

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ИНТЕРЕСАХ РАДИОЧАСТОТНОЙ СЛУЖБЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Заместитель генерального директора  
ФГУП «РЧЦ ЦФО», д.т.н. С.В. Кизима  
Ведущий специалист НПФ «Радиан-М» М.В. Ладанов

Важным направлением в деятельности радиочастотных центров Федеральных округов является контроль радиоэлектронных средств (РЭС), работающих в декаметровом (коротковолновом) диапазоне частот (1,5 – 30 МГц). При этом контроль РЭС может вестись, как за РЭС на территории своего округа, так и за РЭС на территории других округов. Кроме того, проводится контроль отдельных КВ РЭС на территории других государств, что связано в т.ч. с международными обязательствами Российской Федерации.

При этом особое место занимает поиск и обнаружение источников радиопомех по заявкам пользователей радиочастотным спектром, граждан и юридических лиц, силовых министерств и ведомств, органов надзора за деятельностью в области связи и Администратий связи иностранных государств.

Качество проведения мероприятий радиоконтроля и особенно пеленгования в значительной мере зависит от состояния ионосферы.

К основным факторам, влияющим на качество радиосвязи и мероприятий радиоконтроля, относятся:

1. Состояние Солнечной активности и связанной с ней магнитной активностью Земли.
2. Возможность отражения радиоволн от различных слоев ионосферы, если рабочие частоты близки к критическим частотам этих слоев.
3. Сезонные, месячные колебания значений критических частот и связанных с ними других параметров.
4. Суточные изменения максимально применимых частот (МПЧ), оптимальных рабочих частот (ОРЧ), наименьших применимых частот (НПЧ).

5. Замирания сигнала передатчика в точке приема, связанные с многолучевостью распространения радиоволн.
6. Внезапные изменения состояния ионосферы, приводящие к поглощению радиоволн, диффузности.
7. Непредсказуемые появления спорадического слоя  $E_s$ .
8. Положительные и отрицательные возмущения ионосферы, приводящие к невозможности ведения связи на заранее назначенных частотах.
9. Зависимость уровня сигнала в точке приема от близости к ОРЧ.
10. Зависимость уровня сигнала в точке приема от мощности передатчика и его антенны (азимут и угол излучения, коэффициент направленного действия (КНД)), применяемой приемной антенны, характеристик приемной аппаратуры, вида принимаемого сигнала.
11. Зависимость уровня принимаемого сигнала в точке приема от уровня помех от других РЭС, работающих на этих же частотах из-за многоскачкового распространения радиоволн.
12. Зависимость уровня принимаемого сигнала в точке приема от уровня промышленных помех.

Наличие этих факторов значительно затрудняет проведение планирования мероприятий радиоконтроля, а также проведение измерений в заданное планом время, т.к. запланированные мероприятия просто становятся невозможными из-за отсутствия электромагнитной доступности (ЭМД) РЭС.

Отмеченные факторы и обстоятельства подчеркивают актуальность оценки и контроля параметров ионосферы и на основе знаний этих параметров и закономерностей распространения радиоволн (РРВ) проведение прогнозирования. За десятилетия изучения ионосферы в этом направлении накоплен богатый научный и практический опыт. Значительный вклад в изучение ионосферы и распространения радиоволн внесли советские и российские ученые. Наблюдения за состоянием ионосферы ведутся на всей территории Земли с использованием различных станций наблюдения. Основу

этих станций представляют станции вертикального зондирования ионосферы (ВЗ). Часть ионозондов расположена на территории России.

Результаты измерений собираются и обрабатываются в различных прогностических центрах. В России измерениями состояния ионосферы занимается Институт земного магнетизма и распространения радиоволн имени академика Пушкова российской Академии наук (ИЗМИРАН), Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова (ИПГ). Главным предприятием, которое занимается изучением поведения ионосферы в интересах нужд народного хозяйства, решением Правительства РФ назначен ИПГ. На базе этого института воссоздается действовавшая когда то в стране единая сеть ионозондов.

Используя богатейшие накопленные данные о состоянии ионосферы в различных точках Земли, созданы различные модели ионосферы, которые позволяют вести долгосрочный прогноз параметров ионосферы.

