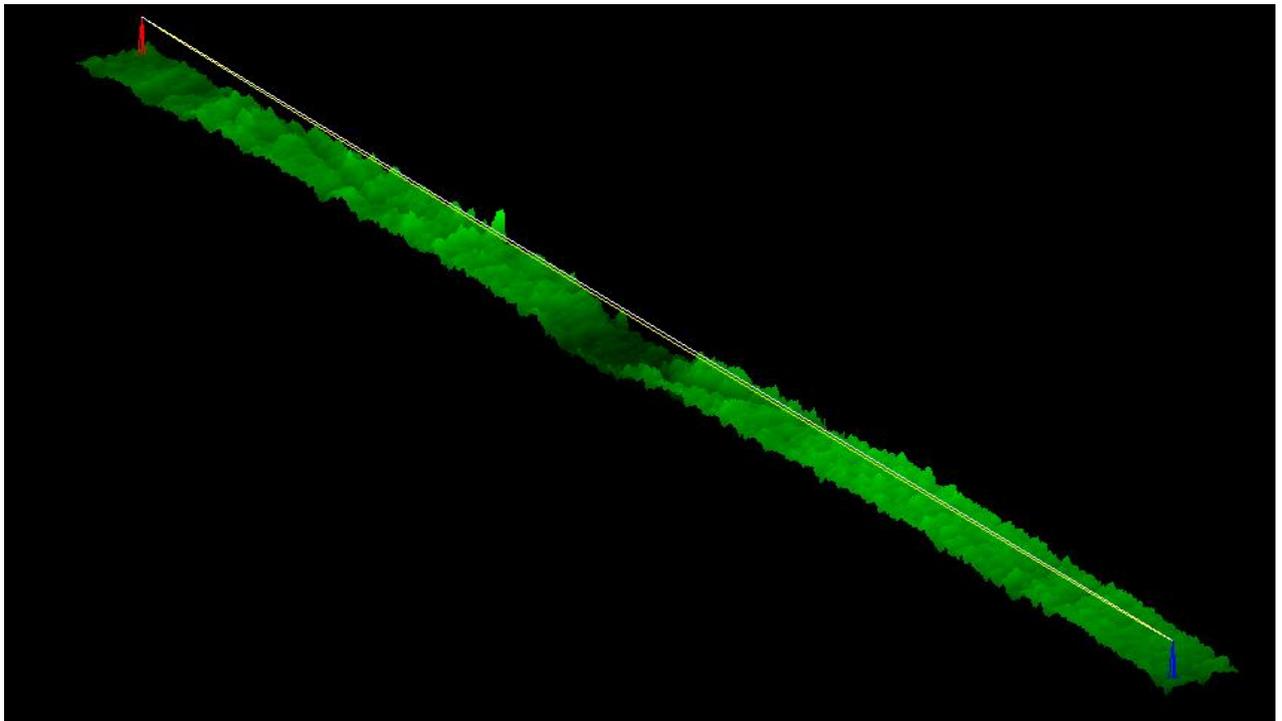
*a**б*

Рисунок 2.10 – Продольный профиль пролета E-F с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета E-F (*б*)

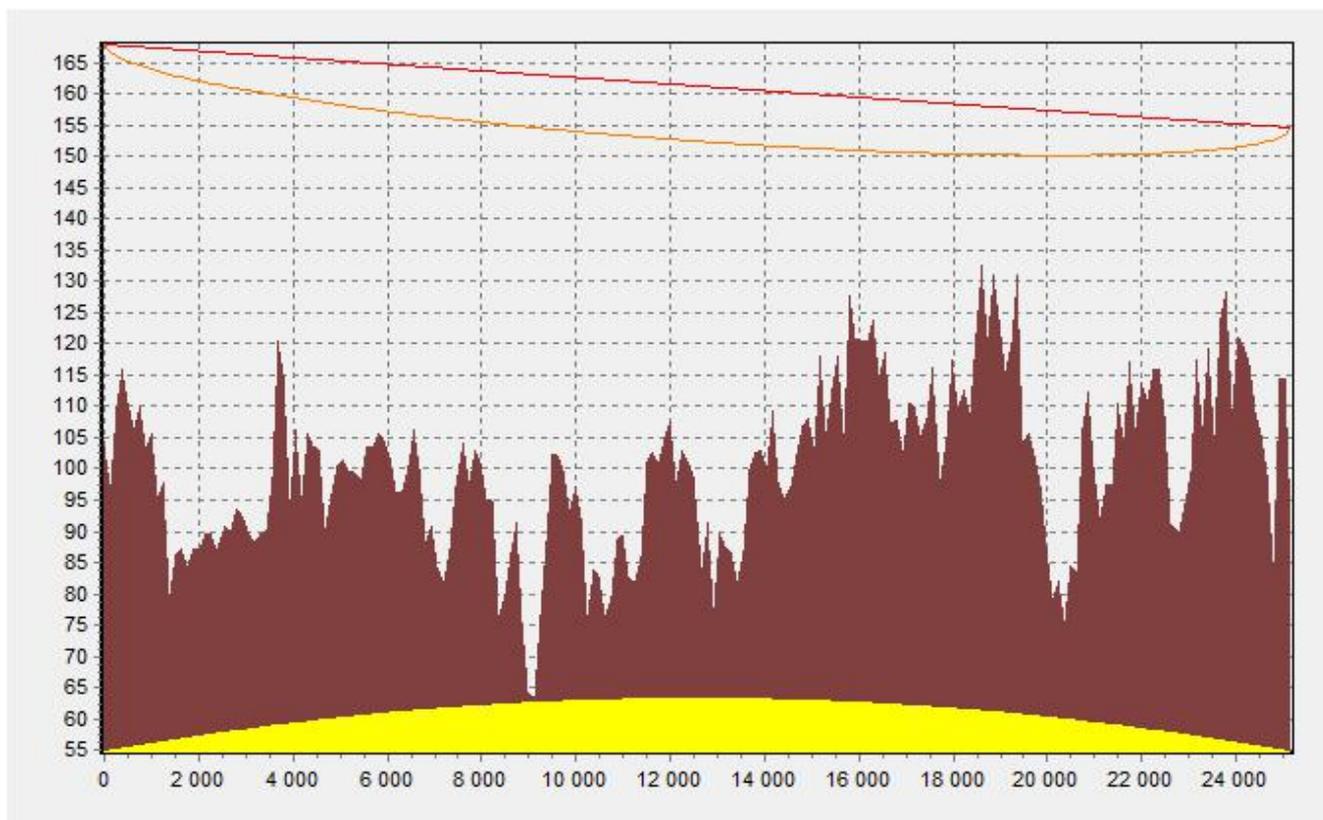
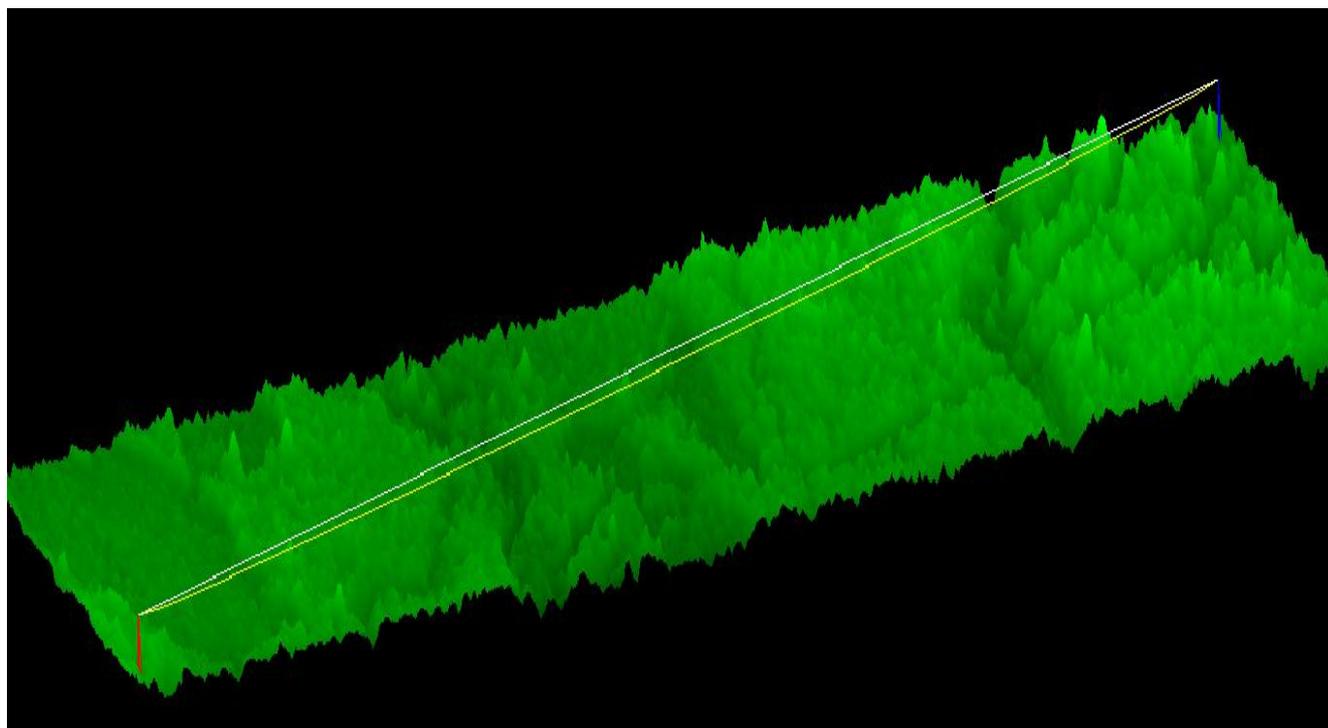
*a**b*

Рисунок 2.11 – Продольный профиль пролета F-G с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (a) и трёхмерная модель пролета F-G (б)

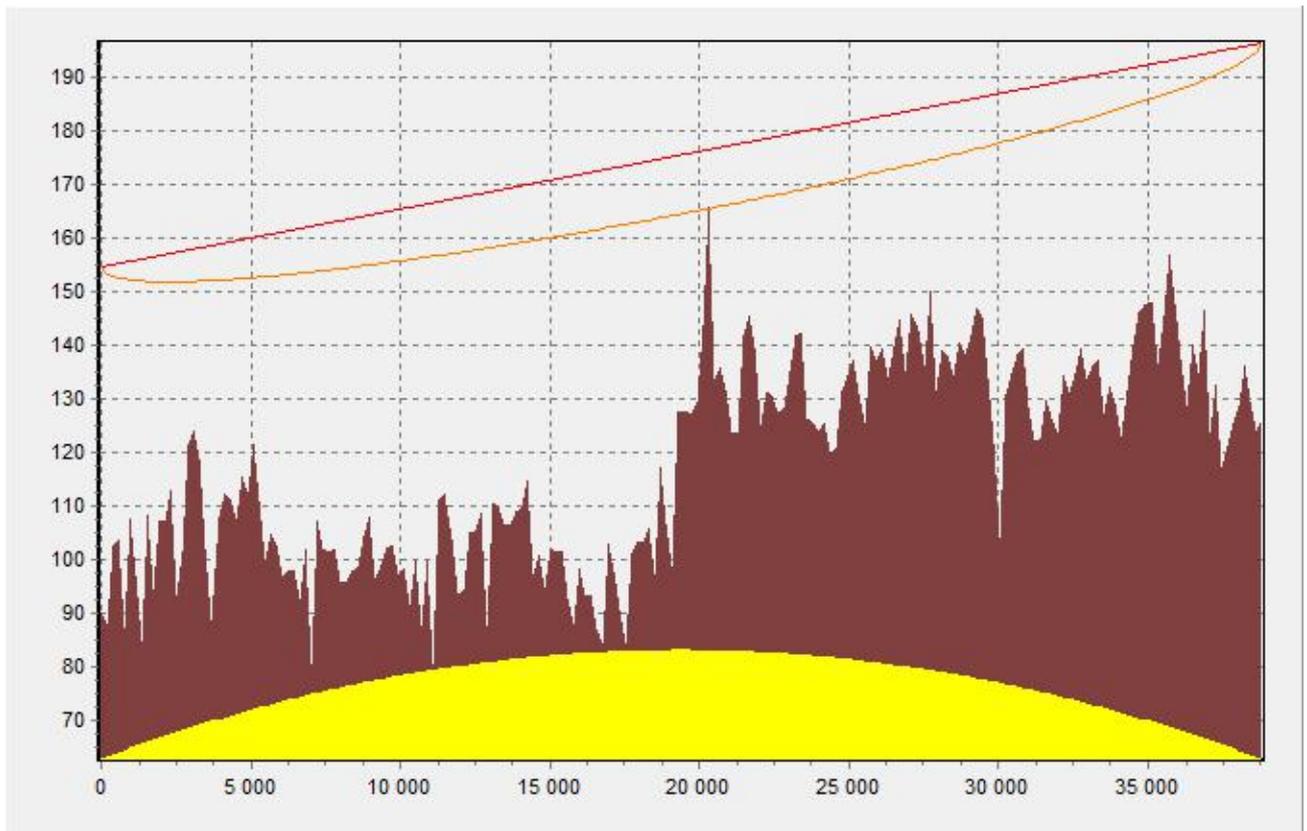
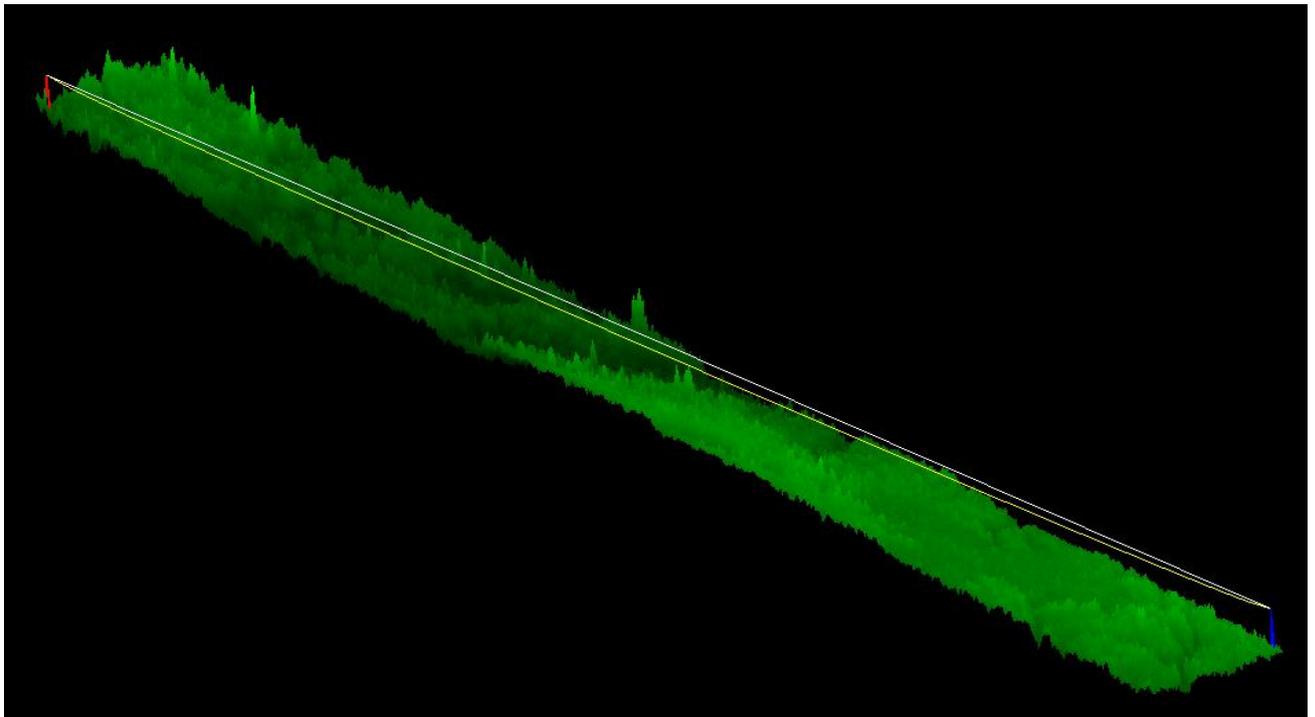
*a**б*

Рисунок 2.12 – Продольный профиль пролета G-Н с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета G-Н (*б*)

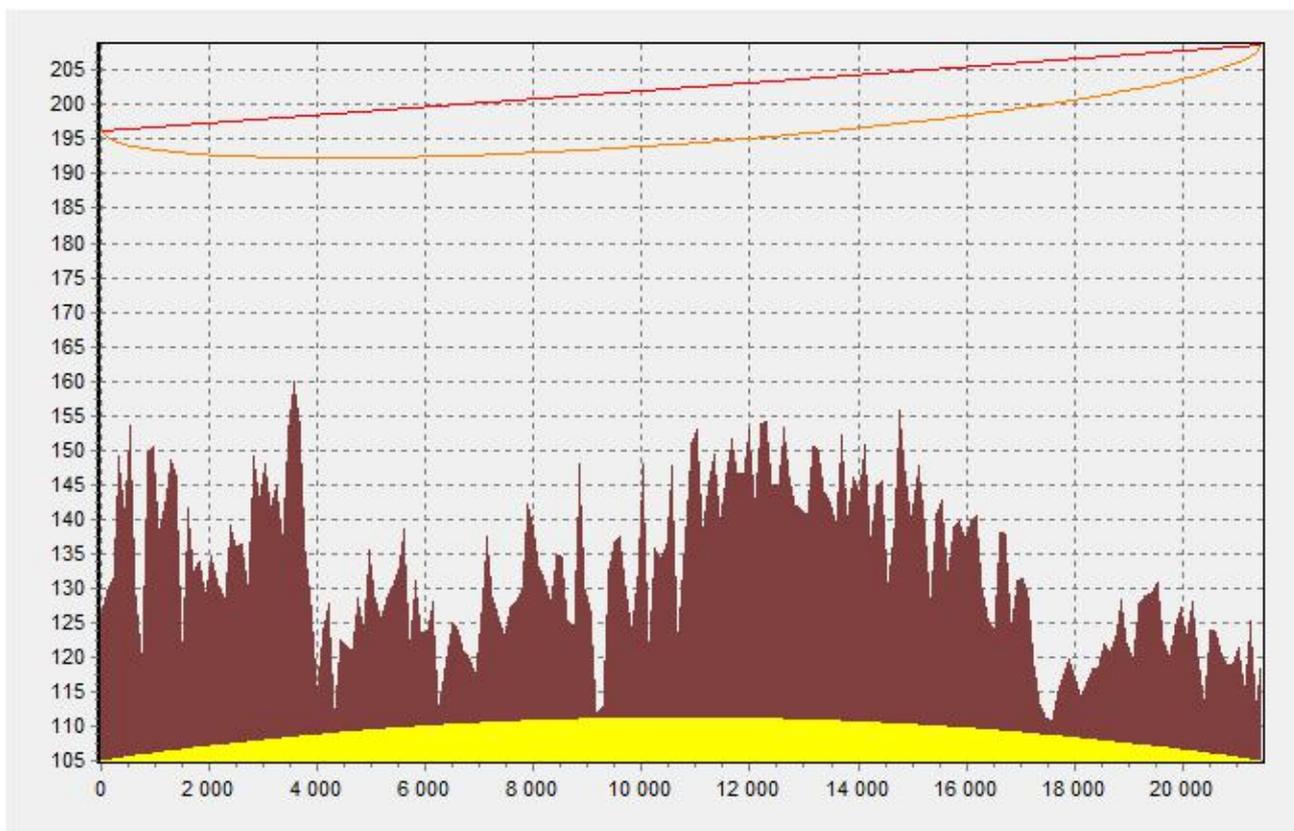
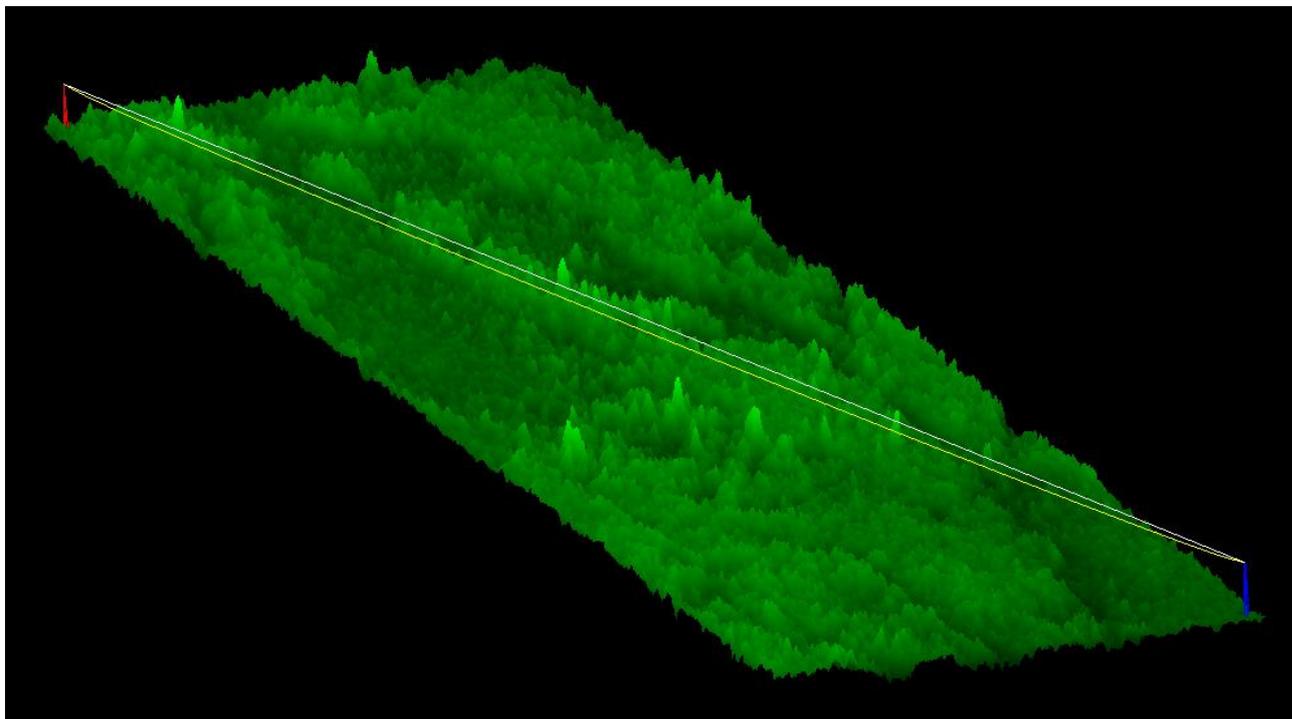
*a**б*

Рисунок 2.13 – Продольный профиль пролета Н-І с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета Н-І (*б*)

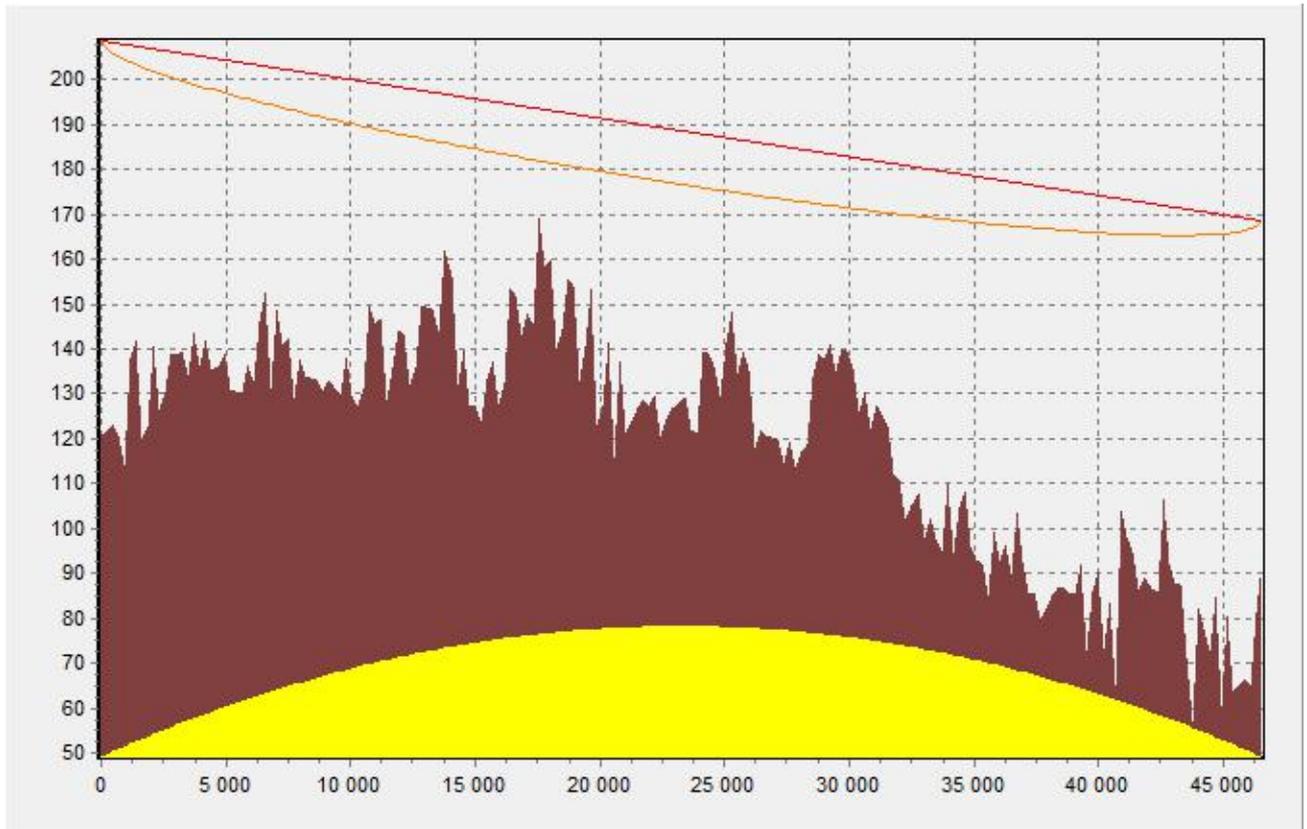
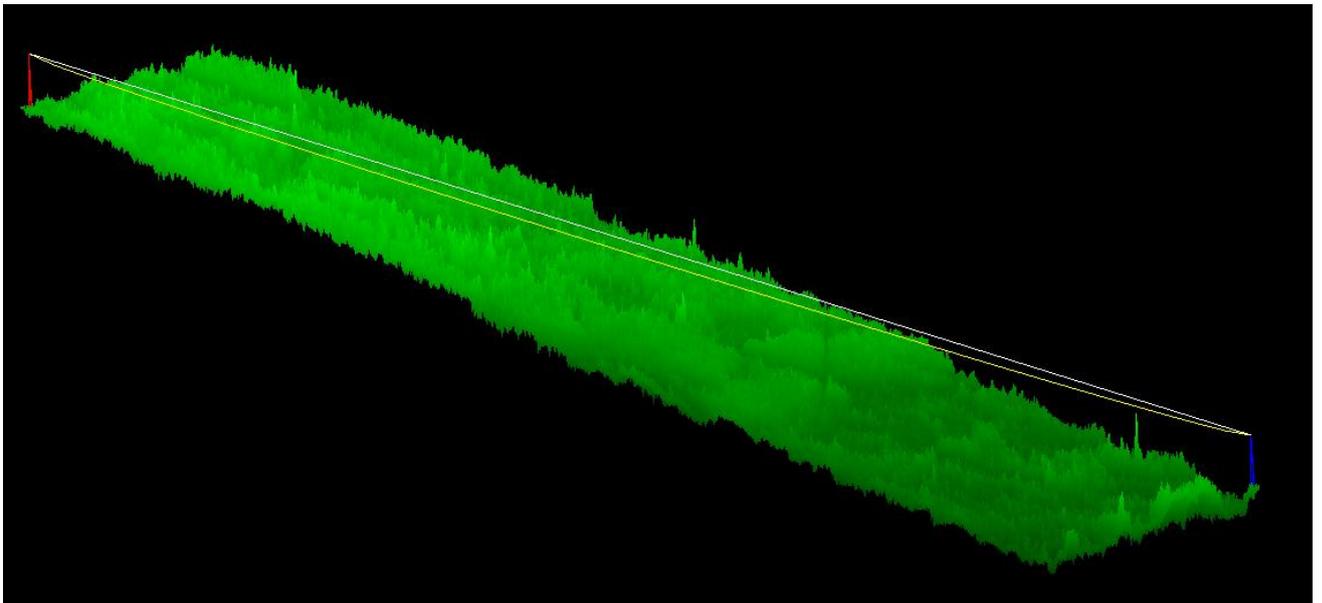
*a**б*

Рисунок 2.14 – Продольный профиль пролета I-J с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета I-J (*б*)

