

На правах рукописи

ПЕТРОВА Надежда Петровна

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ
ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Специальность 05.13.06 –

Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (промышленность)

Специальность 05.25.05 –

Информационные системы и процессы, правовые аспекты информатики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2004

Работа выполнена на кафедре «Природопользование и защита окружающей среды» Тамбовского государственного технического университета.

**Научный руководи-
тель**

Заслуженный работник высшей
школы РФ, доктор технических на-
ук, профессор

Попов Николай Сергеевич

**Официальные оппо-
ненты:**

доктор технических наук, профес-
сор

Романов Алексей Александрович;

Заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Муromцев Юрий Леонидович

Ведущая организация ЦЧФ ФГУП «Госземкадастръемка»
г. Воронеж

Защита диссертации состоится 27 декабря 2004 г. в ____ ч на заседании диссертационного совета Д 212. 260. 01 в Тамбовском государственном техническом университете по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, Большой актовый зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212. 260. 01.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392032 г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Б.

Автореферат разослан « ____ » ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 25.11.04
Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 826

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В последние годы создание и развитие Государственной системы экологического мониторинга и менеджмента на территории Российской Федерации выдвигается на одно из первых мест среди проблем, связанных с охраной окружающей среды и рациональным природопользованием. Такое положение дел объясняется следующими важными обстоятельствами. Во-первых, необходимостью реализации Концепции перехода России к устойчивому развитию. При этом социально-экономическая и экологическая информация, отражающая состояние субъектов РФ через согласованные массивы данных, показатели и индексы являются основой для успешного планирования и принятия решений в масштабах всего государства.

Во-вторых, региональная экономика в условиях формирования рыночных отношений становится все более самостоятельной в вопросах потребления природных ресурсов, в связи с чем Управления по охране окружающей среды и природопользованию в субъектах РФ вынуждены не только контролировать состояние техногенных систем, но и разрабатывать экологически обоснованную стратегию комплексного освоения природно-ресурсного потенциала территорий. Для этого также необходимы информационные системы поддержки принятия решений (СППР), содержащие базы данных, математические модели, диалоговые и графические интерфейсы, средства анализа информации и т.п.

В-третьих, стремительное развитие в нашей стране информационных технологий, использующих персональные компьютеры, локальные и глобальные сети передачи данных, геоинформационные системы (ГИС), теорию искусственного интеллекта и многое другое, создает потенциальную возможность для внедрения информационных систем поддержки принятия решений в сфере экологического менеджмента.

Создание информационно-аналитического обеспечения процесса принятия управленческих решений в указанной сфере деятельности представляется весьма сложной научной задачей. Разработке теории и методов экологического менеджмента посвящены работы академика В.В. Кафарова, профессоров: И.Н. Дорохова, Л.С. Гордеева, В.И. Бодрова, Ю.Л. Муромцева, В.Л. Перова, А.Ф. Егорова, В.Н. Смирнова и других. Объекты экологического менеджмента (такие как воздушный или водный бассейны в совокупности с промышленными предприятиями, или системы сбора и переработки твердых отходов) по своей сути являются социотехническими, состоящими не только из физических элементов, но и социальных, обладающих тесными связями с обществом и постоянно реагирующих на его требования. Кроме того, региональные экосистемы остаются малоизученными из-за отсутствия автоматизированных систем сбора данных, средств на проведение комплексных исследований, а также квалифицированных специалистов по планированию устойчивого развития территорий. Особо следует отметить и отсутствие научно обоснованных методов проектирования систем поддержки принятия решений в экологии. Данная отрасль знаний, ввиду сложности объектов исследования и многообразия решаемых задач, сегодня находится в стадии динамичного развития. Отсюда и очевидна ее важность для народного хозяйства страны.

Работа выполнялась в соответствии с постановлением и законом Тамбовской области «О природных ресурсах и природопользовании» и положением «О территориальной системе экологического мониторинга Тамбовской области», утвержденным постановлением администрации области от 29.08.97 № 529.

Целью работы является проектирование информационной системы поддержки принятия решений в административных органах управления природопользованием на базе геоинформационных технологий, разработка теоретических и прикладных методов решения природоохранных задач, связанных с управлением качественным состоянием воздушного бассейна в промышленно развитых центрах.

Задачи. Для достижения указанных целей решаются следующие задачи исследования:

- анализа состояния проблемы экологического менеджмента в нашей стране и за рубежом и изучения возможности применения современных информационных технологий при разработке систем поддержки принятия решений;
- определения категорий «типовых» задач экологического менеджмента и их постановки в математической форме;

- формализации нового класса ресурсно-техногенных или природо-промышленных систем (ППС) в целях математического моделирования и имитационного исследования экологических проблем;
- выбора принципов и технологии автоматизированного проектирования систем поддержки принятия решений в сфере природопользования и охраны воздушного бассейна;
- апробации разработанных теоретических положений и программных средств экологического менеджмента в условиях Тамбовской ППС.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования является Тамбовская природо-промышленная система, в состав которой вошли промышленные предприятия с источниками пылегазообразных выбросов, воздушный бассейн и слой почвы, накапливающий вредные вещества. Предметом исследования является информационная система поддержки принятия решений в экологическом менеджменте субъекта Российской Федерации.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, теории информационных систем и процессов, теории принятия решений, имитационного и натурального экспериментов.

Научная новизна. Разработано формализованное описание класса ресурсно-техногенных систем на теоретико-множественной основе и предложена методика их исследования как объектов экологического менеджмента.

Сформулированы математические постановки «типовых» задач управления природопользованием и защитой окружающей среды от загрязнений.

Предложена последовательность альтернативных задач оптимального планирования нормативов выбросов из стационарных промышленных источников в детерминированном и вероятностном вариантах, а также в условиях купли-продажи прав на загрязнения.