Наибольшую известность имеет совершенствуемая международная модель IRI (International Reference of Ionosphere – международная справочная модель ионосферы). Последние версии – IRI-2007 и IRI-2011 являются глобальной медианной моделью ионосферы (т.е. позволят строить долгосрочные прогнозы в любой точке земного шара).

Долгосрочные радиопрогнозы позволяют определять критические частоты слоев ионосферы, их высоты, значения максимальных и наименьших применимых частот для радиолиний различной протяженности. Тем самым, применяя долгосрочное прогнозирование, можно вести планирование как мероприятий радиоконтроля, так и планирование связи на разных частотах для потребителей радиочастотного спектра.

Однако, долгосрочные прогнозы не учитывают текущих изменений в ионосфере, которые могут достигать значительных величин. Уклонения истинного состояния ионосферы от прогнозируемого могут привести к нарушениям радиосвязи на линиях радиосвязи любой протяженности.

Таким образом, для обеспечения надежной радиосвязи рабочие частоты, определяемые по долгосрочным радиопрогнозам, следует систематически корректировать. Для корректировки необходимо использовать краткосрочные и оперативные радиопрогнозы, которые должны содержать также информацию о возмущениях в ионосфере.

Краткосрочные прогнозы с информацией о возмущениях составляются на несколько суток вперед. Оперативные – на несколько часов вперед. Обычно до 12 часов. Они уточняют, как правило, только верхний предел диапазона применяемых частот (МПЧ). Краткосрочные и оперативные прогнозы составляются с использованием данных о текущем состоянии ионосферы в точках отражения радиолуча.

Оправдываемость краткосрочных прогнозов растет по мере укорочения срока прогнозирования. Для месячных прогнозов она составляет в среднем 80%, для пятидневных - 85%, а для оперативных полусуточных - 90%. Следует отметить, что оправдываемость долгосрочных месячных прогнозов по МПЧ составляет 50%. Такая точность не удовлетворяет требованиям оперативной работы радиотехнических средств.

Следовательно, при проведении плановых мероприятий радиоконтроля (предстоящем сеансе радиосвязи) необходимо уточнить с помощью краткосрочного и оперативного прогноза: а будет ли вообще связь в заданное время и на заданной частоте. И в зависимости от полученных данных принимать решение о ведении связи. То же самое должно выполняться и при проведении оперативных мероприятий радиоконтроля.

Используя рекомендации Международного союза электросвязи, специалистами НПФ «Радиян-М» разработано специальное программное обеспечение «Прогноз прохождения радиоволн и доступности связи на заданных частотах», которое включено в состав Автоматизированной системы радиоконтроля ФГУП «РЧЦ ЦФО» (АСРК-ЦФО).

Общий вид расчетного модуля при проведении краткосрочного прогноза для 3-х радиоконтрольных пунктов (РКП) приведен на рис.1.

