

На правах рукописи

УДК 504.064

ПОТАПОВ Александр Александрович

**Исследования пространственной неоднородности  
электромагнитного загрязнения окружающей среды с  
применением цифровых проблемно-ориентированных  
моделей**

03.00.16 – "Экология"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва – 2006

Работа выполнена в Центре гидрофизических исследований физического факультета и на кафедре рационального природопользования географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель: чл.-кор. РАН, доктор географических наук  
профессор Капица Андрей Петрович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
профессор Куницын Вячеслав Евгеньевич

доктор технических наук

профессор Роцин Александр Викторович

Ведущая организация: ФГУ "Всероссийский научно – исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России"

Защита диссертации состоится 19 октября 2006 года в 16:00 часов на заседании диссертационного совета К 501.001.08 на физическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, г. Москва, ГСП-2, Ленинские горы д. 1, стр. 2, аудитория 5-19 им. академика С.Н. Вернова.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " сентября 2006 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета К 501.001.08

кандидат физико-математических наук, доцент

Хомутов Г. Б.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В настоящее время одной из самых актуальных задач является объективная оценка экологической обстановки в условиях неоднородных многокомпонентных сред, к которым можно отнести большинство антропогенно-измененных территорий. Для этого необходимы адекватные данные о пространственной и временной изменчивости экологических факторов, степени их опасности для здоровья человека, а также модели как самой среды обитания человека, так и процессов взаимодействия с ней человеческого общества, под влиянием которых и происходит формирование экологической обстановки конкретных территорий.

Ключевой проблемой при оценке качества окружающей среды, является степень ее влияния на здоровье человека, но на сегодняшний день хорошо изучены только последствия достаточно сильных воздействий, многократно превышающих те, что встречаются в реальности. Большинство исследований фоновых уровней физического и химического воздействий традиционными медицинскими и санитарно-эпидемиологическими методами обладают недостаточной статистической значимостью, а часто их результаты противоречивы и трудно сравнимы, в том числе по причинам: практически полного отсутствия методик учета реальной пространственной неоднородности экологических факторов, серьезной нехватки объективных данных о величинах индивидуальных/коллективных экспозиций (доз) и отсутствия единых методов получения и анализа данных.

Также к базовым недостатком большинства исследований является априорное представление о среде обитания человека как о регулярной или локально однородной среде. Однако на сегодняшний день, уровень изучения физических (химических) явлений в большинстве случаев выявил выраженный нелинейный характер их протекания и сложную нерегулярную пространственную структуру загрязнения. Особенно это характерно для физико-экологических факторов: радиационного фона, шумового загрязнения, электромагнитных полей промышленных частот (в РФ 50 Гц) и радиочастотного диапазона (30 кГц – 300 ГГц).

Поэтому описание этих феноменов, особенно при оценке их потенциальной опасности как для отдельного человека, так и для человеческих популяций, в принципе должно носить детерминированный характер. При этом степень детализации детерминированного описания экологических условий окружающей среды должна обеспечивать как учет пространственной неоднородности качества окружающей среды внутри базовых структурных единиц территории (например, для города это придомовые участки и дворы с размерами порядка 100 – 300 м, различные функциональных выделы внутри них с размерами 5 – 30 м, а также помещения протяженностью  $n \cdot 10$  –  $n \cdot 1$  м), так и обеспечивать возможность оценки

интенсивности воздействия на основные структурные группы населения (выделяемые по возрастному, территориальному или профессиональному признаку) и одновременно стремиться к максимально возможному учету сильно вариативной индивидуальной чувствительности к факторам окружающей среды, в том числе с применением калибровки моделей путем проведения натурных как медицинских, так и мониторинговых обследований с более высокой подробностью.

Особенно высокие требования к объективности и статистической репрезентативности данных как о фоновых показателях окружающей среды, так и степени ее загрязнения, предъявляют исследования биологической значимости сверхмалых доз и сверхслабых воздействий (СМД/СМВ) физических и химических факторов природного и антропогенного происхождения. Важность и актуальность этой проблемы особенно высока потому, что в большинстве случаев фоновые и около фоновые интенсивности экологических факторов, воздействующих на человека, можно отнести именно к категории сверхмалых и сверхслабых доз/воздействий<sup>1</sup>.

Имеющиеся данные на сегодняшний день позволяют утверждать, что для СМД/СМВ физических и химических факторов характерна нелинейная зависимость биологических эффектов от величины дозы/воздействия. Кроме того, для наиболее изученного в рассматриваемом отношении фактора окружающей среды – ионизирующих излучений выявлено, что воздействие СМД/СМВ может быть как крайне необходимым для поддержания жизнедеятельности организмов (естественный фон), так и приводить к значимым всплескам негативных биологических эффектов – появлению хромосомных aberrаций, выходу клеток с микроядрами, злокачественным трансформациям и другим эффектам. Это предопределяет сложность проведения медико-биологических исследований СМД/СМВ, особенно, в части повышения статистической значимости их результатов, которая в наибольшей степени зависит от наличия объективных и достаточно детализированных в пространственно-временном отношении данных о реальных экологических нагрузках на население и другие биологические системы<sup>2</sup>.

В связи с этим, повышение надежности и статистической значимости медицинских и санитарно-эпидемиологических исследований конкретных территорий/объектов/популяций возможно путем развития методов создания детерминированных высоко детализированных моделей окружающей среды, моделирования физических (химических) процессов в ней

---

<sup>1</sup> Кудряшев Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) /Под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. М.: Физматлит, 2004. – 448 с.

<sup>2</sup> Ethical Issues in Radiation Protection (An International Workshop). Stockholm: The Swedish Radiation Protection Institute (SSI), 2000. – 52 p.

протекающих, условий жизнедеятельности человека, а также закономерностей функционирования систем человек – среда обитания.

Наиболее эффективным средством решения данной задачи является использование геоинформационных систем (ГИС) и технологий, которые позволяют преобразовывать информацию об окружающей среде и ее состоянии в массив структурированных пространственно – координированных данных и проводить процедуры их формального и неформального анализа. Это делает возможным производить изучение механизмов функционирования и ожидаемых изменений в экологических системах, в том числе при наличии большого числа источников загрязнения в пространственно-сложных условиях, например, в городской среде со сложной трехмерной структурой и пространственной организацией территории.

Реализация процедур прогнозирования экологической обстановки возможна с использованием цифровых проблемно-ориентированных моделей окружающей среды, которые могут быть сопряжены со специализированным программным обеспечением, проводящим расчеты с применением соответствующих математических алгоритмов. При этом одним из основных условий применимости методов и алгоритмов расчета является возможность проведения детальной пространственной декомпозиции их результатов, в том числе для определения границ зон влияния конкретных потенциально опасных объектов в зависимости от их расположения и технических характеристик.

**Цели и задачи исследования.** Основной целью исследования является разработка методов прогнозирования величины электромагнитного поля в диапазоне частот 100 – 300 МГц (метровый диапазон длин волн) на расстояниях до нескольких километров от источника излучения на высоте 1,5 - 2,0 м от земли с пространственным разрешением не хуже 30 – 50 м, а также методов экспериментальной оценки пространственной неоднородности электромагнитного загрязнения в условиях города. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить границы применимости и эффективности методов расчета пространственного распределения уровня электромагнитного поля радиочастотного диапазона в условиях города для выявления наиболее корректных способов учета многолучевого распространения радиосигнала, позволяющих производить детальную пространственную декомпозицию результатов расчета и реализуемых на стандартных вычислительных мощностях.
2. Разработать способы адаптации цифровых проблемно-ориентированных моделей местности для использования в задачах прогнозирования электромагнитной

обстановки с привлечением стандартных пространственно – координированных данных и функциональных возможностей геоинформационных систем (ГИС).