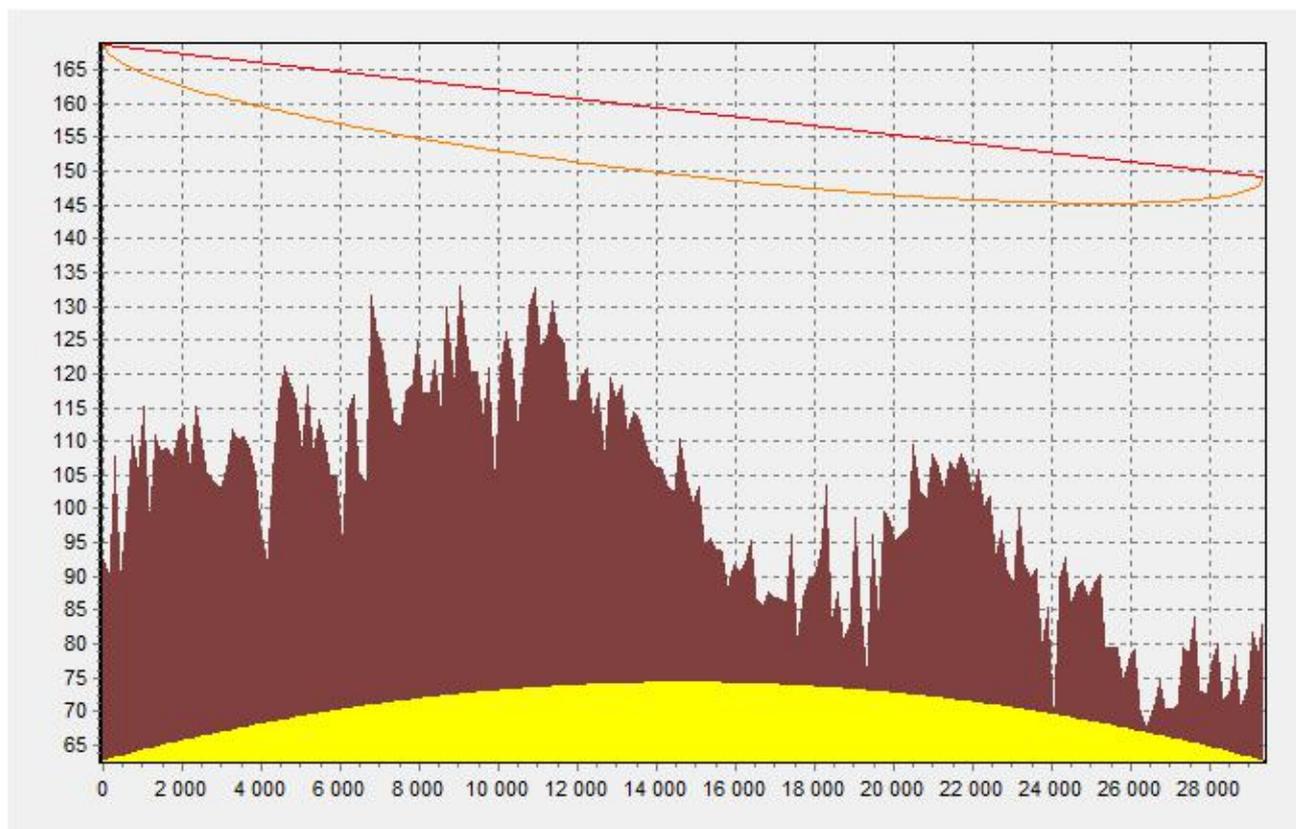
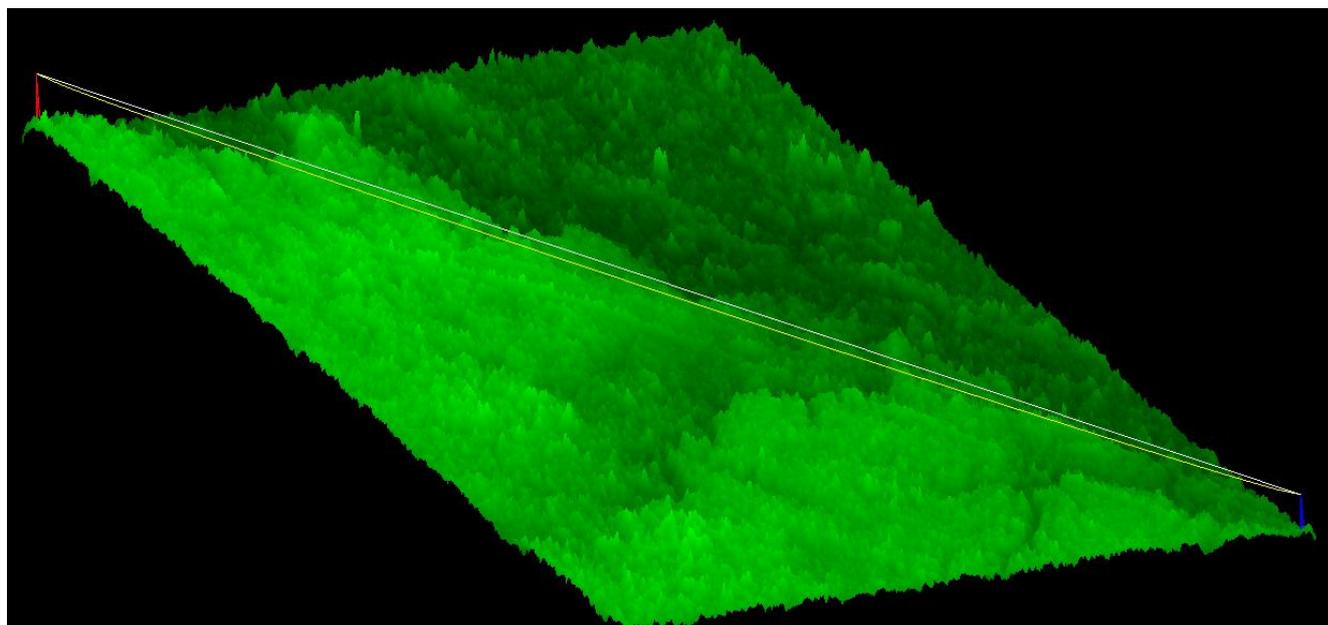
*a**б*

Рисунок 2.15 – Продольный профиль пролета J-K с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета J-K (*б*)

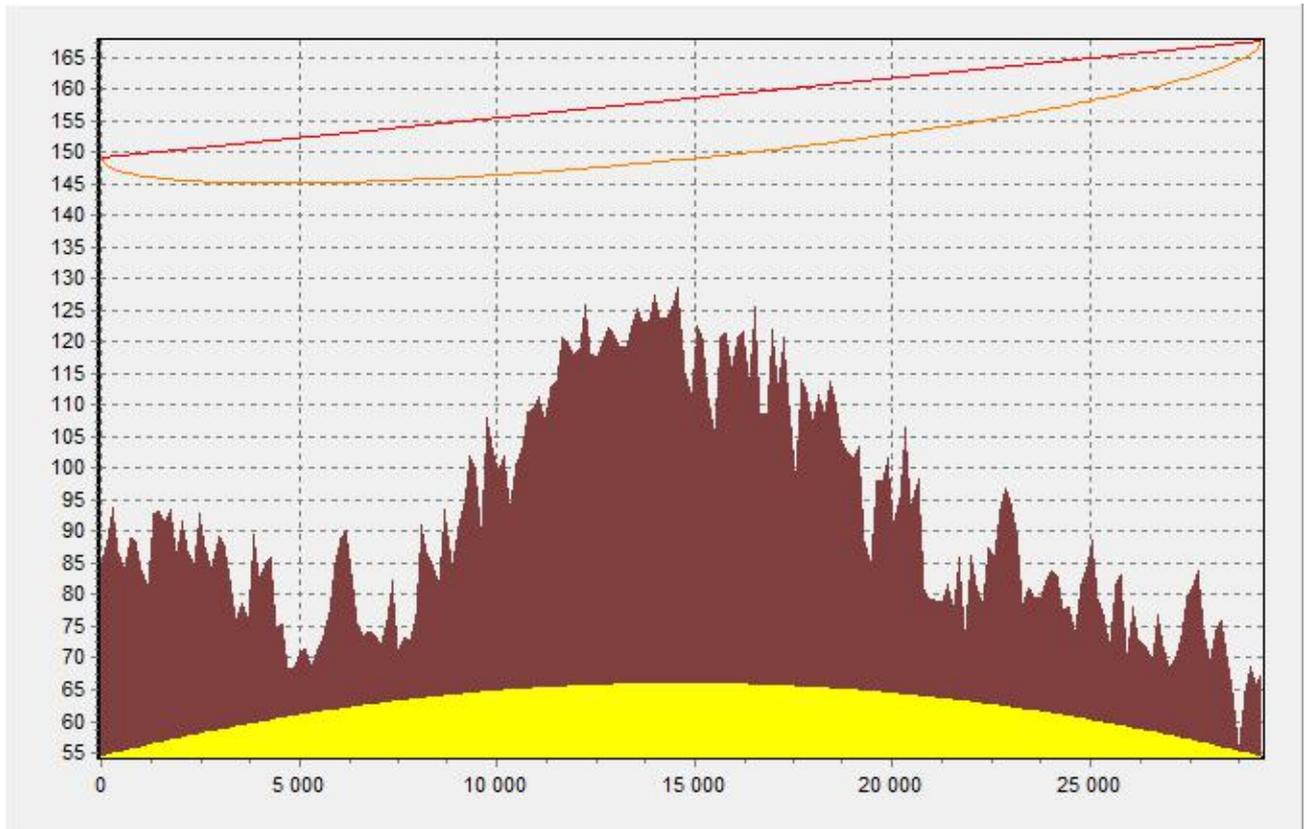
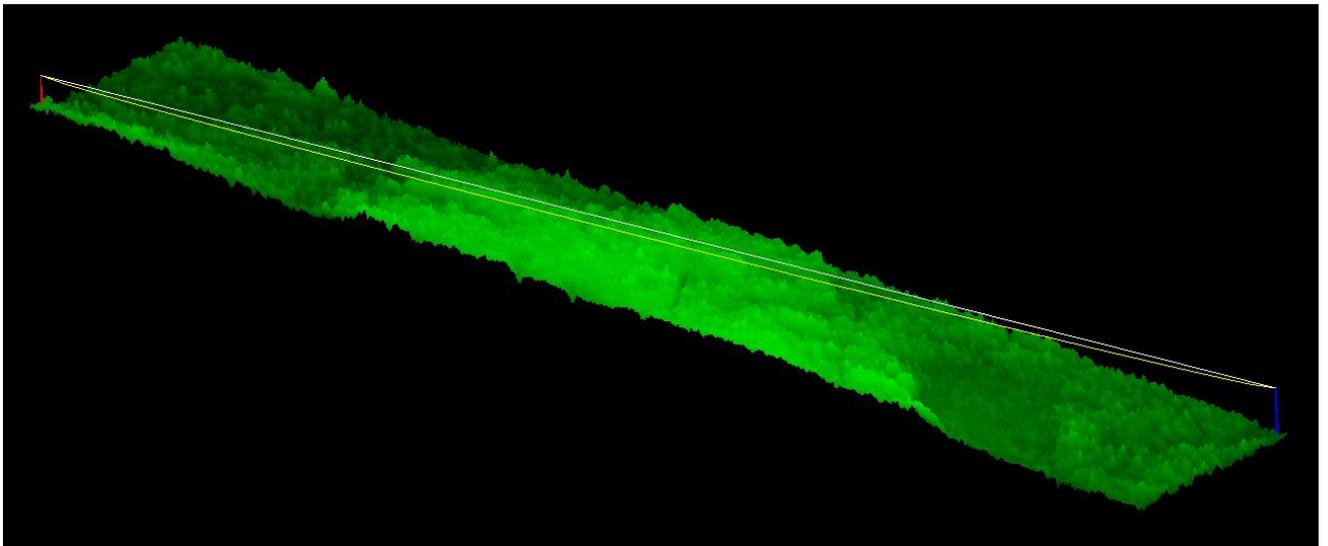
*a**б*

Рисунок 2.16 – Продольный профиль пролета К-Л с учетом рельефа и подстилающей поверхности местности (*a*) и трёхмерная модель пролета К-Л (*б*)

Выводы

1. На примере Томской области показано, что количество РРС, использующих максимальную разрешенную по решению ГКРЧ мощность, составляет до 63,4% от общего числа для отдельно взятого диапазона радиочастот.

2. На примере отдельной ЦРРЛ, использующей максимальную мощность, показано, что на большинстве интервалов фактически имеющийся запас на замирания существенно (от 3 до 8 дБ) превышает рекомендуемый.

3. Необоснованно завышенные энергетические параметры ЦРРЛ уменьшают возможность повторного назначения одних и тех же радиочастотных каналов на ограниченной территории, снижают эффективность использования ограниченного природного ресурса – радиочастотного спектра.

4. Дефицит радиочастотного ресурса, имеющийся в отдельных полосах радиочастот, предназначенных для работы РРЛ, в некоторой степени обусловлен его неэффективным использованием. Учитывая взрывной рост потребления услуг связи, это в недалеком будущем может привести к полному исчерпанию возможных для назначения радиочастот.

5. Возможным решением этой проблемы могло бы стать внесение изменений в существующий порядок проведения экспертизы ЭМС РЭС. Целесообразно ввести дополнительные требования к заявкам на проведение экспертизы ЭМС РЭС для РРЛ об обосновании выбранных энергетических параметров их работы. В настоящее время заявитель обязан представлять для проведения экспертизы ЭМС РЭС лишь частотно-территориальный план и набор тактико-технических характеристик РЭС. Введение дополнительного требования о предоставлении на экспертизу ЭМС РЭС расчета качественных показателей ЦРРЛ (включая и расчетный запас на замирания) могло бы помочь оценить обоснованность выбора энергетических параметров работы ЦРРЛ и при необходимости снизить их до разумных пределов на этапе экспертизы.

2.4 Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса системами технологической связи диапазона 146–174 МГц

В данном разделе даны оценки эффективности использования РЧС системами технологической связи диапазона 146–174 МГц и принимаемых решений при проектировании этих систем связи, с точки зрения оптимального использования РЧС на основании проведенного анализа на примере Томской области, и предложены возможные решения. Результаты, представленные в данном разделе, опубликованы в работе [58].

В соответствии с действующим решением Государственной комиссии по радиочастотам [59], для законного использования СТС требуется проведение экспертизы их ЭМС с действующими и планируемыми для использования РЭС. Для проведения экспертизы ЭМС РЭС достаточно того, чтобы поступившая заявка соответствовала требованиям [58], а также, чтобы технические характеристики РЭС, которые планируется использовать в сети СТС, не превышали максимальных значений, приведенных в [60]. При этом организация, проводящая экспертизу ЭМС, не вправе требовать от заявителя обосновать выбранные параметры работы РЭС (мощность, высоту подвеса антенны, коэффициент усиления антенны и др.) или принять самостоятельное решение о снижении этих параметров в случае их явно необоснованного завышения. Не существует на данный момент и механизма, позволяющего контролирующим органам в области связи принудительно снизить параметры работы РЭС через определенный срок после процедуры присвоения частот при обнаружении фактов необоснованного завышения этих параметров. Такое положение вещей осложняет и без того непростую электромагнитную обстановку и приводит к дефициту свободного радиочастотного ресурса (РЧР) в диапазоне 146–174 МГц.

Поясним сказанное выше на примере Томской области. Используя Интернет-ресурс [51], произведем отбор всех стационарных РЭС диапазона 146–174 МГц на территории Томской области и нанесем их на карту (рисунок 2.17). Из рисунка 2.17 видно, что базовые станции СТС распределены по территории

Томской области крайне неравномерно – в основном они сконцентрированы на территориях крупных населенных пунктов (города Томск, Северск, Стрежевой, Асино), нефтегазовых месторождений, а также вдоль магистрального нефтепровода Александровское – Анжеро-Судженск.

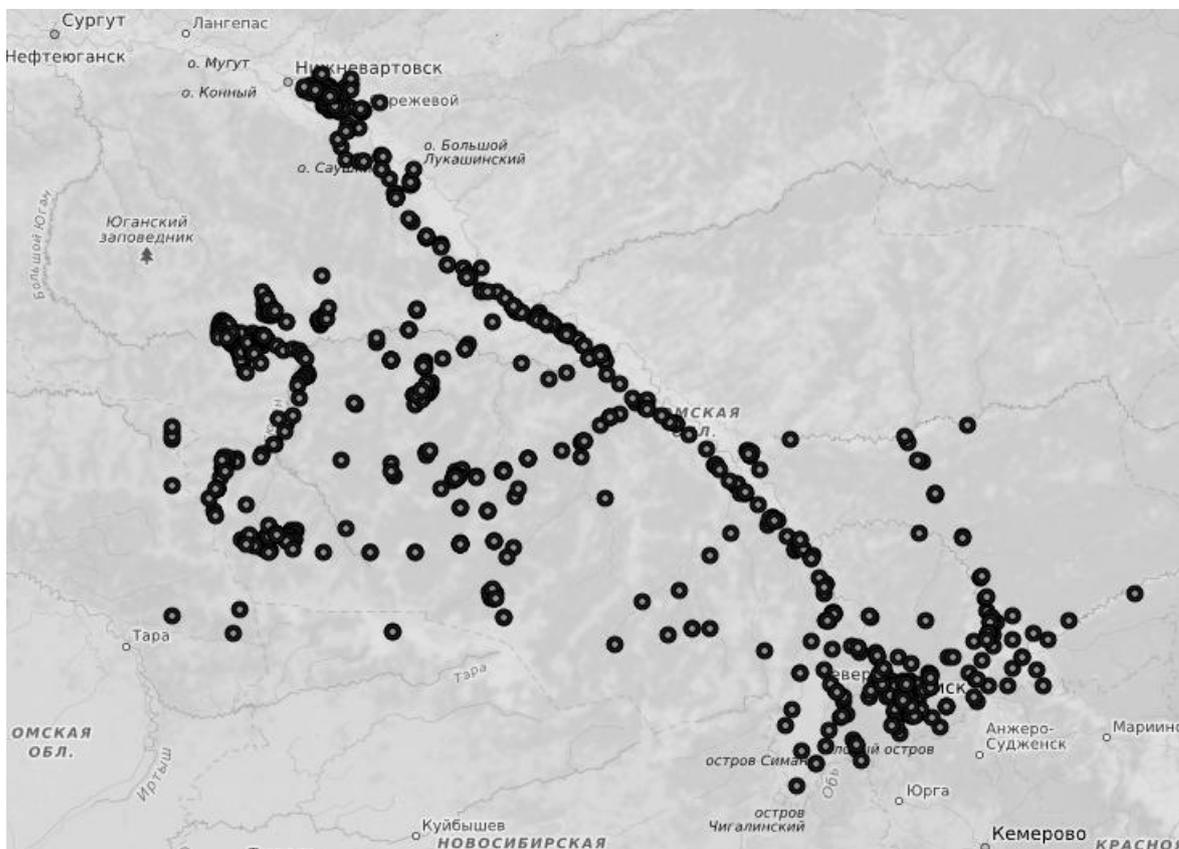


Рисунок 2.17 – Распределение стационарных РЭС диапазона 146–174 МГц по территории Томской области на 10.02.2017

Подобная неравномерность распределения базовых станций СТС наблюдается также на территориях других субъектов РФ и приводит к повышенному спросу на частотный ресурс на определенных ограниченных территориях – как правило, на территориях крупных технологических объектов. Вместе с тем, параметры работы СТС, закладываемые на этапе проектирования и проходящие впоследствии экспертизу ЭМС, зачастую оказываются необоснованно завышенными.

Покажем это на примере одной из сетей СТС, расположенной в Томской области и состоящей из 6 БС и абонентских стационарных станций (АС), расположенных по проекту на максимальном удалении в 30 км от каждой БС. Сравним максимально разрешенное удаление с расстоянием до самой отдаленной

фактически существующей АС для каждой БС. Технические характеристики РЭС рассматриваемой сети СТС внесены в таблицу 2.6, данные о фактически существующих АС в зоне обслуживания соответствующих БС внесены в таблицу 2.7, а данные проведенного анализа сведены в таблицу 2.8.

С целью проверки обозначенных в проекте зон обслуживания БС произведем при помощи программного комплекса [44] расчет зон обслуживания базовых станций БС-1–БС-6, нанесем рассчитанные зоны на карту, обозначим стационарные АС, фактически находящиеся в зоне обслуживания соответствующих БС (рисунки 2.18–2.23). Расчет границы зоны обслуживания базовых станций произведем исходя из значения минимальной защищаемой напряженности электромагнитного поля (превышаемой в 50% мест и в 50% времени) в месте размещения приемной антенны равного 20 дБмкВ/м [61].

Таблица 2.6 – Технические характеристики рассматриваемой сети СТС

Обозначение в сети	Место установки РЭС, географические координаты (широта, долгота)	Высота подвеса антенны от уровня земли	Коэффициент усиления антенны/потери в антенно-фидерном тракте	Мощность несущей на выходе передатчика	Средняя частота
	<i>град, мин, сек</i>	<i>м</i>	<i>дБ</i>	<i>Вт</i>	<i>МГц</i>
БС-1	Томский р-н, 2,7 км южнее пос. Семилужки, 56N3537, 85E2045	45,0	6,0/3,2	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-1 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160
БС-2	Томский р-н, 2 км северо-западнее пос. Орловка, 56N4915, 84E3737	92,0	6,0/4,0	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-2 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160
БС-3	Кривошеинский р-н, 1 км восточнее д. Рыбалово, 57N0830, 84E0159	92,0	6,0/4,0	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-3 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160
БС-4	Молчановский р-н, 3 км юго- западнее с. Молчаново, 57N3328, 83E4313	72,5	6,0/3,7	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-4 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160
БС-5	Чаинский рн, 5 км южнее с. Леботер, 57N5015, 83E1235	59,0	6,0/3,5	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-5 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160
БС-6	Колпашевский рн, п. Первомайка, 58N0645, 82E4257	20,0	6,0/2,8	10	160
Стационарные АС	В зоне обслуживания БС-6 радиусом 30 км	12,0	6,0/1,2	10	160

Таблица 2.7 – Данные о фактически существующих АС в зоне обслуживания соответствующих БС

Базовая станция	АС в зоне обслуживания, географические координаты места размещения	Расстояние до АС, км
БС-1 с. Семилужки	АС-1.1: 56N3540; 85E2022	0,4
	АС-1.2: 56N3539; 85E2040	0,1
БС-2 пос. Орловка	АС-2.1: 56N5346; 84E2157	18,0
	АС-2.2: 56N5125; 84E3620	4,2
	АС-2.3: 56N4900; 84E5506	17,8
БС-3 д. Рыбалово	АС-3.1: 57N1805; 83E5339	19,7
	АС-3.2: 57N0857; 84E0132	1,0
	АС-3.3: 57N0916; 84E0051	1,8
БС-4 с. Молчаново	АС-4.1: 57N3749; 83E3631	10,5
	АС-4.2: 57N2442; 83E5009	17,7
БС-5 с. Леботер	АС-5.1: 57N4309; 83E2350	17,3
	АС-5.2: 57N5120; 83E0933	3,6
	АС-5.3: 57N5709; 82E5935	18,2
БС-6 д. Первомайка	АС-6.1: 58N0200; 82E4540	9,2
	АС-6.2: 58N0755; 82E3642	6,5

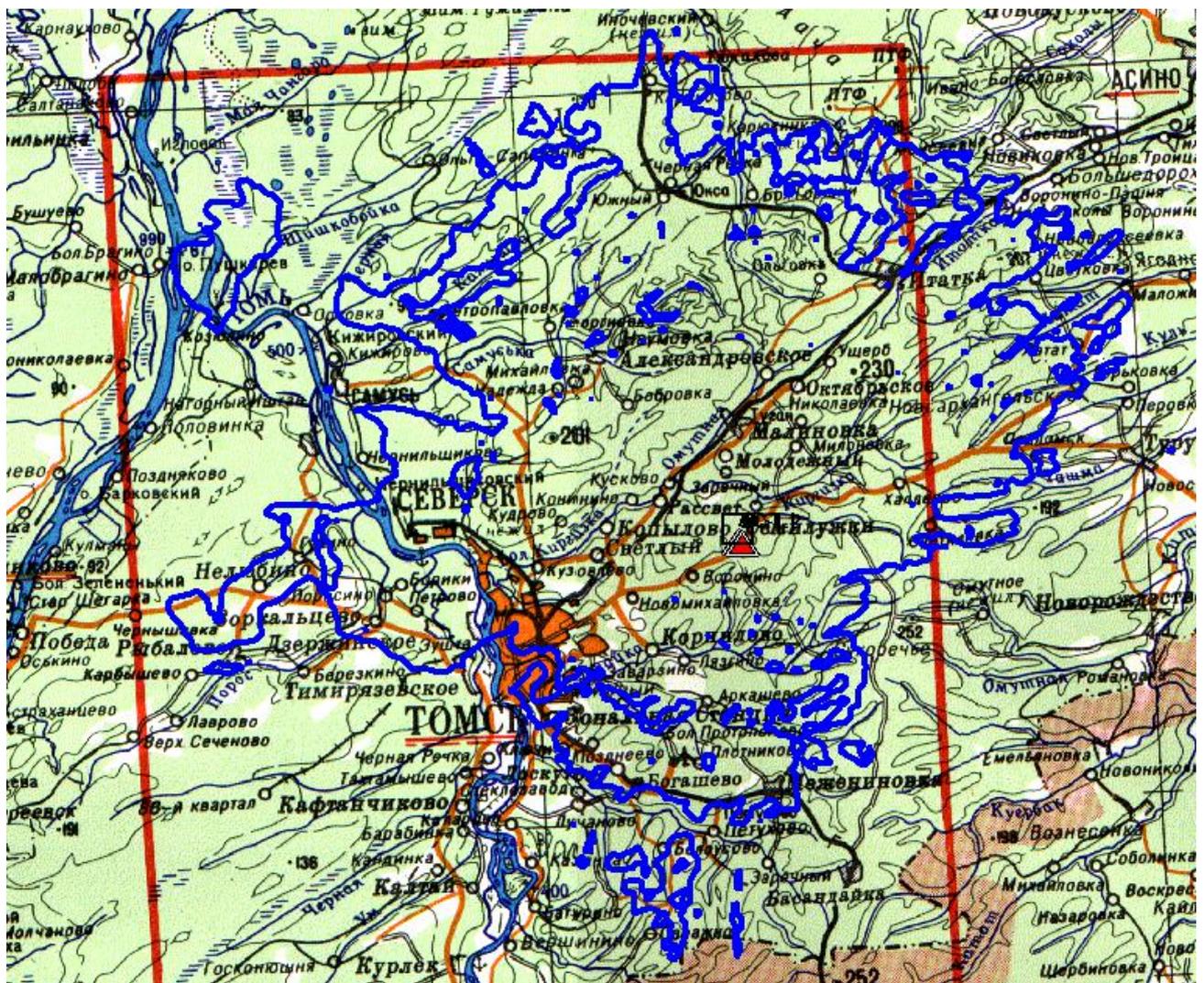


Рисунок 2.18 – Зона обслуживания БС-1 (моделирование)

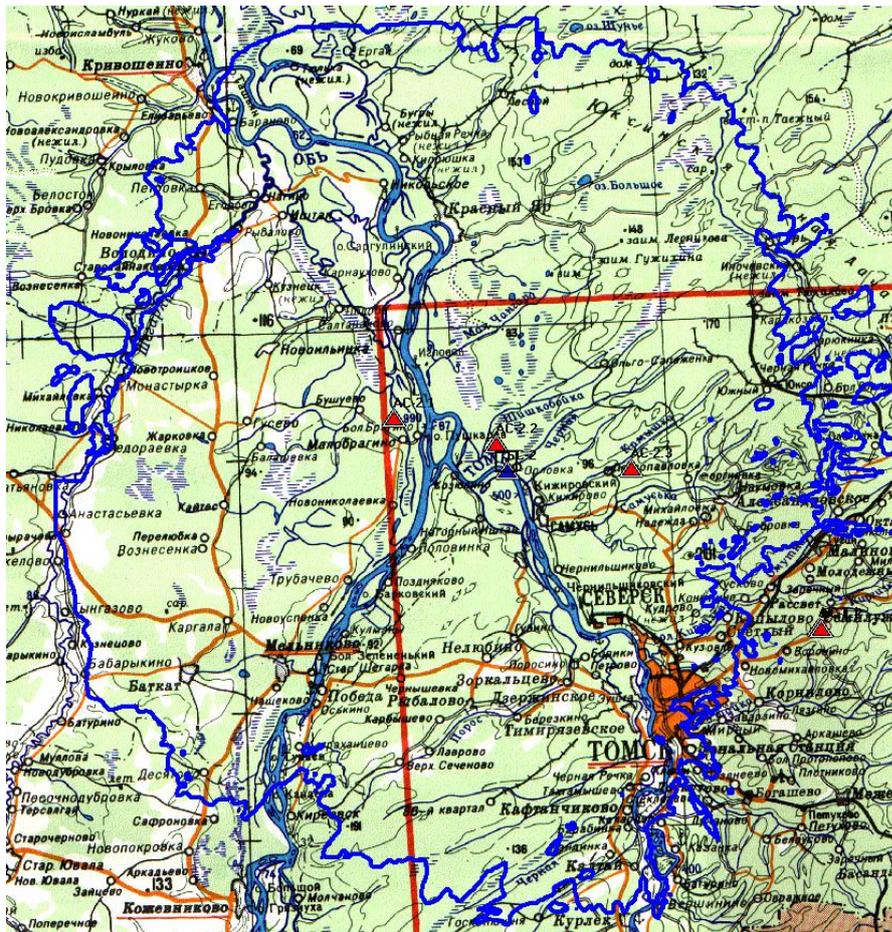


Рисунок 2.19 – Зона обслуживания БС-2 (моделирование)

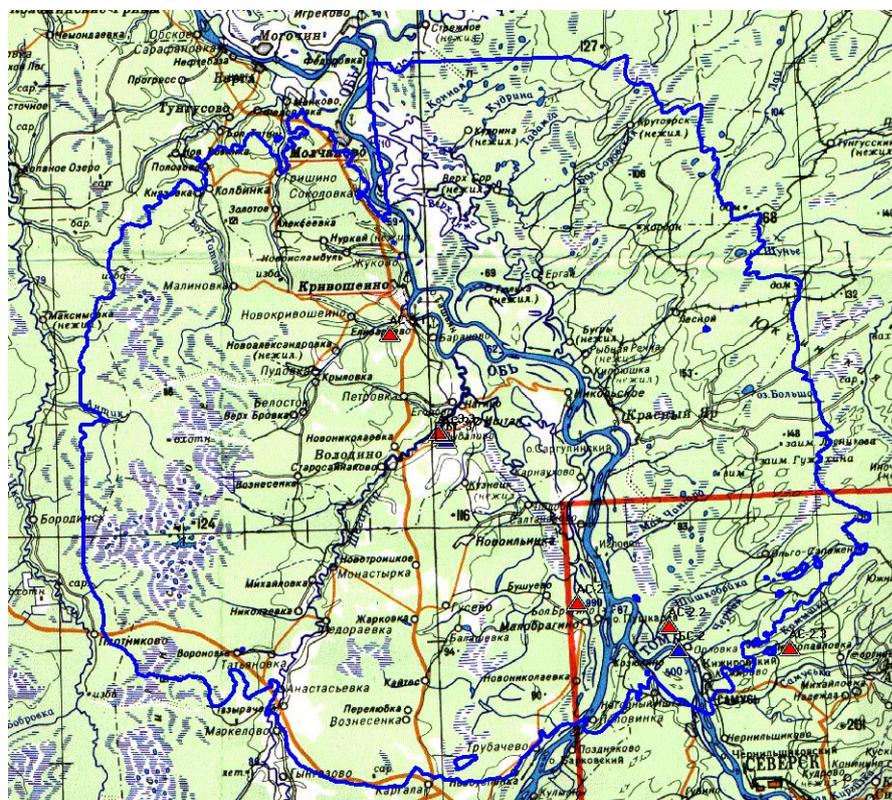


Рисунок 2.20 – Зона обслуживания БС-3 (моделирование)

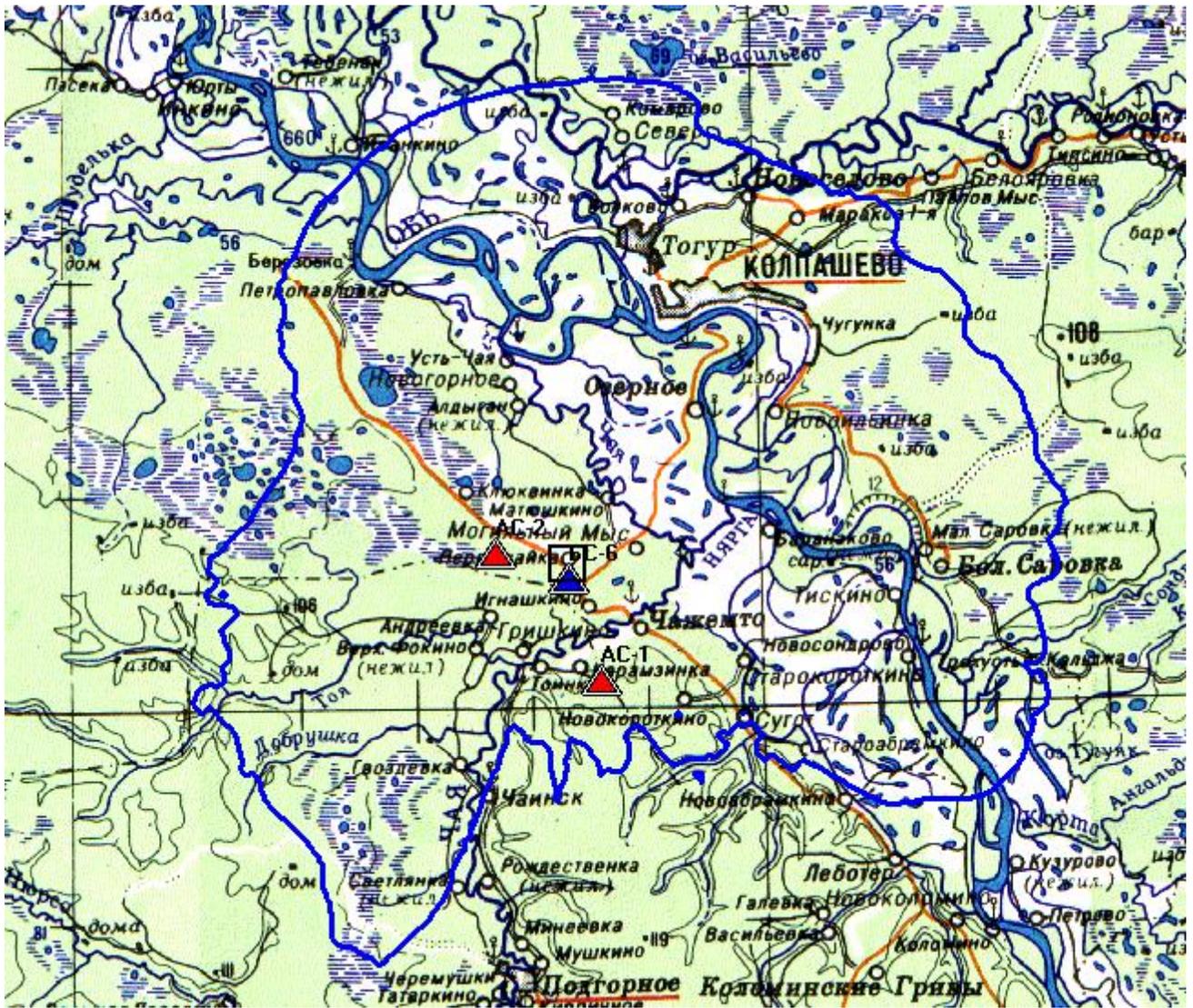


Рисунок 2.23 – Зона обслуживания БС-6 (моделирование)

Таблица 2.8 – Сравнение проектных и фактических значений зоны обслуживания БС рассматриваемой сети СТС

Базовая станция	Радиус зоны обслуживания по проекту (R), км	Радиус зоны обслуживания (моделирование), км	Максимальное расстояние до АС фактически (F), км	Завышение $O=(R-F)/R$, %	$RSE=R/F$
БС-1, с. Семилужки	30	от 11 до 45	0,4	98,7	75
БС-2, пос. Орловка	30	от 31 до 69	18,0	40,0	1,7
БС-3, д. Рыбалово	30	от 49 до 60	19,7	34,3	1,5
БС-4, с. Молчаново	30	от 42 до 70	17,7	41,0	1,7
БС-5, с. Леботер	30	от 37 до 65	18,2	39,3	1,6
БС-6, д. Первомайка	30	от 15 до 42	9,2	69,3	3,3

Пример, приведенный в таблице 2.8, показывает, что при проектировании сети был заложен запас от 34,3 до 98,7%, который не реализовался в течение 9 лет, прошедших с момента ввода сети в эксплуатацию. Кроме того, вызывает сомнение обоснованность указанных проектных зон обслуживания базовых станций (30 км): учитывая данные расчета, радиус зон обслуживания фактически может составлять до 70 км. С точки зрения эффективного использования РЧС целесообразно в данном случае сократить зоны обслуживания БС до фактически необходимых, уменьшив излучаемые мощности БС или высоты подвеса их антенн.