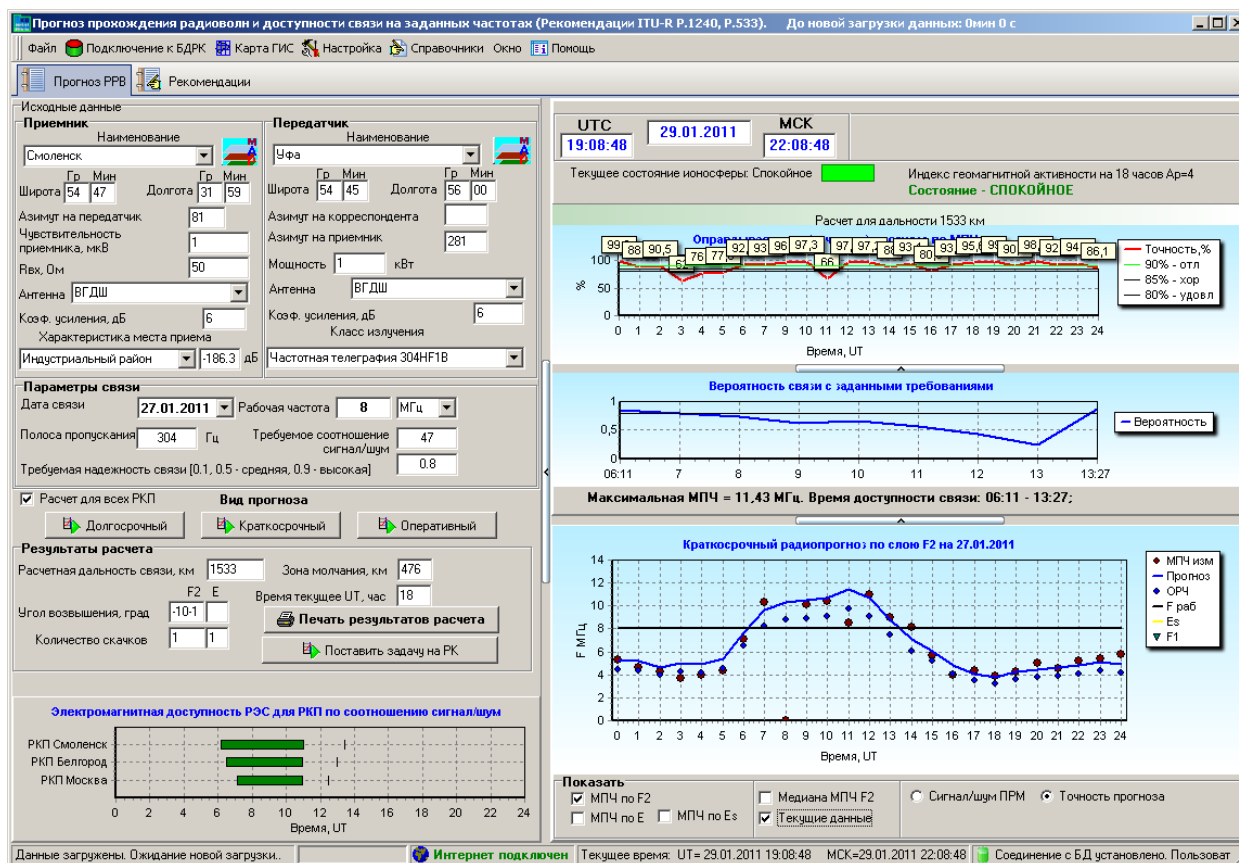


Рис.1. Общий вид расчетного модуля.

Программное обеспечение позволяет:

- Проводить долгосрочное прогнозирование возможности ведения радиосвязи на заданных частотах и для заданных дальностей связи на длительные периоды времени (до нескольких лет вперед).
- Проводить краткосрочное прогнозирование (до 5 суток вперед от текущего времени) возможности ведения радиосвязи на заданных частотах и для заданных дальностей связи по текущим данным состояния ионосферы.
- Проводить оперативное прогнозирование (до 6 часов вперед от текущего времени) возможности ведения радиосвязи на заданных частотах и для заданных дальностей связи по текущим данным состояния ионосферы.
- Проводить расчет электромагнитной доступности заданного РЭС как для одного РКП, так и для 3-х заданных.

- Проводить визуальную оценку расчетов состояния максимально применимых частот (МПЧ) и оптимально применимых частот (ОРЧ) по ионосферным слоям F2, F1, E и Es.
- Проводить визуальную оценку расчетов медианы МПЧ, а также просматривать реальные текущие данные МПЧ для заданной дальности.
- Выполнять расчет необходимых углов возвышения антенных устройств для обеспечения заданного режима работы.
- Выполнять расчет ожидаемых в точке приема уровней напряженности поля, соотношения сигнал/шумы приемника, соотношения сигнал/шум в зависимости от выбранного вида радиосвязи.
- Выполнять оценку оправдываемости (точности) краткосрочных прогнозов.
- Выдавать рекомендаций по заданному режиму работы.
- Оценивать текущее состояние ионосферы и геомагнитной активности.
- Просмотр местоположения КВ РЭС и их основных характеристик из базы данных радиоконтроля на карте геоинформационной системы (ГИС).
- Просматривать радиоконтрольные пункты РЧЦ на карте ГИС, а также назначать произвольный РКП.
- Производить подготовку данных для расчетов (выбор требуемого РЭС из базы данных или ввод произвольного) с использованием геоинформационной системы.
- Проводить постановку задачи на радиоконтроль (Первичная измерительная задача, Контроль параметров РЭС, Контроль загруженности частот, Оценка ЭМО, Пеленгование, Идентификация ИРИ).
- Отражать на карте ГИС результаты выполнения задачи пеленгования РЭС.
- Просматривать на карте ГИС местоположения РКП КВ РЭС (СТРК) и ионозондов.
- Выводить на печать результаты расчетов и карты ГИС с обстановкой.
- Автоматически получать и накапливать данные вертикального зондирования ионосферы от нескольких ионозондов.