3. Провести анализ причин возникновения пространственных неоднородностей физико-экологических факторов в условиях города и жилых/общественных помещений, определить их масштабы и величины градиентов.
4. Провести экспериментальное изучение пространственной неоднородности электромагнитного загрязнения окружающей среды в условиях городского микрорайона и непромышленных помещений, и на основе полученных данных оценить точность прогноза уровня электромагнитного поля, в том числе при различных условиях распространения радиоволн и расстояниях от источника радиосигнала.

**Научная новизна исследования.** Усовершенствованы существующие и разработаны новые подходы к объективной оценке, моделированию, анализу причин возникновения и прогнозу пространственной неоднородности электромагнитного загрязнения окружающей среды в диапазоне 100 – 300 МГц в условиях города с использованием функциональных возможностей геоинформационных систем:

1. Разработаны новые подходы к созданию детерминированных моделей распространения радиоволн в среде геоинформационных систем, основанные на формировании объектно-ориентированной, цельной и топологически – определенной структуры в массивах цифровых пространственно – координированных данных.
2. Проведен подробный анализ границ применимости методов расчета пространственного распределения уровня электромагнитного поля радиочастотного диапазона в условиях города с точки зрения возможностей пространственной декомпозиции результатов расчетов, учета многолучевого характера распространения сигнала и реализуемости в системах пространственного моделирования.
3. В среде геоинформационной системы ArcView впервые реализованы процедуры прогнозирования местоположения и анализа причин возникновения зон с неблагоприятной экологической обстановкой в условиях многолучевого распространения радиоволн в пространственно сложной городской среде на базе геометрооптического приближения. Среднеквадратическая точность прогноза составила от 3 – 5 дБ до 8,5 дБ.
4. Развиты и экспериментально подтверждены новые представления о среде обитания человека, как о среде с высокой локальной неоднородностью экологических условий. Проведен анализ причин возникновения пространственных неоднородностей физико-

экологических факторов в условиях города и жилых/общественных помещений, определены их масштабы и величины градиентов.

**Практическая значимость исследования.** Результаты проведенной научно-исследовательской работы могут быть использованы в следующих сферах практической деятельности:

- ❖ При разработке методических руководств по проведению и организации комплексного многофакторного экологического мониторинга городских территорий и непромышленных помещений.
- ❖ При определении экспозиций (доз) по экологическим факторам при проведении эпидемиологических и медицинских исследований.
- ❖ Планировании и экологической сертификации радиопередающих объектов в условиях плотной многоэтажной застройки, в том числе при большой плотности их расположения
- ❖ Прогнозе изменений электромагнитной обстановки при увеличении/уменьшении мощности, расположения и иных характеристик действующих радиопередающих объектов, в том числе при разработке мер по снижению уровня экологической нагрузки на население

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. В среде геоинформационных систем возможно создание цифровой проблемно-ориентированной трехмерной модели городской среды, обеспечивающей проведение прогноза пространственного распределения уровня электромагнитного поля в диапазоне частот 100 – 300 МГц и процедур физико-экологического мониторинга с пространственным разрешением 5 – 10 м и менее.
2. Геометрооптические методы расчета пространственного распределения уровня электромагнитного поля радиочастотного диапазона в наилучшей степени позволяют:
  - ❖ моделировать многолучевое распространение радиосигнала
  - ❖ производить расчеты с любым пространственным разрешением (до 5-10 м и менее), в том числе с варьирующимся по изучаемой территории
  - ❖ производить идентификацию конкретных объектов местности, влияющих на распространение радиоволн
  - ❖ могут использоваться при геометрическом описании объектов городской среды, принятом при создании цифровых моделей местности
  - ❖ нетребовательны к вычислительным ресурсам
  - ❖ обладают высокой точностью расчета (среднеквадратическая ошибка 5-8 дБ)

3. Корректная детерминированная модель многолучевого распространения электромагнитного загрязнения в диапазоне 100 – 300 МГц, использующая геометрооптическое приближение, включает в себя моделирование эффектов отражения электромагнитных волн от вертикальных плоскостей строений и земли, дифракции электромагнитных волн на вертикальных и горизонтальных кромках зданий, а также расчет затухания электромагнитной волны в свободном пространстве и в массивах зеленых насаждений. При этом вертикальные стены домов рассматриваются как зеркала, коэффициент отражения от которых зависит от электродинамических свойств поверхности.
4. Экспериментальные исследования позволили оценить среднеквадратическую точность прогноза ЭМП 100 МГц, которая составила от 3 – 5 дБ до 8,5 дБ, и выявили наличие перепадов поля с амплитудой более 5 дБ на расстояниях:
  - ❖ 80 – 200 м для открытых участков местности
  - ❖ 30 – 50 м для территории с плотной многоэтажной застройкой, а также
  - ❖ наличие зон резких перепадов (до 15 – 20 дБ) поля на расстояниях 10 – 15 м в зонах перехода радиотень/оптическая видимость антенн и уровень земли/8 – 14 этаж здания

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты диссертации получены автором лично, либо в соавторстве при непосредственном его участии. В работах, написанных в соавторстве диссертанту принадлежит участие в постановке задачи, определении методов ее решения, создании и адаптации пространственных моделей, проведении натурных экспериментов и интерпретации их результатов.

**Апробация результатов исследования и публикации.** Основные научные результаты диссертации изложены в 11 публикациях, в том числе в разделе коллективной монографии, в 4-х статьях в научных журналах – "Наукоемкие технологии", "Нелинейный мир", "Вестник Московского университета" (серия география) и журнале "ArcReview" и препринте.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VIII и XI международных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов 2001" и "Ломоносов – 2004", на заседаниях международной конференции "Ломоносовские чтения 2004" и на IV Всероссийской научной конференции "Физические проблемы экологии (Экологическая физика) 2004" (секции "прикладные аспекты экологической физики" и

"вопросы экологического образования"), а также на семинарах Центра гидрофизических исследований и кафедры биофизики физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 5-ти приложений. Общий объем диссертации - 170 страниц, приложений – 42 страницы. Общее число рисунков в работе - 84, таблиц - 50. Список литературы включает в себя 160 наименований.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность изучения, моделирования и прогноза пространственной неоднородности экологических условий окружающей среды, приводится краткий обзор литературы, определяются теоретико-методологические основы исследования, а также цели и задачи диссертационной работы. Формулируются положения выносимые на защиту.

**В первой главе** на основе литературного обзора развиваются новые представления о среде обитания человека, как о среде с высокой локальной неоднородностью экологических условий, анализируются причины неоднозначных результатов изучения комплексного низкоинтенсивного (ниже санитарных норм) воздействия электромагнитного загрязнения и других физических факторов окружающей среды с помощью традиционных медицинских и санитарно-эпидемиологических методов. Обосновывается использование экологических цифровых проблемно-ориентированных моделей местности для создания детерминированных моделей условий жизни населения, в том числе с учетом основных особенностей пространственной неоднородности экологических условий в городской среде и непромышленных помещениях.

Проводится анализ причин возникновения пространственных неоднородностей физико-экологических факторов в условиях города и жилых/общественных помещений, определяются их масштабы и величины градиентов, в том числе с учетом специфики пространственной организации городских территорий и наличия инженерных систем жизнеобеспечения. Показывается принципиальная важность информации о пространственной неоднородности физического загрязнения для прикладных и фундаментальных исследований в области факториальной экологии и экологии человека.

**Во второй главе** проводится анализ границ применимости различных методов расчета пространственного распределения уровня электромагнитного поля радиочастотного диапазона в условиях города. При этом рассматриваются как утвержденные в качестве элемента экологического мониторинга методы оценки влияния радиопередающих центров на

окружающую среду, так и радиофизические (статистические, геометрооптические методы, а также методы, основанные на конечно-разностном решении уравнений Максвелла во временной области – FDTD, и метод параболического волнового уравнения – ПВУ).