Разработаны алгоритмы «централизованного» и «децентрализованного» решения воздухоохраных задач с использованием расчетных фоновых концентраций.

Сформулированы принципы построения информационной системы поддержки принятия решений в природопользовании.

Разработан метод выбора постов контроля для автоматизированной системы мониторинга воздушного бассейна.

Выявлены зоны повышенного содержания в почве г. Тамбова тяжелых металлов и их взаимосвязь с ростом детской заболеваемости.

Практическая значимость. Создан программный комплекс информационно-аналитической системы поддержки принятия решений в территориальных органах управления природопользованием и защиты окружающей среды, включающий базы данных по предприятиям, источникам загрязнений, типам примесей, а также электронные карты местности и пользовательский интерфейс.

Решены следующие задачи по защите воздушного бассейна г. Тамбова от промышленных загрязнений:

- установления нормативов ПДВ для стационарных промышленных источников загрязнения, с использованием предложенной методики расчета фоновых концентраций;
- оптимального выбора мест размещения постов контроля в системе мониторинга воздушного бассейна ППС;
- экспериментального геохимического обследования территории г. Тамбова на содержание в почве тяжелых металлов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1 Методика решения задач экологического менеджмента, возникающих в практике работы природоохранных органов и служб субъектов Российской Федерации.

2 Информационная система, обеспечивающая поддержку принятия решений с использованием ГИС-технологии, баз данных, расчетных модулей и интерфейса менеджера.

Апробация работы. Основные положения диссертации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах:

- IV региональной научно-технической конференции «Вопросы региональной экономики», Тамбов, 2000 г.;
- Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы малых городов», Елец, 2003 г.;
- Годичной научной конференции Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва, 2003 г.;

- X межрегиональной научно-технической конференции «Проблемы химии и химической технологии», Тамбов, 2003 г.;
- Межрегиональной научно-практической конференции «Природные ресурсы и учение В.И. Вернадского – основа устойчивого развития цивилизации», Тамбов, 2003 г.;
- на научных семинарах кафедры «Природопользование и защита окружающей среды» Тамбовского государственного технического университета.

Публикации Основные результаты диссертационной работы опубликованы в восьми печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Основная часть диссертации изложена на 159 страницах машинописного текста. Работа содержит 37 рисунков, 7 таблиц и 8 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность, научная новизна и практическая ценность результатов диссертационной работы. Сформулированы цели, основные направления исследования, результаты реализации работы.

Первая глава «Современное состояние информационных систем поддержки принятия решений в экологическом менеджменте», посвящена сравнительному анализу целей и задач управления объектами промышленного и природного происхождения. При этом промышленные объекты отнесены к разряду «продукто-ориентированных», а природные – к разряду «ресурсно-значимых». Данное различие определяет специфику экологического менеджмента.

Заинтересованность в использовании ресурсного потенциала природных объектов обычно проявляют пользователи с разными (иногда противоположными) интересами. Поэтому при ограничениях ресурсного потенциала возникают конфликты, устранение которых зависит не только от творческих способностей экологических менеджеров, но и наличия у них информационных средств поддержки управленческих решений.

Фактически ресурсные системы являются экосоциотехническими, что объясняет их очевидную сложность, недостаточную теоретическую изученность и указывает на необходимость проведения комплексных исследований природных объектов с техногенными, совместно образующими единую природо-промышленную систему.

Управление таким классом сложных распределенных систем требует больших объемов разнородной информации и соответствующего программно-технического обеспечения, т.е. наличия информационных систем (ИС) и процессов поддержки принятия решений. В экологии ИС должны обладать наборами баз данных, оптимизационными средствами, ГИС, возможностями компьютерной имитации и картографирования, графическими интерфейсами, средствами анализа и отображения результатов. При этом ведущей концепцией создания ИС в экологии является концепция «системного мышления», рассматривающая ресурсные системы как целостные.

Современная методология проектирования ИС тесно связана с особенностями интересующей предметной области и осуществляется при помощи CASE – средств (компьютерной поддержки разработки программного обеспечения). Конечным результатом разработки ИС становится программа на одном из распространенных языков программирования. В случаях проведения распределенных вычислений используется компонентная технология (CORBA, DCOM, Java), позволяющая сочетать объектно-ориентированные модели с логически или физически распределенной архитектурой вычислительных устройств.

Вторая глава «Системный подход в решении задач экологического менеджмента», посвящена применению методики системного анализа для исследования и описания ППС, разработки технологии поддержки принятия решений. Схема организации экологического менеджмента показана на рис. 1.

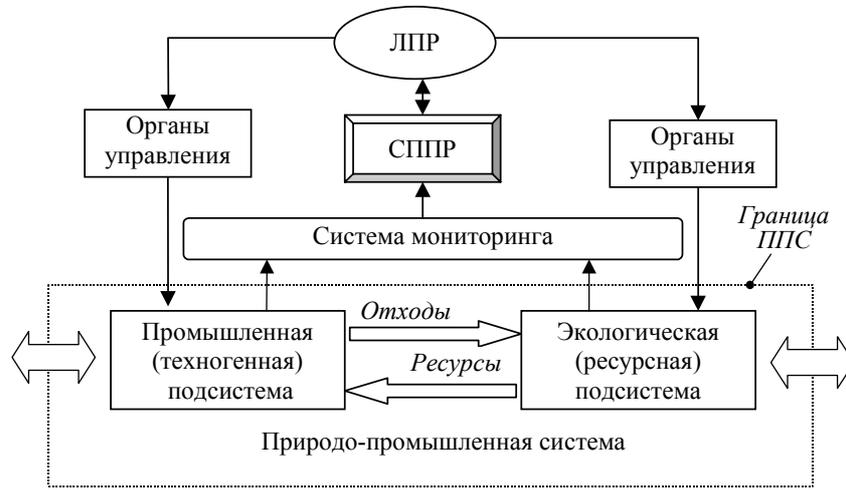


РИС. 1 СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ППС

Поскольку формализованное описание систем всегда обладает полезной общностью при постановке на их основе различных задач, представим ППС в виде отношения на декартовом произведении $S_{ппс} \subset (X_{п} \times X_{э}) \times (Y_{п} \times Y_{э})$, определяемого по формуле