В целях большей наглядности основное интерфейсное окно приводится разделенным на 2 части (рис.2 и рис.3).

Исходные данные

Приемник				Передатчик				
Наименование				Наименование				
Смоленск				Уфа				
Широта	Гр	Мин	Долгота	Гр	Мин	Гр	Мин	
54	47		31	59	54	45	56	00
Азимут на передатчик			81			Азимут на корреспондента		
Чувствительность приемника, мкВ			1			Азимут на приемник		
Рвх, Ом			50			Мощность		
Антенна			ВГДШ			1 кВт		
Кэф. усиления, дБ			6			Антенна		
Характеристика места приема			Индустриальный район			ВГДШ		
			-186.3 дБ			Кэф. усиления, дБ		
						6		
						Класс излучения		
						Частотная телеграфия 304HF1B		

**Параметры связи**

Дата связи: 27.01.2011 | Рабочая частота: 8 МГц

Полоса пропускания: 304 Гц | Требуемое соотношение сигнал/шум: 47

Требуемая надежность связи [0.1, 0.5 - средняя, 0.9 - высокая]: 0.8

Расчет для всех РКП

**Вид прогноза**

Долгосрочный |  Краткосрочный |  Оперативный

**Результаты расчета**

Расчетная дальность связи, км: 1533 | Зона молчания, км: 476

Угол возвышения, град: F2: -10-1 | E: | Время текущее UT, час: 18

Количество скачков: 1 | 1

**Электромагнитная доступность ЭЭС для РКП по соотношению сигнал/шум**

РКП	Время, UT
РКП Смоленск	~6:30 - 11:30
РКП Белгород	~6:30 - 11:30
РКП Москва	~6:30 - 11:30