Оценка *утвержденных методов расчета* влияния радиопередающих центров на окружающую среду, основанных на: а) интерференционной формуле Введенского (для УКВ – FM вещания); б) моделировании поля вблизи антенны электродинамическими методами (для частот выше 300 МГц), показывает, что они обеспечивают корректный прогноз уровня электромагнитного поля в радиусе не более 100 метров от антенны из-за неучета используемыми алгоритмами значимых факторов распространения радиоволн (зданий, растительности и т.п.).

*Статистические методы* лишь приближенно учитывают характеристики реальной среды распространения радиоволн, особенно характера городской застройки. При декомпозиции методов расчета пространственного распределения электромагнитного поля в зависимости от таких условий как взаимное расположение приемника и передатчика, используются эмпирические константы и коэффициенты, которые необходимо определять/уточнять экспериментально. Поэтому статистическими методами невозможен расчет пространственного распределения электромагнитного поля с высоким уровнем детализации (менее сотен метров) из-за использования осредненных характеристик среды распространения радиоволн без учета локальных особенностей.

*Метод конечно-разностного решения уравнений Максвелла во временной области (Finite Difference Time Domain – FDTD)* обладает потенциально высокой точностью расчета уровня электромагнитного поля, в том числе при его взаимодействии со сложными трехмерными структурами. Данный метод предъявляет чрезвычайно высокие требования к вычислительным ресурсам, что приводит к необходимости использования мощных многопроцессорных ЭВМ с большим объемом памяти, не имеющих широко распространения, поэтому практически реализуемые пространственные масштабы расчета ограничены линейными размерами порядка десятков – сотен длин волн.

*Метод параболического волнового уравнения (ПВУ)* отличается относительно невысокими требованиями к вычислительной платформе и большая скорость расчета по сравнению с другими методами (FDTD), также он позволяет моделировать распространение радиоволн через среду с неоднородными диэлектрическими характеристиками. Вместе с тем, метод ПВУ в большей степени ориентирован для решения задач распространения радиоволн над поверхностью рельефа, что приводит к увеличению длительности расчета в условиях резких перепадов высот (многоэтажная застройка) и требует специальной предварительной

подготовки цифровых данных о местности: добавление в модель рельефа зданий в качестве его структурных элементов.

Анализ возможностей *геометрооптических (ГО) методов* расчета показал, что они в наиболее полной мере позволяют учитывать эффект многолучевого распространения сигнала в условиях города, а также производить пространственную декомпозицию результатов расчетов. Для заданной точки пространства вычисляется не только величина электромагнитного поля, но определяются конкретные траектории по которым волна приходит в точку приема. Благодаря этому, становится возможным идентификация конкретных объектов (зданий и т.д.) на ребрах которых происходит дифракция волны или отражение от их боковых поверхностей. В ходе этого возможно рациональное использование вычислительных ресурсов, реализуемое с помощью настройки максимально возможного числа отражений луча от поверхностей материальных объектов и общего количества и длины рассчитываемых траекторий в зависимости от точности данных о среде распространения радиоволн, что позволяет эффективно использовать стандартные вычислительные мощности.

Принятым критерием применимости геометрооптических методов для моделирования распространения радиоволн является соотношение размера первой зоны Френеля и размера препятствия – последнее должно быть меньше первой зоны Френеля. Высоты большинства капитальных многоэтажных зданий в городах составляют 25 – 40 м (реже до 50 – 60 м и выше), а протяженность секций зданий плане от 50-80 м до 150-200 м и более. Размеры открытых участков местности между дома, которые могут выступать в качестве отражающих поверхностей, имеют протяженность от 30х30 м и более даже в условиях плотной застройки. С учетом этого, проведенное сравнение размеров зоны Френеля с характерными размерами элементов городской среды показало, что критерий применимости методов, основанных на геометрооптическом приближении для наиболее используемого метрового диапазона длин волн выполняется:

- ❖ для частоты 100 МГц на расстоянии до 2-3 км от высоко поднятого передатчика
- ❖ для частоты 300 МГц на расстоянии до 3-5 км от высоко поднятого передатчика

Для более высоких частот (которые используются в системах сотовой связи и передачи данных – 900 МГц, 1800 МГц, 2,45 ГГц и т.д.) геометрооптические методы могут эффективно использоваться на больших расстояниях от передатчика, в том числе при размещении приемно-передающих устройств на высоте сравнимой или менее высоты зданий.

Особенности вычислительных алгоритмов геометрооптических методов позволяют эффективно использовать для расчетов геометрическое представление дискретных объектов окружающей среды и непрерывных поверхностей (рельефа), что существенно облегчает их

программную реализацию в среде систем пространственного моделирования физической среды, включая геоинформационные системы. Среднеквадратическая точность прогноза величины электромагнитного поля ГО методами, составляет 5 – 10 дБ по данным натурных экспериментов<sup>3</sup> в городах с различной планировкой и плотностью застройки.

**В третьей главе** рассматривается практическая реализация алгоритма прогнозирования электромагнитной обстановки в диапазоне 100 – 300 МГц в условиях городской среды, основанного на геометрооптическом приближении, а также методы адаптации цифровой модели местности для проведения расчета уровня электромагнитного поля и использования средств ГИС в задачах прогноза электромагнитной обстановки и обработки экспериментальных данных. Предлагаемый алгоритм прогнозирования электромагнитной обстановки включает в себя следующие процедуры:

- ❖ Определение пространственного расположения траекторий распространения электромагнитных волн методом псевдоисточника радиосигнала, использующего геометрическое представление объектов окружающей среды
- ❖ Расчет ослабления радиосигнала за счет потерь в свободном пространстве
- ❖ Моделирование эффектов отражения электромагнитных волн
- ❖ Моделирование эффектов дифракции электромагнитных волн
- ❖ Расчет ослабления радиосигнала при прохождении сквозь объемы зеленых насаждений
- ❖ Расчет суммарной величины электромагнитного поля в точке приема, формирующегося несколькими лучами

Для *определения пространственного положения траекторий распространения электромагнитных волн* был использован, описанный в литературе<sup>3</sup>, метод псевдоисточника радиосигнала (image method of ray tracing), который наиболее эффективно использует принятое в ГИС геометрическое описание формы и местоположения объектов местности. В отечественной литературе<sup>4</sup> данный метод известен как "метод зеркальных отражений" или "отражательной трактовки учета влияния земли [при распространении радиоволн]". Данный алгоритм группой исследователей при участии автора<sup>5</sup> был адаптирован к использованию в

---

<sup>3</sup> Bertoni H.L. Radio Propagation for Modern Wireless Systems. New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 340 p.

<sup>4</sup> Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. М.: Советское радио, 1972. – 464 с.

<sup>5</sup> Потапов А.А., Турчанинов А.В., Королев А.Ф. Методы радиофизического моделирования с использованием геоинформационных систем в обеспечении электромагнитной безопасности урбанизированных территорий //Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 5 – (в печати).

среде и к форматам данных геоинформационной системы (ГИС) ArcView, производства компании ESRI (США).

При использовании описываемого метода, псевдоисточник радиосигнала формирует отраженные от плоскостей стен зданий, сооружений и подстилающей поверхности вторичные отраженные лучи и вторичные источники лучей, дифрагировавших на краях строений. При этом вертикальные стены домов рассматриваются как зеркала, коэффициент отражения от которых зависит от электродинамических свойств поверхности.

Пример определения траекторий распространения радиосигнала методом псевдоисточника приведен на рис. 1. Отраженная волна, идущая от источника радиосигнала, освещает объекты расположенные внутри сектора, определенного законами отражения от плоской поверхности, взаимным расположением источника и отражающей плоскости, а также границей стены, от которой происходит отражение. Возможность освещения стены первичным источником определяется граничными точками стены и ее ориентацией.