Выводы

1. Существующий дефицит РЧР в диапазоне 146–174 МГц во многом обусловлен его неэффективным использованием.
2. Закладываемые по проекту параметры работы сетей связи зачастую многократно превышают фактически необходимые.
3. Требуется изменение подходов к управлению использованием РЧР, в частности, расширение полномочий контролирующих органов в области связи, введение повышенных ставок оплаты за неэффективное использование РЧР, повышение культуры проектирования сетей связи.

2.5 Применение рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля

В данном разделе представлены результаты измерений напряженности поля передатчиков аналогового телевизионного вещания и аналогового радиовещания, а также базовых станций сетей сухопутной подвижной службы, рассчитана их излучаемая мощность в соответствии с рекомендациями Европейской конференции администраций почтовых служб и служб связи ЕСС 16(04) и ЕСС 12(03), проведено сравнение рассчитанной и фактической мощностей передатчиков и сделаны выводы о практических проблемах применения

указанных рекомендаций. Результаты, приведенные в данном разделе, опубликованы в работе [62].

Все более активное использование радиочастотного спектра приводит к исчерпанию свободного частотного ресурса в наиболее востребованных участках спектра и усложняет электромагнитную обстановку (ЭМО), что повышает важность регулярной проверки параметров излучений передатчиков на предмет соблюдения установленных ограничений (радиоконтроля). Максимальная разрешенная излучаемая мощность передатчика, которая практически всегда указывается в разрешениях на использование радиочастот или радиочастотных каналов, важна для определения минимальных расстояний между передатчиками, использующими совмещенные или частично перекрывающиеся частотные каналы, а также для уменьшения возможных влияний в соседних частотных каналах.

Непосредственное измерение мощности излучений передатчиков по тракту при проведении мероприятий по радиоконтролю невозможно в силу того, что указанные мероприятия осуществляются без взаимодействия с операторами связи: по очевидным причинам информирование оператора о предстоящей проверке параметров излучений передатчиков нецелесообразно. Такие измерения теоретически могут быть проведены косвенно: путем измерения напряженности поля, создаваемого передатчиком, с последующим пересчетом по определенным правилам. До недавнего времени, однако, не существовало принятых на международном уровне методик для проведения измерений излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля. Комитетом электросвязи (ЕСС) Европейской конференции администраций почтовых служб и служб связи (СЕРТ) в 2013 и 2016 г. опубликованы рекомендации [63, 64] для проведения таких измерений.

Рекомендации ЕСС 16(04) и ЕСС 12(03) основаны на «коррекции влияния возможных отражений сигнала от рельефа земли по данным, получаемым путем измерения напряженности поля на разных высотах в месте приема» [63, 64]. По утверждению авторов рекомендаций, погрешность определения излучаемой мощности при практических измерениях составляет ± 3 дБ. Проведение измерений

с такой погрешностью во многих случаях вполне приемлемо для целей радиоконтроля, несмотря на то, что фактически она означает двукратное отклонение полученных значений измеренной мощности (в Вт). В соответствии с указанными рекомендациями проведены соответствующие измерения, результаты которых приведены в таблице 2.9.

Отметим, что применение указанных рекомендаций требует проведения весьма трудоемких измерений. Исходя из опыта использования рекомендаций [63, 64] следует также отметить, что в виду отсутствия взаимодействия с проверяемым оператором при проведении измерений напряженности поля от базовых станций сетей сотовой связи в городских условиях практически невозможно исключить влияние близких по частоте передатчиков. Также при проведении измерений в городских условиях из-за плотной застройки практическую сложность представляет отыскание места для измерений, в котором бы не имелось каких-либо препятствий в пределах эллипсоида первой зоны Френеля. Кроме того, для проведения измерений требуется точное знание диаграммы направленности (ДН) антенны передатчика. Во многих случаях разрешительная документация содержит лишь приблизительные сведения о ДН. Представленные в таблице 2.8 результаты, очевидно, объясняются выше описанными практическими сложностями применения рекомендаций.

Таблица 2.9 – Сравнение рассчитанных в соответствии с рекомендациями и фактических значений мощности передатчиков

№	Служба радиосвязи	Частота, МГц	Е, дБмкВ/м	Расстояние до точки приема, м	Расчетная мощность (P1), Вт	Фактическая мощность (P2), Вт	P1-P2, дБ
1	РВ*	93,6	106,5	642	154,1	1000,0	8,14
2	РВ*	96,4	118,4	642	1609,2	2000,0	0,95
3	РВ*	98,8	113,3	642	321,6	1000,0	4,94
4	РВ*	100,9	122,1	642	5090,2	3000,0	2,29
5	СПС**	793,0	102,7	161	0,52	0,63	1,34
6	СПС**	953,2	98,7	61	0,01	31,0	35,03

* – радиовещательная служба; ** – сухопутная подвижная служба

Выводы

1. Из проведенных 6-и измерений лишь половина (№2, 4, 5) укладывается в ожидаемый интервал ± 3 дБ. В остальных случаях погрешность составила от 4,94 до 35 дБ.
2. В целом методики могут иметь ограниченное практическое применение в условиях неплотной застройки и в случае простой ЭМО, в частности в сельской местности.

2.6 Анализ некоторых аспектов системы управления радиочастотным спектром в Российской Федерации

В данном разделе рассматривается проблема недостаточной эффективности методов управления радиочастотным спектром, используемых в настоящее время на территории Российской Федерации. Дана оценка наиболее спорным положениям нормативно-правовых актов в области управления радиочастотным спектром в России и предложены возможные решения для их усовершенствования. Проведен анализ нормативно-правовых актов, регулирующих использование в России радиочастотного спектра, подробно рассмотрены отдельные положения Методики расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра [7], а также правил ее установления и взимания. Показана недостаточная обоснованность и эффективность применяемых экономических методов управления радиочастотным спектром в Российской Федерации, сформулированы предложения по их усовершенствованию. Результаты, полученные в ходе проведенного анализа, могут быть применены для совершенствования нормативно-правовой базы, регулиющей использование в России радиочастотного спектра. Они опубликованы в работе [65].

Анализ отдельных положений Методики

Методика «включает в себя ставки и коэффициенты, дифференцируемые в зависимости от используемых диапазонов радиочастот, количества используемых

радиочастот (радиочастотных каналов) и технологий, применяемых при использовании радиочастотного спектра» [7]. Методика, при первом ознакомлении с нею, может показаться стройной системой коэффициентов и уравнений, позволяющей произвести исчисление размеров платы для всех существующих технологий и служб радиосвязи. Практическое ее применение, однако, осложнено рядом проблем, которые потребовали создания многостраничного практического комментария [66]. Кроме того, на официальном сайте Роскомнадзора периодически приводятся разъяснения и уточнения, касающиеся применения отдельных понижающих и повышающих коэффициентов Методики. За 7 лет, прошедших с момента внедрения Методики, объем различных пояснений и дополнений к ней кратно превысил ее собственный объем и продолжает расти. Можно с уверенностью утверждать, что система расчета платы за использование РЧС и правил взимания такой платы в ее текущем состоянии является чрезвычайно сложной для понимания и администрирования.

Рассмотрим наиболее спорные положения Методики, применение которых, на взгляд автора, не способствует эффективному использованию РЧС, а также вызывает необходимость избыточного администрирования системы взимания и учета платы за его использование.

Раздел III Методики «Расчет размера ежегодной платы»

В данном разделе, помимо прочего, устанавливается, что размер ежегодной платы в отношении разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов, по которым в течение года (или двух лет) с даты выдачи разрешения не зарегистрированы радиоэлектронные средства (РЭС), увеличивается в 10 раз с момента истечения этого срока до момента регистрации РЭС.

Такая норма, как можно предположить, призвана мотивировать пользователей более эффективно использовать РЧС и вводить в эксплуатацию неиспользуемые ими радиочастотные каналы. Фактически же она побуждает пользователей РЧС лишь к фиктивной регистрации РЭС, для которой нет никаких правовых препятствий [67]. Кроме того, содержание в данной норме

формулировки «с момента истечения этого срока до момента регистрации РЭС» вызывает необходимость выполнения значительного объема расчетов, слабо поддающихся автоматизации и требующих ручной перепроверки сведений о фактах наличия (отсутствия) регистрации РЭС.

Таким образом, норма о 10-кратном увеличении ежегодной платы за использование РЧС при отсутствии регистрации РЭС определенно не способствует эффективному его использованию. Она лишь усложняет администрирование системы взимания платы и препятствует ее автоматизации, что вызывает сомнения в ее целесообразности.

Приложение к Методике, Таблица №5 «Значения коэффициента, учитывающего необходимую ширину полосы излучения радиосигнала для передачи информации с заданным качеством в используемом радиочастотном канале».

Приведем здесь данную таблицу так, как она приводится в Методике.

Таблица 2.10 – Значения коэффициента, учитывающего необходимую ширину полосы излучения (НШПИ) радиосигнала для передачи информации с заданным качеством в используемом радиочастотном канале

НШПИ	$K_{\text{НШПИ}}$
Менее 100 кГц	1
100 кГц – 1 МГц включительно	2
1 МГц – 10 МГц включительно	2,5
Более 10 МГц	3

Как видно из таблицы 2.9, максимальное значение $K_{\text{НШПИ}}$ (коэффициента, учитывающего необходимую ширину полосы излучения (НШПИ) радиосигнала для передачи информации с заданным качеством в используемом радиочастотном канале) устанавливается Методикой равным 3 для любых значений НШПИ свыше 10 МГц. Такой подход представляется неоправданным, учитывая, что в последние годы повсеместное распространение получили системы беспроводного широкополосного доступа стандартов 802.11n, 802.11ac, имеющие НШПИ в диапазоне от 20 до 40 МГц, а также радиорелейные линии с НШПИ до 56 МГц. Следуя данному положению Методики, пользователь РЧС, использующий НШПИ 40 МГц или 56 МГц при прочих равных условиях вносит такую же плату, как и пользователь РЧС, использующий НШПИ 11 МГц, что явно не соответствует

кратной разнице в интенсивности использования РЧС, а значит, не мотивирует пользователей к рациональному отношению к РЧС.

Возможным решением является дополнение таблицы 5 Приложения к Методике рядом повышенных значений коэффициента $K_{НШПИ}$ для значений НШПИ в диапазонах «10 МГц–20 МГц включительно», «20 МГц–40 МГц включительно», «более 40 МГц».

Приложение к Методике, Таблица №6 «Значения коэффициента, учитывающего численность населения в месте установки РЭС с учетом административных границ населенного пункта»

Приведем здесь данную таблицу так, как она приводится в Методике:

Таблица 2.11 – Значения коэффициента, учитывающего численность населения ($K_{НАС}$) в месте установки РЭС с учетом административных границ населенного пункта

Численность населения, тыс. чел.	Значение $K_{НАС}$
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности	0,5
Менее 200 и вне населенных пунктов	0,9
200 – 1000	1
1000 – 3000	1,1
Более 3000	1,2

Обратимся к данным о численности населения городов России, опубликованным Федеральной службой государственной статистики в 2019 г. [68]. Как видно из этих данных, на 01.01.2018 в России было всего 2 города, население которых превышает порог в 3 млн. человек – это Москва (12,51 млн.) и Санкт-Петербург (5,35 млн.). В категорию «1 млн. – 3 млн.» жителей попадают 13 городов; максимальная численность населения в этой категории наблюдается в г. Новосибирске (1,61 млн.). Категория «200 тыс. – 1 млн.» жителей представлена 82 городами; максимальная численность населения в этой категории наблюдается в г. Краснодаре (0,9 млн.). Учитывая приведенные статистические данные, рациональность установленных границ «от 1 млн. до 3 млн. жителей» и «более 3 млн. жителей» вызывает сомнения. Очевидно, что в ближайшем будущем в России не появится ни одного населенного пункта, который по численности населения мог бы приблизиться к 3 млн., как сверху, так и снизу.

Отметим, что в определении коэффициента $K_{нас}$ содержится формулировка «с учетом административных границ населенного пункта». Ее наличие вызывает необходимость изменения коэффициента $K_{нас}$ для малых населенных пунктов, присоединяемых к более крупным. Процесс укрупнения населенных пунктов идет постоянно, что значительно усложняет администрирование и автоматизацию системы взимания и учета платы за использование РЧС, ввиду необходимости актуализации соответствующих справочников. Кроме того, при фактическом отсутствии изменений как в уровне доходов населения, так и в интенсивности использования РЧС в присоединенном населенном пункте, коэффициент $K_{нас}$ для него повышается, что несправедливо.

Установленные Методикой границы изменения коэффициента $K_{нас}$ в диапазоне от 0,9 до 1,2 (без учета районов Крайнего Севера) не находят рационального объяснения, учитывая, что количество жителей в различных населенных пунктах может колебаться в гораздо более широком диапазоне (от 1 жителя до 12,51 млн. жителей). Для примера, при прочих равных условиях разница в ежегодной плате за использование РЧС между Москвой (12,51 млн. жителей) и г. Волгоградом (1,014 млн. жителей) составляет всего 9%, а при более чем двукратной разнице в количестве населения в Москве и Санкт-Петербурге, значение коэффициента $K_{нас}$ для них одинаково. Не отрицая того, что численность населения в отдельном населенном пункте определенным образом коррелирует с интенсивностью использования в нем РЧС, отметим, что Методикой установлен формальный подход к определению значений коэффициента $K_{нас}$. Такой подход лишь усложняет проведение расчетов платы за использование РЧС, не влияя, однако, на эффективность его использования.

Учитывая крайнюю неравномерность распределения населения по территории России, а также значительный разброс количества жителей в различных населенных пунктах, представляется целесообразным вместо коэффициента $K_{нас}$ использовать коэффициент, устанавливаемый в целом для субъекта федерации. Такой коэффициент может быть производным от валового регионального продукта (ВРП) соответствующего субъекта федерации. ВРП

представляет собой валовой внутренний продукт (ВВП) для отдельно взятого региона и отражает уровень его экономического развития. Данные по ВРП регулярно публикуются Федеральной службой государственной статистики.

Приложение к Методике, Таблица №7 «Значения коэффициента, учитывающего степень социальной направленности внедрения технологии»

Для «технологии беспроводных сетей стандарта серии IEEE 802.11» устанавливается понижающий коэффициент $K_{соц}=0,1$. При этом, однако, не делается различий между сетями связи общего пользования и технологическими сетями связи. Такой подход представляется нерациональным ввиду того, что технология 802.11, применяемая для организации технологических сетей связи, не несет никакой социальной нагрузки. Технологические сети связи абсолютно закрыты для доступа сторонними абонентами и используются различными организациями для внутренней связи, а также физическими лицами для личных целей.

Возможным решением представляется применение понижающего коэффициента $K_{соц}=0,1$ исключительно для сетей связи общего пользования, для организации которых необходима соответствующая лицензия на оказание услуг в области связи, накладывающая на оператора определенные обязательства в области качества оказываемых услуг. При организации же сетей связи для технологических целей применение $K_{соц}=0,1$ ничем не оправдано. Вместе с тем, учитывая весьма высокую спектральную эффективность технологий 802.11n, 802.11ac, было бы разумным установить для них понижающий коэффициент, учитывающий перспективность технологии, $K_{персп}=0,5$ по аналогии с сетями технологии WiMAX.

Анализ отдельных пунктов 6 и 11 Правил

Пунктом 6 Правил устанавливается, что «исчисление 1-го периода использования радиочастотного спектра, за который взимается ежегодная плата, начинается с даты принятия решения о присвоении радиочастоты. Размер ежегодной платы, вносимой за квартал, в течение которого было принято решение о присвоении радиочастоты, определяется пропорционально количеству

календарных дней, оставшихся до истечения квартала». Вместе с этим, согласно пункту 11 Правил: «При прекращении или приостановлении действия разрешения внесенная пользователем разовая плата или (и) ежегодная плата не возвращается и не учитывается при внесении платы за следующие периоды (в случае возобновления действия разрешения)». Подход к исчислению ежегодной платы за использование РЧС, при котором за неполный первый квартал, в котором происходит присвоение радиочастот, плата за использование РЧС взимается, а за неполный последний не возвращается, несправедлив. Кроме того, расчет платы за первый период использования РЧС «пропорционально количеству календарных дней, оставшихся до истечения квартала» существенно осложняет и без того непростую систему расчета платы. Рационально и справедливо было бы вовсе отказаться от установления ежегодной платы за первый период использования РЧС и установить, что плата вносится с 1-го числа квартала, следующего за тем, в котором произошло присвоение радиочастот.

Выводы

1. Существующая система расчета и взимания платы за использование РЧС в Российской Федерации неоправданно сложна и требует значительных трудозатрат на ее администрирование.
2. Отдельные положения Методики не учитывают появления и широкого распространения новых технологий радиосвязи, интенсивно использующих РЧС, устанавливая формальный и несправедливый подход к определению размеров платы за использование РЧС.
3. Методика в целом не мотивирует пользователей к более эффективному использованию РЧС.
4. Предлагаемые в Методику изменения, учитывая ее широчайшее внедрение, могут иметь помимо немедленного экономического эффекта также долгосрочный эффект, способствующий развитию новых технологий радиосвязи и повышению эффективности использования РЧС.

2.7 Основные результаты главы

Показаны преимущества моделирования интервалов ЦРРЛ на основе данных, полученных методом ДЗЗ в сравнении с полученными при помощи топографических карт местности. Доказано, что использование данных о рельефе, полученных методом ДЗЗ, позволяет повысить точность расчета основных показателей качества ЦРРЛ и снизить затраты на проектирование ЦРРЛ.

Дана оценка существующих требований к точности указания мест размещения радиоэлектронных средств для проведения расчетов их ЭМС. Показана их недостаточность и предложены варианты ужесточения требований.

Дана оценка эффективности использования РЧР радиорелейными линиями связи, произведены расчеты потерь на трассе распространения радиоволн, и на конкретных примерах показано, что фактически имеющийся запас на замирания может превышать рекомендуемые значения от 3,3 до 8,7 дБ.

Показано, что дефицит радиочастотного ресурса, имеющийся в отдельных полосах радиочастот, предназначенных для работы РРЛ, в некоторой степени обусловлен его неэффективным использованием. Предложены варианты решения этой проблемы.

Дана оценка эффективности использования РЧР для СТС диапазона 146–174 МГц. По результатам проведенного моделирования показано, что закладываемые по проекту параметры работы сетей связи зачастую многократно превышают фактически необходимые: в конкретном примере фактический радиус зоны обслуживания превышал необходимый от 34,3% до 98,7%.

Проведено апробирование рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля в реальных условиях при проведении измерений в г. Томске. Показано, что использование указанных рекомендаций в условиях города практически невозможно, однако они могут иметь ограниченное практическое применение в условиях неплотной застройки и в случае простой ЭМО, в частности в сельской местности.

Проведен анализ некоторых аспектов системы управления радиочастотным спектром в Российской Федерации. Дана оценка наиболее спорным положениям нормативно-правовых актов в области управления радиочастотным спектром в России. Предложены возможные решения для их усовершенствования.

Показано, что существующая система расчета и взимания платы за использование РЧС в Российской Федерации неоправданно сложна и требует значительных трудозатрат на ее администрирование.

3. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УСЛУГ СОТОВОЙ СВЯЗИ В ТОМСКЕ И ЕЕ ДОСТУПНОСТИ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1 Комплексная оценка качества услуг сотовой связи в Томске и анализ ее результатов

В данном разделе представлены результаты комплексной оценки качества услуг сотовой связи стандартов GSM 900/1800, UMTS и LTE в Томске, а также оценка качества покрытия этих сетей. Представлены полученные на основе измерений данные об основных показателях качества услуг различных операторов сотовой связи. Сделаны выводы о фактическом качестве услуг сотовой связи в Томске. Отдельные материалы, содержащие анализ полученных результатов, опубликованы в работах [69–71].

Проведение измерений

Измерения с использованием мобильных измерительных комплексов (драйв-тесты) проводились в пределах административной границы г. Томска в рабочие дни в интервале с 8 до 22 часов по местному времени. В ходе тестирования были охвачены все основные транспортные магистрали города, производились также заезды во внутренние территории микрорайонов и дворовых территорий. Общий пробег измерительного комплекса составил более 4700 км.

Согласно проекту «Концепции управления качеством связи в Российской Федерации», подобные драйв-тесты являются наиболее объективным способом оценки и выполняются по единым утвержденным методикам с применением технических испытательных средств – тестовых комплексов. Функционально они являются специализированным абонентским оборудованием, имеющим наиболее полную функциональность и поддерживающим все реализованные на сети связи технологии, режимы работ, диапазоны частот [2].

Драйв-тесты проводятся квалифицированным персоналом, а методики испытаний предписывают вполне определенный порядок их проведения при

большом количестве тестовых проб для достижения требуемой достоверности результатов. Этим обеспечивается возможность получения оценок, наиболее полно отражающих потенциально возможное качество услуг связи, предоставляемое оператором. Драйв-тесты являются весьма затратным по стоимости и времени способом оценки качества, что ограничивает возможности их регулярного или массового использования [2].

Оборудование

Приведем описание состава и конфигурации измерительного оборудования. Радиоконтрольное оборудование тестирования (РКОТ) параметров услуг подвижной радиотелефонной связи представляет собой радиоизмерительный комплекс с централизованной системой хранения и обработки результатов тестирования, предназначенный для проведения оценочных испытаний и последующей обработки для вычисления значений показателей качества услуг связи в сетях подвижной радиотелефонной связи стандартов GSM, UMTS, LTE.

Схема прохождения тестового трафика при проведении оценочных измерений при тестировании голосовых услуг и услуг передачи данных представлена на схеме (рисунок 3.1).

РКОТ включает следующие компоненты:

1. Возимое РКОТ – устанавливаемые в автомобиль возимые удаленные модули тестирования (далее ВУМТ) или модули RTU (Remote Test Unit) – для постоянного мониторинга качества предоставляемых услуг (рисунок 3.2).

2. Носимое РКОТ – носимые удаленные модули тестирования (далее НУМТ) или модули TPR (Test Mobile System Pocket Remote) для проведения контроля показателей качества голосовых сервисов и сервисов передачи данных внутри зданий и в пешеходных зонах.

3. Локальный модуль для настройки и контроля тестовых устройств ВУМТ.

4. Локальный модуль для настройки и контроля тестовых устройств НУМТ.

5. Серверное РКОТ (рисунок 3.3).

Рассмотрим подробнее состав вышеназванных компонентов РКОТ. Возимое РКОТ включает в себя модули для тестирования ВУМТ (5 шт.)

Состав отдельного ВУМТ:

1. Голосовой модем Ericsson F3607 EU (2 шт.).
2. Модем для передачи данных Sierra Wireless MC7710 (1 шт.).
3. GPS антенна (1 шт.).
4. LAN роутер, 5 портов (1шт.).
5. Сканер сетей сотовой связи PCTel SeeGull (1 шт.).
6. Сканер сетей R&S TSMW (1шт.).
7. Адаптер питания 110\220 В (4 шт.).
8. Блок бесперебойного питания (1 шт.).
9. Внешняя GPS антенна (5 шт.).
10. Внешняя антенна PCTel Z3438 (6 шт.).
11. Делитель мощности MTS Power Divider LT4-544P-A21\4 (4 шт.).
12. Комплект батарей 11,2 А/ч.
13. Специальное программное обеспечение РКОТ.

Носимое радиоконтрольное оборудование РКОТ включает в себя:

1. Модули тестирования НУМТ Sony Xperia V LT25i – для проведения контроля показателей качества голосовых сервисов и сервисов передачи данных внутри зданий и в пешеходных зонах.

2. Управляющий планшет TEMS Pocket Premium Samsung Note 10 LTE – для локальной настройки и управления модулями тестирования TPR.

Отметим, что все тестовые модули поддерживают технологии GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, HSPA+, LTE.

Серверное оборудование включает в себя:

1. Сервер аппаратного обеспечения бенчмаркинга и тестирования (мониторинга) параметров услуг подвижной связи, а также хранения и постобработки данных.

2. Сервер для тестирования параметров передачи речи, а также услуг передачи данных.

На территории Томска в настоящее время действуют сети четырех операторов сотовой связи: ПАО «ВымпелКом» (далее – Beeline), ПАО «Мегафон»

(далее – Megafon), ПАО «МТС» (далее – МТС), ООО «Т2-Мобайл» (далее – Tele2). При оценке качества связи в сетях этих операторов оценивалось как качество покрытия (по уровню принимаемого абонентским терминалом сигнала от базовой станции), так и ряд специфических параметров качества, определенных в [72].

Результаты измерений

Данные о качестве покрытия в сетях связи стандартов GSM 900/1800 (таблица 3.1) и UMTS (таблица 3.2) приведены по каждому действующему на территории Томска оператору сотовой связи. Качество покрытия в сетях стандарта GSM определялось по уровню RSSI (Received Signal Strength Indicator), в сетях стандарта UMTS – по уровню RSCP (Received Signal Code Power). Отметим, что согласно [73] значение RSSI плохо коррелирует с качеством связи и может служить лишь для его приблизительной оценки.

В таблице 3.3 приведены данные о качестве покрытия в сетях связи стандарта LTE только по двум операторам связи, на момент проведения измерений имевших введенные в эксплуатацию на территории Томска сети стандарта LTE. Для Megafon оценка проводилась совместно с базовыми станциями ООО «Скартел» (бренд «Йота»). Она представляется справедливой, поскольку в настоящее время «Йота» является виртуальным оператором (MVNO) на сети Megafon. Для оценки качества покрытия в сетях LTE операторов МТС и Megafon проводились измерения параметра RSRP (Reference Signal Received Power). Используемые в таблицах 3.1–3.3 названия оценочных категорий качества покрытия выступают лишь в качестве обобщенных наименований и служат исключительно для удобства ссылки на них и поэтому приводятся в кавычках. Примеры таких данных приведены на карте: для сетей Megafon и МТС стандарта LTE на рисунке 3.4, для сетей всех операторов стандарта UMTS – на рисунке 3.5, для сетей всех операторов стандарта GSM 900/1800 – на рисунке 3.6.