Рис.2. Ввод исходных данных и результатов расчетов

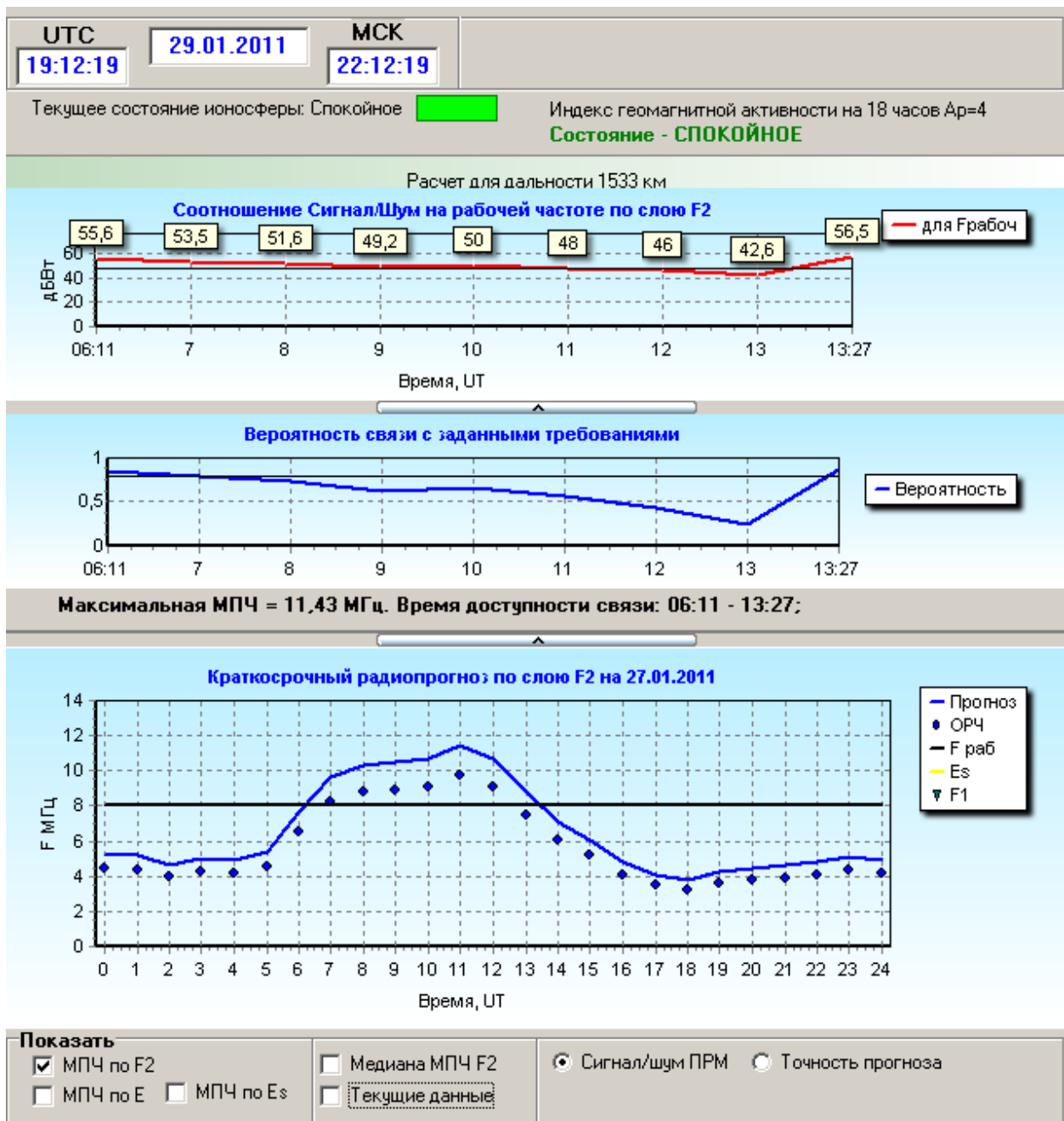


Рис.3. Графическая расчетная часть

На рис. 4 показаны измеренные данные и оправдываемость (точность прогноза). При общем спокойном состоянии ионосферы имеются 2 явно выраженных отклонения: в 3 и 11 часов, которые привели к снижению точности по МПЧ. Но если учесть, что наилучшая связь будет в районе ОРЧ (0,85 МПЧ), то точность прогноза становится еще выше.