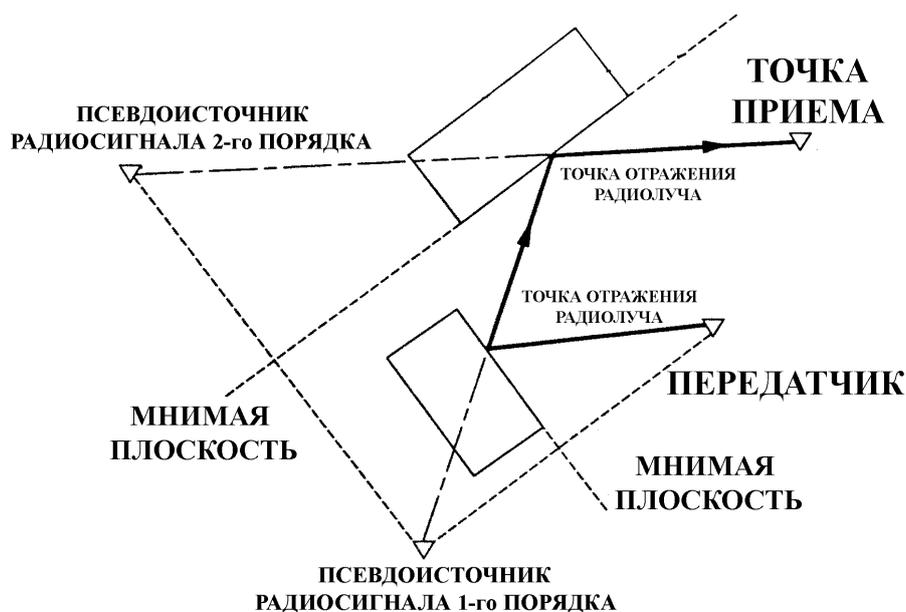


Рис. 1. Алгоритм построения псевдоисточников радиосигнала и определения траекторий распространения радиоволн.

Из рис. 1 видно, что псевдоисточник первого порядка зеркально симметричен первичному источнику относительно плоскости стены. Сектор его освещенности задается лучами, исходящими из него и пересекающими отражающую стену в её вершинах, а также самой стеной. Стены, попадающие в сектор освещенности, могут отражать падающую волну и образовывать псевдоисточники более высоких порядков. Границы зоны освещенности от псевдоисточника определяются областью пересечения отражающей стены и сектором освещенности псевдоисточника.

*Расчет ослабления радиосигнала за счет потерь в свободном пространстве* вдоль полностью открытой радиотрассы или ее открытого участка/участков в рамках предлагаемого алгоритма ведется путем расчета затухания мощности радиосигнала ( $L$ , дБ) в свободном пространстве, учитывающего длину радиотрассы ( $d$ ) и длину радиоволны ( $\lambda$ ):  
$$L = 10 \lg(4\pi \cdot d/\lambda)^2 .$$

Для моделирования процессов отражения электромагнитных волн, а также расчета ослабления радиосигнала вызванного отражением от плоскости препятствия, используются интерференционные формулы Френеля, т.к. электродинамические свойства объектов городской среды (большинства строительных материалов и почво-грунтов) обеспечивают выполнение критерия их применимости.

При моделировании эффектов дифракции, возникающих при распространении радиоволн в условиях города, используется метод единой теории дифракции на поглощающей полуплоскости, который учитывает конечную электропроводность среды. При этом экранировка радиоволн зданием заменяется экранировкой соответствующим экраном в виде полуплоскости.

*Расчет ослабления радиосигнала при прохождении сквозь объемы зеленых насаждений* осуществляется путем введения дополнительного удельного затухания электромагнитной волны внутри объема, занятого растительностью. При этом используются следующие значения удельного затухания: потери прохождения радиоволн на первых 5 метрах растительного массива составляют 0,5 дБ/м, а затем снижаются до 0,05 дБ/м.

*Расчет суммарной величины электромагнитного поля в точке приема*, формирующегося несколькими лучами, производится путем суммирования комплексных амплитуд отдельных лучей, с учетом их фазы и интенсивности: 
$$E_{\text{full}} = 20 \lg \left| \sum_{i=1}^N E_i e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} d_i} \right| ,$$

где  $E_{\text{full}}$  – напряженность суммарного поля, дБ;  $E_i$  – напряженность поля, создаваемая  $i$ -м лучом в точке приема;  $\lambda$  - длина волны;  $d_i$  – длина радиотрассы.

*Адаптация пространственной модели* городского микрорайона для прогноза электромагнитной обстановки проводилась в среде ГИС ArcView. В ходе нее на базе стандартного цифрового топографического плана масштаба 1:2 000, с помощью структурирования совокупности набора пространственных данных, интеграции в семантику (атрибуты соответствующих векторных слоев) ГИС модели данных натуральных измерений высот зданий/сооружений и зеленых насаждений, информации о материале постройки зданий, а также последовательности оверлейных операций, была сформирована трехмерная

непрерывная связная поверхность вдоль которой происходит распространение радиоволн, обладающая объектно-ориентированной, цельной и топологически – определенной структурой и включающая описание пространственного распределения электродинамических параметров. На рис. 2. приведено изображение трехмерной модели городского микрорайона.

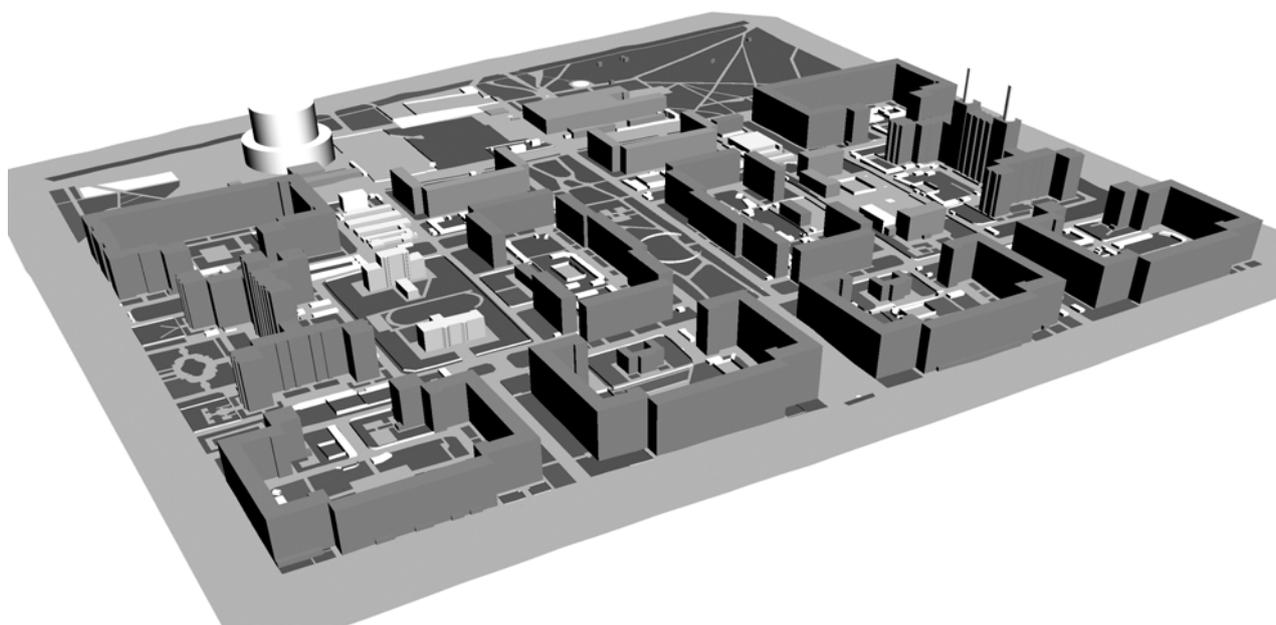


Рис. 2. Трехмерная модель городского микрорайона, построенная в среде ГИС ArcView, на базе экспериментально уточненных данных о высотах объектов местности.