$$S_{ппс} = \Omega(S_{п} \circ S_{э}),$$

где $S_{п}$ и $S_{э}$ – соответственно промышленная и экологическая подсистемы; $X_{п}$, $X_{э}$ и $Y_{п}$, $Y_{э}$ – множества их входных и выходных переменных; \circ и Ω – знаки операций прямого и обратного соединения подсистем. К характерным особенностям $S_{ппс}$ отнесено наличие вероятностных процессов, свойственных подсистеме $S_{э}$. В работе сформулированы понятия $S_{ппс}$, $S_{э}$, $S_{п}$, связей, элементов, контактов, носителей примесей и других категорий ППС, необходимых при моделировании.

Базируясь на описании данного класса систем предложена методика их исследования, состоящая из пяти этапов: концептуализации, спецификации, отображения, анализа и реализации (рис. 2). В основу информационного процесса поддержки принятия решений положен ряд принципов, отличающих экологический менеджмент от производственного. С учетом них математически поставлены типовые задачи управления ресурсопользованием и охраной окружающей среды. Спектр задач представлен в табл. 1.

Простейшую из них, задачу A , продемонстрируем в следующей постановке.



Будем считать, что математическая модель, адекватно отображающая процессы в ППС, может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} Y_{п} &= F_1(r_{п}, u_{п}, z_{y_{э}}^A, z_{y_{э}}^B); \\ Y_{э}^A &= \Phi_1(r_{э}, u_{э}, z_{y_{п}}^A, Y_{э}^B); \\ z_{y_{э}}^A &= \Phi_3(r_{э}, u_{э}, z_{y_{п}}^A, z_{y_{э}}^B); \\ z_{y_{п}} &= F_2(r_{п}, u_{п}, z_{y_{э}}^A, z_{y_{э}}^B); \\ Y_{э}^B &= \Phi_2(r_{э}, u_{э}, z_{y_{п}}^A, Y_{э}^A); \\ z_{y_{э}}^B &= \Phi_4(r_{э}, u_{э}, z_{y_{п}}^A, z_{y_{э}}^A), \end{aligned} \quad (1)$$

где $u_{э} \in U_{э}$, $r_{э} \in R_{э}$ – соответственно управляемые и наблюдаемые входные переменные в $S_{э}$; $u_{п} \in U_{п}$, $r_{п} \in R_{п}$ – управляемые и наблюдаемые входные переменные в $S_{п}$; $Y_{э}^A$, $Y_{э}^B$ – соответственно выходные абиотические и биотические переменные в $S_{э}$; $z_{y_{п}}$, $Y_{п}$ – выходные переменные в $S_{п}$; $z_{y_{э}}^A$, $z_{y_{э}}^B$ – выходные абиотические и биотические переменные в $S_{э}$, воздействующие на $S_{п}$.

Модель задачи	ХАРАКТЕРИСТИКА
A	Детерминированная, статическая
B	Детерминированная, динамическая
C	Вероятностная, статическая
D	Детерминированная, циклическая
E	Детерминированная, с гарантией экологической безопасности
F	Статическая, с возможным изменением структуры S_3
G	Динамическая, с возможным изменением структуры S_3
H	Динамическая, с возможным изменением структуры S_3 и гарантией экологической безопасности

Будем считать, что $u_3, r_3, u_{\Pi}, r_{\Pi}, Y_3^A, Y_3^B, z_{y_{\Pi}}, Y_{\Pi}, z_{y_3}^A, z_{y_3}^B$ принадлежат к конечномерным векторным евклидовым пространствам соответственно $U_3, R_3, U_{\Pi}, R_{\Pi}, Y_3^A, Y_3^B, Z_{y_{\Pi}}, Y_{\Pi}, z_{y_3}^A, z_{y_3}^B$. Будем полагать, что любого r_{Π} задана система планово-технологических требований, которую в общем виде можно представить так:

$$F(r_{\Pi}, Y_{\Pi}, u_{\Pi}) \geq 0, \quad (2)$$

$$G(z_{y_{\Pi}}) \geq 0, \quad (3)$$

где F и G – векторные функции; (2) – представляет собой ограничения на качество, плановый выпуск продукции и технико-экономические показатели производства; (3) – санитарно-экологические ограничения на выброс технологических отходов.

Также будем считать заданной систему ограничений и условий на экологические параметры (показатели): $H(Y_3^A, Y_3^B, r_3) \geq 0$ (4), где H – векторная функция. Пусть Q – целевая функция, определяемая отображением

$$Q: Y_{\Pi} \times U_{\Pi} \times R_{\Pi} \times Y_3^A \times Y_3^B \times U_3 \rightarrow \chi, \quad (5)$$

где χ – множество, в общем случае частично упорядоченное отношением « \geq ».

Наконец будем полагать, что управляющие воздействия u_{Π} и u_3 принадлежат некоторым замкнутым областям управления

$$u_{\Pi} \in U_{\Pi}(r_{\Pi}) \subseteq U_{\Pi}; \quad (6)$$

$$u_3 \in U_3(r_3) \subseteq U_3, \quad (7)$$

зависящим, в общем случае, от входных возмущений r_{Π} и r_3 соответственно.