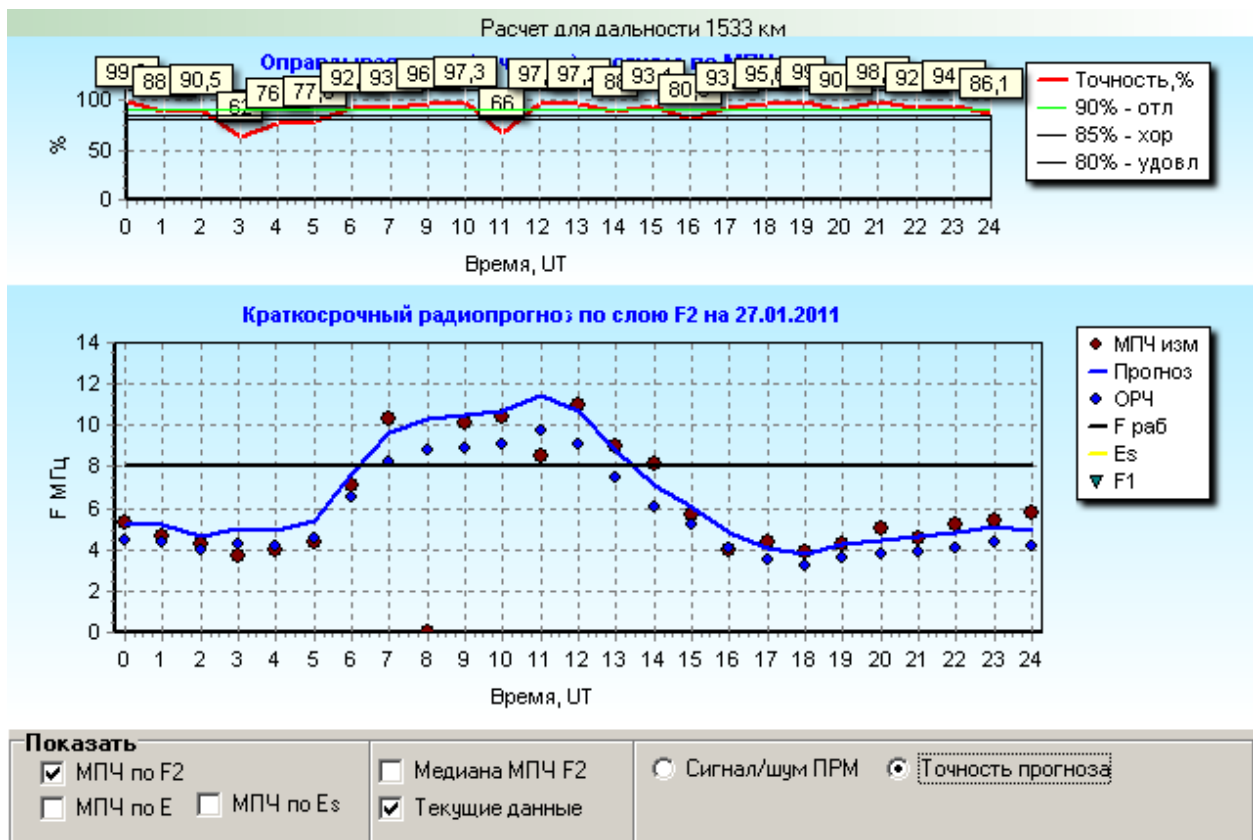


Рис.4. Оправдываемость (точность) краткосрочного прогноза

Допустим, что было замечено резкое колебание в 11 часов и проведен оперативный прогноз (рис.5).

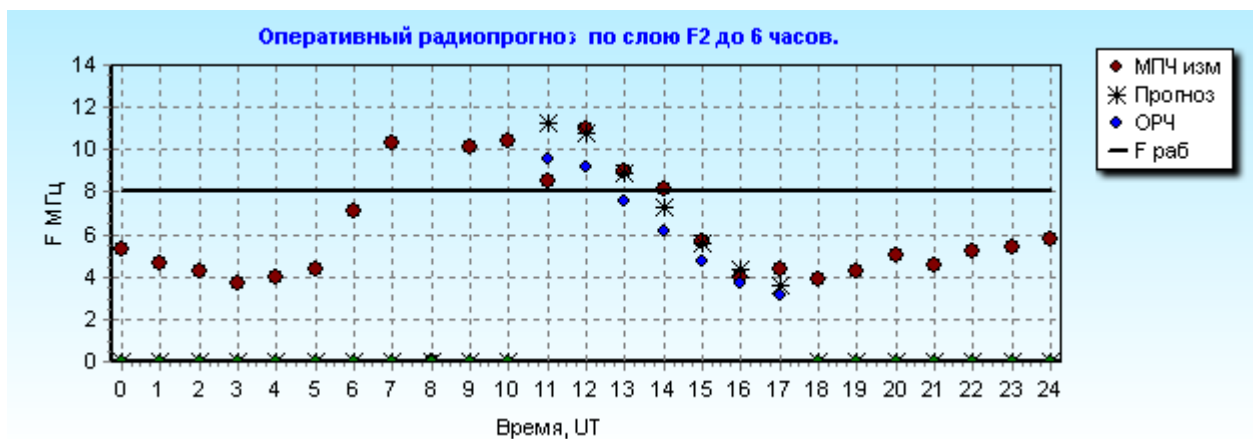


Рис.5. Оперативный прогноз.

На рисунке видно, что точность при оперативном прогнозе становится заметно выше. А если сравнить рис. 6. с рис. 2, то окажется, что заданное РЭС не будет доступно ни одному РКП. Увеличив коэффициент усиления антенны, уменьшив вероятность связи или перейдя на работу другим классом излучения, можно обеспечить связь и для 3-х РКП.



Рис. 6. Результат ЭМД при оперативном прогнозе.

На рисунках 7 и 8 показаны долгосрочные прогнозы.

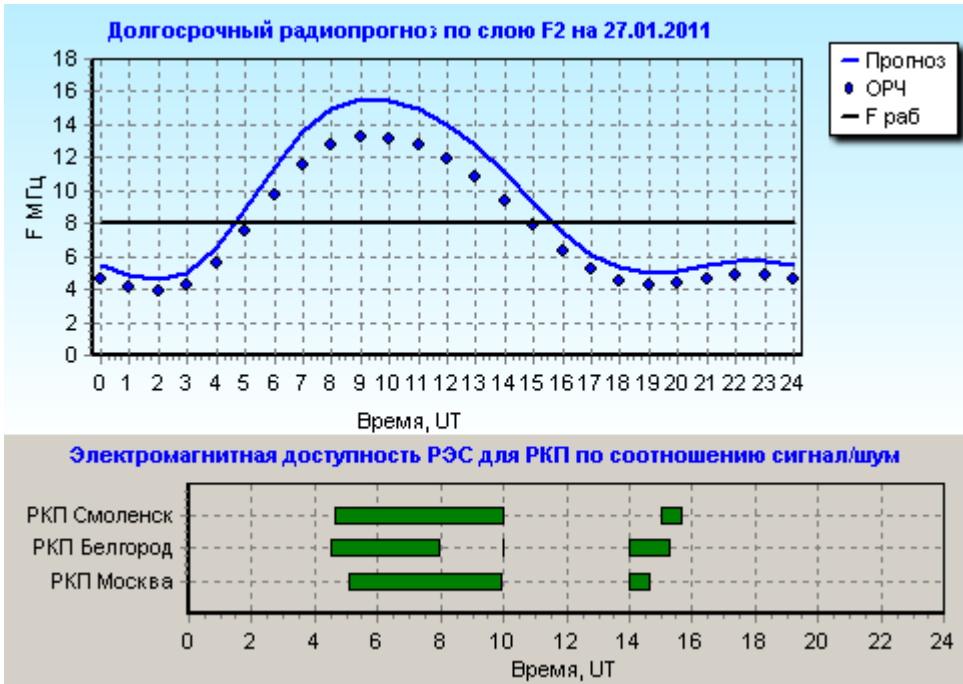


Рис. 7. Долгосрочный прогноз на 27.01.2011

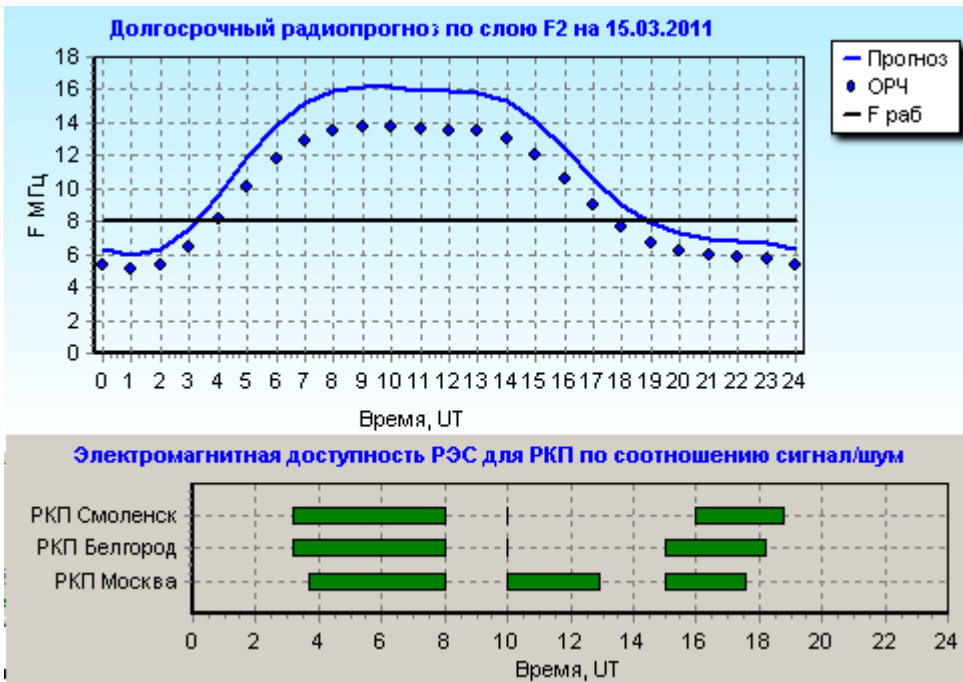


Рис. 8. Долгосрочный прогноз на 15.03.2011

Программное обеспечение имеет встроенные ГИС-компоненты. Фрагмент карты интерфейса ГИС (используется ГИС «Панорама») показан на рис. 9

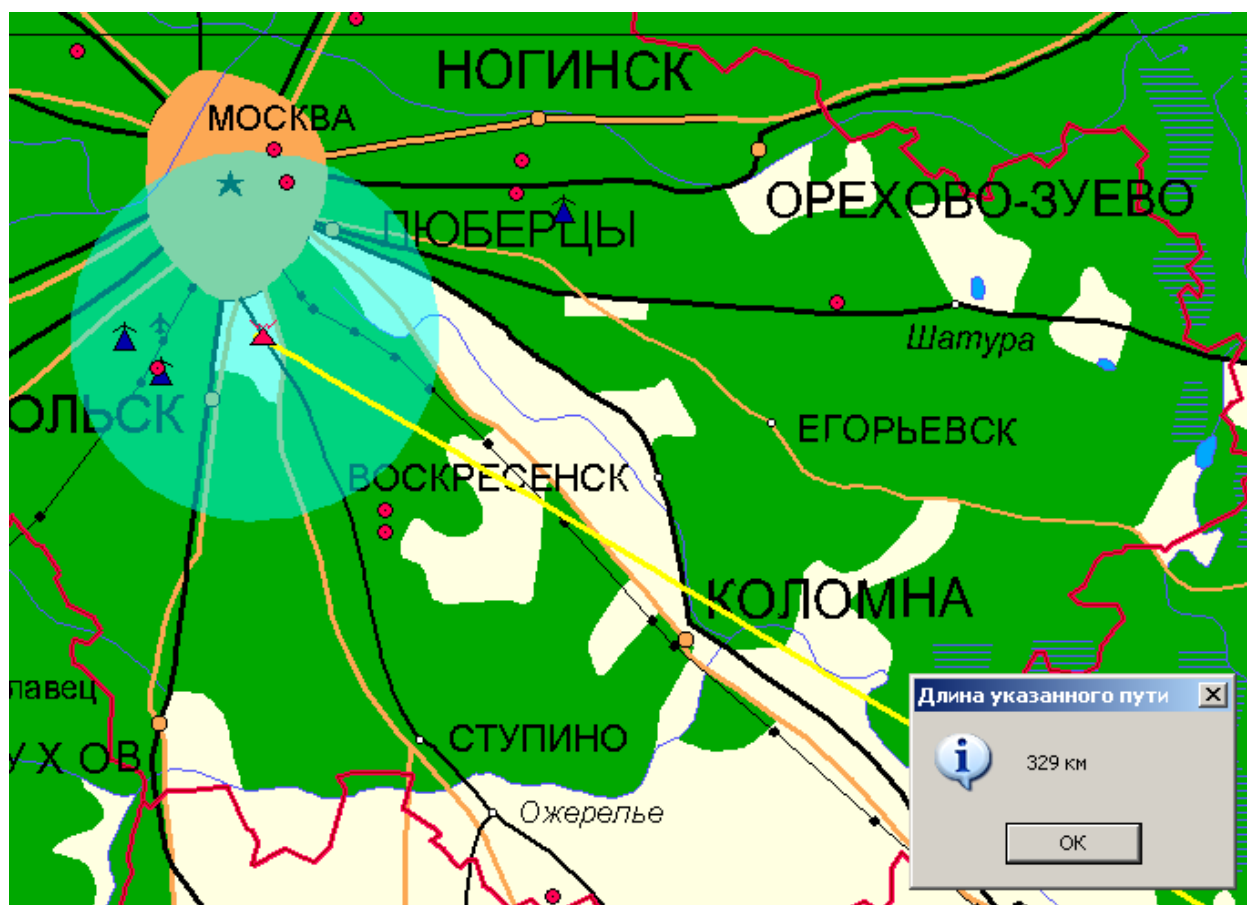


Рис. 9. Фрагмент карты ГИС

Как показывает практика использования, применение разработанного программного обеспечения прогнозирования распространения радиоволн позволяет значительно повысить эффективность планирования и проведения мероприятий радиоконтроля. Использование технологических процедур прогнозирования потребителями радиочастотного спектра будет способствовать улучшению качества и надежности связи в КВ-диапазоне.