В дальнейшем пространственная ГИС модель местности была преобразована в формат приемлемый для проведения радиофизических расчетов путем конвертации исходной картографической информации в набор специальных таблиц численных значений в кодах ASCII. Преобразование пространственных данных в текстовую форму осуществлялось с использованием функций объектно-ориентированного языка программирования Avenue, встроенного в приложение ArcView. Это позволило по завершению всех преобразований создать модель городского микрорайона, адаптированную для проведения прогноза электромагнитной обстановки, включающую в себя цифровое описание следующих элементов среды распространения радиоволн: непрозрачной, трехмерной, непрерывной поверхности вдоль которой происходит распространение радиоволн, находящихся на этой поверхности полупрозрачных поглощающих объемов зеленых насаждений, а также координатного описания отражающих многоугольников и ребер дифракции.

Использование функциональных возможностей ГИС в задачах прогноза электромагнитной обстановки и обработки экспериментальных данных осуществляется с

помощью набора оригинальных программных модулей расширения ГИС ArcView, написанных на языке Avenue, интегрированных в интерфейс приложения ArcView, и независимого модуля, проводящего радиофизические расчеты на основе исходных данных (плановое и высотное расположение точек для которых рассчитывается величина поля, местоположение передатчика, а также его мощность и частота), работающего во взаимодействии с геоинформационной системой. Общая схема взаимодействия данного комплекса программ приведена на рис. 3.

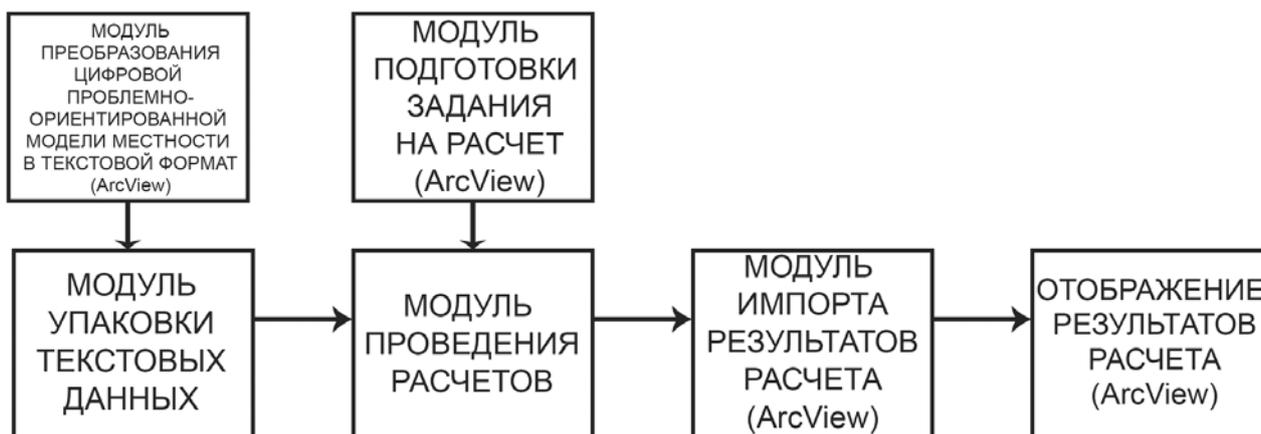


Рис. 3. Общая схема взаимодействия комплекса программ для расчета уровня электромагнитного поля и обработки экспериментальных данных.

Результаты радиофизических расчетов импортируются в приложение ArcView (в формате линейного шейп-файла), содержащего вычисленные траектории распространения радиоволн, в виде трехмерных линий, в атрибутивных таблицах которых содержатся все количественные результаты расчета (величина электромагнитного поля в точке приема в дБмкВ/м, задержка радиосигнала в микросекундах и др.). Также производится расчет среднеквадратического отклонения – СКО (в децибелах) результатов прогноза уровня электромагнитного поля от измеренных значений в соответствующих точках. Средствами ГИС ArcView возможна визуализация рассчитанных траекторий распространения радиоволн как в рамках двухмерной, так и трехмерной модели местности, что обеспечивает проведение детальной пространственной декомпозиции результатов расчета, в том числе с использованием средств пространственного анализа и оптимизации визуализации используемой геоинформационной системы.

**В четвертой главе** проводится обсуждение и анализ экспериментальных данных, полученных в ходе проведенного автором комплексного физико-экологического мониторинга жилого микрорайона г. Москвы и ряда непромышленных помещений, а также оценка точности прогноза электромагнитной обстановки в условиях городского микрорайона.

Комплексное физико-экологическое исследование было проведено в жилом микрорайоне г. Москвы площадью 1 км<sup>2</sup>, представляющим собой участок типичной селитебной территории. На территории микрорайона имелся как участок плотной многоэтажной (8 – 14 этажей) жилой застройки площадью 0,56 км<sup>2</sup>, так и открытая территория, представленная парковой зоной, площадью 0,24 км<sup>2</sup>. На крыше одного из жилых домов расположен радиовещательный центр FM диапазона с суммарной излучаемой мощностью 10 кВт (вещание ведется на двух частотах с равной выходной мощностью).

В ходе натурных изысканий было проведено изучение пространственного распределения: 1) интенсивности электромагнитного поля 100 МГц с пространственным разрешением от 30 – 50 до 5 – 15 м на высоте 1,5 – 1,7 м от земли; 2) мощности экспозиционной дозы гамма излучения с пространственным разрешением от 30 – 60 до 10 – 15 м на высоте 1 м от земли; 3) уровней шума в диапазоне частот 31,5 – 8 000 Гц с пространственным разрешением от 70 – 100 до 80 – 140 м на высоте 1,2 – 1,5 м от земли. С наилучшим пространственным разрешением обследовалась застроенная территория, а с наименьшим открытые участки парковой зоны. По результатам измерений в среде ГИС ArcView была создана серия физико-экологических карт на всю территорию исследования.

Изучение *электромагнитной обстановки в диапазоне 100 МГц* (измерения проводились на несущих частотах вещания радицентра, расположенного на территории района, а затем в соответствии с нормативами<sup>6</sup> вычислялся суммарный уровень поля) показало, что пространственная структура радиополя на территории микрорайона представлена чередованием зон полной/частичной видимости излучающих антенн, зон радиотени и переходных участков. В пределах открытой территории парковой зоны, в условиях переменной видимости антенн, пространственная неоднородность ЭМП 100 МГц с колебаниями поля менее 5 дБ составляла 80 – 200 м, снижаясь при наличии отдельных строений до 60 – 100 м. В условиях плотной многоэтажной застройки протяженность участков с колебаниями поля менее пяти децибел составляла от 30 – 50 до 70 – 100 м. Суммарный перепад интенсивности радиосигнала (разница между максимальным и минимальным зафиксированным значениями) в пределах микрорайона составил 58,2 дБ.

Ослабление радиосигнала многоэтажными кирпичными и железобетонными зданиями при близком к нормальному падению электромагнитных волн на их боковые поверхности составило в среднем около 15 дБ, при этом за наиболее протяженными зданиями формировались зоны радиотени размерами до 150 – 250 м. Изучение вертикальной

---

<sup>6</sup> СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 22 с.

структуры электромагнитного поля выявило возрастание интенсивности радиосигнала в 8 – 9 раз на верхних этажах зданий при ориентации оконных проемов на источник излучения.

Сравнение экспериментальных данных о распределении ЭМП 100 МГц и соответствующих расчетов (отдельно для каждой из частот) позволило произвести оценку среднеквадратической точности прогноза уровня электромагнитного поля 100 МГц, выполненного с использованием адаптированной пространственной модели городского района и набора модулей расширения ГИС ArcView.