Тогда задача A формулируется следующим образом. Для заданных r_{Π} и r_3 найти такие $u_{\Pi}^* \in U_{\Pi}(r_{\Pi}) \subseteq U_{\Pi}$ и $u_3^* \in U_3(r_3) \subseteq U_3$, при которых выполняются ограничения (2), (3), условия (1) и для всех $u_{\Pi} \in U_{\Pi}(r_{\Pi})$ и $u_3 \in U_3(r_3)$, при которых справедливы (2) – (4),

$$Q(Y_{\Pi}^*, u_{\Pi}^*, r_{\Pi}, Y_3^{*A}, Y_3^{*B}, u_3^*) \geq Q(Y_{\Pi}, u_{\Pi}, r_{\Pi}, Y_3^A, Y_3^B, u_3). \quad (8)$$

Данная задача управления ППС характеризуется наличием ограничений на экологические переменные (4), сложным видом статической модели (1), векторной целевой функцией (5), наличием вектора управляющих воздействий u_3 , действующих в S_3 . Другие постановки задач, именуемые в табл. 1 задачами B, C, ..., H, учитывают работу ППС в динамике, в условиях неопределенности состояний S_3 , при наличии сезонных факторов, циклических и структурных изменений, свойственных экологической подсистеме.

Все эти постановки задач не только очерчивают круг проблем интересующих экологического менеджера, но и предопределяют особенности разработки информационной системы поддержки принятия решений.

Третья глава «Информационная база системы поддержки принятия решений (СППР) в охране воздушного бассейна» посвящена методике проектирования проблемно-ориентированной информационной системы и процессов, способствующих эффективному решению экологических задач.

Данная методика базируется на принципах масштабируемости, расширяемости, интероперабельности и переносимости, свойственных открытым системам. Разработка ИС включала этап моделирования программной системы и этап ее реализации в конкретной программной среде.

При моделировании программной системы была использована методология структурного программирования, позволившая получить спецификацию формальных требований к программному обеспечению и архитектуру системы. На рис. 3 показан принцип работы различных категорий специалистов с СППР, а на рис. 4 – архитектурная организация программного комплекса.

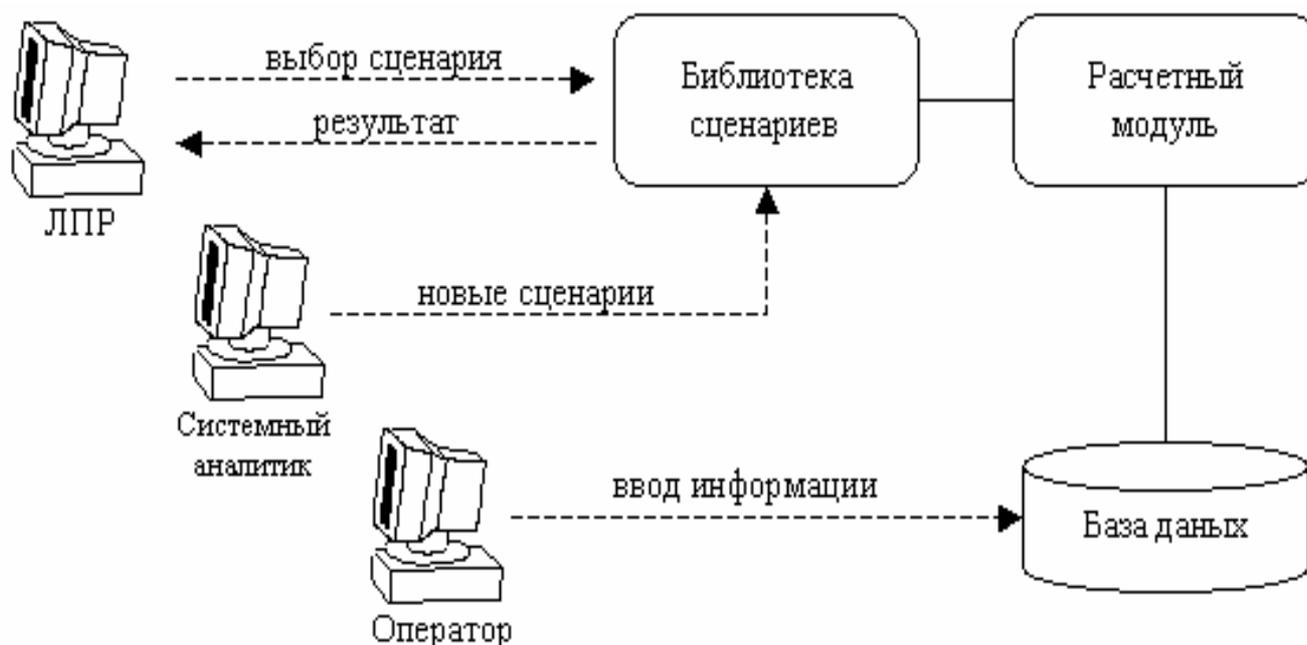


Рис. 3 Принцип работы ЛПР с СППР

Для получения альтернатив используется библиотека сценариев. В их основу положен расчетный модуль, представляющий собой программную реализацию базовых алгоритмов системы, например таких как расчет концентрационных полей от стационарных точечных источников. Необходимая для этого информация содержится в базе данных.

Топология программной системы (рис. 4) относится к типу «звезда», в которой все компоненты системы взаимодействуют с ее ядром (центральным компонентом). При создании ядра системы в качестве среды разработки была выбрана объектно-ориентированная среда разработки приложений Delphi. Для доступа к данным использована технология ADO, позволяющая с помощью OLE DB-провайдеров подключаться к различным источникам данных, например базам данных MS Access или серверам данных. Картографическая информация в части, непосредственно используемой ГИС Географ, хранится в собственном формате ГИС.

Для построения логической модели базы данных использованы возможности визуального построения схемы данных в MS Access. Фрагмент логической модели в виде ER-диаграмм показан на рис. 5.



Рис. 4 Структурная организация программного комплекса

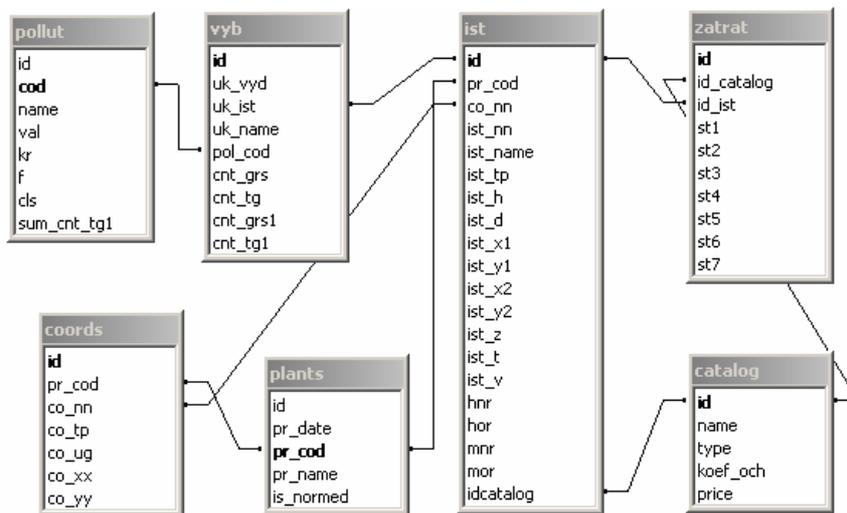


Рис. 5 Фрагмент логических связей БД

Клиентское приложение (автоматизированное рабочее место) реализовано в сфере быстрой разработки Delphi. Основной информационной единицей, с которой оно работает, является проект. После его вызова из БД MS Access в главном окне отображается информация, связанная с проектом. Отображение информации организовано в виде реестров (рис. 6).

Территориальная система экологического мониторинга Тамбовского промрайона, v.2.0.1

Проект Карточка Сервис

Предприятия
 Все
 Тамбов
 Строитель
 Бокино
 Примеси
 Все
 1 класс
 2 класс
 3 класс
 4 класс
 Прочие
 Расчеты
 Атлас
 Отчеты

Код	Наименование	Выбросы, т/г
1	ОАО "Пигмент"	250,30059552
2	ОАО Тамбоврезинаобтехника	248,868947
3	Тамбовская ТЭЦ	8752,90480000001
5	Тамбовское ПАТП	3,7382248
7	ТАЗРИ ТОО ТЭРМИТ	13,4761257
8	Завод Комсомолец	92,3759565599998
9	Эд подшипников скольжения	87,7830033
14	ТВРЗ	720,322298500001
15	АООТ Тамбоврыба	23,87819023
16	Тамбовские эл. сети	9,6669165
18	Тамбов НИХИ	0,946076
19	МПУ Водоканал	6,75686810789999
20	АО ЖБИ-2	151,7327851
24	Училище химзащиты	14,72742447
25	ПТК Камаз	39,14647784
26	АО "Волгоградпромжелстройтранс	0,49402686
27	Технооборудование	27,7146149
28	МУП пассажирских перевозок	3,6425402
29	ЗО1 АРЗ МО ВФ	18,33075
32	Завод Полимермаш	69,9535

Рис. 6 Состояние экрана с записями предприятий

В числе стандартных возможностей ИС: расчет концентрационных полей при фиксированной скорости и направлении ветра, расчет фоновых концентраций для нового предприятия и расчет, обеспечивающий процедуру нормализации выбросов от стационарных источников.

Пример расчета поля концентраций показан в левой части рис. 7.

Фиксированная скорость и направление ветра

Предприятие: ТВРЗ

Все предприятия Исключить предприятие

Примесь: Ангидрид сернистый (Серый диоксид)

Скорость ветра Средняя макс. температура июля

Направление ветра Коэффициент стратификации

Коэффициент рельефа

Учитывать коэффициент фона (0,4)

Рис. 7 Пример расчета поля концентраций

Система формирования отчетов построена на основе COM-технологии компании Microsoft. Табличные данные о концентрационных полях выводятся в Excel, а отчеты – в Word. Для автоматизированного приема информации от предприятий предусмотрена возможность импорта данных из внешних источников.

Четвертая глава «Реализация информационной системы для решения задач экологического менеджмента» посвящена использованию СППР в работе территориального органа управления по охране окружающей среды и природопользованию.

К важнейшим практическим задачам отнесена задача нормирования выбросов из стационарных источников загрязнения воздуха. И поскольку известная методика ее решения не фокусирует внимание пользователей на необходимости минимизации затрат, учете вероятностных факторов и исполь-

зовании рыночных способов достижения ПДВ (таких как купля-продажа прав на загрязнение), в СППР реализована серия альтернативных оптимизационных задач (сценариев). В диссертации обсуждаются качественные особенности получаемых решений и разрабатывается алгоритм поиска минимальных по стоимости воздухоохраных мероприятий.

Одна из задач решалась в следующей вероятностной постановке. Найти среднее значение нормативов выбросов

$$\bar{Q}_{ij}^* = \arg \min_{Q_{ij}} \sum_{i=1}^N I_i(Q_{ij}), \quad (9)$$

при условии выполнения плановых заданий производства

$$\Pi_i = \Pi_{\text{зад}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (10)$$

уравнениях связи

$$C_{ij}(x, y) = f_i(Q_{ij}(\bar{\varepsilon}), M(\bar{\xi}), T(\bar{\eta}), S_1(x), S_2(x, y)), \quad (11)$$

и ограничениях:

$$Pr_1 \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J^v} C_{ij}(x, y) / C_j^{\text{lim cc}} \leq 1 \right\} > 1 - \beta^v, \quad v = \overline{1, v}, |J^v| \leq m, \quad (12)$$

$$Pr_2 \left\{ \left[C_j^{\text{lim cc}} - \left[\sum_{i=1}^N C_{ij}(x, y) + C_{j\phi}^{\text{cc}} \right] \right] > \alpha_j \right\} \geq 1 - \delta_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (13)$$

$$Pr_3 \left\{ \left[\varphi C_j^{\text{lim cc}} - \left[\sum_{i=1}^N C_{ij}(x, y) + C_{j\phi}^{\text{mp}} \right] \right] > \alpha_j \right\} \geq 1 - \gamma_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (14)$$

$$0 \leq x \leq X, \quad 0 \leq y \leq Y, \quad 0 \leq \bar{Q}_{ij} \leq \tilde{Q}_{ij}, \quad (15)$$

где $I_i(\bar{Q}_{ij})$ – затраты на очистку; $\bar{Q}_{ij} = E\{Q_{ij}(\bar{\varepsilon})\}$ – среднее значение выбросов; E – символ математического ожидания; $Pr_1 - Pr_3$ – символы вероятностей; $\bar{\varepsilon}$, $\bar{\xi}$ и $\bar{\eta}$ – векторы случайных воздействий; α_j – планируемый «запас» для неперевышения j – концентрацией ПДК ($\alpha_j > 0$); δ_j , β_j и γ_j – выбранные уровни экологической безопасности нормативов ПДВ; \bar{Q}_{ij}^* – среднее значение норматива ПДВ j -го вещества в i -м источнике; $C_{ij}(x, y)$ – концентрация j -й примеси в некоторой точке приземного слоя воздуха с координатами (x, y) , прогнозируемая от i -го источника по модели $f_i(\cdot)$; X, Y – соответственно длина и ширина территории, занимаемой рассматриваемой ППС; M – набор климатологических параметров ППС; T_i – набор технологических параметров, характеризующих условия истечения примесей из i -го источника; $C_j^{\text{lim cc}}$ – среднесуточное значение ПДК j -го вещества; $C_{j\phi}^{\text{cc}}$, $C_{j\phi}^{\text{mp}}$ – соответственно среднесуточные и максимально разовые значения фоновой концентрации j -й примеси; φ – коэффициент, показывающий во сколько раз ПДК разовая больше ПДК среднесуточной; $S_1(x)$ и $S_2(x, y)$ – функции, учитывающие ослабление действия источника выброса, по мере удаления от него; J^v – множество индексов загрязняющих веществ, образующих v -ю кумулятивную группу; $|\cdot|$ – мощность множества J^v .

Для решения данной задачи использовался метод Монте-Карло. Законы вероятностного изменения Q_{ij} , T_i и M определялись по материалам инвентаризации источников выбросов на предприятиях города. В расчетах использовался программный модуль, созданный по методике ОНД-86.

$$Pr\{\sum C_{ij}(x, y) - C_{j\phi} < C_j^{\text{lim}}\}$$

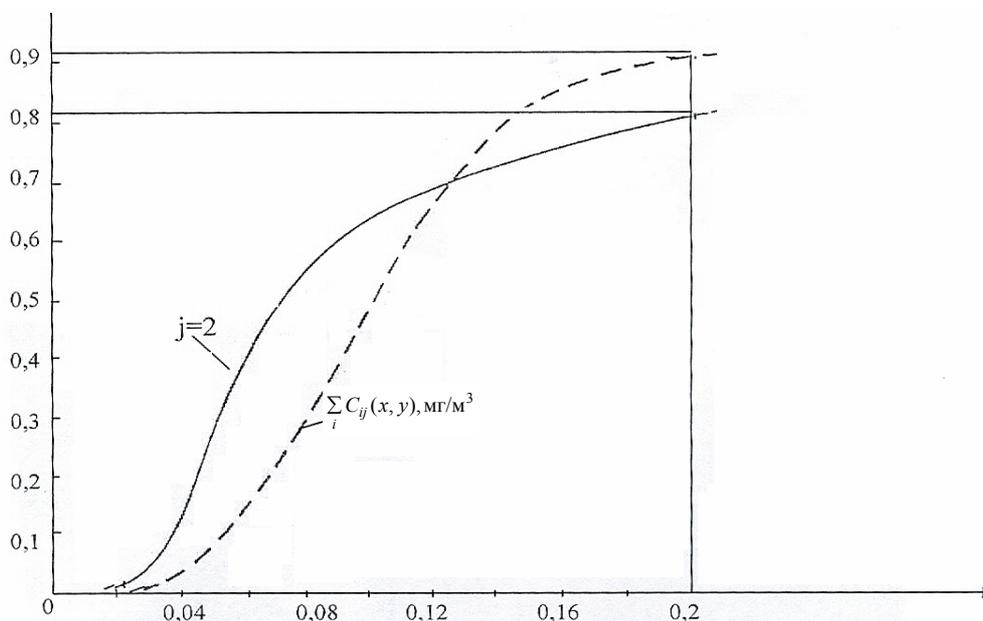


Рис. 8 Оценка уровней экологической безопасности нормативных выбросов веществ в Тамбовской ППС, не обладающих эффектами совместного действия в атмосфере

Оценка уровней экологической безопасности нормативных выбросов производилась для веществ обладающих и не обладающих эффектами совместного действия в атмосфере. Аппроксимирующие функции распределения для концентраций аммиака и хлористого водорода с ПДК равным $0,2 \text{ мг/м}^3$, показаны на рис. 8. Вероятность непревышения ПДК здесь оценивается величинами 0,93 и 0,83 соответственно.

В связи с приказом Госкомэкологии № 66 от 16.02.99 г. «О применении системы сводных расчетов при нормировании выбросов», в СППР предложен метод, позволяющий в задачах планирования нормативов ПДВ использовать расчетные значения фоновых концентраций $C_j^{\text{lim cc}}$ взамен экспериментальных. На практике данный метод можно использовать в централизованном и децентрализованном вариантах расчета нормативов выбросов. Рабочие примеры решенных задач показаны в главе IV.

Другой важной задачей применения СППР являлась задача организации сети автоматизированного мониторинга загрязнения воздушного бассейна, в которой от правильного размещения постов контроля на территории города зависит достоверность всей получаемой информации. Выбор мест расположения постов контроля осуществлялся по результатам решения задачи, использующей идеи теории игр.

Пусть существует множество $V_i \in V$, $i = \overline{1, n}$, потенциально возможных вариантов размещения постов контроля состояний ППС S_j , $j = \overline{1, m}$, возникающих под действием метеоусловий. Тогда δ_{ij} – оценка, соответствующая варианту V_i при наличии состояния S_j , характеризующая эффективность данной позиции контроля в смысле получения информации об уровне загрязненности воздуха в городе.

Правила разумного выбора позиций контроля за «верхним», «средним» и «нижним» уровнями загрязненности представим в виде

$$V_o = \{V_{io} \mid V_{io} \in V \wedge \delta_{io} = \max_i \max_j \delta_{ij}\}, \quad (16)$$

$$V_o = \left\{V_{io} \mid V_{io} \in V \wedge \delta_{io} = \max \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \right) \right\}, \quad (17)$$

$$V_o = \left\{V_{io} \mid V_{io} \in V \wedge \delta_{io} = \max_i \min_j \delta_{ij} \right\}. \quad (18)$$

Для случая известных вероятностей q_j , характеризующих появление состояний S_j , правило выбора позиций контроля имеет вид

$$V_o = \left\{ V_{io} \mid V_{io} \in V \wedge \delta_{io} = \max_i \sum_{j=1}^m \delta_{ij} q_j \wedge \sum_{j=1}^m q_j = 1 \right\}. \quad (19)$$

Практическое решение задач (16) – (19) осуществлялось с использованием созданной информационной системы. Территория г. Тамбова размерами 16 км × 10 км разбивалась на ячейки размерами 360 м × 345 м, каждая из которых рассматривалась в виде варианта $V_i, i = \overline{1,1408}$. Состояния загрязненности ППС $S_j, j = \overline{1,8}$, определялись по восьми румбам направления ветра. В качестве δ_{ij} использован коэффициент вариации $\delta_{ij} = \sigma_{ij} / \mu_{ij} \cdot 100 \%$, где μ_{ij} – среднее значение концентраций примесей, попавших при расчете в i -ю ячейку при j -м направлении ветра, а σ_{ij} – их среднеквадратичное отклонение.

В результате проведенных расчетов оказалось, что каждое из правил (16) – (19) допускает несколько равноценных вариантов размещения постов контроля, поэтому окончательный отбор позиций зависел от ЛПР. Решение было найдено после совмещения предварительно отобранных по критериям (16) – (19) вариантов V_i и нахождения среди них нескольких «инвариантных». Именно эти позиции желательно использовать в системе мониторинга загрязнений воздушного бассейна. Результаты расчетов по критерию (18) показаны на рис. 9.

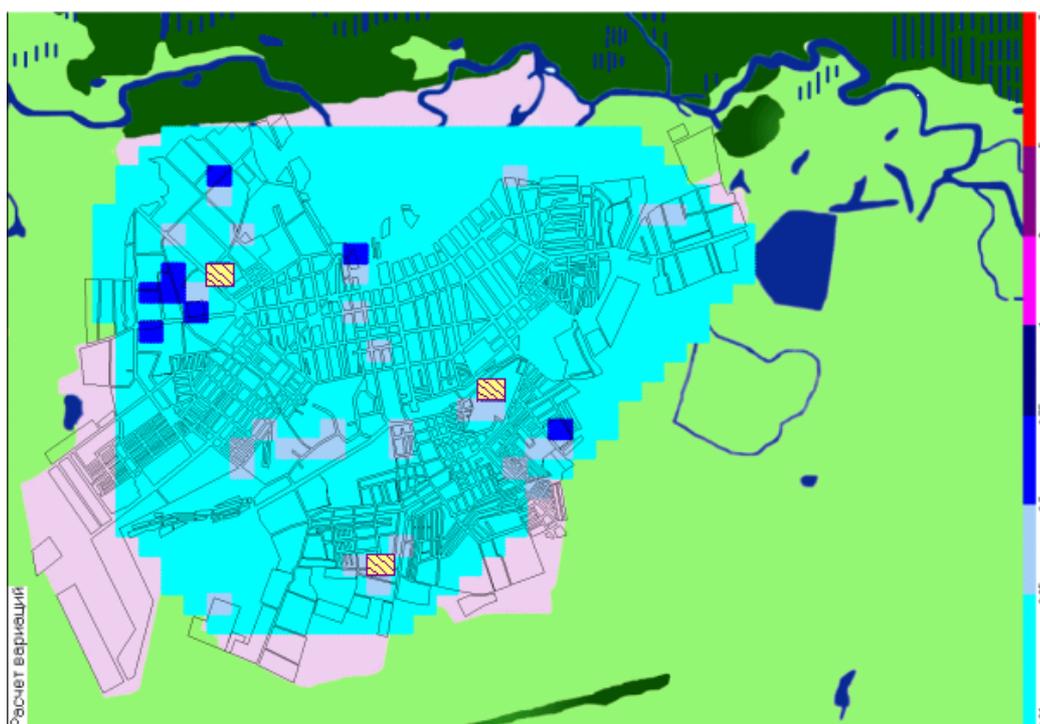


Рис. 9 Поле коэффициентов вариаций, рассчитанное по критерию (18)

▣ – оптимальные позиции контроля

Еще одна из задач практического применения ИС в экологическом менеджменте касалась зонирования территории г. Тамбова по степени экологической опасности, связанной с загрязнением почвы тяжелыми металлами: Zn, Cd, Ni, Co, Mn, Pb, Cu, Ag, Sr, Hg, Cr, Ba, Li, P, As, Mo. С поверхности земли было отобрано 170 проб, со средней плотностью ~ 1,7 пробы на 1 км². Исследования валового содержания металлов проводились по стандартным методикам на спектрофотометре С-115. Все полученные данные наносились на электронную карту местности, в результате чего было выявлено девять аномально высоких зон загрязнений.

Статистическая обработка данных по детской заболеваемости, полученных из отчетности городских поликлиник, позволила констатировать наличие значимых коэффициентов корреляции между различными группами заболеваний и установить связь заболеваний с содержанием металлов в почве.

Сам факт накопления металлов в почве объясняется первичным их появлением в отходящих газах ряда промышленных производств и последующим осаждением на территории города.

ОСНОВНОЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате выполненного исследования по проблеме создания информационно-аналитических систем в экологии теоретически обоснованы и экспериментально проверены идеи и методы, совокупность которых составляет научную основу экологического менеджмента территорий субъектов РФ, направленного на эффективное природопользование и защиту окружающей среды от загрязнений, и в связи с этим имеющего важное народнохозяйственное значение. Основными результатами работы являются следующие:

1 Вскрыты и обобщены характерные особенности нового класса «ресурсных систем», с учетом которых сформулированы принципы экологического менеджмента.

2 Научно обоснованы математические постановки важнейших классов задач оптимального планирования и управления ресурсными системами.

3 Разработаны теоретические основы и алгоритмы построения информационно-аналитических систем поддержки принятия решений в сфере охраны воздушного бассейна и рационального природопользования.

4 Создано прикладное программное обеспечение для централизованного решения задач в сфере экологии воздушного бассейна.

5 Приведены примеры решения задач планирования нормативов ПДВ с учетом расчетных значений фона и оптимального расположения постов контроля в системе мониторинга.

6 Проведено экспериментальное исследование загрязненности территории г. Тамбова тяжелыми металлами. Выявлены зоны с аномально высоким содержанием металлов.

7 Выявлены корреляционные связи между содержанием металлов в почве и детской заболеваемостью в городе.

8 Результаты научных исследований и созданная информационная система использованы в практике работы Управления по охране окружающей среды и природопользованию Тамбовской области, а также в преподавании курса «Управление охраной окружающей среды» в ТГТУ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1 Петрова Н.П. Нормирование предельно-допустимых выбросов предприятий / Н.П. Петрова, Н.С. Попов, А.А. Алексеев // Вестник ТГТУ / Тамбов, 2000. Т. 6, № 1. С. 110 – 113.

2 Петрова Н.П. Внедрение автоматизированной системы расчетного мониторинга атмосферного воздуха в г. Тамбове – первый этап создания региональной системы экологического мониторинга на территории Тамбовской области / Н.П. Петрова // Вопросы региональной экологии: Материалы IV регион. науч.-техн. конф., 22 – 23 июня 2000 г. Тамбов: ТГУ им. Г.Р. Державина, 2000. С. 68 – 70.

3 Алексеев А.А. Построение территориальной системы экологического мониторинга Тамбовского промрайона / А.А. Алексеев, Н.С. Попов, Н.П. Петрова // Труды ТГТУ. Технологические процессы и оборудование / Тамбов, 2000. Вып. 6. С. 90 – 92.

4 Попов Н.С. Проектирование информационно-аналитической системы природопользования / Н.С. Попов, А.Г. Назаров, Н.П. Петрова, А.А. Алексеев // Информационные системы и процессы: Сб. науч. тр. М.; СПб.; Баку; Вена: Нобелистика, 2003. Вып. 1. С. 136 – 152.

5 Назаров А.Г. Становление и развитие образовательного комплекса в условиях малого города России / А.Г. Назаров, Н.П. Петрова // Проблемы малых городов: Материалы Всеросс. науч.-практ. конф., 17 – 19 апреля 2003 г.; ЕГУ. Елец, 2003 г. С. 14 – 18.

6 Назаров А.Г. О создании региональной информационно-поисковой системы управления природопользованием и охраной окружающей среды / А.Г. Назаров, Н.П. Петрова // Институт истории есте-

ствознания и техники им. С.И. Вавилова РАЕН. Годич. науч. конф., 2003 / Отв. ред. докт. экон. наук В.М. Орел. М., 2003. 438 с.

7 Петрова Н.П. Создание информационно-аналитической системы природопользования и охраны окружающей среды на территории Тамбовской области // Материалы X межрегиональной науч.-техн. конф. 15 – 17 октября 2003 г.; Тамб. ун-т им. Г.Р. Державина. Тамбов, 2003. С. 68 – 70.

8 Петрова Н.П. Диспетчерское управление качеством состоянием воздушного бассейна / Н.П. Петрова, С.А. Иванков, А.А. Алексеев, Н.С. Попов // Природные ресурсы и учение В.И. Вернадского – основа устойчивого развития цивилизации: Материалы межрегион. науч.-практ. конф. 6 – 8 июня 2003 г. Тамбов, 2003. С. 181 – 184.