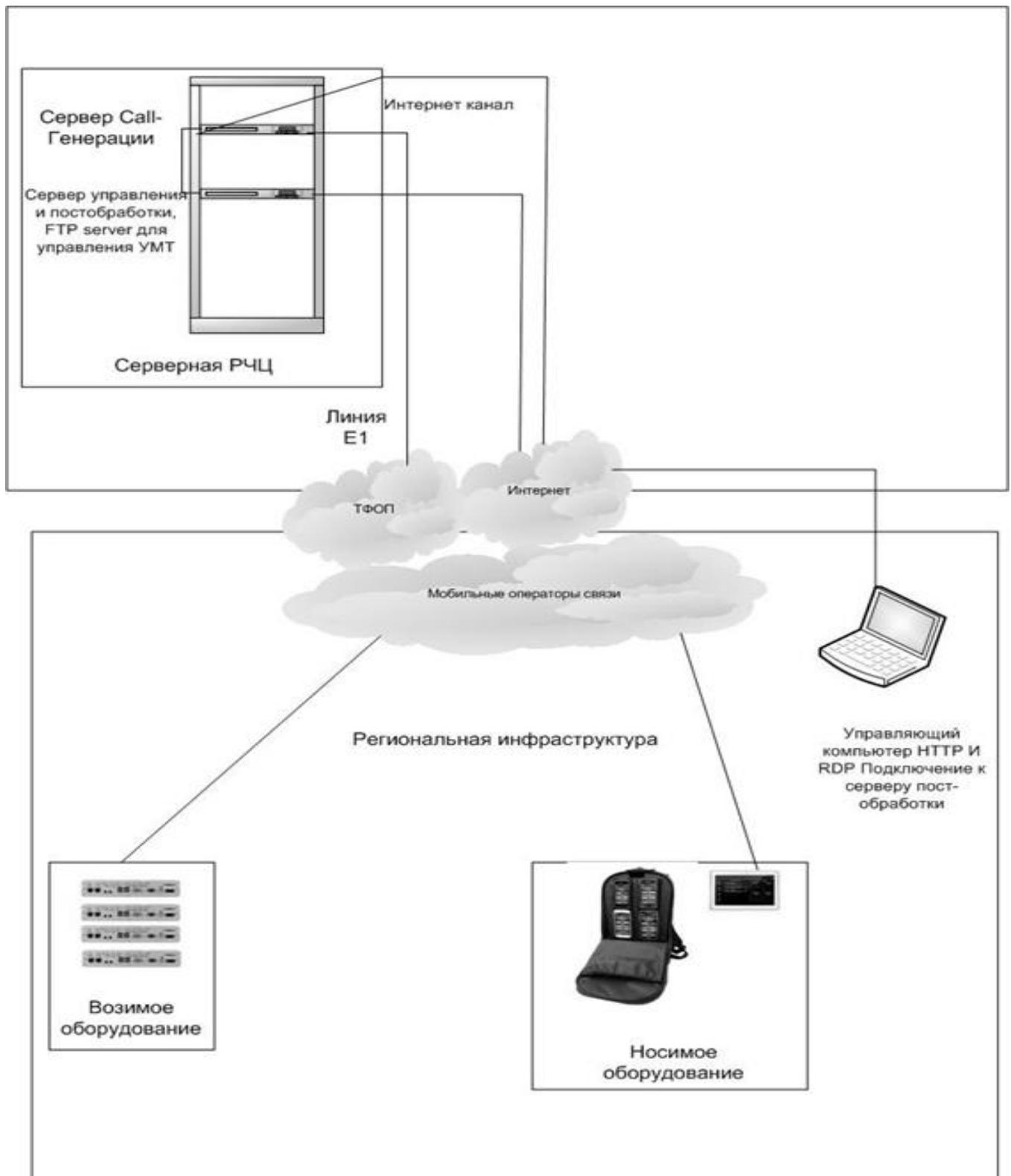


Рисунок 3.1 – Схема прохождения тестового трафика



Рисунок 3.2 – Возимое РКОТ



Рисунок 3.3 – Серверное РКОТ

В таблицах 3.4 – 3.6 приведены данные оценки специфических параметров качества, определенных в методике [72]. Она дает подробные инструкции для определения параметров качества связи, поэтому целесообразно описать лишь некоторые ключевые параметры, приведенные в таблице 3.4. В этой таблице приведены значения следующих параметров:

1. Доля неуспешных попыток установления голосового соединения (Voice Service Non-Accessibility, VSNA) определяется как

$$VSNA = \frac{Q}{N} 100\%, \quad (3.1)$$

где Q – общее количество неуспешных попыток установления голосового соединения, N – общее количество тестовых голосовых соединений. Успешной считалась попытка установления голосового соединения в случае, когда передающий терминал фиксирует сигнал контроля посылки вызова, а приемный терминал – сигнал вызова. Передающий терминал может получить сигнал «занято» или сигнал ответа может отсутствовать из-за проблем в сети (даже когда приемный терминал зарегистрирован в сети и не занят). В этом случае попытка рассматривалась как неуспешная.

2. Доля обрывов голосовых соединений (Voice service cut-off ratio, VSCR) определяется как

$$VSCR = \frac{R}{N} 100\%, \quad (3.2)$$

где R – количество соединений, закончившихся не по инициативе тестового терминала, N – общее количество успешно установленных голосовых соединений.

3. Средняя разборчивость речи на соединение (Voice Speech Quality on Call basis (MOS POLQA) отражает качество речи в установленном голосовом соединении для каждого тестового терминала в обоих направлениях. Является средней оценкой воспринимаемой абонентами разборчивости передаваемых тестовых речевых последовательностей. Для оценки качества голосовых соединений (разборчивости речи) в проведенных измерениях использовалась модель POLQA (Perceptual Objective Listening Quality Assessment), описанная рекомендацией МСЭ Р.863. Данная модель используется для оценки качества речи с использованием автоматизированных методов анализа (без участия экспертов). Результат представляется в виде оценки по шкале от 1 (плохо) до 5 (отлично) как это принято для субъективной оценки MOS (Mean Opinion Score). Этот показатель оценивался без учета голосовых соединений по сетям LTE.

4. Доля голосовых соединений с низкой разборчивостью речи (Negative MOS samples ratio, NMSR) определяется как

$$NMSR = \frac{M}{N} 100\%, \quad (3.3)$$

где M – количество принятых тестовых речевых последовательностей с оценкой разборчивости речи менее 2,6 по модели POLQA, N – общее количество тестовых речевых последовательностей.

Параметры, приведенные в таблице 3.6, измерялись суммарно по сетям всех стандартов (GSM, UMTS, LTE – при наличии), принадлежащих одному и тому же оператору. В таблице 3.7 приведены справочные данные об объеме проведенных измерений.

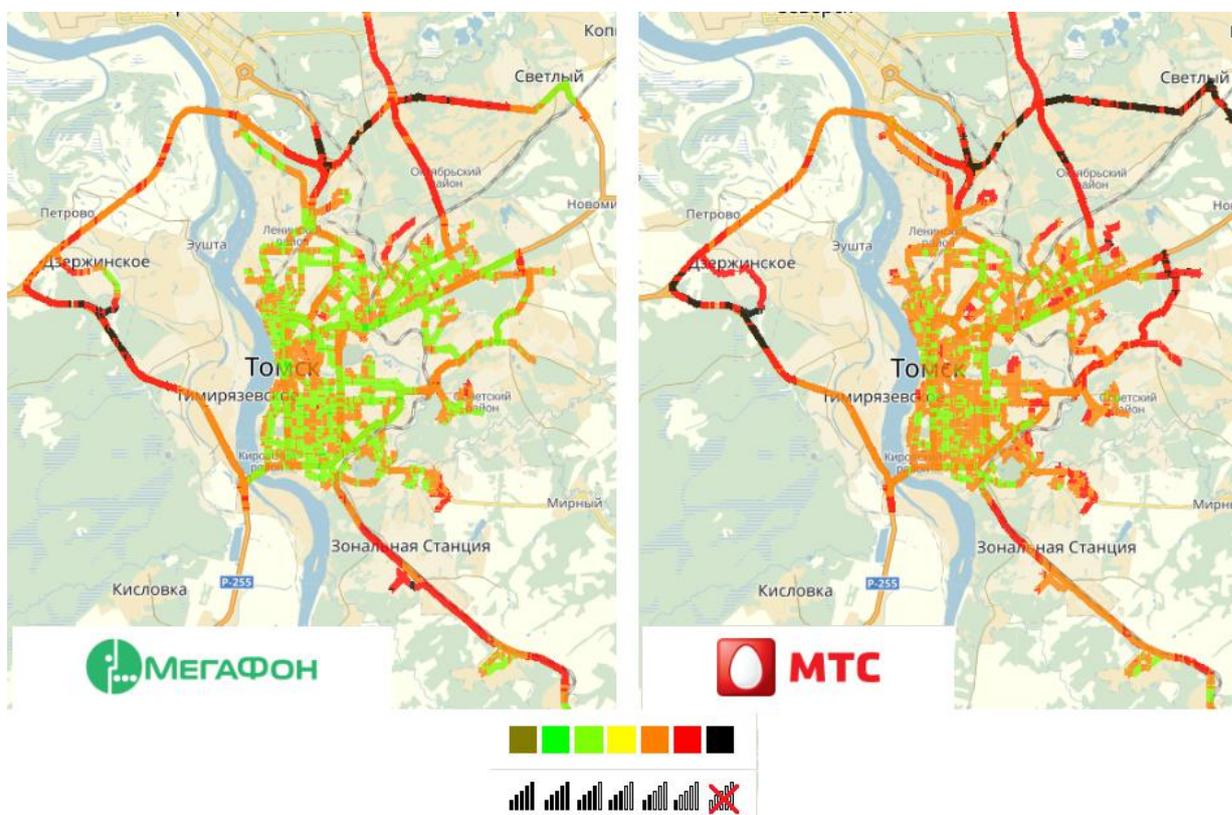
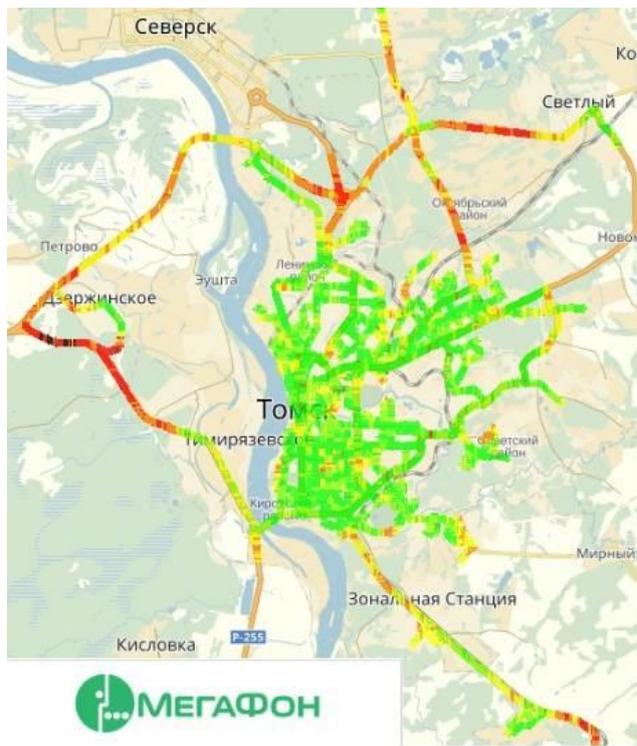
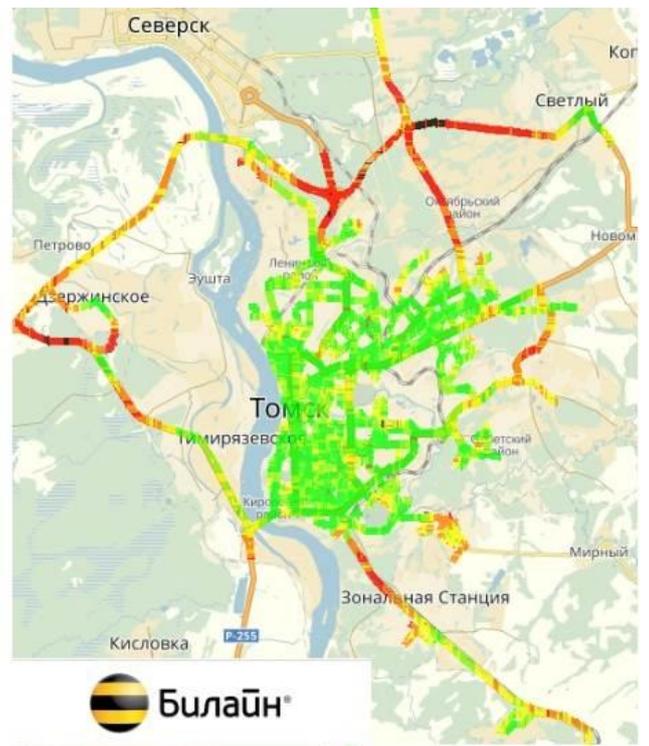


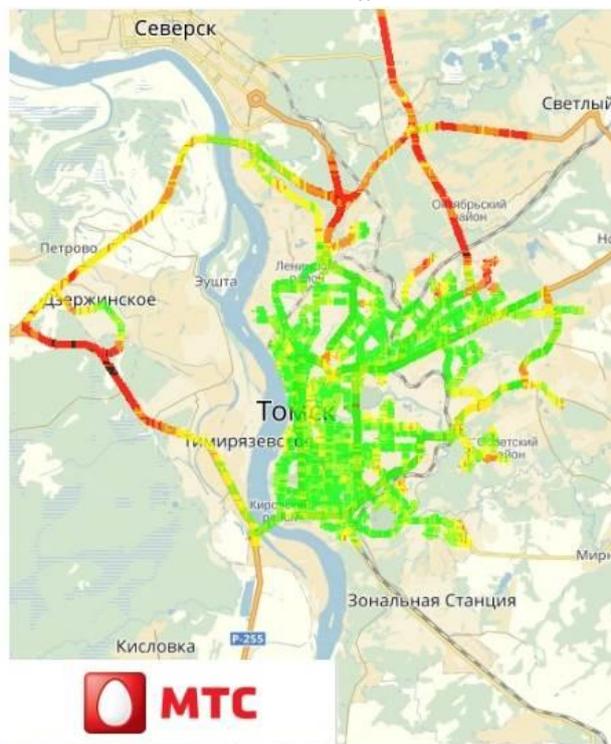
Рисунок 3.4 – Графическое отображение данных о качестве покрытия в сетях связи MegaFon (а) и MTS (б) стандарта LTE



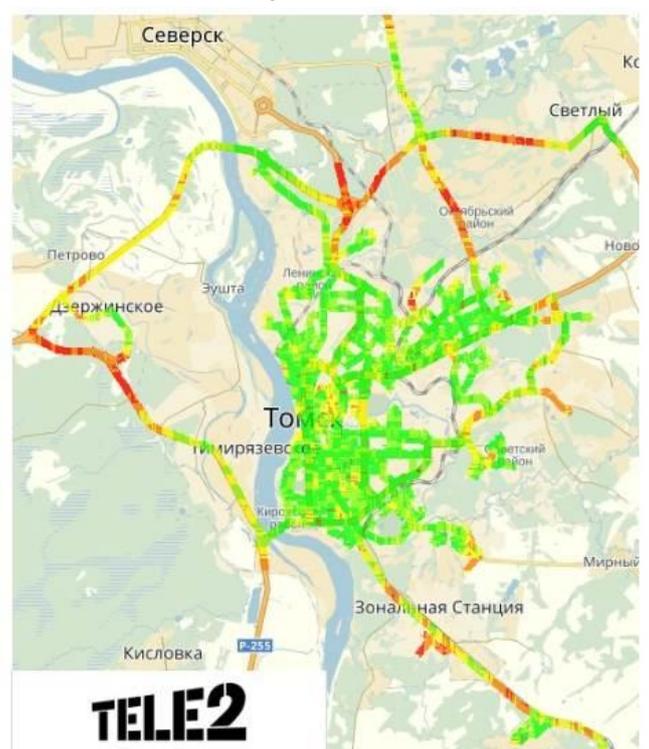
а



б

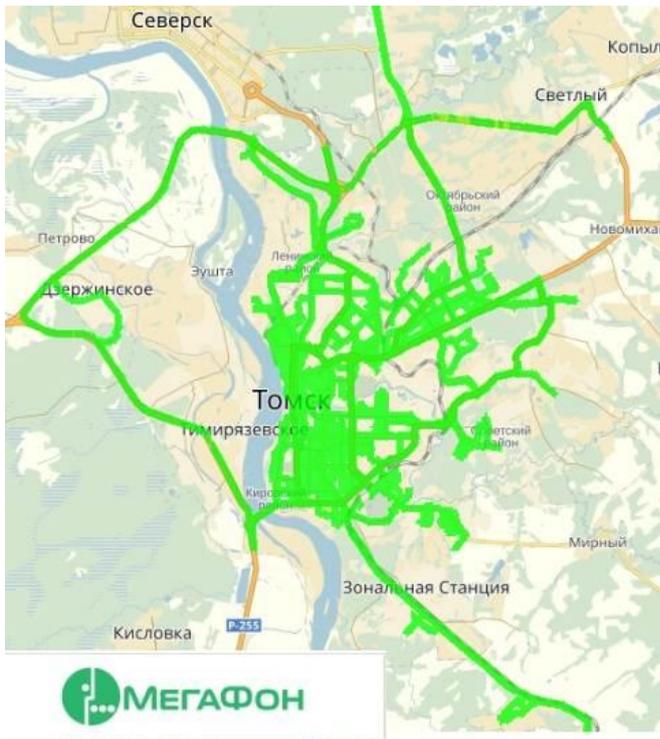


в

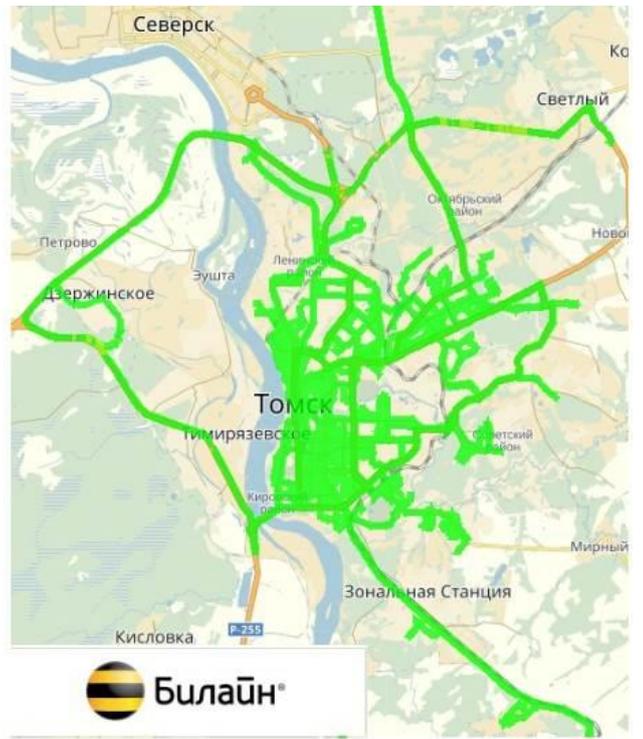


г

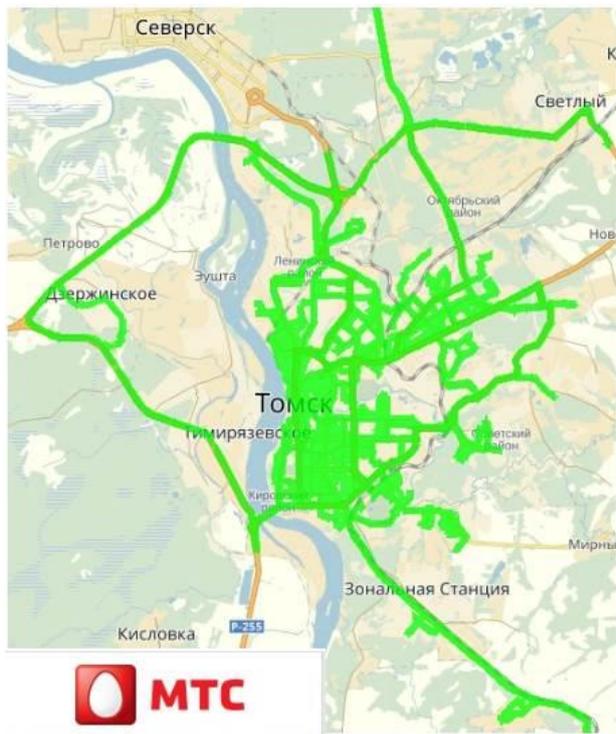
Рисунок 3.5 – Графическое отображение данных о качестве покрытия в сетях связи Megafon (а), Beeline (б), MTS (в), Tele2 (г) стандарта UMTS



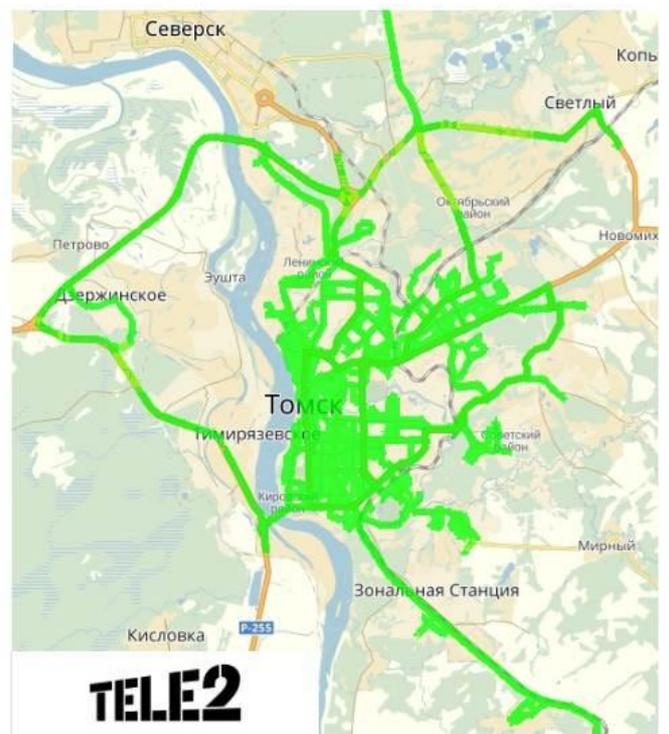
а



б



в



г

Рисунок 3.6 – Графическое отображение данных о качестве покрытия в сетях связи Megafon (а), Beeline (б), MTS (в), Tele2 (г) стандарта GSM900/1800

Таблица 3.1 – Данные о качестве покрытия для GSM 900/1800

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSSI, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %			
			Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	«Хорошо»	-70 и более	99,49	99,82	99,64	98,9
2	«Норма»	[-81; -70)	0,50	0,18	0,35	1,04
3	«Неуверенно»	[-85; -81)	0,01	0	0	0,04
4	«Плохо»	[-95; -85)	0	0	0,01	0,02
5	«Неудовлетворительно»	[-110; -95)	0	0	0	0
6	«Отсутствует»	Менее -110	0	0	0	0

Таблица 3.2 – Данные о качестве покрытия для UMTS

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSCP, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %			
			Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	«Хорошо»	-60 и более	44,6	42,09	36,06	51,48
2	«Норма»	[-70; -60)	31,43	30,63	37,68	26,03
3	«Неуверенно»	[-80; -70)	17,14	20,99	20,68	17,55
4	«Плохо»	[-90; -80)	4,62	5,35	4,24	4,08
5	«Неудовлетворительно»	[-105; -90)	2,04	0,89	1,23	0,8
6	«Отсутствует»	Менее -105	0,18	0,06	0,11	0,06

Таблица 3.3 – Данные о качестве покрытия для LTE

№ п/п	Оценочная категория	Уровень RSRP, дБм	Доля в покрытии оператора по территории, %			
			Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	«Норма»	[-60; -40)	—	1,54	0,01	—
2	«Неуверенно»	[-80; -60)	—	46,24	16,7	—
3	«Плохо»	[-100; -80)	—	42,37	68,8	—
4	«Неудовлетворительно»	[-120; -100)	—	9,5	12,5	—
5	«Отсутствует»	Менее -120	—	0,35	1,99	—

Таблица 3.4 – Показатели качества услуг подвижной радиотелефонной связи в части голосового соединения

№ п/п	Параметр качества	Требование к пределу	Оператор			
			Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	Доля неуспешных попыток установления голосового соединения (Voice service non-accessibility), %	не более 5	0,3	0,4	0,4	0,3
2	Доля обрывов голосовых соединений (Voice service cut-off ratio), %	не более 5	0,4	0,7	1,7	0,1
3	Средняя разборчивость речи на соединение (Speech quality on call basis (MOS POLQA))	не менее 2,6	4,1	4,1	4,0	3,9
4	Доля голосовых соединений с низкой разборчивостью речи (Negative MOS samples ratio, MOS POLQA < 2,6), %	—	0,5	1,4	1,2	0,5

Таблица 3.5 – Показатели качества услуг подвижной радиотелефонной связи в части передачи коротких текстовых сообщений

№ п/п	Параметр качества	Оператор			
		Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	Доля недоставленных SMS сообщений, %	0,1	0,1	0,6	0,0
2	Среднее время доставки SMS сообщений, с	3,0	3,6	3,5	3,5

Таблица 3.6 – Показатели качества услуг связи по передаче данных (за исключением услуг связи по передаче данных для целей передачи голосовой информации)

№ п/п	Параметр качества	Требование к пределу	Оператор			
			Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	Доля неуспешного TCP/IP соединения с сервером (HTTP IP-Service Access Failure Ratio), %	не более 6	0,7	1,4	0,7	0,3
2	Доля неуспешных сессий по протоколу HTTP (HTTP Session Failure Ratio), %	—	0,8	1,5	0,8	0,3
3	Среднее значение скорости передачи данных к абоненту (HTTP DL Mean User Data Rate), кб/с	не менее 80	5372,8	10347,4	10000,9	7982,3
4	Продолжительность успешной сессии (HTTP Session Time), мс	—	11,66	9,54	8,54	10,85

Таблица 3.7 – Справочная информация

№ п/п	Параметр качества	Оператор			
		Beeline	Megafon	MTS	Tele2
1	Общее количество тестовых голосовых соединений	7878	7870	7834	7859
2	Общее количество голосовых последовательностей в оцениваемых соединениях (POLQA)	148451	138380	145811	148454
3	Количество голосовых соединений с низкой разборчивостью (Negative MOS samples Count, MOS POLQA<2,6)	738	1875	1800	756
4	Общее количество отправленных SMS сообщений	1474	1490	1443	1424
5	Общее количество попыток соединений с сервером передачи данных HTTP (Загрузка файлов)	1592	2568	2247	1828
6	Общее количество тестовых сессий по протоколу HTTP (Web-browsing)	3129	4978	4347	3636

Выводы:

1. Обеспечено 100% покрытие территории Томска сетями сотовой связи второго поколения (стандартов GSM 900/1800) четырех операторов сотовой связи. Большая часть территории, покрытой этими сетями, может быть отнесена к

категориям уровня сигнала «хорошо» и «норма»: 99,99% у Beeline, 100% у Megafon, 99,99% у MTS, 99,94% у Tele2. Уровень принимаемого сигнала в этих сетях практически одинаков у всех представленных операторов на всей исследованной территории.

2. Покрытие территории Томска сетями третьего поколения (UMTS) обеспечивается сетями связи четырех операторов мобильной связи. Покрытие сетями стандарта UMTS в целом на территории Томска обеспечено: на 99,82% у Beeline, 99,94% у Megafon, 99,89% у MTS, 99,94% у Tele2. Уровень принимаемого сигнала в этих сетях, однако, существенно различается по районам Томска и операторам. Распределение уровня сигнала неравномерное. Имеются проблемные участки с уровнем сигнала ниже категории «неуверенно»: 6,84% у Beeline, 6,3% у Megafon, 5,58% у MTS, 4,94% у Tele2.

3. Практически на всей территории Томска обеспечено покрытие сетями стандарта LTE: 99,65% территории для Megafon и 98,01% территории для MTS. Большая часть покрытия может быть отнесена к оценочным категориям «неуверенно» и «плохо»: 88,61% территории для Megafon и 85,5% территории для MTS. Доли оценочных категорий «отлично», «хорошо» и «норма» крайне незначительны у обоих операторов: 1,54% территории для Megafon и 0,01% территории для MTS.

4. Средняя разборчивость речи на соединение у всех операторов не ниже граничного значения (2,6), практически не различается по операторам и оценивается по модели POLQA как «хорошая». Значения параметров «доля неуспешных попыток установления голосового соединения» и «доля обрывов голосовых соединений» также не превышают граничных значений ни у одного из операторов.

5. Наибольшая доля недоставленных SMS сообщений у MTS (0,6%), наименьшая у Tele2 (0,0%). Среднее время доставки SMS-сообщений примерно одинаково у всех операторов.

6. Параметр «среднее значение скорости передачи данных к абоненту» у операторов Megafon и MTS существенно (в 1,5–2 раза) выше, чем у Beeline и

Tele2, что можно объяснить наличием у MegaFon и MTS введенных в эксплуатацию сетей связи четвертого поколения (LTE).

7. Наличием сетей стандарта LTE, вероятно, можно объяснить и сравнительно высокие значения параметров «доля неуспешного TCP/IP соединения с сервером» и «доля неуспешных сессий по протоколу HTTP» у операторов MegaFon и MTS, т.к. качество покрытия сетей стандарта LTE остается низким.

8. Карты покрытия сотовой связи, полученные в ходе данного исследования, подготовлены для использования абонентами для осознанного выбора поставщика услуг связи. Каждый житель Томска получил возможность сопоставить места своего преимущественного пребывания в течение суток с картами покрытия и выбрать оператора сотовой связи, используя данные объективного контроля.

3.2 Сравнительный анализ результатов оценки качества услуг сотовой связи в Томске

В разделе 3.1 приведены результаты анализа комплексной оценки качества услуг сотовой связи в Томске, проведенной в 2016 г. Там же приведены комментарии к методике проведения измерений, описание измерительного оборудования и даны пояснения к измеряемым параметрам.

Аналогичные измерения с целью оценки качества услуг сотовой связи в Томске повторно проведены в декабре 2018 г. и сентябре 2020 г. При этом ни измерительное оборудование, ни методика проведения измерений существенно не изменились. Единственным отличием в методике проведения измерений в 2018 г. и 2020 г. по сравнению с 2016 г. стало исключение параметра «доля неуспешного TCP/IP соединения с сервером, %» и введение нового – «среднее значение скорости передачи данных от абонента, Кб/с» при оценке показателей качества услуг связи по передаче данных.

Результаты, полученные в ходе повторных измерений в 2018 г. и 2020 г., позволяют оценить произошедшие изменения в качестве покрытия территории Томска сетями 2G, 3G и 4G всех четырех действующих операторов сотовой связи и проанализировать изменение специфических параметров качества связи. Кроме того, они, вероятно, позволят подтвердить достоверность полученных в 2016 г. результатов и дать осторожный прогноз относительно дальнейшего развития сетей сотовой связи в Томске. Для удобства сравнения результаты измерений, проведенных в 2016, 2018, 2020 гг., приводятся в таблицах 3.8–3.11 совместно.

Сравнительные карты покрытия для сетей 2G в данном разделе не приводятся, так как существенных изменений в качестве покрытия сетями этого поколения не произошло (таблица 3.11).

На рисунках 3.7 – 3.10 приведено сравнение качества покрытия сетями 3G территории Томска по результатам измерений, проведенных в январе 2016 г., декабре 2018 г. и сентябре 2020 г. для всех четырех операторов сотовой связи (Beeline, Megafon, MTS и Tele2 соответственно). Из сравнения видно, что качество покрытия в этих сетях существенно улучшилось у всех операторов, появилось покрытие в отдаленных районах города и присоединенных к городу поселках (например, Мирный, Светлый, Новомихайловка и другие).

На рисунках 3.11 и 3.12 приведено сравнение качества покрытия сетями 4G территории Томска по результатам измерений, проведенных в январе 2016 г., декабре 2018 г. и сентябре 2020 г. только для двух операторов сотовой связи (Megafon и MTS). Напомним, что Beeline и Tele2 не имели развернутых сетей 4G на момент проведения измерений в 2016 г. [70]. Качество покрытия заметно улучшилось по сравнению с 2016 г., однако прием сигнала с приемлемым уровнем обеспечивается лишь в центральной части города.

Таблица 3.8 – Показатели качества услуг подвижной радиотелефонной связи в части голосового соединения

№ п/п	Параметр качества	Требование к граничным значениям	Оператор											
			Beeline			Megafon			MTS			Tele2		
			2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020
1	Доля неуспешных попыток установления голосового соединения (Voice service non-accessibility), %	не более 5	0,3	0,8	2,7	0,4	0,4	0,9	0,4	0,7	1,5	0,3	1,0	2,4
2	Доля обрывов голосовых соединений (Voice service cut-off ratio), %	не более 5	0,4	0,5	0,2	0,7	0,3	0,2	1,7	0,9	1,5	0,1	1,3	0,3
3	Средняя разборчивость речи на соединение (Speech quality on call basis (MOS POLQA))	не менее 2,6	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0	4,1	4,0	4,1	4,2	3,9	3,9	3,9
4	Доля голосовых соединений с низкой разборчивостью речи (Negative MOS samples ratio, MOS POLQA < 2,6), %	—	0,5	0,3	0,2	1,4	1,3	0,6	1,2	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4

Таблица 3.9 – Показатели качества услуг подвижной радиотелефонной связи в части передачи коротких текстовых сообщений

№ п/п	Параметр качества	Оператор											
		Beeline			Megafon			MTS			Tele2		
		2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020
1	Доля недоставленных SMS сообщений, %	0,1	5,0	0,5	0,1	6,5	12,3	0,6	4,5	7,6	0,0	7,1	8,0
2	Среднее время доставки SMS сообщений, с	3,0	5,1	7,3	3,6	6,4	5,4	3,5	4,6	5,3	3,5	7,5	9,0

Таблица 3.10 – Показатели качества услуг связи по передаче данных (за исключением услуг связи по передаче данных для целей передачи голосовой информации)

№ п/п	Параметр качества	Оператор											
		Beeline			Megafon			MTS			Tele2		
		2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020	2016	2018	2020
1	Доля неуспешного TCP/IP соединения с сервером, %	0,7	—	—	1,4	—	—	0,7	—	—	0,3	—	—
2	Доля неуспешных сессий по протоколу HTTP, %	0,8	14,4	5,0	1,5	3,2	0,9	0,8	7,6	2,0	0,3	5,7	0,1
3	Среднее значение скорости передачи данных от абонента, кб/с	—	829,9	1158,9	—	1221,7	1085,1	—	2763,8	2498,4	—	2141,6	2641,6
4	Среднее значение скорости передачи данных к абоненту, кб/с	5372,8	9459,3	4950,8	10347,4	9611,5	8401,8	10000,9	8348,4	11099,5	7982,3	9556,1	9413,9
5	Продолжительность успешной сессии, мс	11,66	16,0	15,7	9,54	13,0	12,4	8,54	10,3	10,6	10,85	10,7	9,8

Таблица 3.11 – Покрытие территории г. Томска
с качеством категории «хорошо»

Оператор	Покрытие 2G (GSM), %		Покрытие 3G (UMTS), %		Покрытие 4G (LTE), %	
	2016 г.	2018 г.	2016 г.	2018 г.	2016 г.	2018 г.
Beeline	99,49	98,99	44,60	72,65	0	18,56
MTS	99,64	99,36	36,06	76,40	0,01	13,78
Megafon	99,82	98,79	42,09	72,60	1,54	31,34
Tele2	98,90	99,04	51,48	72,45	0	30,14

На рисунках 3.13 – 3.16 приведено сравнение карт покрытия территории Томска сетями 3G, полученных путем измерений (рисунки 3.13а – 3.16а) и карт покрытия этих же сетей, размещенных на официальных сайтах операторов сотовой связи (рисунки 3.13б – 3.16б) для всех четырех операторов сотовой связи (Beeline, Megafon, MTS и Tele2 соответственно).

На рисунках 3.17 – 3.20 приведено сравнение карт покрытия территории Томска сетями 4G, полученных путем измерений (рисунки 3.17а – 3.20а) и карт покрытия этих же сетей, размещенных на официальных сайтах операторов сотовой связи (рисунки 3.17б – 3.20б) для всех четырех операторов сотовой связи (Beeline, Megafon, MTS, Tele2 соответственно).

Из сравнения карт покрытия, приведенных на рисунках 3.13а – 3.20а и рисунках 3.13б – 3.20б видно, что карты покрытия, размещаемые на сайтах операторов сотовой связи, совершенно не детализованы и не дают представления о фактическом качестве покрытия. В некоторых точках при проведении измерений сигнал соответствующей сотовой сети не был обнаружен вовсе, при этом на сайте оператора эти точки показаны как имеющие покрытие. В настоящее время операторы размещают на собственных сайтах карты покрытия, полученные, предположительно, расчетным путем, на которых показано равномерное покрытие территории одинакового качества, что, очевидно, неверно. Такое положение вещей может вводить потребителя в заблуждение относительно ожидаемого качества связи, приводя к неоптимальному выбору оператора сотовой связи и, в конечном итоге, к неудовлетворенности качеством потребляемых услуг. Учитывая широкое распространение абонентских устройств, требующих для

своей работы постоянного подключения к сети Интернет, а также все возрастающий рост числа критичных к наличию такого подключения сфер применения этих устройств (охранные системы, системы контроля доступа, телеметрия и др.), ошибка при выборе оператора сотовой связи может привести и к значительно более серьезным последствиям.

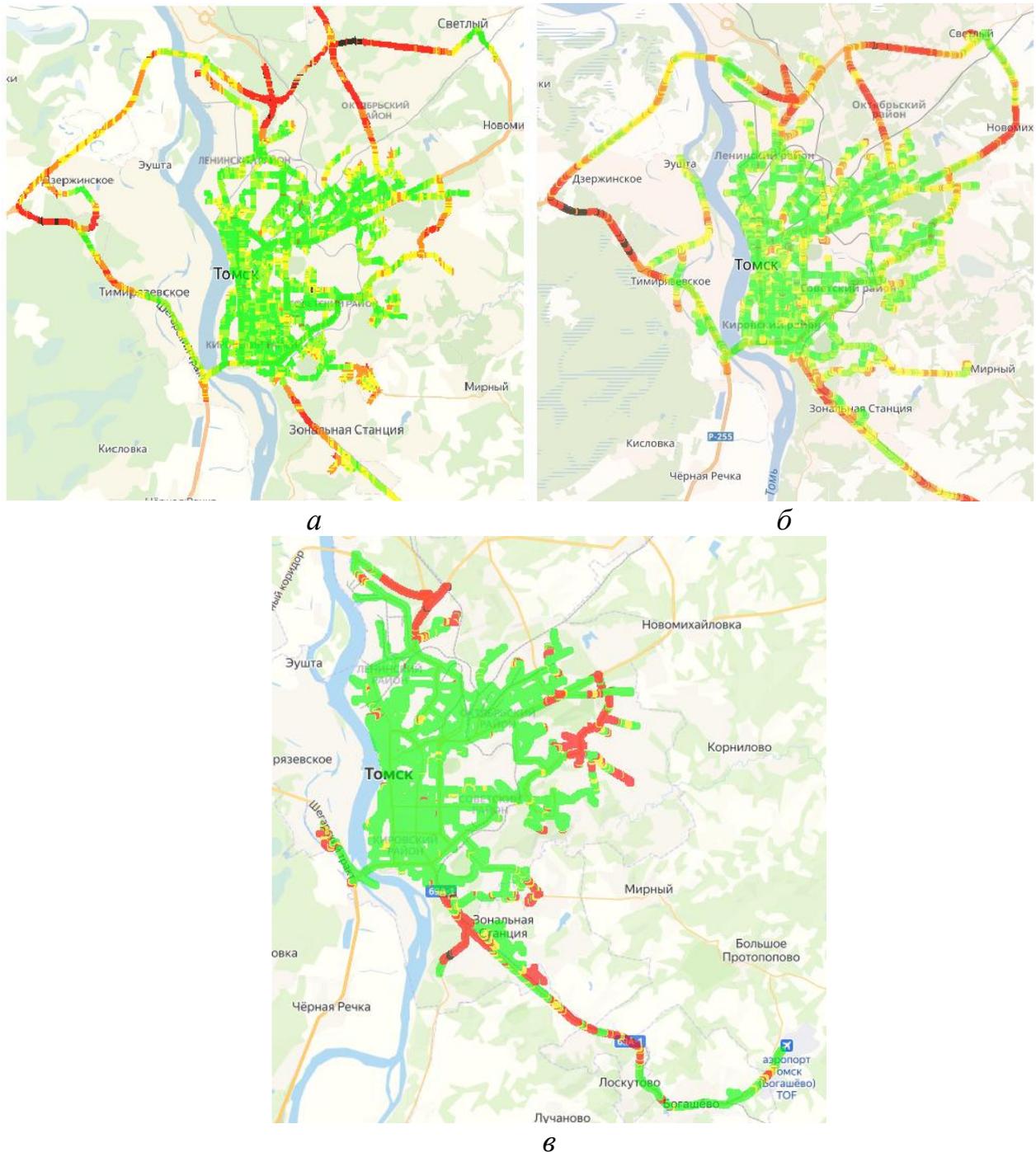


Рисунок 3.7 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора Veeline по результатам измерений в 2016 (*а*), 2018 (*б*), 2020 (*в*) гг.

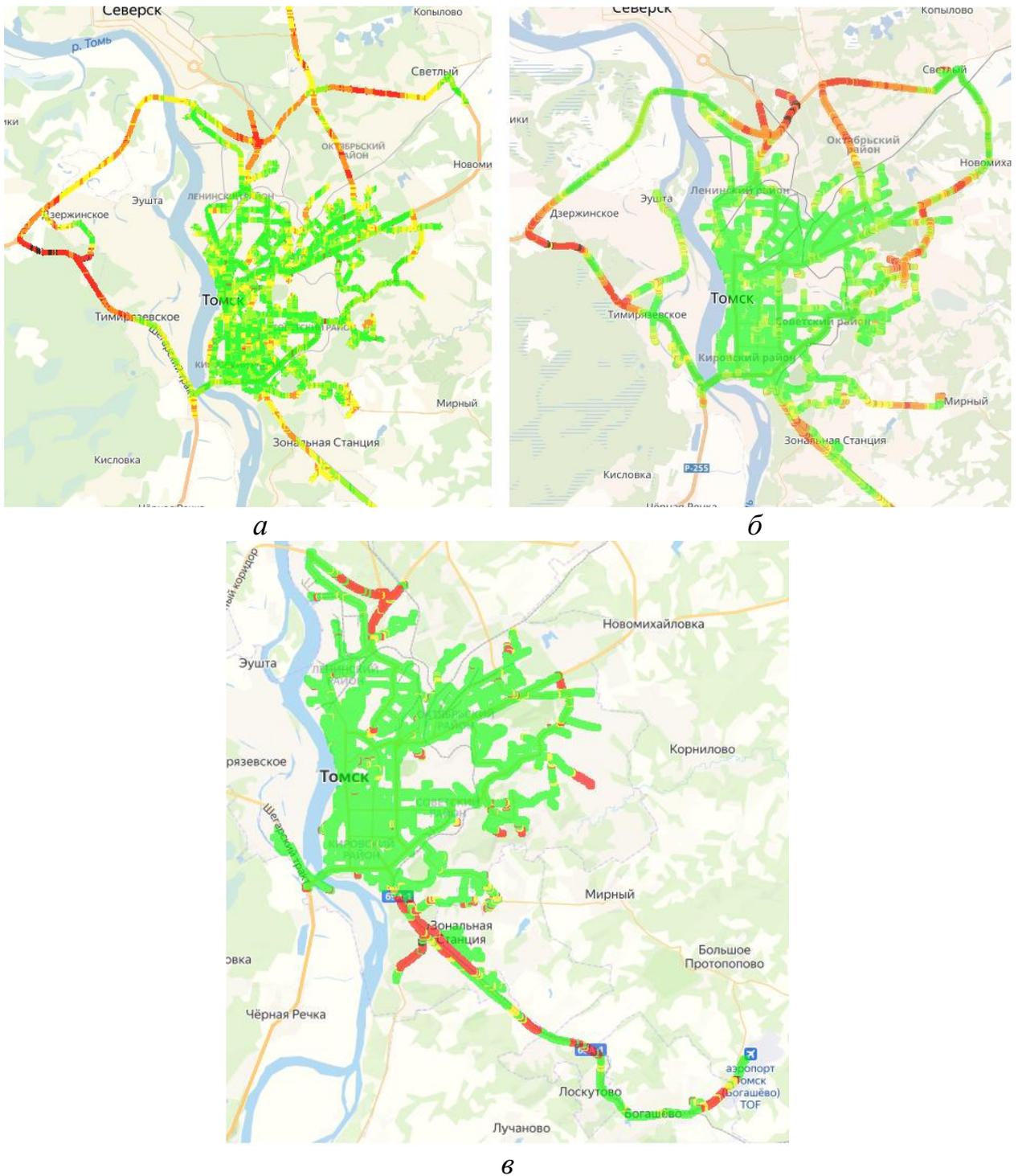


Рисунок 3.8 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора MegaFon по результатам измерений в 2016 (а), 2018 (б), 2020 (в) гг.

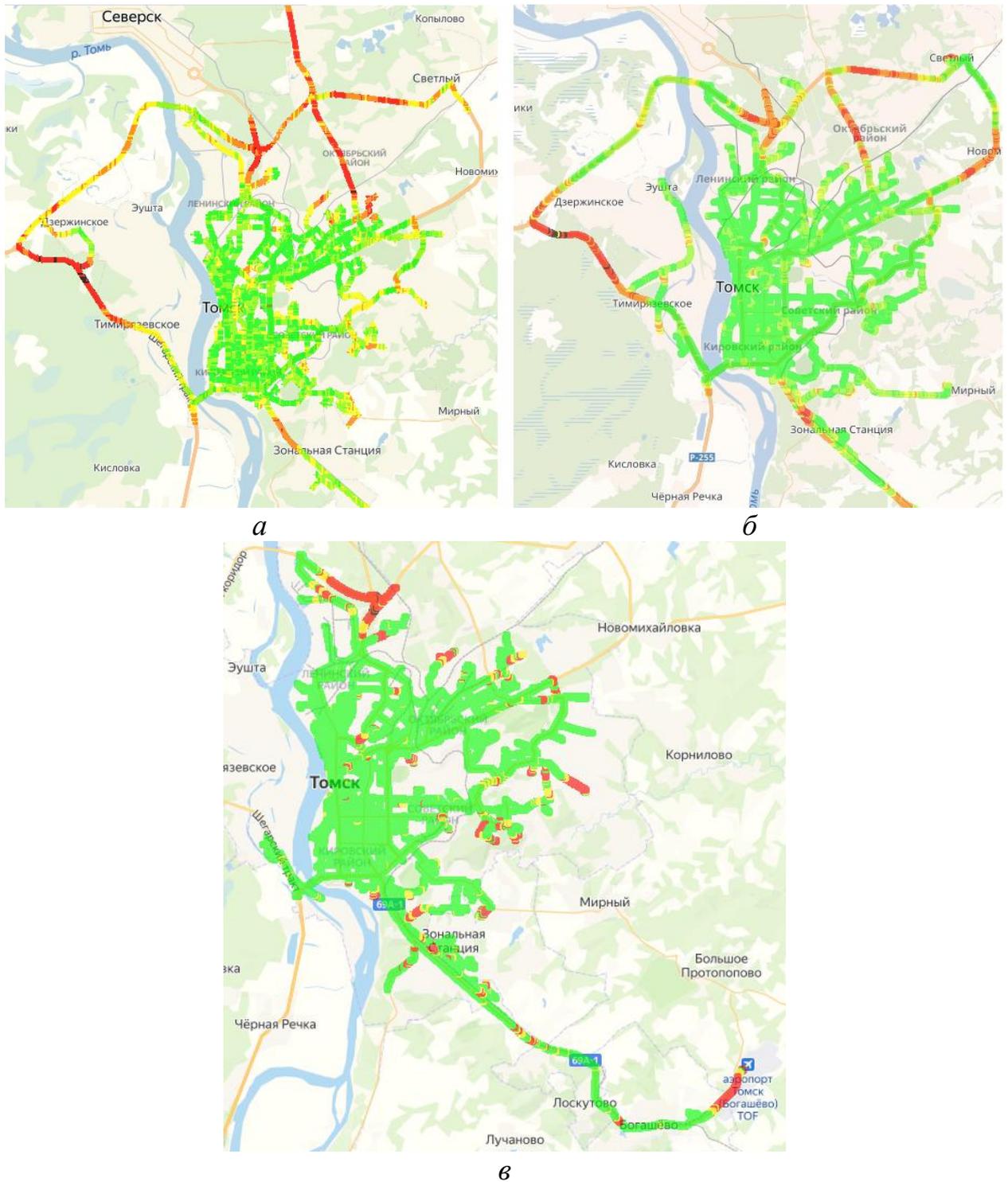


Рисунок 3.9 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора MTS по результатам измерений в 2016 (*а*), 2018 (*б*), 2020 (*в*) гг.

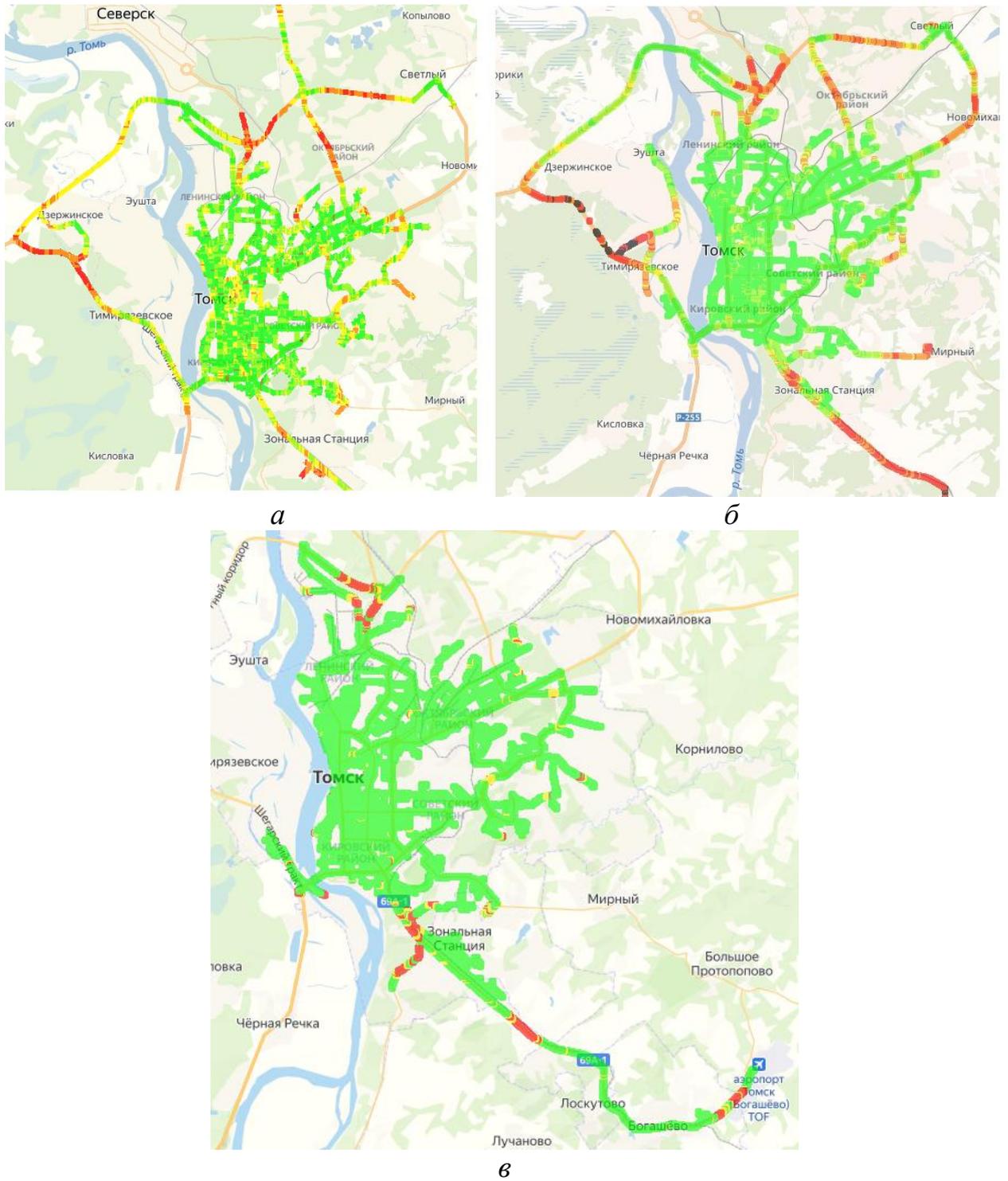


Рисунок 3.10 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора Tele2 по результатам измерений в 2016 (*а*), 2018 (*б*), 2020 (*в*) гг.

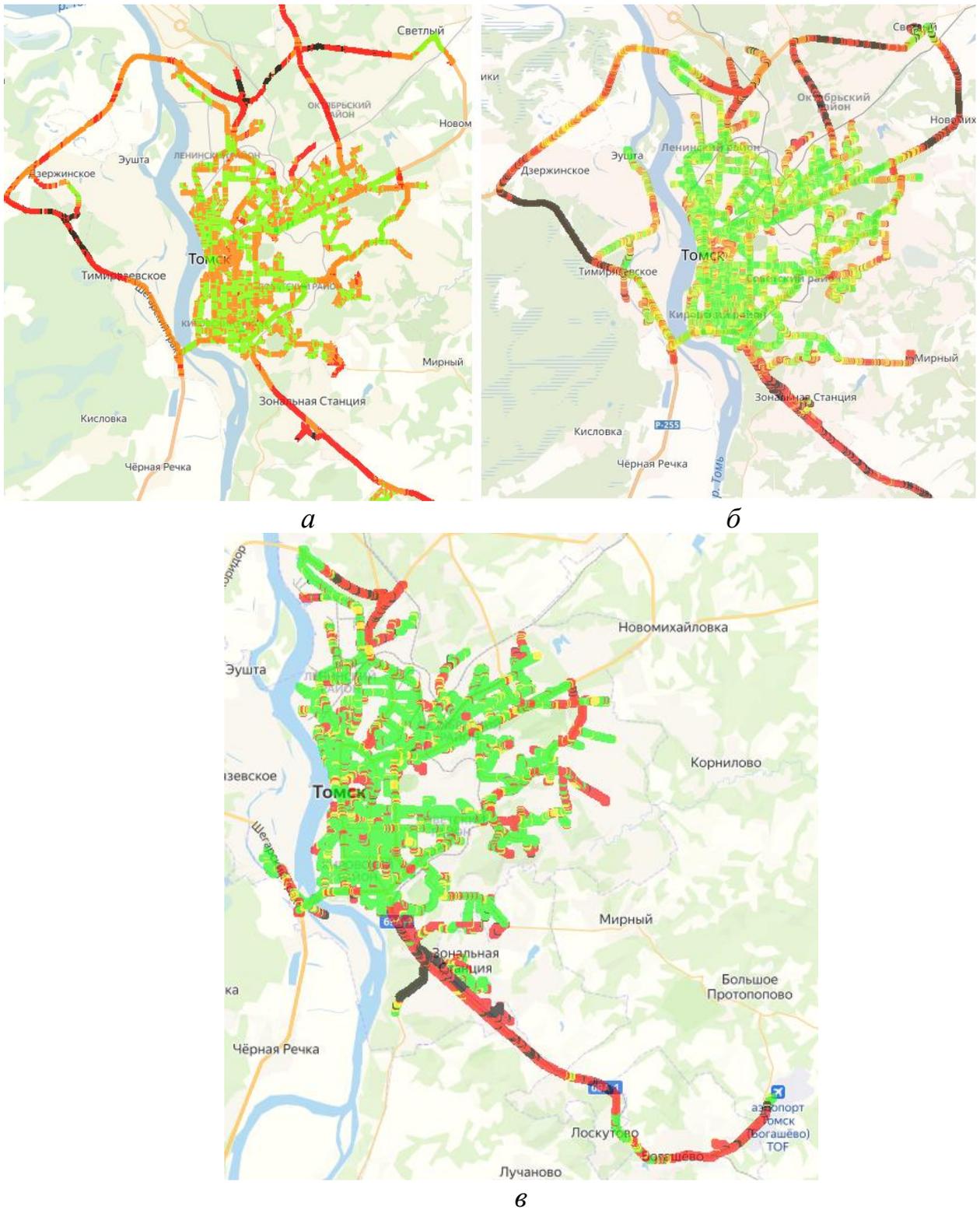


Рисунок 3.11 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора Megafon по результатам измерений в 2016 (а), 2018 (б), 2020 (в) гг.

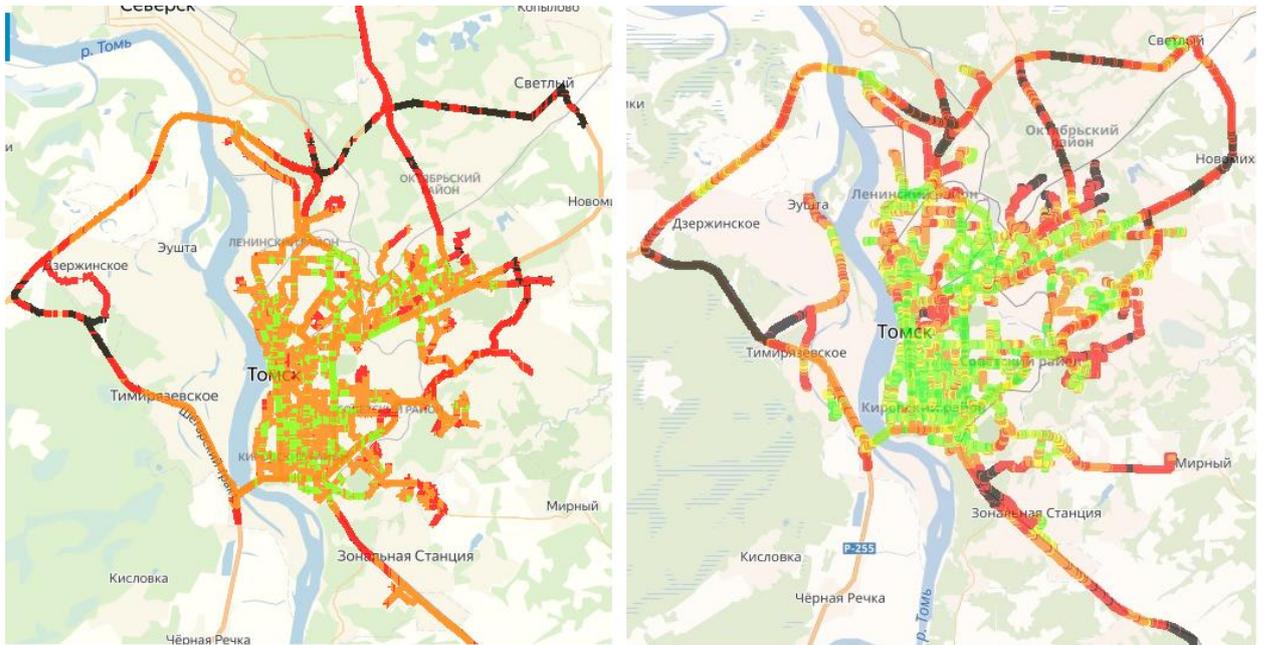
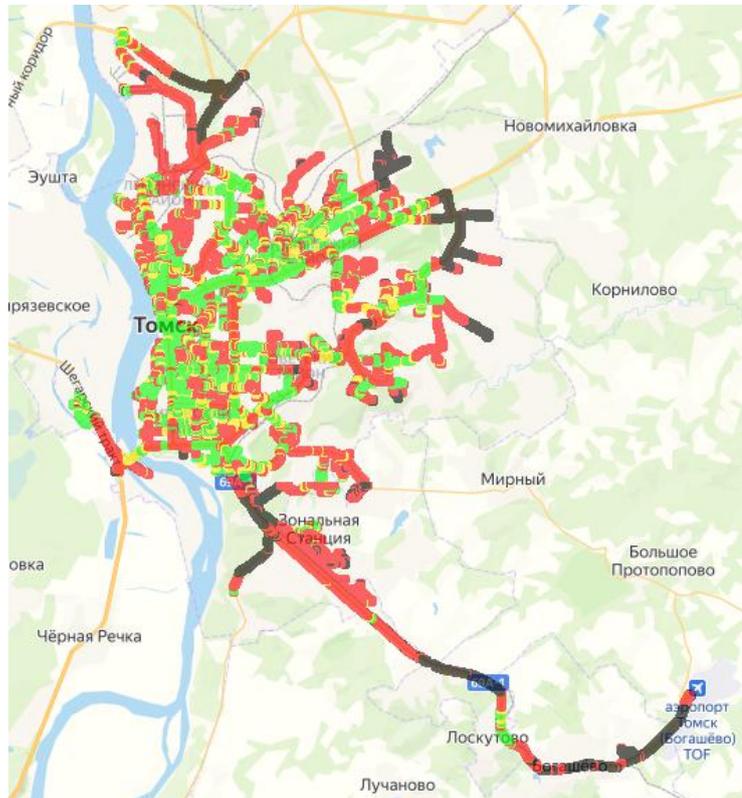
*а**б**в*

Рисунок 3.12 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора MTS по результатам измерений в 2016 (*а*), 2018 (*б*), 2020 (*в*) гг.

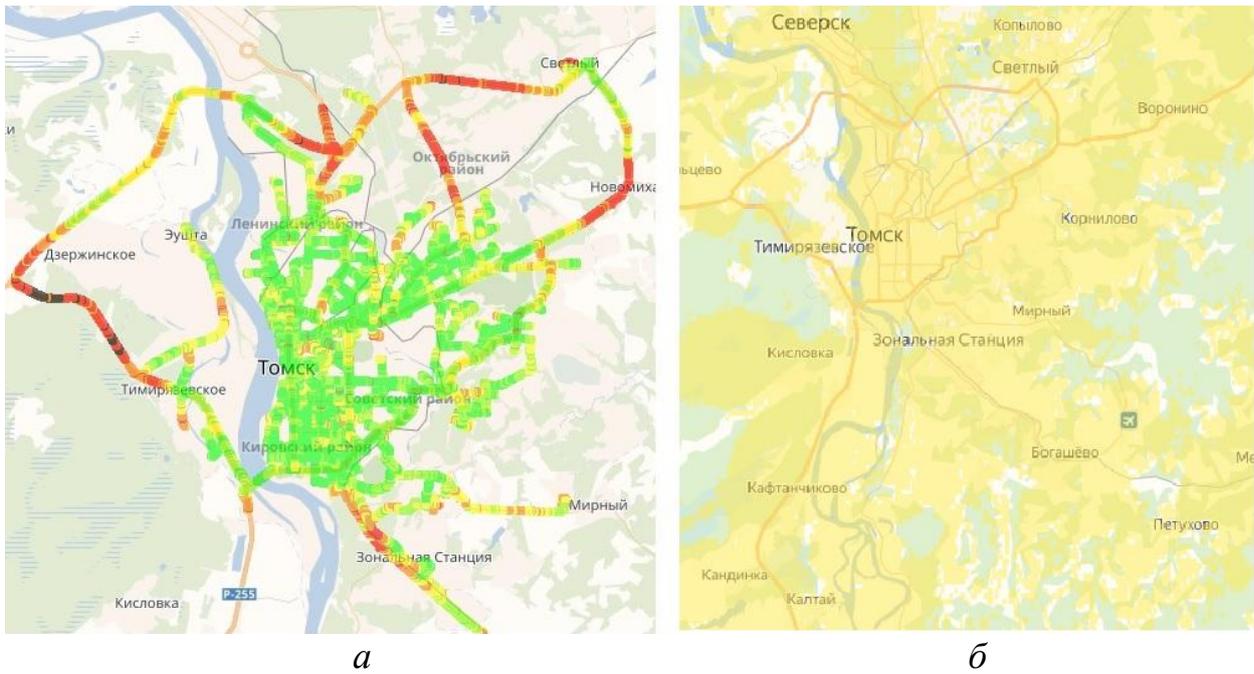


Рисунок 3.13 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора Veeline по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

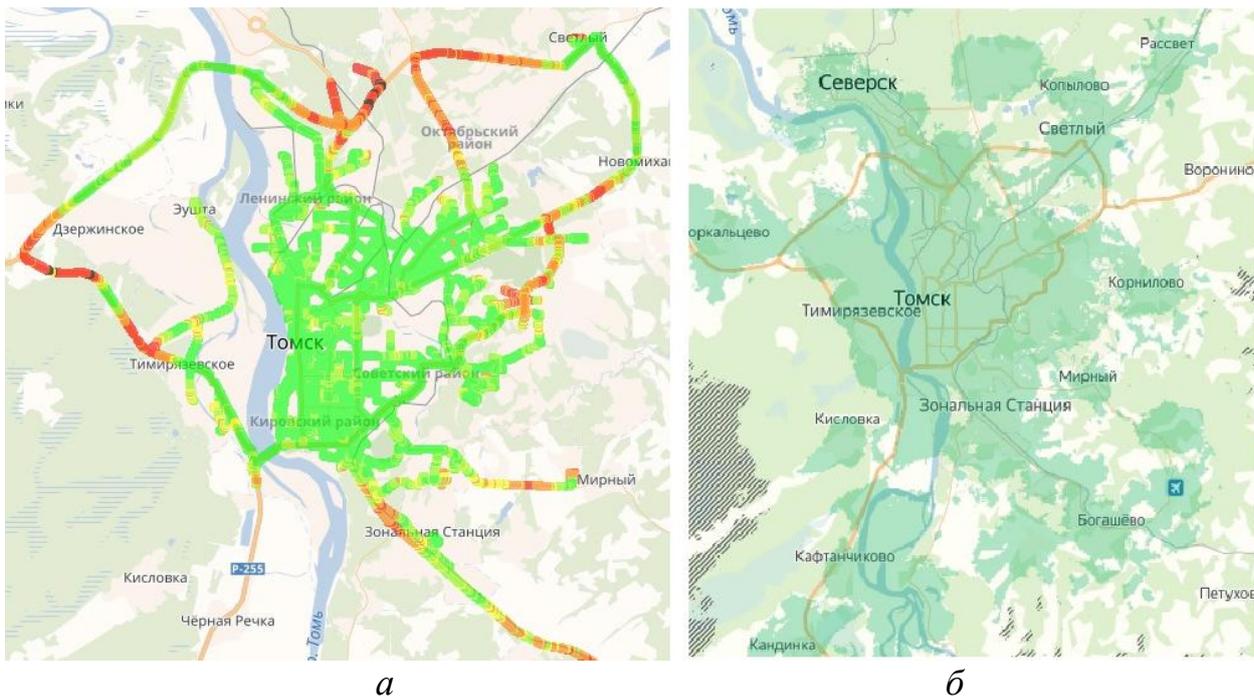


Рисунок 3.14 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора Megafon по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

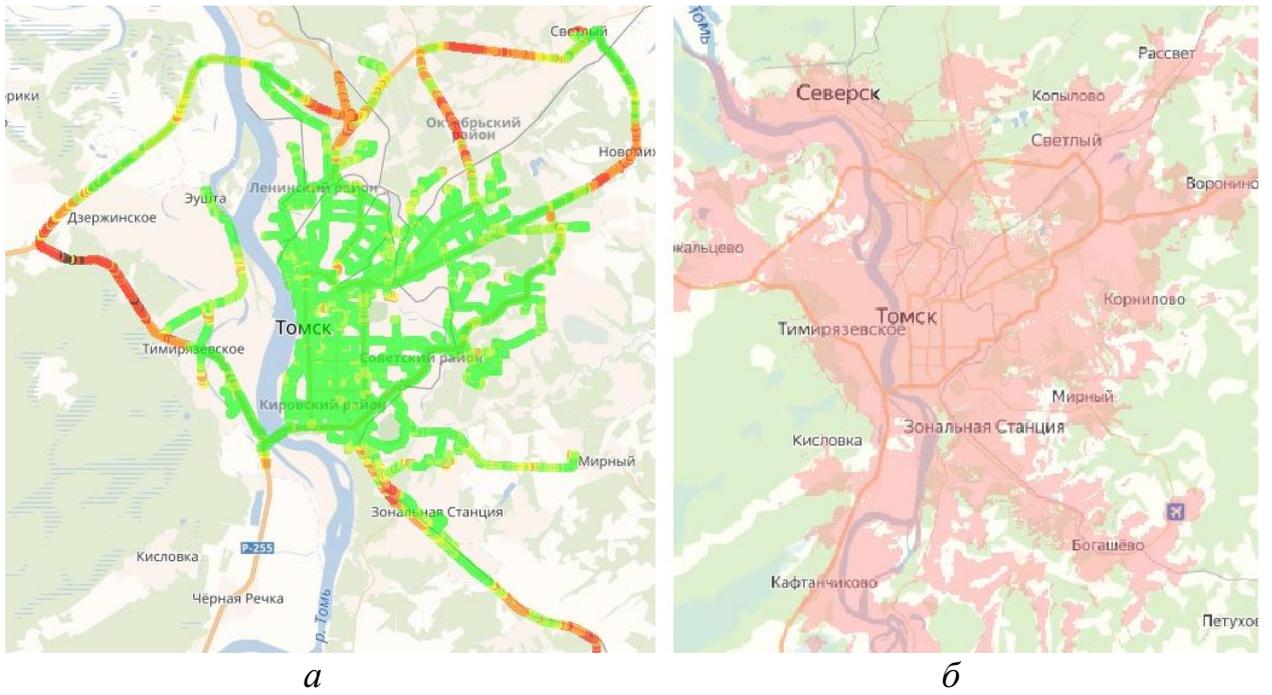


Рисунок 3.15 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора MTS по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

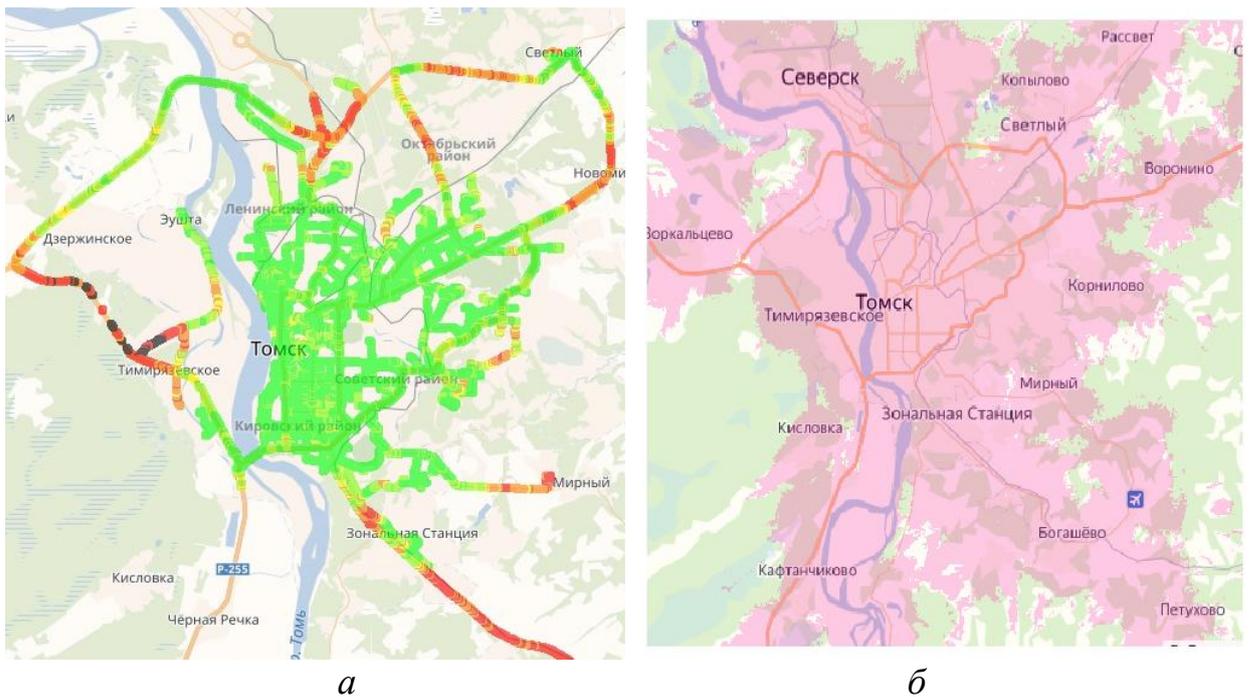


Рисунок 3.16 – Сравнение данных о покрытии сетью 3G оператора Tele2 по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

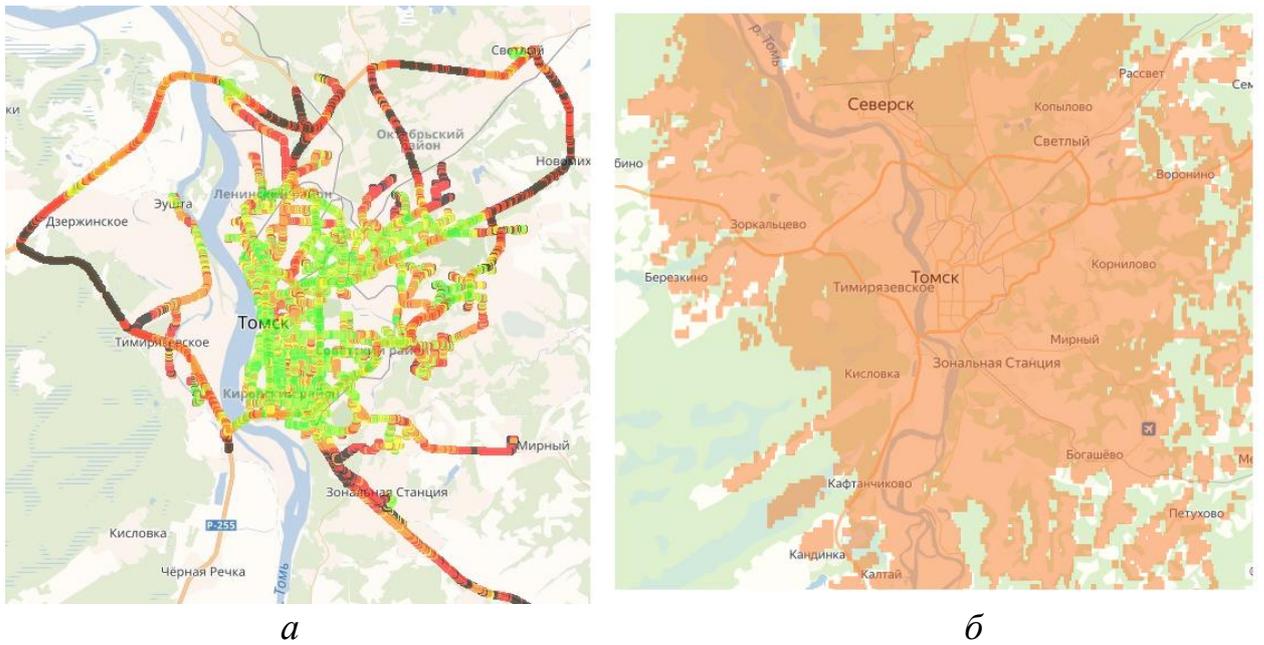


Рисунок 3.17 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора Beeline по результатам измерений в 2018 г. (*а*) и данным на сайте оператора (*б*)

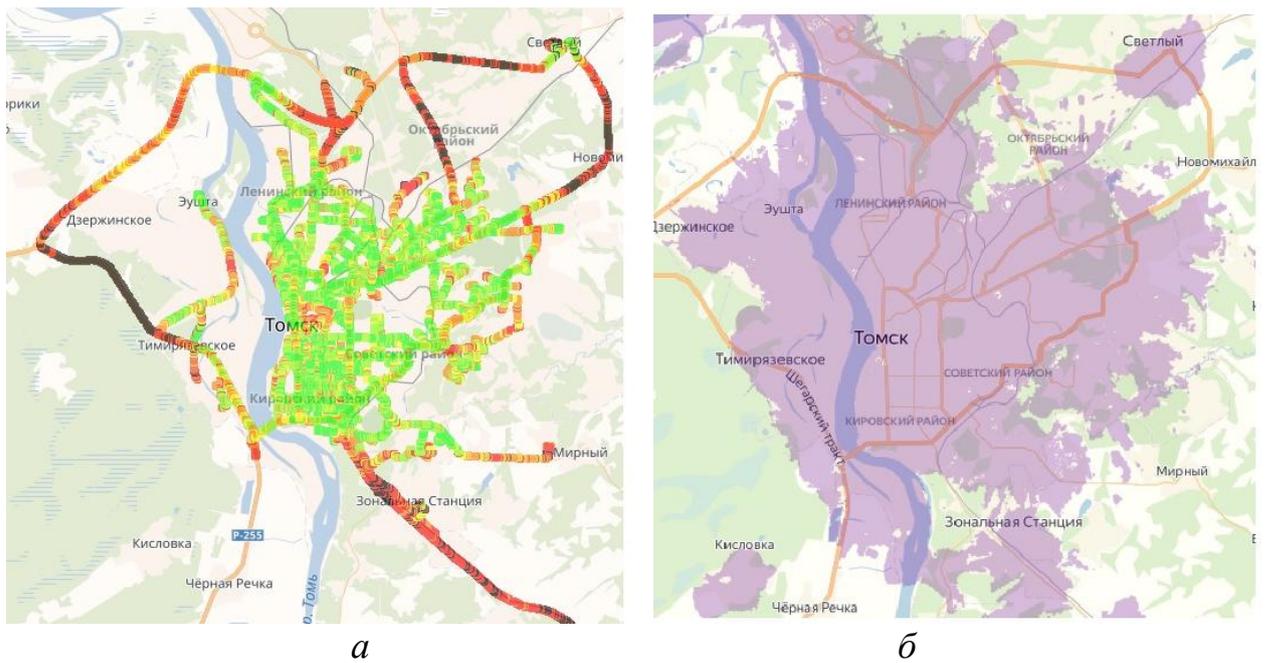


Рисунок 3.18 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора Megafon по результатам измерений в 2018 г. (*а*) и данным на сайте оператора (*б*)

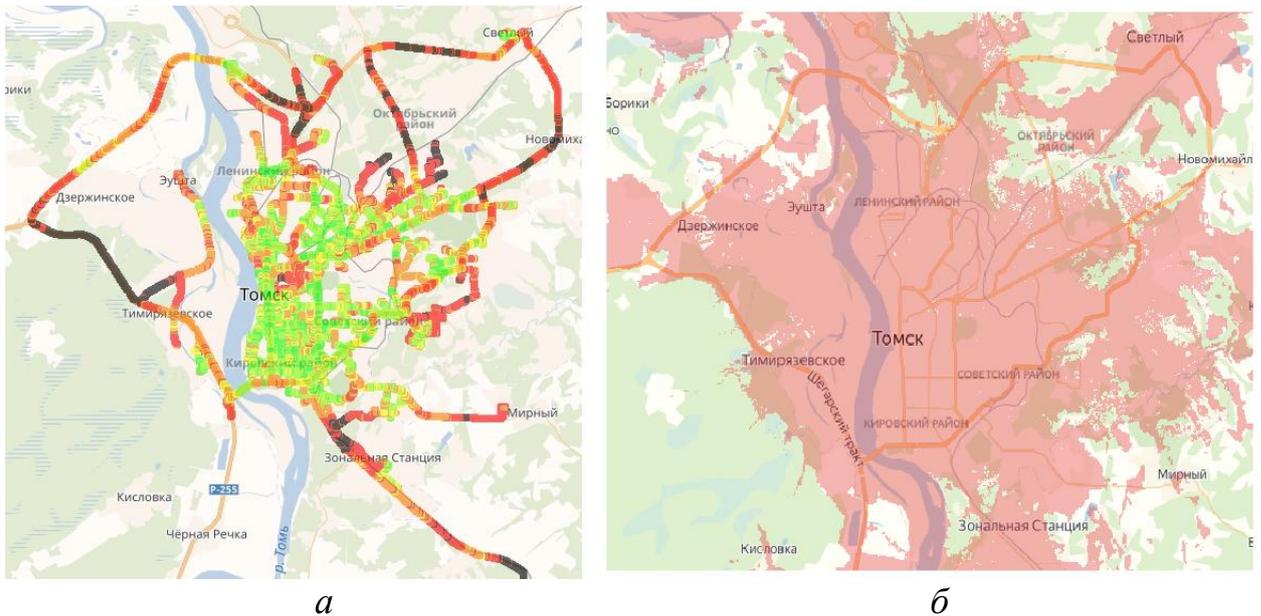


Рисунок 3.19 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора MTS по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

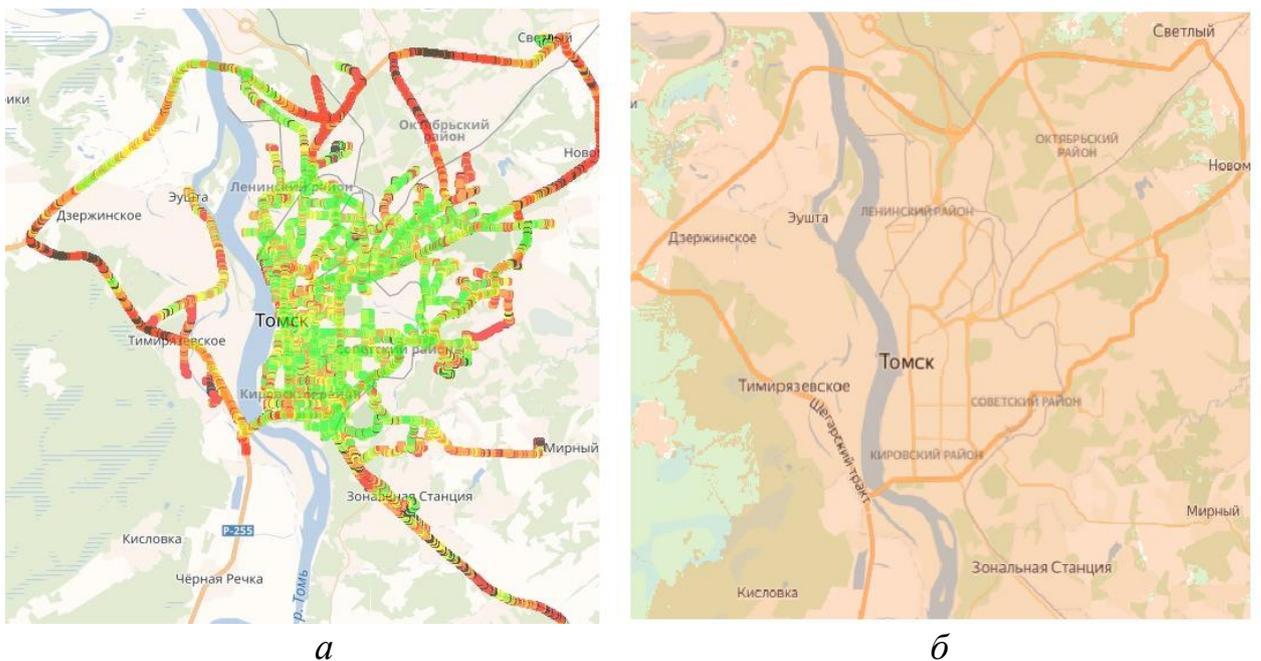


Рисунок 3.20 – Сравнение данных о покрытии сетью 4G оператора Tele2 по результатам измерений в 2018 г. (а) и данным на сайте оператора (б)

Выводы:

1. В сетях связи второго поколения стандарта GSM качество покрытия осталось почти неизменным у всех операторов. Расхождения в покрытии территории в 2016 и 2018 гг. для всех операторов, кроме Megafon, составляют менее 1% (0,5% для Beeline, 0,28% для MTS, 0,14% для Tele2). Лишь для Megafon

расхождение составило 1,03%. В целом в областном центре развитие сетей второго поколения можно считать завершенным.

2. В сетях связи третьего поколения стандарта UMTS качество покрытия территории в 2018 г. по сравнению с 2016 г. существенно улучшилось у всех операторов: с 44,6% до 72,7% для Beeline, с 36,1% до 76,4% для MTS, с 42,1% до 72,6% для Megafon, с 51,5% до 72,5% для Tele2. При этом качество покрытия почти сравнялось у всех операторов и составляет на начало 2019 г. от 72,5% до 76,4%.

3. В сетях связи четвертого поколения стандарта LTE качество покрытия территории в 2018 г. по сравнению с 2016 г. существенно улучшилось у всех операторов и составило: 18,6% для Beeline, 13,8% для MTS, 31,3% для Megafon, 30,1% для Tele2. В 2016 г. формально сети четвертого поколения были развернуты у MTS и Megafon, однако качество покрытия в этих сетях было преимущественно неудовлетворительным, у Beeline и Tele2 в 2016 г. сети четвертого поколения отсутствовали вовсе.

4. Значения показателей качества услуг связи в части голосовых соединений по сравнению с 2016 г. существенно не изменились. Значения показателей «доля неуспешных попыток установления голосового соединения», «доля обрывов голосовых соединений», «доля голосовых соединений с низкой разборчивостью речи» для всех 4-х операторов изменились менее чем на 1%. Средняя разборчивость речи на соединение также практически не изменилась и составляет, в зависимости от оператора, от 3,9 до 4,1. Учитывая значительное количество проведенных измерений, такая стабильность значений определенно свидетельствует в пользу достоверности полученных результатов.

5. Для всех операторов отмечается резкий рост показателя «доля недоставленных SMS сообщений» по сравнению с 2016 г.: с 0,1% до 5,0% для Beeline, с 0,6% до 4,5% для MTS, с 0,1% до 6,5% для Megafon, с 0% до 7,1% для Tele2. Также заметно увеличилось среднее время доставки SMS сообщений у всех операторов. Рост этих показателей, предположительно, может быть объяснен

введением операторами защитных мер, направленных на борьбу с массовыми рассылками SMS (т.н. «спамом»).

6. Заметен рост показателя «среднее значение скорости передачи данных к абоненту» для операторов Beeline и Tele2 по сравнению с 2016 г.: с 5372,8 кб/с до 9459,3 кб/с (в 1,76 раза) для Beeline, с 7982,3 кб/с до 9556,1 кб/с (в 1,2 раза) для Tele2. Такой рост, очевидно, обусловлен тем, что эти операторы при проведении оценки в 2016 г. еще не имели развернутых сетей четвертого поколения стандарта LTE.

При этом также отмечается некоторое снижение этого показателя у Megafon и MTS: с 10347,4 кб/с до 9611,5 кб/с (в 1,08 раза) для Megafon, с 10000,9 кб/с до 8348,4 кб/с (в 1,2 раза) для MTS. Снижение скорости передачи данных у Megafon и MTS можно объяснить как выросшей нагрузкой на сети 4G (ростом абонентской базы 4G), так и введением некоторых ограничений со стороны операторов.

7. Вероятно, существуют некоторые ограничения, явно не указанные в тарифных планах операторов. Полученные результаты могут свидетельствовать о наличии недокументированных ограничений на количество отправляемых SMS с одного абонентского номера, а также на скорость передаваемых по сетям 4G данных, при достижении абонентом определенного расхода трафика на формально безлимитном тарифном плане.

8. Карты покрытия, публикуемые самими операторами сотовой связи, не детализованы и не позволяют сделать однозначный вывод о качестве покрытия в каждом конкретном месте, и тем самым, могут вводить потребителей в заблуждение относительно возможного качества услуг связи. В отдельных случаях при фактическом отсутствии сигнала сотовой сети по результатам измерений, данная точка может быть показана на сайте оператора как имеющая покрытие. Модели, используемые операторами для расчета зон покрытия, нуждаются в оптимизации.

9. В сложившихся условиях довольно жесткой конкуренции операторы сотовой связи могут прибегать к не вполне честным методам, например, вводить абонента в заблуждение относительно предполагаемого качества покрытия

сотовой сети, включать не обозначенные явным образом в тарифном плане ограничения на скорость передаваемых по сети данных и т.д.

10. Проведение исследований качества услуг связи путем измерений является весьма затратным способом, требующим компенсации оплаты труда задействованных сотрудников, автотранспортных расходов, расходов на оплату услуг сотовых операторов, поддержки работы оборудования и другого. В настоящее время работы проводятся силами специалистов Радиочастотной службы и финансируются из бюджета страны, а их результаты являются единственным источником объективных данных о фактическом качестве услуг связи. Представляется целесообразным переложить компенсацию затрат на регулярное проведение таких исследований на операторов сотовой связи, а также ввести запрет на публикацию ими на официальных сайтах карт покрытия, полученных расчетным путем как вводящих потребителя услуг связи в заблуждение.

3.3 Оценка обеспеченности населения Томской области сервисами мобильной связи и беспроводного мобильного доступа в Интернет

В данном разделе проведен анализ обеспеченности городского и сельского населения Томской области сервисами мобильной связи и беспроводного доступа в Интернет по сетям сотовой связи различных поколений. Обозначены наиболее острые проблемы в части обеспеченности мобильной связью в Томской области.

Проведение оценки

Для проведения оценки рассчитаем удельное количество базовых станций (БС) сотовой связи, приходящихся на 1000 жителей для каждого муниципального образования в Томской области. При этом будем учитывать совокупное количество БС для всех сотовых операторов, представленных в данном муниципальном образовании, но отдельно по каждой радиотехнологии. Министерство массовых коммуникаций и связи Российской Федерации (Минкомсвязь России) оценивает плотность (проникновение) подвижной

радиотелефонной связи, рассчитывая количество абонентских устройств на 100 человек населения. По этому параметру Томская область в 2016 г. оказалась на 38 месте среди российских регионов с показателем 178,85 абонентских устройств на 100 человек [74]. Количество БС сотовой связи в регионах Минкомсвязи России не оценивается, однако, очевидно, что чем больше БС приходится на 1000 жителей, тем выше доступность этих БС для населения, тем меньшую абонентскую нагрузку они имеют, и, предположительно, могут обеспечить большую скорость передачи данных при прочих равных условиях. Будем считать, что операторы сотовой связи при расположении БС всегда стремятся получить максимально возможный охват населения, чтобы получить максимальную прибыль с каждой БС, т.е. с точки зрения плотности обслуживаемого населения БС расположены оптимально в большинстве случаев.

В Томской области действуют 4 оператора сотовой связи – ПАО «МТС», ПАО «Мегафон» (включая ООО «Скартел»), ПАО «ВымпелКом», ООО «Т2-Мобайл». Сети связи этих операторов представлены технологиями трех поколений: GSM (второе поколение, 2G), UMTS (третье поколение, 3G), LTE (четвертое поколение, 4G). Данные о количестве зарегистрированных БС сотовой связи в регионе по состоянию на август 2017 г. получим с помощью Интернет-ресурса [52]. Данные о количестве населения Томской области с разбивкой по муниципальным образованиям доступны лишь по состоянию на 1 января 2017 [75]. Исходные данные, а также расчетные удельные показатели, сведены в таблицу 3.12.

Таблица 3.12 – Численность населения по муниципальным образованиям
Томской области и количество БС сотовой связи

№	Муниципальное образование	Численность населения, чел.	Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям, шт.			Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям, шт./1000 жителей		
			GSM (2G)	UMTS (3G)	LTE (4G)	GSM (2G)	UMTS (3G)	LTE (4G)
1	г. Томск	594053	1054	594	860	1,77	1,00	1,45
2	г. Кедровый	3250	8	2	2	2,46	0,62	0,62
3	г. Стрежевой	41733	58	37	39	1,39	0,89	0,93
4	г. Северск	114313	166	86	101	1,45	0,75	0,88
5	Александровский р-н	8174	23	8	5	2,81	0,98	0,61
6	Асиновский р-н	34117	71	38	15	2,08	1,11	0,44
7	Бакчарский р-н	12077	24	10	2	1,99	0,83	0,17
8	Верхнекетский р-н	15949	27	12	1	1,69	0,75	0,06
9	Зырянский р-н	11942	20	9	2	1,67	0,75	0,17
10	Каргасокский р-н	19625	78	27	9	3,97	1,38	0,46
11	Кожевниковский р-н	20351	41	21	5	2,01	1,03	0,25
12	Колпашевский р-н	38667	61	32	18	1,58	0,83	0,47
13	Кривошеинский р-н	12258	24	16	5	1,96	1,31	0,41
14	Молчановский р-н	12460	30	18	5	2,41	1,44	0,40
15	Парабельский р-н	12374	38	27	5	3,07	2,18	0,40
16	Первомайский р-н	16972	38	21	6	2,24	1,24	0,35
17	Тегульдетский р-н	6142	17	10	2	2,77	1,63	0,33
18	Томский р-н	73469	186	130	86	2,53	1,77	1,17
19	Чаинский р-н	11766	22	9	1	1,87	0,76	0,08
20	Шегарский р-н	19199	41	21	10	2,14	1,09	0,52

Для удобства сравнения отобразим полученные результаты на диаграмме (рисунок 3.21). Видно, что БС стандарта GSM количественно преобладают во всех без исключения муниципальных образованиях, причем удельное их количество в сельской местности даже выше, чем в городах. Большое удельное число БС стандарта GSM для Каргасокского (3,97), Парабельского (3,07) и Александровского районов (2,81) Томской области можно объяснить наличием на их территориях нефтяных и газовых месторождений, обслуживаемых дополнительными БС. При этом население, проживающее на территориях месторождений, не является постоянным и в статистику не входит. Ожидаемо, что лидерами по удельному числу БС стандарта LTE являются территории с высокой плотностью населения: г. Томск (1,45), Томский р-н (1,17), г. Стрежевой (0,93), г. Северск (0,88). Если для сравнения принять удельные показатели для областного центра как эталонные, то можно заключить, что значительная часть населения в

сельских районах в достаточной степени обеспечена сотовой связью второго (GSM) и третьего (UMTS) поколений, однако, обеспеченность сотовой связью четвертого (LTE) поколения остается крайне низкой.

Отсутствие возможности высокоскоростного доступа в Интернет по сетям 4G, однако, не является главной проблемой в обеспечении связью в сельских районах: в отдельных населенных пунктах сотовая связь может отсутствовать вовсе, либо быть представленной базовыми станциями ограниченного числа операторов, что сужает для населения возможность выбора оператора и тарифных планов. Рассмотрим эту проблему на примере Тегульдетского района Томской области как имеющего наименьшее количество населения. Покажем количество базовых станций в каждом из 14 населенных пунктов, входящих в состав Тегульдетского района, с разбивкой по операторам и технологиям. Данные о количестве жителей в отдельных населенных пунктах получим из [76] по состоянию на 01.01.2017. Отметим, что расстояния между населенными пунктами в Тегульдетском районе в большинстве случаев не позволяют осуществлять уверенный прием базовыми станциями сигналов абонентских станций из соседних населенных пунктов без использования специальных технических средств – усилителей мощности (минимальное расстояние составляет 8 км – между д. Красная Горка и п. Черный Яр).

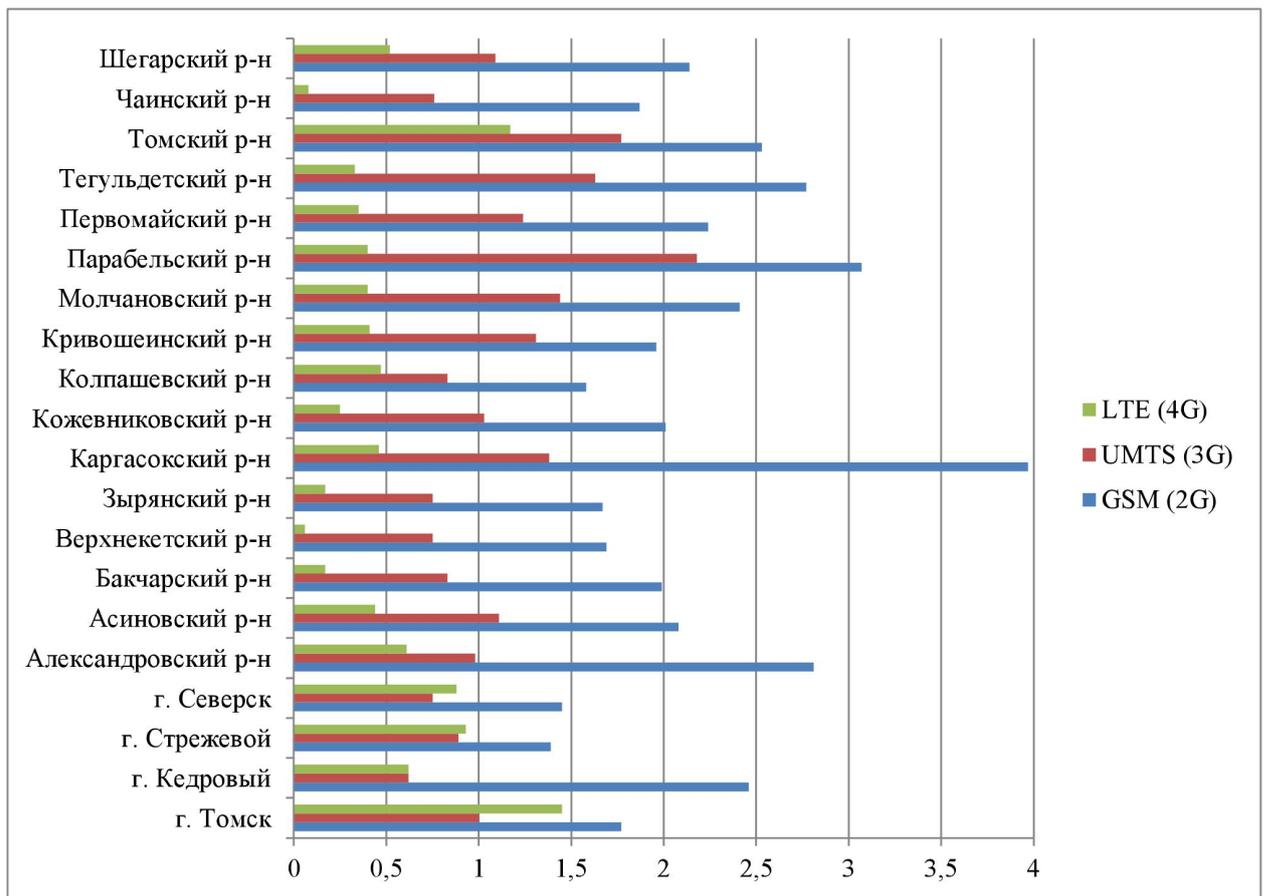


Рисунок 3.21 – Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям на 1000 жителей

Таблица 3.13 – Количество базовых станций сотовой связи в Тегульдетском районе Томской области

№ п/п	Населенный пункт	Численность населения		Количество базовых станций, шт. (в скобках – количество операторов)		
		чел.	%	GSM	UMTS	LTE
1	п. Белый Яр	404	6,58	1 (1)	0	0
2	д. Новошумилово	87	1,42	0	0	0
3	д. Озерное	18	0,29	0	0	0
4	п. Берегаево	739	12,03	3 (3)	2 (2)	0
5	п. Красный Яр	4	0,07	0	0	0
6	д. Красная Горка	190	3,09	0	0	0
7	с. Тегульдет	3958	64,44	7 (4)	5 (4)	2 (2)
8	д. Байгалы	47	0,77	2 (2)	0	0
9	д. Куяновская Гарь	49	0,80	0	0	0
10	п. Центрополигон	45	0,73	0	0	0
11	п. Четь-Конторка	171	2,78	0	0	0
12	п. Покровский Яр	54	0,88	0	0	0
13	п. Черный Яр	372	6,06	4 (4)	3 (2)	0
14	п. Орловка	4	0,07	0	0	0

Анализ данных из таблицы 3.13 показывает, что обеспеченность сотовой связью в Тегульдетском районе составляет:

по сетям второго поколения (GSM) 89,88%;

по сетям третьего поколения (UMTS) 82,53%;

по сетям четвертого поколения (LTE) 64,44%.

При этом 70,5% жителей не ограничены в выборе оператора, предоставляющего услуги по сетям GSM, 19,38% имеют ограниченный выбор оператора, 10,12% не обеспечены сотовой связью вовсе. Не ограничены в выборе оператора, предоставляющего услуги по сетям UMTS лишь жители районного центра (64,44% жителей), 18,09% имеют ограниченный выбор оператора, 17,48% не обеспечены вовсе. Возможность использования сетей LTE имеют лишь жители районного центра (64,44% жителей) с ограниченным выбором оператора.

Выводы

1. Высокие показатели охвата сотовой связью в Томской области в целом достигаются в основном за счет охвата населения областного центра, крупных городов, а также райцентров, т.е. населенных пунктов, имеющих наибольшую плотность населения.

2. Значение охвата населения сотовой связью существенно варьируется при проведении оценки по районам области в отдельности. Как показано на примере Тегульдетского района, она может составлять лишь 89,88% охвата наиболее ранней технологией GSM для отдельно взятого района.

3. Сельские районы области в основном обеспечены сотовой связью устаревших технологий второго поколения (GSM) и частично третьего поколения (UMTS). Обеспеченность сотовой связью технологий четвертого поколения (LTE) остается крайне низкой.

4. Жители сельских населенных пунктов в той или иной степени ограничены в выборе оператора сотовой связи. В каждом конкретном населенном пункте набор представленных операторов и технологий сотовой связи может существенно отличаться. На примере Тегульдетского района показано, что ни в одном из населенных пунктов, включая районный центр, полный набор всех возможных технологий сотовой связи не обеспечивается всеми 4 операторами сотовой связи.

5. Имеются населенные пункты, жители которых полностью лишены возможности пользования сотовой связью. На примере Тегульдетского района показано, что численность жителей таких населенных пунктов может составлять значительную часть общей численности населения и превышать 10%.

6. Неравномерность в обеспечении связью легко объяснима экономическими интересами операторов сотовой связи. Тем не менее, существующее положение вещей не может считаться приемлемым: сельские жители оказываются в дискриминированном положении по сравнению с городским населением. Очевидно, что в современном мире все население должно иметь равный доступ к цифровой инфраструктуре. Наличие технической возможности решения этой проблемы не вызывает сомнений, однако, оно оказывается невозможным без административного и экономического вмешательства государства. Возможным решением могла бы стать обязательная установка базовых станций во всех без исключения населенных пунктах с перераспределением финансовой нагрузки на остальных абонентов сотовой связи. Однако это неизбежно вызовет рост тарифов мобильной связи. Другим решением может быть предоставление бюджетных дотаций операторам сотовой связи. Эти дотации могли бы компенсировать стоимость установки и обслуживания потенциально убыточных базовых станций.

3.4 Анализ и оценка динамики развития сетей сотовой связи в Томской области

Чтобы дать оценку динамике развития сетей сотовой связи в Томской области, приведем данные, представленные в таблицах 3.12 и 3.13 также по состоянию на август 2019 г., и проведем их сравнение. Данные о численности населения по муниципальным образованиям Томской области и количеству БС сотовой связи по состоянию на август 2019 г. представлены в таблице 3.14, данные о количестве базовых станций сотовой связи в Тегульдетском районе Томской области на август 2019 г. представлены в таблице 3.15. На рисунке 3.22

для наглядности приведено количество БС сотовой связи операторов по технологиям на 1000 жителей муниципальных образований на август 2019 г.

Таблица 3.14 – Численность населения по муниципальным образованиям Томской области и количество БС сотовой связи на август 2019 г.

№ п/п	Муниципальное образование	Численность населения, чел.	Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям, шт.			Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям, шт./1000 жителей		
			GSM (2G)	UMTS (3G)	LTE (4G)	GSM (2G)	UMTS (3G)	LTE (4G)
1	г. Томск	596446	926	679	1355	1,55	1,14	2,27
2	г. Кедровый	3079	11	4	8	3,57	1,30	2,60
3	г. Стрежевой	41230	51	44	63	1,24	1,07	1,53
4	г. Северск	113313	142	105	172	1,25	0,93	1,52
5	Александровский р-н	7921	27	15	20	3,41	1,89	2,52
6	Асиновский р-н	33267	62	49	60	1,86	1,47	1,80
7	Бакчарский р-н	11645	23	16	19	1,98	1,37	1,63
8	Верхнекетский р-н	15771	27	20	21	1,71	1,27	1,33
9	Зырянский р-н	11416	18	13	20	1,58	1,14	1,75
10	Каргасокский р-н	18906	77	36	33	4,07	1,90	1,75
11	Кожевниковский р-н	20268	46	31	43	2,27	1,53	2,12
12	Колпашевский р-н	38254	52	42	55	1,36	1,10	1,44
13	Кривошеинский р-н	11861	23	23	25	1,94	1,94	2,11
14	Молчановский р-н	12133	30	23	24	2,47	1,90	1,98
15	Парабельский р-н	12234	41	31	25	3,35	2,53	2,04
16	Первомайский р-н	16476	36	30	35	2,18	1,82	2,12
17	Тегульдетский р-н	5991	15	12	14	2,50	2,00	2,34
18	Томский р-н	76872	179	168	178	2,33	2,19	2,32
19	Чаинский р-н	11475	21	12	16	1,83	1,05	1,39
20	Шегарский р-н	18884	39	28	31	2,07	1,48	1,64

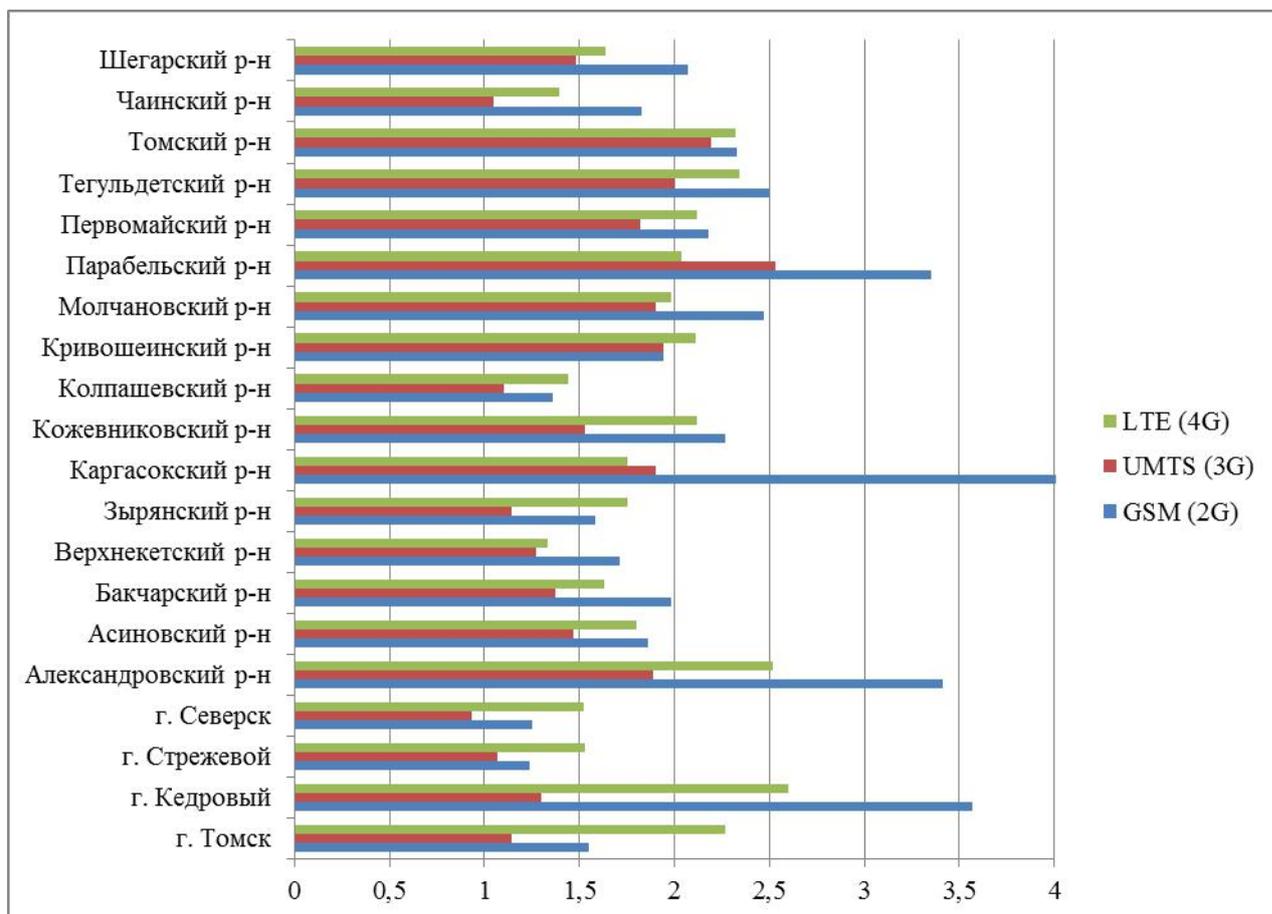


Рисунок 3.22 – Количество БС сотовой связи операторов по технологиям на 1000 жителей муниципальных образований на август 2019 г.

Таблица 3.15 – Количество БС сотовой связи в Тегульдетском районе Томской области на август 2019 г.

№ п/п	Населенный пункт	Численность населения		Количество базовых станций, шт. (в скобках указано количество операторов)		
		чел.	%	GSM	UMTS	LTE
1	п. Белый Яр	399	6,66	1 (1)	1 (1)	2 (1)
2	д. Новошумилово	90	1,50	0 (0)	0 (0)	0 (0)
3	д. Озерное	18	0,30	0 (0)	0 (0)	0 (0)
4	п. Берегаево	710	11,85	3 (3)	2 (2)	2 (1)
5	п. Красный Яр	1	0,02	0 (0)	0 (0)	0 (0)
6	д. Красная Горка	165	2,75	0 (0)	0 (0)	0 (0)
7	с. Тегульдет	3894	65,00	4 (4)	5 (4)	4 (3)
8	д. Байгалы	50	0,83	2 (2)	1 (1)	2 (1)
9	д. Куяновская Гарь	49	0,82	0 (0)	0 (0)	0 (0)
10	п. Центрополигон	37	0,62	0 (0)	0 (0)	0 (0)
11	п. Четь-Конторка	174	2,90	1 (1)	0 (0)	2 (1)
12	п. Покровский Яр	55	0,92	0 (0)	0 (0)	0 (0)
13	п. Черный Яр	344	5,74	4 (4)	3 (2)	2 (1)
14	п. Орловка	5	0,08	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Сравним количество БС сотовой связи отдельно по технологиям, суммарно по всем операторам в Томской области на август 2017 г. и август 2019 г. Данные об изменении количества БС сотовой связи в Томской области в 2019 г. по сравнению с 2017 г. приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Изменение количества БС сотовой связи
в Томской области в 2019 г. по сравнению с 2017 г.

№ п/п	Муниципальное образование	Количество БС сотовой связи всех операторов по технологиям, шт.								
		GSM (2G)			UMTS (3G)			LTE (4G)		
		2017	2019	Δ (%)	2017	2019	Δ (%)	2017	2019	Δ (%)
1	г. Томск	1054	926	-128 (-12,1)	594	679	85 (14,3)	860	1355	495 (57,6)
2	г. Кедровый	8	11	3 (37,5)	2	4	2 (100,0)	2	8	6 (300,0)
3	г. Стрежевой	58	51	-7 (-12,1)	37	44	7 (18,9)	39	63	24 (61,5)
4	г. Северск	166	142	-24 (-14,5)	86	105	19 (22,1)	101	172	71 (70,3)
5	Александров- ский р-н	23	27	4 (17,4)	8	15	7 (87,5)	5	20	15 (300,0)
6	Асиновский р-н	71	62	-9 (-12,7)	38	49	11 (28,9)	15	60	45 (300,0)
7	Бакчарский р-н	24	23	-1 (-4,2)	10	16	6 (60,0)	2	19	17 (850,0)
8	Верхнекетский р-н	27	27	0 (0,0)	12	20	8 (66,7)	1	21	20 (2000,0)
9	Зырянский р-н	20	18	-2 (-10,0)	9	13	4 (44,4)	2	20	18 (900,0)
10	Каргасокский р- н	78	77	-1 (-1,3)	27	36	9 (33,3)	9	33	24 (266,7)
11	Кожевниковский р-н	41	46	5 (12,2)	21	31	10 (47,6)	5	43	38 (760,0)
12	Колпашевский р-н	61	52	-9 (-14,8)	32	42	10 (31,3)	18	55	37 (205,6)
13	Кривошеинский р-н	24	23	-1 (-4,2)	16	23	7 (43,8)	5	25	20 (400,0)
14	Молчановский р-н	30	30	0 (0,0)	18	23	5 (27,8)	5	24	19 (380,0)
15	Парабельский р- н	38	41	3 (7,9)	27	31	4 (14,8)	5	25	20 (400,0)
16	Первомайский р- н	38	36	-2 (-5,3)	21	30	9 (42,9)	6	35	29 (483,3)
17	Тегульдетский р- н	17	15	-2 (-11,8)	10	12	2 (20,0)	2	14	12 (600,0)
18	Томский р-н	186	179	-7 (-3,8)	130	168	38 (29,2)	86	178	92 (107,0)
19	Чаинский р-н	22	21	-1 (-4,6)	9	12	3 (33,3)	1	16	15 (1500,0)
20	Шегарский р-н	41	39	-2 (-4,9)	21	28	7 (33,3)	10	31	21 (210,0)

Для удобства проведения оценки отобразим данные из таблицы 3.16 на графиках (рисунки 3.23, 3.24, 3.25). При построении графиков исключим из всего массива данных данные по количеству БС в областном центре (г. Томске), т.к. из-за сравнительного большого их количества в г. Томске теряется наглядность отображения данных.

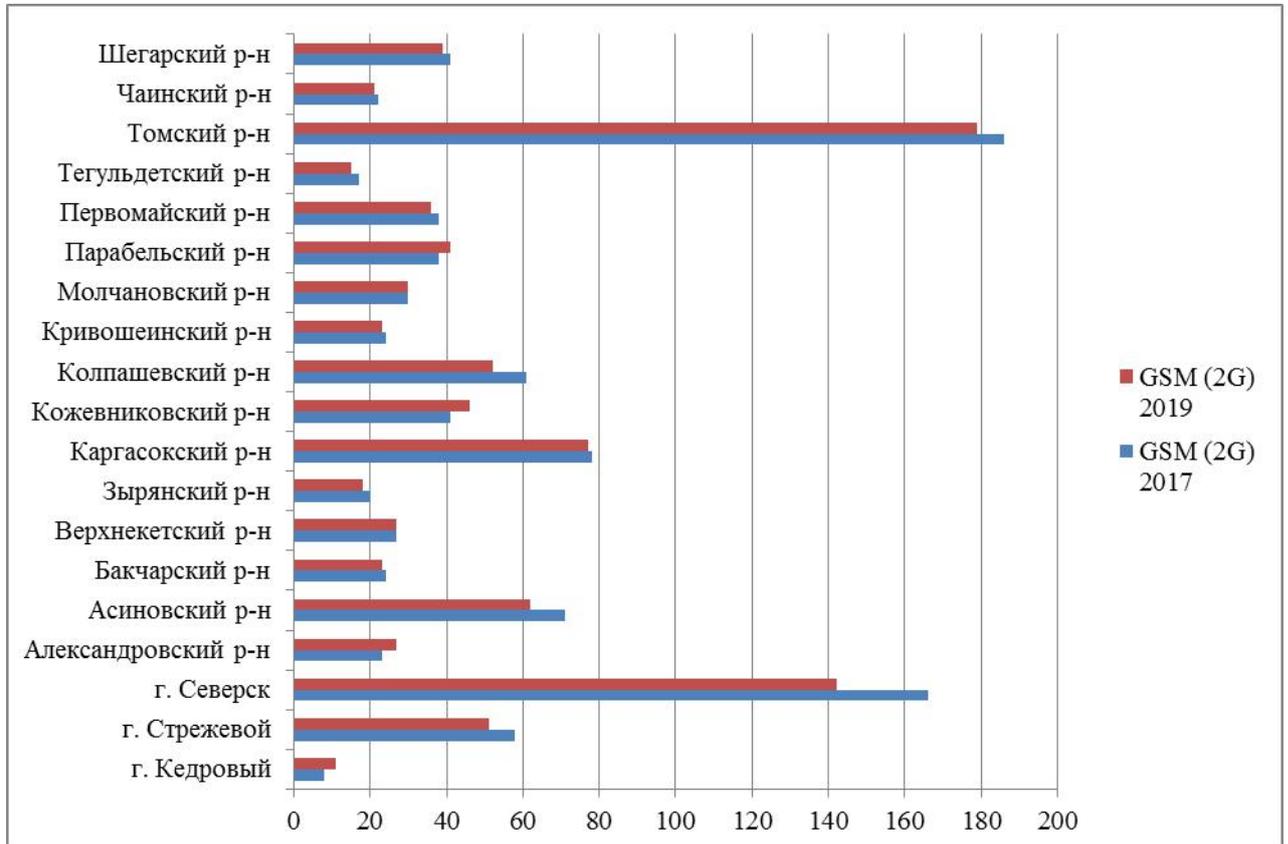


Рисунок 3.23 – Количество БС сотовой связи стандарта GSM (2G) в августе 2019 г. по сравнению с августом 2017 г.

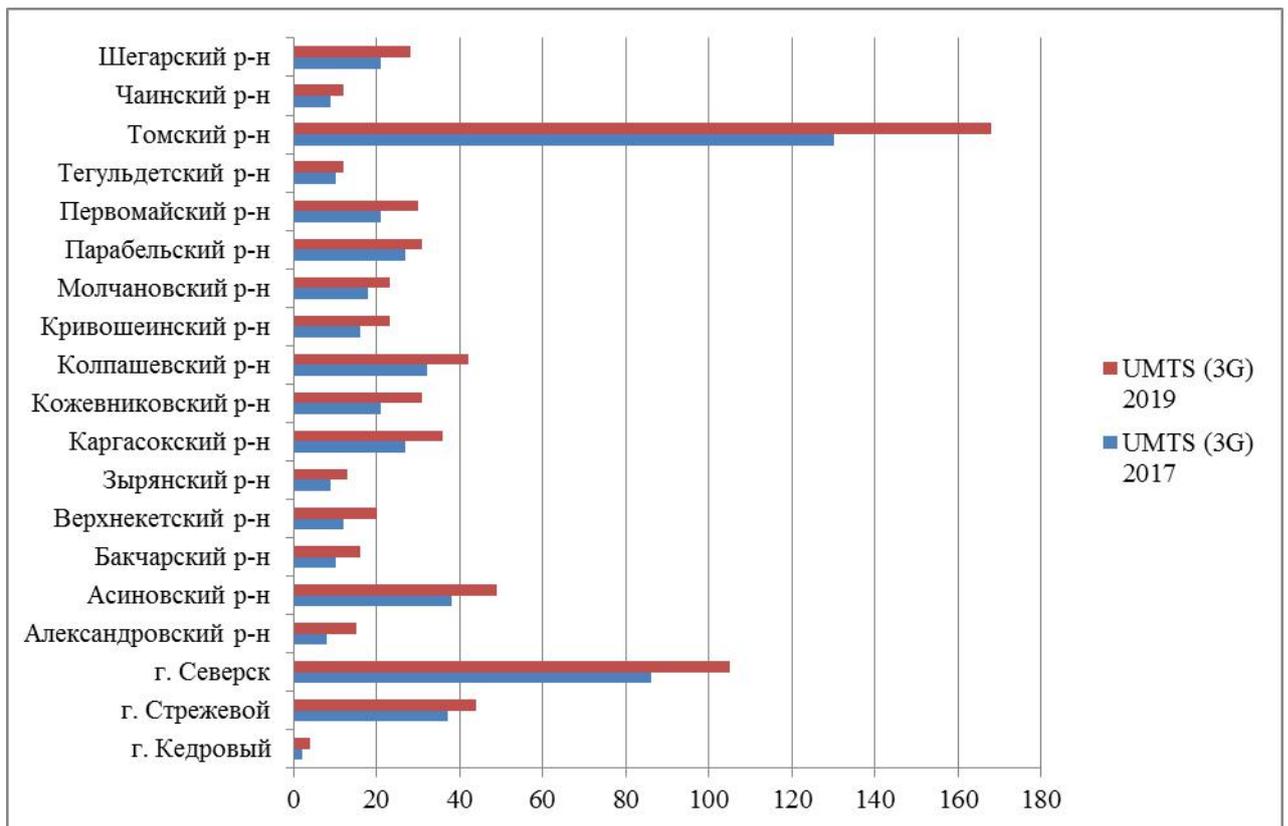


Рисунок 3.24 – Количество БС сотовой связи стандарта UMTS (3G) в августе 2019 г. по сравнению с августом 2017 г.

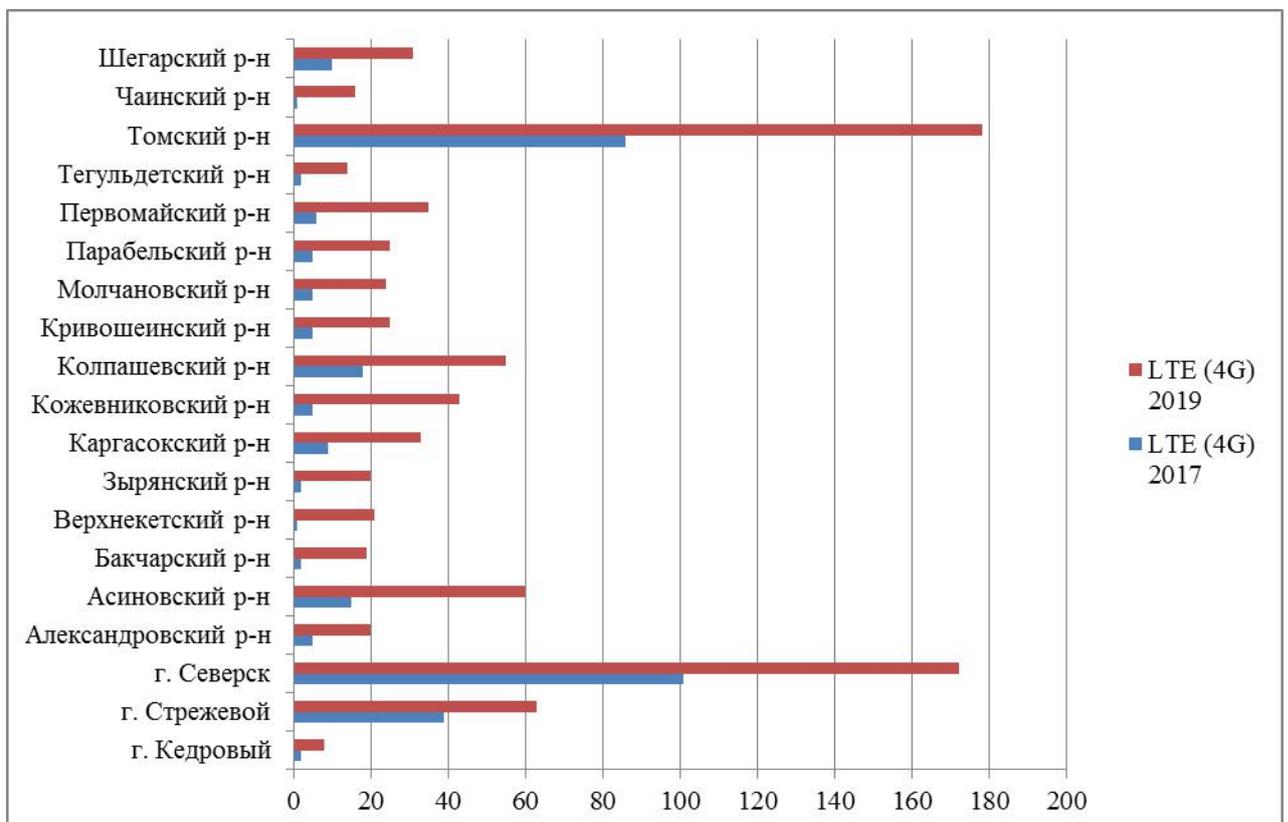


Рисунок 3.25 – Количество БС сотовой связи стандарта LTE (4G) в августе 2019 г. по сравнению с августом 2017 г.

Сравним также количество БС сотовой связи отдельно по технологиям, суммарно по всем операторам в отдельно взятом Тегульдетском районе Томской области на август 2017 г. и август 2019 г. Данные об изменении количества БС сотовой связи в Тегульдетском районе Томской области в 2019 г. по сравнению с 2017 г. приведены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Изменение количества БС сотовой связи в Тегульдетском районе Томской области 2019 г. по сравнению с 2017 г.

№ п/п	Населенный пункт	Количество БС сотовой связи операторов по технологиям, шт.								
		GSM (2G)			UMTS (3G)			LTE (4G)		
		2017	2019	Δ	2017	2019	Δ	2017	2019	Δ
1	п. Белый Яр	1	1	0	0	1	1	0	2	2
2	д. Новошумилово	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	д. Озерное	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	п. Берегаево	3	3	0	2	2	0	0	2	2
5	п. Красный Яр	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	д. Красная Горка	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	с. Тегульдет	7	4	-3	5	5	0	2	4	2
8	д. Байгалы	2	2	0	0	1	1	0	2	2
9	д. Куяновская Гарь	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	п. Центрополигон	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	п. Четь-Конторка	0	1	1	0	0	0	0	2	2
12	п. Покровский Яр	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	п. Черный Яр	4	4	0	3	3	0	0	2	2
14	п. Орловка	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для удобства проведения оценки отобразим данные из таблицы 3.17 на графике (рисунок 3.26).

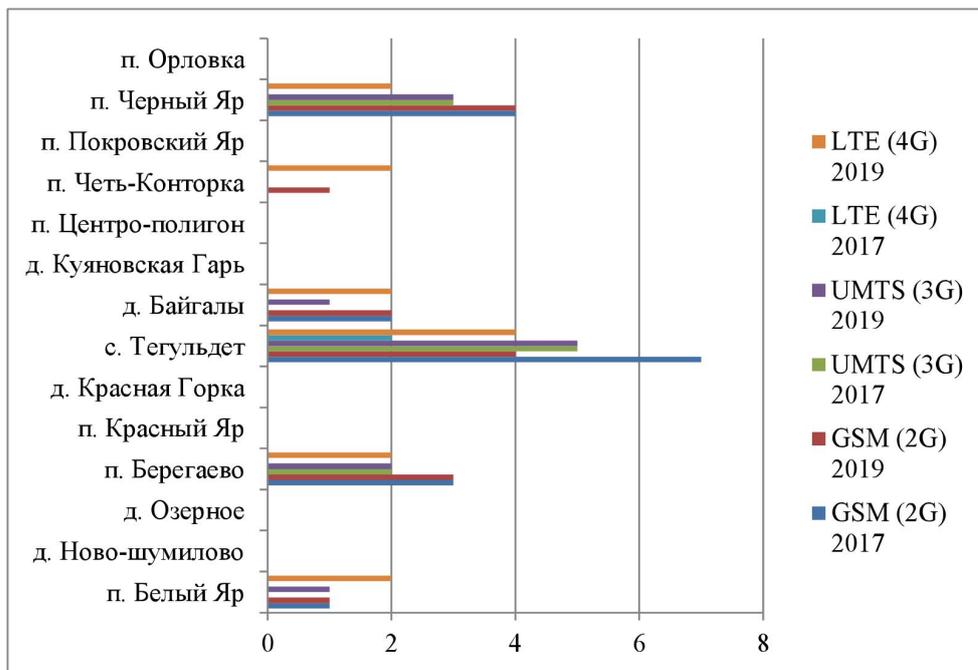


Рисунок 3.26 – Количество БС сотовой связи стандарта LTE (4G) в августе 2019 г. по сравнению с августом 2017 г.

Выводы:

1. В настоящее время в большинстве муниципальных образований Томской области происходит постепенное снижение количества БС сотовой связи второго поколения (GSM). Наибольшее снижение их количества наблюдается в муниципальных образованиях с относительно высокой плотностью населения: в городах Томске (-12,1%), Стрежевом (-12,1%), Северске (-14,5%), Асиновском (-12,7%) и Колпашевском районах (-14,8%). При этом наблюдается рост их количества в муниципальных образованиях с относительно низкой плотностью населения: городе Кедровом (+37,5%), Александровском (+17,4%), Кожевниковском (+12,2%), Парабельском (+7,9%) районах.

2. Во всех муниципальных образованиях Томской области наблюдается рост количества БС сотовой связи третьего поколения (UMTS). Прирост их количества существенно различается от одного образования к другому и составляет от 14,3% в Томске до 100,0% в г. Кедровом. При этом высокие показатели

прироста наблюдаются в образованиях с низкой плотностью населения и объясняются их изначально небольшим количеством (т.н. «эффект низкой базы»).

3. Аналогичный вывод можно сделать о количестве БС сетей четвертого поколения (LTE). Прирост их количества существенно различается от одного образования к другому и составляет от 57,6% в Томске до 2000,0% в Верхнекетском районе.

4. В целом по Томской области можно заключить, что в настоящее время происходит постепенный переход от использования сетей связи второго поколения (GSM) в пользу сетей связи третьего (UMTS) и четвертого (LTE) поколений, обеспечивающих более высокую скорость передачи данных. Количество БС сетей связи второго поколения остается стабильным и даже возрастает лишь в местностях с низкой плотностью населения в связи с тем, что такие БС обеспечивают покрытие территорий большей площади. В будущем можно ожидать, что использование сетей связи второго поколения будет и далее сокращаться.

5. Из данных, приведенных на рисунке 3.26, видно, что прирост количества БС новых технологий третьего и четвертого поколений происходит преимущественно в населенных пунктах со значительной численностью населения. При этом малые населенные пункты по-прежнему не обеспечены сотовой связью вовсе или обеспечены ею в недостаточной степени: в 8 населенных пунктах из 14, отдельно взятого Тегульдетского района Томской области с суммарной численностью населения 420 человек (7% от общей численности населения Тегульдетского района) БС сотовой связи отсутствуют вовсе. В остальных населённых пунктах района, за исключением районного центра с. Тегульдет, существуют ограничения на набор используемых технологий, а также ограничен выбор оператора сотовой связи.

3.5 Основные результаты главы

Впервые проведено комплексное исследование качества услуг подвижной радиотелефонной связи в г. Томске. Трижды (в 2016, 2018 и 2020 гг.) проведены измерения значений специфических показателей качества связи как в части голосовых соединений, так и в части передачи данных и коротких сообщений, построены карты покрытия территории г. Томска сотовыми сетями всех существующих стандартов, поколений и диапазонов радиочастот в отдельности для каждого действующего оператора сотовой связи. Полученные карты покрытия размещены в свободном доступе в сети Интернет и доступны для использования абонентами для осознанного выбора поставщика услуг связи. Каждый житель Томска получил возможность сопоставить места своего преимущественного пребывания в течение суток с картами покрытия и выбрать оператора сотовой связи, используя данные объективного контроля.

Проведено сравнение показателей качества услуг связи, а также качества покрытия территории г. Томска сотовыми сетями в 2016, 2018 и 2020 гг. Сделаны выводы о динамике развития сетей сотовой связи в г. Томске.

Проведено сравнение карт покрытия, полученных на основе измерений, с картами покрытия, публикуемыми операторами связи на собственных официальных сайтах. Обнаружено, что карты покрытия, публикуемые операторами связи, не детализованы и не позволяют сделать однозначный вывод о качестве покрытия в каждом конкретном месте, и тем самым, могут вводить потребителей в заблуждение относительно возможного качества услуг связи. Показано, что модели, используемые операторами для расчета зон покрытия, не точны и нуждаются в оптимизации.

Дана статистическая оценка обеспеченности населения Томской области сервисами мобильной связи и беспроводного мобильного доступа в Интернет. Исследован количественный и качественный состав сетей сотовой связи всех существующих стандартов, поколений и диапазонов радиочастот в отдельности

для каждого действующего оператора сотовой связи во всех муниципальных образованиях Томской области по состоянию на 2017 и 2019 гг.

Показано, что динамичный рост сетей сотовой связи третьего и четвертого поколений в целом по Томской области обеспечивается, в основном, ростом в муниципальных образованиях с высокой плотностью населения, главным образом, в областном центре. Доказано, что проблема обеспечения доступа к услугам сотовой связи для жителей малых населенных пунктов Томской области по-прежнему остается острой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги работы:

1. Впервые проведено комплексное исследование качества услуг подвижной радиотелефонной связи в г. Томске в динамике.
2. Построены карты покрытия территории г. Томска сотовыми сетями всех существующих стандартов, поколений и диапазонов радиочастот в отдельности для каждого действующего оператора сотовой связи.
3. Проведено сравнение карт покрытия, полученных на основе измерений, с картами покрытия, публикуемыми операторами связи на собственных официальных сайтах.
4. Обнаружено, что карты покрытия, публикуемые операторами связи, не детализованы и не позволяют сделать однозначный вывод о качестве покрытия в каждом конкретном месте, и тем самым, могут вводить потребителей в заблуждение относительно возможного качества услуг связи.
5. Доказано, что существует проблема обеспечения доступа к услугам сотовой связи для жителей малых населенных пунктов Томской области.
6. Дана оценка существующих требований к точности указания мест размещения радиоэлектронных средств для проведения расчетов их ЭМС. Показана их недостаточность и предложены варианты ужесточения требований.
7. Дана оценка эффективности использования РЧР радиорелейными линиями связи, произведены расчеты потерь на трассе распространения радиоволн, и на конкретных примерах показано, что фактически имеющийся запас на замирания может превышать рекомендуемые значения от 3,3 до 8,7 дБ.
8. Показано, что дефицит радиочастотного ресурса, имеющийся в отдельных полосах радиочастот, предназначенных для работы РРЛ, в некоторой степени обусловлен его неэффективным использованием. Предложены варианты решения этой проблемы.
9. Дана оценка эффективности использования РЧР для СТС диапазона 146–174 МГц. По результатам проведенного моделирования показано, что

закладываемые по проекту параметры работы сетей связи зачастую многократно превышают фактически необходимые: в конкретном примере фактический радиус зоны обслуживания превышал необходимый на 34,3%–98,7%.

10. Проведено апробирование рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля в реальных условиях при проведении измерений в г. Томске. Показано, что использование указанных рекомендаций в условиях города практически невозможно, однако они могут иметь ограниченное практическое применение в условиях неплотной застройки и в случае простой ЭМО, в частности в сельской местности.

11. Показано, что существующая система расчета и взимания платы за использование РЧС в Российской Федерации неоправданно сложна и требует значительных трудозатрат на ее администрирование.

Рекомендации:

1. Полученные карты покрытия сетей сотовой связи могут быть использованы всеми жителями г. Томска для осознанного выбора поставщика услуг связи и операторами сотовой связи для корректировки используемых ими моделей для расчета карт покрытия.

2. Новая методика расчета ЭМС РЭС и рекомендации по изменениям системы взимания платы за использование РЧС могут быть использованы администрацией связи России для внедрения и повышения эффективности использования РЧС.

3. Нетрадиционный подход к моделированию распространения радиоволн с учетом данных ДЗЗ может быть использован проектными организациями в сфере радиосвязи для моделирования пролетов РРЛ и систем сухопутной подвижной связи.

4. Данные об обеспеченности населения сельских районов Томской области сотовой связью могут быть использованы для развития сетей связи в этих районах и устранения цифрового неравенства.

Перспективы дальнейших исследований:

1. Проведение дальнейших инструментальных исследований качества связи и покрытия сетей сотовой связи в г. Томске и г. Северске Томской области.
2. Проведение дальнейших статистических оценок доступности сотовой связи в Томской области.
3. Разработка дальнейших усовершенствований методики проведения экспертизы ЭМС РЭС, способствующих повышению эффективности использования РЧС.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

BER	bit error rate
CEPT	Conference of European post and telecommunications
ECC	Electronic communications committee
GSM	Global system for mobile communications
LTE	Long-term evolution
MOS	mean opinion score
MVNO	mobile virtual network operator
POLQA	Perceptual objective listening quality assessment
RSCP	Received Signal Code Power
RSE	relative spectrum efficiency
RSRP	Reference Signal Received Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTU	Remote Test Unit
SMS	short message service
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUE	spectrum utilization efficiency
UMTS	Universal mobile telecommunications system
АС	абонентская станция
АФУ	антенно-фидерное устройство
БС	базовая станция
ВКР	Всемирная конференция радиосвязи
ВУМТ	возимые удаленные модули тестирования
ГКРЧ	Государственная комиссия по радиочастотам
ДЗ	дальняя зона
ДЗЗ	дистанционное зондирование Земли
ДН	диаграмма направленности
ИКТ	информационно-коммуникационные технологии
МСЭ	Международный союз электросвязи
НУМТ	носимые удаленные модули тестирования
НШПИ	необходимая ширина полосы излучения
ПИАР	проектирование и анализ радиосетей
ПМК	программно-методический комплекс
ПО	программное обеспечение
РКОТ	Радиоконтрольное оборудование тестирования
РР	Регламент радиосвязи
РРЛ	радиорелейная линия
РРС	радиорелейная станция
РЧР	радиочастотный ресурс
РЧС	радиочастотный спектр
РЭС	радиоэлектронное средство
СТС	система технологической связи
ЦРРЛ	цифровая радиорелейная линия
ЭИИМ	эквивалентная изотропно излучаемая мощность
ЭМО	электромагнитная обстановка
ЭМС	электромагнитная совместимость

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика отрасли. Официальный сайт Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli> (дата обращения: 01.12.2018).
2. Концепция управления качеством связи в Российской Федерации. Официальный сайт Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/4668> (дата обращения: 01.12.2016).
3. Результаты драйв-тестов в сетях GSM/UMTS за 3 квартал 2016 года. Официальный сайт БЕЛГИЭ Республиканское унитарное предприятие по надзору за электросвязью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belgie.by/ru/reports> (дата обращения: 01.12.2016).
4. Measuring mobile broadband performance in the UK, 4G and 3G network performance. OfCom. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0014/32054/mbb-nov14.pdf?lang=en (дата обращения: 01.12.2016).
5. LTE drive tests in one of Germany's first research mobile radio networks. Rohde&Schwarz. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/200/N200_TSMW_e.pdf (дата обращения: 01.12.2016).
6. Рекомендация МСЭ-R SM.1046-3 «Определение использования радиочастотного спектра и эффективности радиосистемы» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1046-3-201709-I!!PDF-R.pdf (12.03.2019).
7. Методика расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rkn.gov.ru/communication/p552/p779> (12.03.2019).
8. Постановление Правительства Российской Федерации №171 от 16.03.2011 «Об установлении размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в

Российской Федерации радиочастотного спектра и взимания такой платы» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rg.ru/2011/04/26/pravitelstvoldok.html> (12.03.2019).

9. Ноздрин В.В. Экономические аспекты повышения эффективности использования радиочастотного спектра при рыночных отношениях: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05/ Ноздрин Вадим Викторович. – М., 1999, 206 с.

10. Нарукавников, А.В. Методика и практика расчета платы за использование РЧС/А.В. Нарукавников // Век качества. – 2011. – № 6. – С.15–17.

11. Бессилин, А.В., Володина, Е.Е. Новая методика расчета платы за использование радиочастотного спектра России/А.В. Бессилин // Технологии информационного общества. – 2010. – № 12. – С.4–7.

12. Кузовкова, Т.А., Тихвинский, В.О. Балансно-дифференцированная модель определения платы за использование радиочастотного спектра»/Т.А. Кузовкова // Технологии информационного общества. – 2010. – № 12. – С.16–19.

13. Кузовкова, Т.А., Нарукавников, А.В. Экономические особенности радиочастотного ресурса и принципы возмещения его использования в России / Т.А. Кузовкова // Т-comm. – 2012. – № 12. – С.49–51.

14. Веерпалу, В.Э. Методы проведения перераспределения и конверсии радиочастотного спектра/ В.Э. Веерпалу // Т-comm. – 2012. – № 6. – С.12–16.

15. Тихвинский В.О., Коваль В.А. Исследование экономических аспектов конверсии радиочастотного спектра в России/В.О. Тихвинский // Т-comm. – 2013. – № 12. – С.101–103.

16. Коваль, А.В., Стадинчук, А.С. Совершенствование регулирования использования радиочастотного спектра в рамках формирования системы «Открытое правительство»/А.В. Коваль // Электросвязь. – 2012. – № 8. – С.17–21.

17. Статистика отрасли. Официальный сайт Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli> (дата обращения 07.09.2017).

18. О связи: [федер. закон: принят Гос. Думой 07 июля 2003]

19. Володина, Е.Е. Экономико-методические проблемы государственного управления использованием радиочастотного спектра/Е.Е. Володина // Экономическая наука современной России. – 2016. – № 3 (74). – С.124–135.

20. Котов, В.И. Комплексный подход к оценке эффективности использования радиочастотного ресурса/В.И. Котов // Научно-технические ведомости СПбГУ. – 2010. – № 5. – С. 63–67.

21. Быховский М.А. Основы повышения эффективности использования радиочастотного спектра в системах связи и вещания: дис. ... док. тех. наук в форме науч. доклада: 05.12.13/Быховский Марк Аронович. – М., 2003, 121 с.

22. Быховский М.А. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 376 с.

23. Быховский, М.А. Повышение эффективности использования РЧС при применении в телерадиовещании синхронных сетей/М.А. Быховский // Т-comm. – 2013. – № 9. – С. 34–38.

24. Быховский, М.А. Метод повышения эффективности использования радиочастотного спектра в сотовых сетях подвижной связи CDMA/ М.А. Быховский // Мобильные телесистемы. – 2006. – С. 38–44.

25. Ноздрин, В.В., Макаров, В.В. Экономическая эффективность использования радиочастотного спектра в условиях развития цифровой экономики/ В.В. Ноздрин // Экономические науки. – Том 11 № 5. – 2018. – С. 22–37.

26. Вишняков, В.А., Табаньков А.В. Информационное управление эффективностью при использовании радиочастотного спектра в РБ/В.А. Вишняков // Системный анализ и прикладная информатика. – 2014. – №1–3. – С. 29–33.

27. Володина, Е.Е., Девяткин, Е.Е. Административно-правовые мероприятия по повышению эффективности использования радиочастотного спектра/Е.Е. Володина // Экономика и качество систем связи. – 2016. – №1. – С. 30–35.

28. Хохлачев Н.А.. Разработка аппарата обоснования платы и эффективности использования радиочастотного спектра операторами геостационарных систем фиксированной спутниковой службы: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05/Хохлачев Николай Анатольевич. – М., 2009. – 142 с..

29. Рекомендация МСЭ-R SM.1046-3 «Определение использования радиочастотного спектра и эффективности радиосистемы».

30. Решение Государственной комиссии по радиочастотам от 07.11.2016 №16-39-01 «Об утверждении Порядка проведения экспертизы возможности использования заявленных радиоэлектронных средств и их электромагнитной совместимости с действующими и планируемыми для использования радиоэлектронными средствами, рассмотрения материалов и принятия решений о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов в пределах выделенных полос радиочастот».

31. ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета».

32. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. United States Geological Survey [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> (дата обращения: 12.08.2016).

33. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 16.10.2015 №15-35-04 «Об утверждении методики определения зоны обслуживания одиночной передающей станции наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2 и методики определения зоны обслуживания одночастотной сети передающих станций наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2».

34. Волченко, О. В. Динамика цифрового неравенства в России/О.В. Волченко // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. – 2016. – № 5. – С. 163–182.

35. Бекетов, Н. В. Информационное разнообразие и цифровое неравенство в развитии России/Н.В. Бекетов // Информационные ресурсы России. – 2009. – № 5. – С. 27–31.
36. Скрыльникова, Н. А. Управление инновационными процессами на основе концепции технологического пакета/Н.А. Скрыльникова // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2010. – № 12. – С. 52–58.
37. Ерохин, С.Д. Методы повышения эффективности использования радиочастотного спектра в широкополосных сетях передачи данных/С.Д. Ерохин // Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №1 – С. 29–32.
38. Коваль, В. А., Володин, В. Н., Стадинчук, А.С. Вероятные направления реформирования системы управления использованием радиочастотного спектра/В.А. Коваль // Электросвязь. – 2011. – № 10. – С.21–24.
39. Виноградов, Е.М. Современные направления повышения эффективности использования радиочастотного спектра и внедрения новых радиотехнологий/Е.М. Виноградов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4, №1. – С.68-78.
40. Pandit, S., Singh, G. Throughput maximization with reduced data loss rate in cognitive radio network/S. Pandit// Telecommunication Systems. – 2014. – Vol. 57, Iss. 2. – pp. 209–215.
41. Gomez, M.M., Weiss, B.H. Wireless Network Virtualization: Opportunities for Spectrum Sharing in the 3.5 GHz Band/M.M. Gomez// EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum. – 2017. – Vol. 3, Iss. 10. – pp. 1–10.
42. Hashmi, S.S., Sattar, S.A., Soundararajan, K. Optimal Spectrum Utilization and Flow Controlling In Heterogeneous Network with Reconfigurable Devices / S.S. Hashmi // International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2017. – Volume 63, Issue 3. – pp. 269–277. – Doi: 10.1515/eletel-2017-0036.
43. Chen, Si, Wyglinski, A.M. Efficient spectrum utilization via cross-layer optimization in distributed cognitive radio networks/Si Chen // Computer Communications. – 2009. – Volume 32, Issue 18. – pp. 1931-1943.
44. Шмаков Д.Б. Использование данных о рельефе и подстилающей

поверхности местности, полученных методом дистанционного зондирования Земли, при проектировании цифровых радиорелейных линий связи. Системы связи и радионавигации: сб. тезисов Всероссийской научно-технической конференции/ науч. ред. В.Ф. Шабанова ; отв. за вып. А.Ю. Строкова. – Красноярск : АО «НПП «Радиосвязь», 2016. – 472 с. . –С. 47-50.

45. Геоинформационная система проектирования и анализа радиосетей «ПИАР» 4.60 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://npfyar.ru/piar.html> (дата обращения: 15.08.2016)

46. Быховский М.А., Кирик Ю.М., Носов В.И. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи: Учебное пособие для вузов / Быховский М.А. - М.: Гор. линия-Телеком, 2014. - 332 с.

47. Шмаков Д.Б. Оценка существующих требований к точности указания мест размещения радиоэлектронных средств для проведения расчетов их электромагнитной совместимости. Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2016» : материалы 12-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 14 — 18 ноября 2016 г. / Севастоп. гос.ун-т; под ред. А. А. Савочкина. — Севастополь : Изд-во СевГУ, 2016. — 244 с.

48. Постановление Правительства РФ от 28 июля 2000 г. N 568 "Об установлении единых государственных систем координат"

49. ГОСТ Р 51794-2008 "Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек"

50. Шмаков Д.Б., Газизов Т.Р. Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса радиорелейными линиями связи/Д.Б. Шмаков // Инфокоммуникационные технологии. – Том 16, № 4. – 2018. – С.409-416.

51. Об утверждении Положения о Государственной комиссии по радиочастотам: постановление Правительства РФ от 02.07.2004 №336 (ред. от 07.03.2017) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docview&page=1&print=1&nd=102087628&rdk=11&&empire=> (дата обращения: 02.05.2018).

52. Радиоэлектронные средства. Федеральная автоматизированная информационно-аналитическая система в области использования радиочастотного спектра и средств массовой коммуникации [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://fais-rfs.ru/radio> (дата обращения: 07.09.2017).

53. Методика расчета электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы гражданского назначения в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц, ЛОНИИР, 2005.

54. Программа для расчёта цифровых радиорелейных линий «РРЛ Проект». Официальный сайт ООО НПФ «Яр». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://npfyar.ru/crrl.html> (дата обращения: 07.09.2017).

55. ГОСТ Р 53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета. – Введ. 2010.01.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 35 с.

56. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. United States Geological Survey [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc> (дата обращения: 02.05.2018).

57. Шмаков, Д.Б. Использование данных о рельефе и подстилающей поверхности местности, полученных методом дистанционного зондирования Земли, при проектировании цифровых радиорелейных линий связи. Системы связи и радионавигации: сб. тезисов Всероссийской научно-технической конференции/ науч. ред. В.Ф. Шабанова ; отв. за вып. А.Ю. Строкова. – Красноярск : АО «НПП «Радиосвязь», 2016. – 472 с. С. 47-50.

58. Шмаков Д.Б. Оценка эффективности использования радиочастотного ресурса системами технологической связи диапазона 146–174 МГц. Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017 – Ч. 3. – 176 с. С. 98-100.

59. Решение ГКРЧ №16-39-01 // Официальный сайт Минкомсвязи России. URL: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/5314/> (дата обращения: 10.02.2017).

60. Решение ГКРЧ №09-03-01-1 // Официальный сайт Минкомсвязи России. URL: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/4032/> (дата обращения: 10.02.2017).

61. Методические указания по планированию частот для сетей сухопутной подвижной радиосвязи метрового и дециметрового диапазонов. -М., МС СССР, 1984

62. Шмаков Д.Б. О некоторых аспектах применения рекомендаций ЕСС СЕРТ для определения излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-23-2017): доклады (материалы конференции) 23-й международной научно-практической конференции, Томск, 24 ноября 2017 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2017. С.90-93

63. Рекомендация ЕСС 12(03) от 08.02.2013 «Определение излучаемой мощности на основе измерений напряженности поля в полосе частот от 400 МГц до 6000 МГц» [Электронный ресурс] // <http://www.erodocdb.dk>: Documentation Database. URL: <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC1203.PDF> (дата обращения: 01.11.2017).

64. Рекомендация ЕСС 16(04) от 17.10.2016 «Определение излучаемой мощности FM станций звукового радиовещания на основе измерений напряженности поля в полосе частот от 87,5 до 108 МГц» [Электронный ресурс] // <http://www.erodocdb.dk>: Documentation Database. URL: <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC1604.PDF> (дата обращения: 01.11.2017).

65. Шмаков, Д.Б. Анализ экономических аспектов системы управления радиочастотным спектром в Российской Федерации/Д.Б. Шмаков // ЦИТИСЭ. – №1 (18). – 2019.

66. Министерство связи и массовых коммуникаций России. Практический комментарий к Методике расчета размеров разовой и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://minsvyaz.ru/uploaded/files/Prakticheskij_kommentarij_10_11_11-1.pdf (дата обращения: 12.03.2019).

67. Постановление Правительства Российской Федерации №539 от 12.10.2004 «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rg.ru/2004/10/21/radioelektronika-dok.html> (дата обращения: 12.03.2019).

68. Федеральная служба государственной статистики. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3abfce (12.03.2019).

69 Шмаков, Д.Б. Анализ качества покрытия сетей связи стандарта LTE в Томске/Д.Б. Шмаков // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-22-2016): доклады (материалы конференции) 22-й Международной научно-практической конференции, Томск, 10-11 октября 2016 г. / отв. ред. Л.С. Петрова. – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2016. С.139–142.

70. Шмаков, Д.Б. Комплексная оценка качества услуг сотовой связи в Томске /Д.Б. Шмаков// Электронные средства и системы управления: материалы докладов XII Международной научно-практической конференции (16–18 ноября 2016 г.): В 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2016. С. 40-42.

71. Шмаков Д.Б. Методика проведения и результаты анализа комплексной оценки качества услуг сотовой связи в г. Томске/Д.Б. Шмаков// Инфокоммуникационные технологии. – Том 15, № 2. – 2017. – С.178-185.

72. Методика оценки качества услуг подвижной радиотелефонной связи. Официальный сайт Министерства связи и массовых коммуникаций РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/4473> (дата обращения: 01.12.2018)

73. Kannan Srinivasan, Philip Levis. RSSI is Under Appreciated /Srinivasan K. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sing.stanford.edu/pubs/rssiemnets06.pdf>

74. Статистика отрасли [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli> (дата обращения: 01.09.2017).

75. Численность постоянного населения Томской области на 1 января 2017 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://tmsk.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tmsk/resources/47b8ea80404dd47f9b8effc7692f4691/nas-17.pdf (дата обращения: 01.09.2017).

76. Реестр административно-территориальных единиц Томской области на 1 января 2017 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tomsk.gov.ru/adm,свободный> (дата обращения: 01.09.2017).

ПРИЛОЖЕНИЕ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Бюро «Сервис»

Г.П. Давыдюк
« _____ » 2016 г.
М.П.



АКТ

о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы
Шмакова Дмитрия Борисовича

Комиссия в составе генерального директора Г.П. Давыдюк, начальника технического отдела С.А. Ниганова, системного инженера технического отдела К.Ю. Боброва составила настоящий акт, подтверждающий использование в ООО «Бюро «Сервис» следующих результатов диссертационной работы Д.Б. Шмакова:

1. Результаты оптимизации параметров работы оборудования широкополосного беспроводного доступа (ШБД), подготовки исходных данных для проведения экспертизы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) для систем технологической связи, ШБД и цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ).

2. Результаты расчетов качественных показателей ЦРРЛ с использованием уточненной модели рельефа и подстилающей поверхности местности, полученной методом дистанционного зондирования Земли с точностью 1 угловая секунда по широте и долготе (Shuttle Radar Topography Mission 1 arc-second, SRTM1).

3. Результаты предварительных расчетов ЭМС РЭС для систем технологической связи, ЦРРЛ и ШБД.

Указанные результаты использовались при проектировании и последующем строительстве систем технологической связи, ШБД и ЦРРЛ на нефтегазовых месторождениях Томской и Омской областей, Республики (Саха) Якутия. Использование указанных результатов позволило оптимизировать параметры антенных систем ЦРРЛ, сократить время прохождения экспертизы ЭМС РЭС в ФГУП «ГРЧЦ» за счет предварительного подбора рабочих частот и оптимизации влияющих на ЭМС РЭС параметров работы оборудования, достигнуть экономии средств при закупке и монтаже антенных систем РЭС.

Члены комиссии:

 С.А. Ниганов
 К.Ю. Бобров

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ООО «Транс Телепорт»

Н.В. Гришин



28.09.2016 г.

АКТ

о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы
Шмакова Дмитрия Борисовича

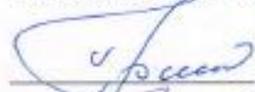
Комиссия в составе директора Н.В. Гришина, технического директора В.Н. Гришина, ведущего инженера А.А. Тетюева составила настоящий акт, подтверждающий факт использования в ООО «Транс Телепорт» следующих результатов диссертационной работы Д.Б. Шмакова:

1. Результаты моделирования зон покрытия базовых станций сети сухопутной подвижной связи на уточненной модели рельефа и подстилающей поверхности местности, полученной методом дистанционного зондирования Земли с точностью 1 угловая секунда по широте и долготе (Shuttle Radar Topography Mission 1 arc-second, SRTM1).

2. Оценка возможности установления радиосвязи с подвижными объектами и оценка возможного качества связи по результатам проведенного моделирования.

Указанные результаты использовались при проведении испытаний работоспособности систем радиосвязи в ходе выполнения работ по оснащению служебного автотранспорта федерального государственного унитарного предприятия «Ведомственная охрана Росатома» средствами автоматизированного объективного контроля параметров движения (закупка № 31401550834 размещена 26.09.2014 на официальном сайте Российской Федерации для размещения информации о размещении заказов <http://www.zakupki.gov.ru>). Использование указанных результатов позволило составить план проведения испытаний, сократить время на их проведение, а также оптимизировать параметры работы оборудования.

Члены комиссии:

 В.Н. Гришин

 А.А. Тетюев



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной
работе ТУСУР

к.т.н., доцент

Сенченко П.В.

« 12 » 10 2021

АКТ

внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы

Шмакова Дмитрия Борисовича

Мы, нижеподписавшиеся, заместитель заведующего кафедрой телевидения и управления (ТУ) по научной работе, к.т.н. Куксенко С.П., заместитель заведующего кафедрой ТУ по учебной работе, Бусыгина А.В., настоящим актом подтверждаем внедрение результатов исследований по кандидатской диссертации Шмакова Д.Б. в учебный процесс радиотехнического факультета ТУСУР в рамках программы подготовки бакалавров по направлениям «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии».

Результаты моделирования распространения радиоволн в системах радиорелейной и сухопутной подвижной связи с использованием данных дистанционного зондирования Земли для учета дифракционных потерь, результаты оценки эффективности использования радиочастотного спектра в Томской области и комплексной оценки качества сотовой связи в г. Томске, модифицированная методика проведения экспертизы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств использованы для проведения практических работ по дисциплинам «Электромагнитная совместимость радиосистем», «Электромагнитная совместимость и управление радиочастотным спектром»:

в 2017–2018 учебном году для групп 114, 144-1, 144-2, 144-3;

в 2018–2019 учебном году для групп 145-1, 145-2, 145-3;

в 2019–2020 учебном году для групп 116, 146-2, 146-3, 146-4;

в 2020–2021 учебном году для групп 117, 147-1, 147-2, 147-3, 147-4;

в 2020–2022 учебном году для групп 119, 149-1, 149-2, 149-3, 149-4.

Использование результатов работы и практический опыт её автора обеспечили качественное освоение компетенций программы подготовки бакалаврами.

Заместитель заведующего каф. ТУ по научной работе

 /С.П. Куксенко

Заместитель заведующего каф. ТУ по учебной работе

 /А.В. Бусыгина



**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**



ДИПЛОМ
I степени
НАГРАЖДАЕТСЯ
ШМАКОВ

Дмитрий Борисович

за лучший доклад на секции 2 «Радиотехнические и телекоммуникационные системы»

XII Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления»

Председатель конференции,
ректор ТУСУР
д.т.н., профессор



А.А. Шелупанов

Томск – 2016



**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**



ДИПЛОМ

III степени

НАГРАЖДАЕТСЯ

Шмаков Д.Б.

за лучший доклад на секции 2 «Электроника и приборостроение»
подсекция 2.6 «Электромагнитная совместимость»
Международной научно-технической конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР - 2017»

Председатель конференции,
Ректор



А.А. Шелупанов