Оценка показала, что среднеквадратическая ошибка прогноза составила 8,5 дБ для обоих частот на расстояниях 50 – 950 м от передатчика, что хорошо согласуется с литературными данными. При этом в формирование уровня электромагнитного поля в подавляющем большинстве точек измерения вносило 2 или более лучей. Общее количество рассчитанных траекторий при условии однократного отражения луча от земли или здания составило 790 лучей для 447 точек измерений, рис 4.

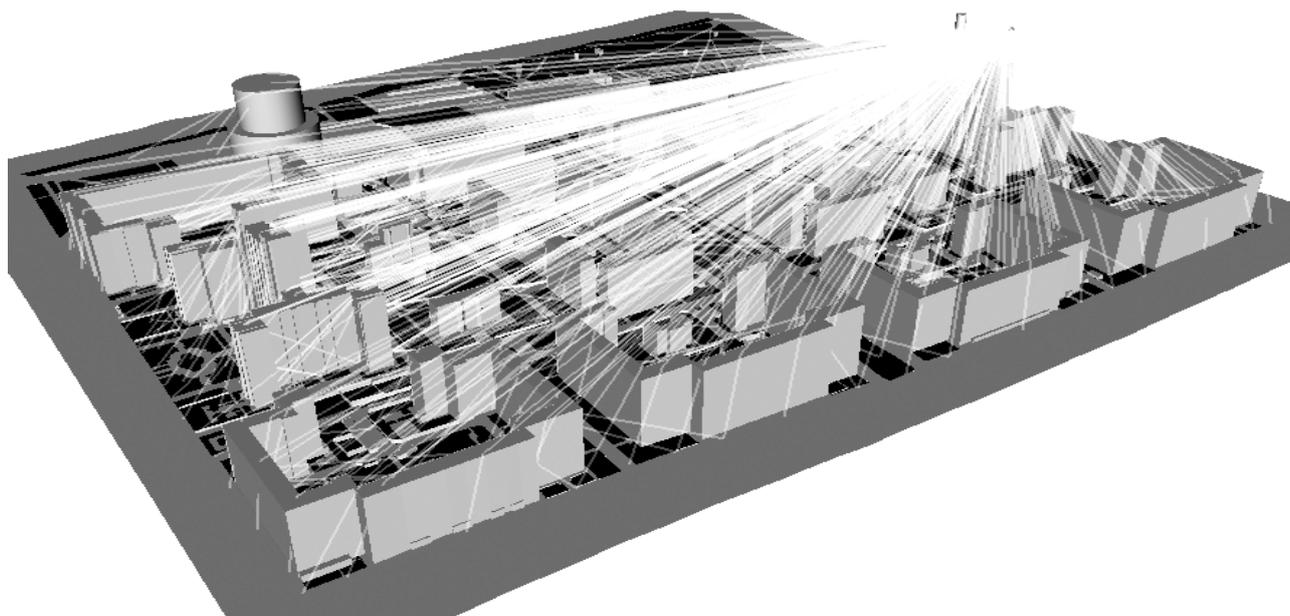


Рис. 4. Трехмерное отображение траекторий распространения ЭМП 100 МГц (для одного из FM передатчиков) для 447 точек измерения в пределах городского микрорайона.

Также была произведена оценка точности прогноза уровня ЭМП 100 МГц при различных локальных условиях распространения радиоволн путем сравнения с экспериментальными данными на соответствующих участках местности.

В условиях радиотени (при преобладании дифракционных процессов) среднеквадратическая ошибка составила 3 – 4 дБ, в зонах полной/частичной оптической

видимости передатчиков – 5 – 7 дБ, в зоне преобладания процессов отражения электромагнитных волн она увеличивалась до 7 – 9 дБ.

Снижение точности прогноза уровня электромагнитного поля в условиях оптической видимости излучателя происходит из-за нерегулярности диаграммы направленности реальных антенны, а при преобладании процессов отражения из-за недостатка данных о характеристиках и неучета мелких деталей отражающих поверхностей. На рис. 5 приведено трехмерное отображение проникновения радиосигнала в зону радиотени за счет дифракционных эффектов.

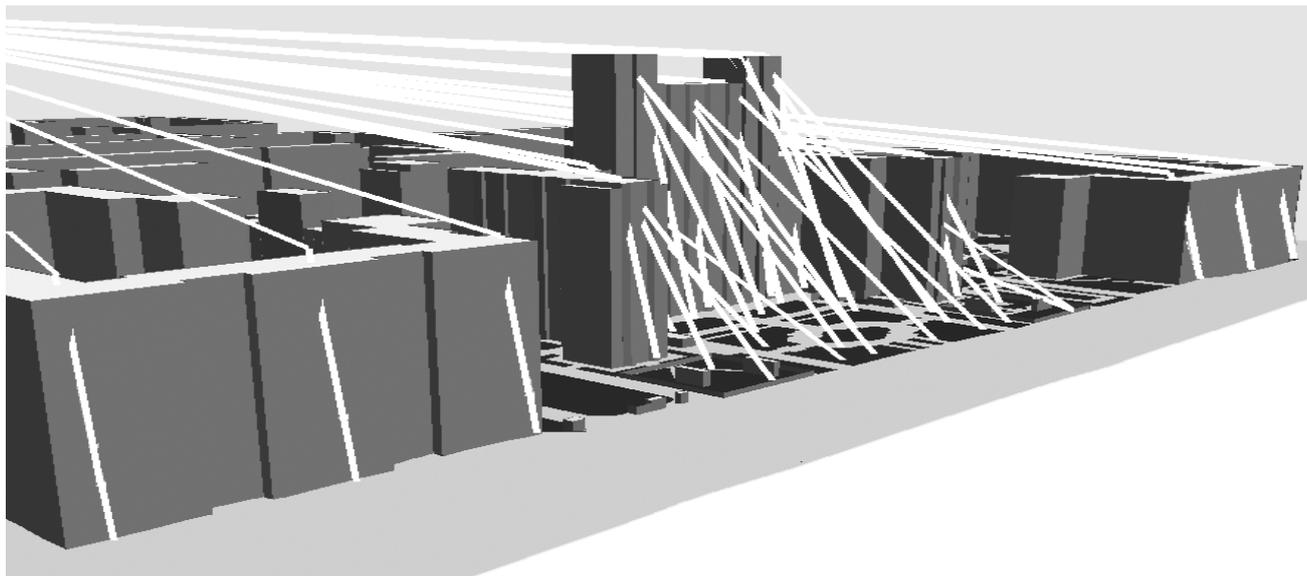


Рис. 5. Проникновение радиосигнала 100 МГц в зону радиотени за счет дифракционных процессов (среднеквадратическая ошибка прогноза уровня поля 3 – 4 дБ).

Приведенная оценка точности прогноза уровня электромагнитного поля, использующего геометрооптическое приближение, показала, что для электромагнитного загрязнения в диапазоне 100 – 300 МГц возможна реализация процедуры прогнозирования местоположения и анализа причин возникновения экологически неблагоприятных зон, в том числе в условиях многокомпонентной локально-неоднородной городской среды. При этом целесообразно использование функциональных возможностей ГИС ArcView для преобразования пространственно - координированных данных, специализированных модулей расширения ГИС, а также функций двух- и трехмерной визуализации результатов расчетов данного приложения. Время необходимое для проведения радиофизических расчетов с использованием разработанного программного обеспечения на персональной ЭВМ класса Pentium IV не превышает 2 – 4 минут при количестве обрабатываемых точек приема радиосигнала в диапазоне 50 – 450 единиц.

*Радиационно-экологическое обследование микрорайона* показало, что в целом радиационная обстановка соответствует санитарно-гигиеническим нормативам, но выявлен

ряд пространственных вариаций радиационного фона. Протяженность участков с постоянным гамма-фоном (с колебаниями менее 2 мкР/ч) на открытой местности составляла в среднем 50 – 100 м, а на застроенных участках 20 – 70 м. Повышенный радиационный фон из-за засыпки территории гранитной крошкой фиксировался на участках протяженностью 25 – 30 м. Вблизи здания с отделкой первых этажей массивом гранита размеры радиационных аномалий составляли 5 – 15 м, при этом максимальные уровни гамма фона вблизи гранитных поверхностей более чем в 3,5 раза превышали естественный природный фон территории.

*Акустико-экологическое исследование микрорайона* показало, что предельно-допустимые уровни шума превышаются на 30 % территории на расстояниях до 10 – 15 м от автомагистралей при ослаблении шума застройкой и до 50 – 150 м при проникновении шума вглубь квартала вдоль относительно открытых участков и внутриквартальной дорожной сети, при этом перепады уровней звукового давления на указанных расстояниях составляли 15 – 20 дБ и более. Для внутриквартальных территорий превышения предельно-допустимых уровней шума не выявлено. Размер участков в пределах которых уровень шума изменялся на величину менее 5 дБ для дворовых территорий, расположенных вдоль автотрасс, колебался в пределах 80 – 140 м, а для удаленных центральных частей микрорайона от 180 до 250 м.

*Радиационно-экологическое обследование и анализ электромагнитной обстановки* (по магнитному полю промышленной частоты) в условиях непромышленных помещений проводились на примере одного из этажей музея Землеведения МГУ. При изучении радиационной обстановки в экспозиционных залах музея были выявлены участки повышенного радиационного фона вблизи ряда экспонатов минералогической коллекции протяженностью от 0,5 – 1 м до 2 – 4 м, при этом протяженность участков с фоновыми уровнями гамма-фона составила от 5 – 8 м до 10 – 15 м. Анализ электромагнитной обстановки (на примере магнитного поля 50 Гц) показал, что индукция магнитного поля превышала величину 0,25 мкТл в радиусе 1,5 – 4 м от электротехнического оборудования и оргтехники, а размеры участков с фоновыми уровнями электромагнитного загрязнения (0,1 – 0,05 мкТл и менее) составляли от 3 – 4 м до 5 – 7 м.

Для изучения *пространственной структуры ЭМП радиочастотного диапазона в помещениях* была экспериментально изучена структура электромагнитного поля 100 МГц в условиях проникновения радиосигнала сквозь оконный проем (под углом 25° относительно нормали к поверхности окна). Измерения проводились в одной из учебных аудиторий физического факультета МГУ (площадью около 50 м<sup>2</sup>) в условиях прямой оптической видимости передающих антенн FM передатчиков на высоте 1 м от пола, рис. 6.

Эксперимент показал, что перепад интенсивности FM радиосигналов в пределах помещения составил в среднем 16,8 дБ (около 7 раз) для двух частот на которых

производились измерения. Размер пространственных неоднородностей ЭМП с колебаниями поля менее 5 дБ составил от 0,8 – 1,5 м до 3 – 5 м, при этом участки с максимальным уровнем радиосигнала были зафиксированы не только вблизи окон, через которые происходит проникновение радиосигнала, но и в глубине помещения на расстоянии до 6 м от окон. Зоны минимумов поля в большинстве случаев располагались по периметру помещения, имея в плане вытянутую форму и размеры около 0,8 – 1,5 м.

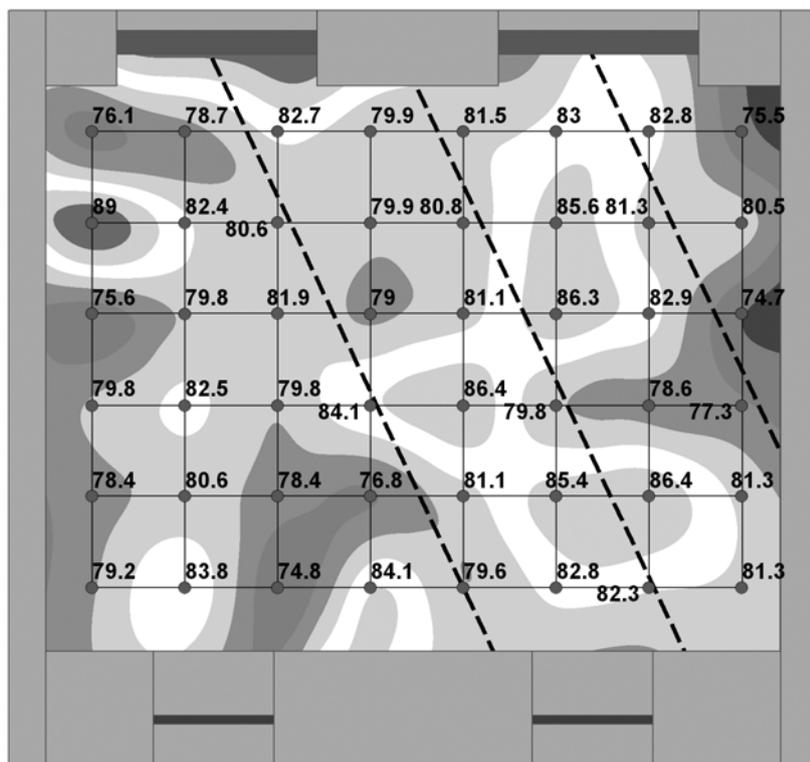


Рис. 6. Пространственное распределение интенсивности FM радиосигнала в пределах помещения; для точек измерений подписан результат в дБмкВ (максимальный перепад интенсивности для приведенной на рисунке частоты 14,4 дБ); цветом показано изменение величины поля на 2,5 дБ; черным пунктиром показаны визирные линии на передатчик, проходящие через центры окон и простенка между окнами; шаг сетки измерений 1 метр.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований подтвердил основные оценки масштабов пространственной неоднородности основных физико-экологических факторов, определил требования к масштабам экологических цифровых проблемно-ориентированных моделей местности количественно соответствующие требованиям (по полноте информации и структуре данных) предъявляемым к стандартным масштабам 1:10 000 – 1:2 000 и крупнее. А для электромагнитного загрязнения в радиочастотном диапазоне в условиях городской среды обеспечил проведение объективной оценки точности прогноза уровня электромагнитного поля 100 МГц.

**В приложении № 1** приводятся данные об электродинамических характеристиках (относительной диэлектрической проницаемости, электропроводности и тангенсе угла потерь) для основных природных и антропогенных сред – почво-грунтов и строительных материалов, а также данные об удельном ослаблении различными материалами и грунтами электромагнитных излучений на разных частотах.

**В приложении № 2** приводятся сведения о районе проведения экспериментальных исследований (физико-экологического мониторинга), включающие как общее описание

географического положения городского микрорайона, так и его природные характеристики (геологические, геоморфологические, климатические и ландшафтные условия).

**В приложении № 3** приводится описание основных способов адаптации цифровых пространственно-координированных (картографических) данных для использования в задачах физического моделирования. Рассмотрены процедуры обеспечения пространственной согласованности и корректности данных и создания комплексного метрико-семантического описания.

**В приложении № 4** приведено описание использовавшейся методики проведения физико-экологических измерений на местности (величины ЭМП 100 МГц, радиационного фона и уровней акустического шума), а также дано описание тактико-технических характеристик использовавшейся в ходе практических изысканий измерительной аппаратуры.

**В приложении № 5** приведены основные положения действующих в РФ нормативных и руководящих документов санитарно-гигиенического нормирования физико-экологических факторов – ионизирующих излучений, шумового загрязнения и электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) и радиочастотного диапазона (30 кГц – 300 ГГц).

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований показал, что
  - ❖ минимально необходимое пространственное разрешение объективного экологического мониторинга урбанизированных сред составляет 30 – 50 м для городских территорий, а для помещений 1 – 2 м и менее.
  - ❖ в условиях высокой пространственной неоднородности экологических факторов целесообразно использование высоко детализированного пространственно – привязанного цифрового описания химических, физических и иных экологических факторов
  - ❖ реализация процедур прогнозирования экологической обстановки может быть осуществлена с применением цифровых проблемно-ориентированных моделей окружающей среды, в отношении которых проведены необходимые процедуры адаптации и сопряженных со специализированным программным обеспечением
2. Предложен и реализован метод прогнозирования пространственного распределения электромагнитного поля в диапазоне частот 100 – 300 МГц в условиях города, использующий геометрооптическое приближение и обеспечивающий пространственное разрешение от  $n \times 10$  м до 1 – 2 метров и менее. При этом применялись:

- ❖ оригинальные методы адаптации трехмерных цифровых проблемно-ориентированных моделей местности, основанные на формировании объектно-ориентированной, цельной и топологически – определенной структуры в массивах цифровых пространственно – координированных данных
  - ❖ встроенные средства программирования, функции пространственного анализа и трехмерной визуализации данных геоинформационной системы ArcView
3. Экспериментальное изучение пространственной неоднородности ЭМП 100 МГц на территории жилого микрорайона г. Москвы площадью 1 км<sup>2</sup>, проведенное со степенью детализации от 30 – 50 до 5 – 15 м (447 точек измерений), позволило оценить среднеквадратическую точность прогноза интенсивности электромагнитного поля, которая показала хорошее совпадение с литературными данными и составила:
- ❖ 3-4 дБ в зонах радиотени, при преобладании дифракционных процессов
  - ❖ 5-7 дБ в зонах полной/частичной оптической видимости передатчиков
  - ❖ 7-9 дБ в зоне преобладания процессов отражения электромагнитных волн
4. Экспериментальные исследования показали, что пространственное распределение ЭМП 100 МГц на территории микрорайона представлено чередованием зон полной/частичной видимости излучающих антенн, зон радиотени и переходных участков, для которых характерно наличие перепадов поля с амплитудой более 5 дБ на расстояниях:
- ❖ 80 – 200 м для открытых участков местности
  - ❖ 30 – 50 м для территории с плотной многоэтажной застройкой, а также
  - ❖ наличие зон резких перепадов (до 15 – 20 дБ) поля на расстояниях 10 – 15 м в зонах перехода радиотень/оптическая видимость антенн и уровень земли/8 – 14 этажи зданий
5. Изучение пространственной неоднородности электромагнитного поля 100 МГц в условиях его проникновения сквозь оконный проем показали:
- ❖ размер пространственных неоднородностей с колебаниями поля менее 5 дБ преимущественно составлял от 0,8 – 1,5 м до 3 – 5 м
  - ❖ участки с максимальным уровнем радиосигнала были зафиксированы не только вблизи окон, но и в глубине помещения на расстоянии до 5 – 6 м от окон
  - ❖ зоны минимумов поля располагались по периметру помещения, имея в плане вытянутую форму и размеры около 0,8 – 1,5 м

6. Результаты радиационно-экологического обследования микрорайона показали, что в целом радиационная обстановка соответствует санитарно-гигиеническим нормативам – не превышен уровень 60 мкР/ч, но был выявлен ряд пространственных вариаций радиационного фона:
- ❖ протяженность участков с постоянным гамма-фоном с колебаниями менее 2 мкР/ч на открытой местности составила в среднем 50 – 100 м; на застроенных участках 20 – 70 м
  - ❖ вблизи гранитной отделки зданий размеры радиационных аномалий составляли 5 – 15 м, а величина гамма фона была в 1,5 – 3,5 раза выше естественного
7. Результаты акустико-экологического обследования микрорайона показали, что предельно-допустимый уровень шума (55 дБА) превышает на 30 % площади микрорайона на участках:
- ❖ до 10 – 15 м от автомагистралей при ослаблении шума застройкой
  - ❖ до 50 – 150 м при проникновении шума вглубь квартала вдоль открытых участков
  - ❖ перепады уровней звукового давления на указанных расстояниях составили 15 – 20 дБ и более
8. Полученные результаты позволяют создавать инвариантные относительно специфики конкретных задач экологические проблемно-ориентированные цифровые модели окружающей среды, обеспечивающие проведение как объективной оценки точности прогноза, так и причин возникновения экологически неблагоприятных зон в задачах факториальной экологии, экологии человека, комплексного анализа взаимодействия человеческого общества со средой обитания и других смежных задачах.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Сухоруков А.П., Дудов Р.А., Королев А.Ф., **Потапов А.А.**, Турчанинов А.В. Квазиоптические методы в задачах моделирования распространения радиоволн вдоль поверхности Земли //Нелинейный мир. – 2005. – № 1-2. – Т. 3. – С. 107 – 115.
2. Королев А.Ф., Краснушкин А.В., **Потапов А.А.**, Турчанинов А.В. Возможности геоинформационных технологий в анализе больших объемов слабоструктурированной физико-экологической информации //Наукоемкие технологии. – 2005. – № 1. – Т. 6. – С. 42 – 47.
3. Воробьева Т.А., Краснушкин А.В., **Потапов А.А.** Изучение и картографирование физического загрязнения городской среды //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2005. – № 4. – С. 35 – 39.
4. **Потапов А.А.** Система ArcGIS в задачах комплексного физико-экологического обследования помещений //ArcReview – 2004. – № 4 (31). – С. 13.
5. Краснушкин А.В., Денисенко О.В., Марголина И.Л., **Потапов А.А.** Экология жилища – новое направление в геоэкологии и природопользовании //География, общество, окружающая среда. Том III: Природные ресурсы, их использование и охрана /Под ред. проф. А.Н. Геннадиева и чл.-корр. РАН Д.А. Кривошукского. М.: "Издательский дом "Городец", 2004. – С. 117 – 122.
6. **Потапов А.А.** Пространственная неоднородность физического загрязнения как экологически значимый фактор. Препринт. М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006. – 54 с.
7. **Потапов А. А.** Применение ГИС в физико-экологическом мониторинге помещений //Тезисы докладов четвертой всероссийской научной конференции "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)". М.: МГУ, 2004 – С. 206 – 207.
8. Краснушкин А.В., **Потапов А.А.** Учебный физико-экологический практикум //Тезисы докладов четвертой всероссийской научной конференции "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)". М.: МГУ, 2004 – С. 227 – 228.
9. **Потапов А.А.** Электромагнитная безопасность населения, проживающего в непосредственной близости от ЛЭП, на примере ЮЗАО г. Москвы //Сборник тезисов докладов по материалам Международной конференции студентов и аспирантов по

- фундаментальным наукам "Ломоносов – 2001", секция Географии /Отв. редактор доц. А.Н. Иванов. М.: МГУ, 2001 – С. 97.
10. **Потапов А.А.** Изучение физико-экологических факторов в пределах типичного жилого микрорайона на территории ЮЗАО г. Москвы //Сборник тезисов докладов по материалам XI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов – 2004", секция Географии /Отв. редактор доц. А.Н. Иванов. М.: МГУ, 2004 – С. 105.
11. **Потапов А.А.** Физико-экологическое обследование жилых и общественных зданий с применением геоинформационных технологий (на примере Музея Землеведения МГУ) //Материалы секции музееведения конференции "Ломоносовские чтения"/Под редакцией С.А. Ушакова, И.А. Ванчурова, В.Г. Ходецкого. М.: МГУ, 2004 – С. 44 – 45.

Подписано к печати 08.09.2006

Тираж 120 экз. Заказ № 133

Отпечатано в отделе оперативной печати  
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова