

УДК 004:528

**С. В. ПАВЛОВ, Р. З. ХАМИТОВ, О. И. ХРИСТОДУЛО****ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
В КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ**

Рассматриваются вопросы проектирования геоинформационных систем, позволяющие использовать накопленные атрибутивные данные из действующих корпоративных информационных систем предприятий и организаций на примере Федерального агентства водных ресурсов. *Геоинформационные системы; технология интеграции; проектирование многомерных моделей; многомерные информационные объекты; операции над многомерными информационными объектами*

**ВВЕДЕНИЕ**

При совершенствовании деятельности органов государственной власти, крупных предприятий и организаций все большее внимание уделяется использованию пространственных (географических) данных [1], которые, с одной стороны, должны быть организованы в геоинформационные системы (ГИС), с другой стороны, органично вписываться в действующие корпоративные информационные системы.

Основная цель деятельности Федерального агентства водных ресурсов (Агентства Росводресурсов) заключается в управлении водными ресурсами страны. Для достижения этой цели необходима информация об объектах управления (т. е. собственно водных ресурсах) и их окружении.

Особенностью рассматриваемых водных, водохозяйственных и других объектов (реки, озера, каналы, водохранилища, гидротехнические сооружения) является их существенная протяженность и распределенность по всей территории России и сопредельных государств. Причем наличие информации о точном местоположении объектов, их взаимном расположении и взаимосвязи существенно влияет на качество управленческих решений, принимаемых и реализуемых на различных уровнях: федеральном, бассейновом, территориальном и местном.

В связи с этим, в Росводресурсах принято решение о поэтапном создании и внедрении геоинформационной системы, содержащей пространственную информацию и методы ее использования для поддержки приня-

тия решений по управлению водными ресурсами [3, 5].

Одним из важнейших положительных свойств ГИС является их способность интегрировать (увязывать в единую систему) как разнородную информацию, так и различные функциональные (производственные) задачи. Это свойство базируется на том, что вся разнородная информация (алфавитно-цифровая, графическая, картографическая, видео и фотоснимки, математическое описание процессов), необходимая для организации и управления деятельностью предприятия, может быть привязана к карте или объектам (объекту) карты предприятия и его окрестностей.

Аналогично удается осуществить интеграцию функциональных задач. Так как алгоритмы их решения базируются на интегрированной в единую систему (на основе ГИС-технологий) информации о территории предприятия, то за счет выбора технологии решения этих задач (на основе ГИС) и представления результатов их решения конкретным специалистам удается реализовать взаимный обмен результатами решения этих задач.

В достаточно общем виде схема интеграции данных и задач для Федерального агентства водных ресурсов представлена на рис. 1. Конкретный набор действующих информационных систем и перечень решаемых функциональных задач для каждого предприятия или организации могут различаться, однако, существуют и некоторые инварианты при практической реализации данной схемы — выбор базовой технологии.



Рис. 1. Схема интеграции разнородных данных и функциональных задач

При разработке и внедрении ГИС возникает ряд специфических проблем. Будучи относительно новым продуктом, ГИС внедряются в уже существующую информационную инфраструктуру предприятий. Так как использование ГИС подразумевает наличие широкой сети территориально распределенных подразделений, или клиентов, основными пользователями ГИС становятся крупные предприятия и организации с хорошо развитой информационной инфраструктурой, содержащей несколько БД, а также приложения, использующие локальные данные. Естественным требованием в такой ситуации является максимальное использование существующих программных, информационных и технических ресурсов. Таким образом, задача интеграции разнородных баз данных особенно актуальна при разработке и внедрении ГИС. Эта интеграция должна, по большей части, производиться со стороны разрабатываемой ГИС для сохранения работоспособности уже существующих систем.

С точки зрения проектирования программного обеспечения и базы данных, задача интеграции разнородных БД заключается в построении логической модели, описывающей существующие данные и операции над ними.

В настоящей работе предлагается оригинальный подход к проектированию многомерных моделей данных (ММД) ГИС с уче-

том уже существующих атрибутивных реляционных баз данных.

Достоинствами многомерного подхода является простота и наглядность представления информации в сочетании с компактностью ее хранения. ММД ориентированы на хранение и обработку больших объемов изменяющейся во времени информации, что характерно для корпоративных информационных систем крупных предприятий и организаций. Кроме того, в рамках данного подхода упрощается процедура формирования сложных запросов, упрощается навигация в БД в смысле уменьшения «времени отклика» и простоты «настройки» системы при работе с конкретной предметной областью.

#### МНОГОМЕРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОБЪЕКТЫ И ОПЕРАЦИИ НАД НИМИ

Характерной особенностью географических данных, используемых в ГИС, является их относительно высокая структурированность. В отличие от обычной реляционной БД, не накладывающей никаких ограничений на структуру хранимых в ней отношений, все объекты (слои), хранящиеся в базе географических данных (БГД), имеют минимальный общий набор атрибутов, характеризующий их положение в пространстве, и другие геометрические характеристики (например, длину или площадь). Слои БГД подраз-

деляются по степени детализации их геометрических характеристик, определяемой масштабом соответствующей карты. При этом одни и те же географические объекты могут быть представлены слоями разных типов (точечными, линейными и полигональными), в зависимости от степени детализации пространственных данных. Кроме того, географические объекты могут объединяться в тематические группы по признаку наличия между ними особых пространственных (топологии) или логических отношений.

Вышеприведенные особенности делают целесообразным использование для описания географических данных концепции многомерных информационных объектов [2]. Многомерный информационный объект (МИО) обозначается как

$$T_i^n, \quad (1)$$

где  $T$  — имя МИО;  $n$  — размерность МИО;  $i$  — индекс (номер) МИО при рассмотрении совокупности МИО.

МИО размерности  $n$  как единица хранения данных определяется рекурсивно через МИО меньшей размерности:  $T^0$  — множество, состоящее из одного элемента — константы;  $T^1$  — множество МИО размерности ноль ( $T^0$ ) (запись, вектор, домен, кортеж);  $T^2$  — множество МИО размерности один ( $T^1$ ) и т. д. В общем случае,  $T^n$  — множество МИО размерности  $(n - 1)$ :

$$T^n = \{T_i^{n-1}\}_{i=\overline{1,k}}. \quad (2)$$

Применительно к ГИС, МИО различных размерностей могут соответствовать:  $T^0$  — элементарной характеристике объекта;  $T^1$  — полному описанию географического объекта;  $T^2$  — описанию группы однотипных объектов;  $T^3$  — описанию всех рассматриваемых объектов с некоторой степенью детализации;  $T^4$  — описанию всей БГД.

Для описания внутренней структуры МИО используется понятие схемы МИО  $S^n$ , представляющей собой множество, значения которого задают порядок вхождения МИО размерности  $n - 1$  (с учетом порядка вхождения в них МИО меньших размерностей) в МИО размерности  $n$ . В общем случае, схема МИО размерности  $n$  будет определяться соотношением

$$\begin{aligned} S^n &= S(T^n) = \{S(T^{n-1}), S_n\} = \\ &= \{S^{n-2}, S_{n-1}, S_n\} = \dots = \\ &= \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n\}, \quad (3) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} S^{n-1} &= \{S_1, \dots, S_{n-1}\}, \\ S^{n-2} &= \{S_1, \dots, S_{n-2}\}, \\ &\dots\dots\dots \\ S^2 &= \{S_1, S_2\} \end{aligned}$$

являются схемами МИО размерности  $(n - 1)$ ,  $(n - 2), \dots, 2$ , входящих в  $T^n$ , а  $S_1, S_2, \dots, S_{n-2}, S_{n-1}, S_n$  — элементами схемы МИО размерности  $n$ .

Если выполняется равенство

$$S(T_i^n) = S(T_j^n), \quad (4)$$

то объекты  $T_i^n, T_j^n$  являются однотипными. В противном случае, они являются разнотипными.

#### ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ НАД МИО

**Операция порождения.** Из определения следует, что для получения МИО размерности  $n$  из некоторого множества МИО размерности  $n - 1$  необходимо их объединить в новое множество в порядке, задаваемом множеством  $Y$ . Эту процедуру получения из множества однотипных МИО размерности  $n - 1$  нового множества — МИО размерности  $n$  в порядке, задаваемом множеством  $Y$ , назовем операцией порождения и обозначим ее

$$T^n = \{T_i^{n-1}\} * Y, \quad i = \overline{1,k}. \quad (5)$$

При этом объединяться могут только МИО с одинаковой схемой

$$S(T_i^{n-1}) = S, \quad \text{для всех } i = \overline{1,k}. \quad (6)$$

Множество  $Y$  задает порядок вхождения  $T_i^{n-1}$  в  $T^n$ . В общем случае, схема МИО размерности  $n$  определяется как совокупность схем, порождающих его МИО:

$$S(T^n) = \{S(T_i^{n-1}), Y\} = \{S, Y\}. \quad (7)$$

**Операция проецирования.** Для организации поиска хранящейся в одном МИО информации введем операцию, обратную операции порождения, которую назовем проецированием МИО, а результат выполнения операции проецирования назовем проекцией исходного МИО.

Если при порождении МИО размерности  $n$  из множества МИО размерности  $n - 1$  решается задача объединения нескольких агрегатов данных в один, более крупный, то при

проецировании, наоборот, из одного крупного агрегата данных должна быть произведена выборка данных меньшего объема.

Определим проекцию МИО размерности  $n$  со схемой  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{n-1} \cdot S_n\}$  на  $i_0$ -ой элемент схемы  $S_n$  как МИО размерности  $n - 1$  со схемой  $\{S_1, S_2, \dots, S_{n-1}\}$ , который входит под номером  $i_0$  в совокупность порождающих МИО в (5) и обозначим

$$\Pi_{S_n, i_0} (T^n) = T_{i_0}^{n-1}. \quad (8)$$

Если элемент схемы  $S_n$  содержит  $k$  элементов

$$S_n = \{S_{n,1}, S_{n,2}, \dots, S_{n,i_0}, \dots, S_{n,k}\}, \quad (9)$$

то существует  $k$  проекций  $T^n$  на элементы схемы  $S_n$

$$\Pi_{S_n, i} (T^n) = T_i^{n-1}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (10)$$

Совокупность всех проекций  $T^n$  на все элементы схемы  $S_n$  будем называть *проекцией  $T$  на  $S_n$*  и обозначать

$$\Pi_{S_n} (T^n) = \{T_i^{n-1}\}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (11)$$

Таким образом, проекцией МИО  $T^n$  на схему  $S_n$  является множество порождающих его  $T_i^{n-1}$ .

Введенные таким образом операции порождения и проецирования МИО произвольной размерности позволяют организовать ввод, хранение и поиск данных путем композиции операций понижения (повышения) размерности соответствующих МИО и известных операций над отношениями. Выполняя в обратном порядке операции повышения (понижения) размерности МИО, можно разместить найденные данные в соответствующий МИО. Заметим, что операции порождения и проецирования МИО по одному и тому же элементу схемы взаимнообратимы.

Действительно, пусть по-прежнему

$$\begin{aligned} T^n &= \{T_i^{n-1}\}, \\ S &= S(T^n) = (S_1, S_2, \dots, S_n). \end{aligned} \quad (12)$$

Учитывая инвариантность информационного содержания  $T^n$  по отношению к порядку элементов схемы, будем считать, что  $T^n$  порожден по элементу  $S_n$ :

$$\begin{aligned} T^n &= \{T_i^{n-1}\} * S_n, \\ S(T_i^{n-1}) &= (S_1, S_2, \dots, S^{n-1}), \end{aligned} \quad (13)$$

тогда по определению (11):

$$\Pi_{S_n} (T^n) = \{T_i^{n-1}\}. \quad (14)$$

Выполним операцию порождения к проекции  $T^n$  на элемент схемы  $S_n$  по этому же элементу  $S_n$ :

$$\Pi_{S_n} (T^n) * S_n = \{T_i^{n-1}\} * S_n = T^n, \quad (15)$$

аналогично в обратном порядке

$$\{T_i^{n-1}\} = \Pi_{S_n} (\{T_i^{n-1}\} * S_n), \quad (16)$$

т. е. последовательное выполнение операций проецирования и порождения к  $T^n$  оставляет его на месте (т. е. не изменяет).

**Операция добавления.** В процессе эксплуатации информационная система будет пополняться новой информацией, поэтому количество множеств  $T_i^{n-1}$  в (2) и (5) со временем, уже при существующем  $T^n$ , будет изменяться. Хотя с теоретической точки зрения это приводит только к изменению значения  $k$  на единицу, то есть  $k = k + 1$ , с практической точки зрения необходима операция по добавлению новых данных в существующий  $T^n$ . Так как  $T^n$  определяется рекурсивно, то достаточно показать добавление к множеству  $\{T_i^{n-1}\}$   $i = \overline{1, k}$ , еще одного  $T_{k+1}^{n-1}$  с такой же схемой:

$$\begin{aligned} S(T_{k+1}^{n-1}) &= S(T_i^{n-1}) = \\ &= (S_1, S_2, \dots, S_{n-1}), \quad i = \overline{1, k}. \end{aligned} \quad (17)$$

Тогда операция добавления  $T_{k+1}^{n-1}$  к  $T^n$ , которую будем обозначать

$$T^n = T^n \cup T_{k+1}^{n-1}, \quad (18)$$

приводит лишь к изменению элемента  $S_n$  схемы

$$S^n = S(T^n) = (S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n) \quad (19)$$

добавлением в него еще одного элемента

$$S_n = (S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nk}, S_{nk+1}). \quad (20)$$

Так как добавление новой информации не приводит к изменению структуры данных, то и имя  $T^n$  в (19) изменять нет необходимости. Эта операция аналогична команде присваивания в языках программирования, изменяющих значения некоторой переменной  $a$ :  $a = f(a)$ .

Так как порядок элементов схемы не влияет на информационное содержание МИО и на

форму описания предметной области, то для простоты изложения добавление нового  $T^{n-1}$  осуществляется в конце  $T^n$ , (то есть по порядку, задаваемому  $S_n, T_{k+1}^{n-1}$  является последним из всего множества  $\{T_i^{n-1}\}, i = \overline{1, k+1}$ ).

Очевидно, что к вновь полученному по соотношению (18) МИО можно добавлять еще один  $T_{k+2}^{n-1}$ , что приведет к добавлению в (20) еще одного элемента схемы. Выполняя эту операцию  $b$  раз, можно к исходному  $T^n$  со схемой (20) добавить  $b$  однотипных МИО

$$T_{k+1}^{n-1}, T_{k+2}^{n-1}, \dots, T_{k+b}^{n-1}, \quad (21)$$

причем,

$$S(T_{k+i}^{n-1}) = S^{n-1}, i = \overline{1, b}. \quad (22)$$

Выполняя преобразования (18)  $b$  раз, получим

$$T^n = T^n \cup (T_{k+1}^{n-1} \cup (T_{k+2}^{n-1} \cup \dots \cup (T_{k+b}^{n-1}) \dots)), \quad (23)$$

причем схема  $T^n$  по-прежнему удовлетворяет (19), а элемент  $S_n$  будет иметь вид

$$S_n = (S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nk}, S_{n(k+1)}, \dots, S_{n(k+b)}). \quad (24)$$

В то же время, по определению МИО, множество (20) можно объединить в новый МИО размерности  $n$ , который, в отличие от исходного, обозначим

$$T_*^n = \{T_{k+i}^{n-1}\}, i = \overline{1, b} \quad (25)$$

со схемой

$$S(T_*^n) = (S^{n-1}, S_*), \quad (26)$$

где  $S_*$  задает порядок вхождения МИО  $T_{k+i}^{n-1}$  в (25).

Сравнивая (23) и (25), можно записать:

$$T^n = T^n \cup T_*^n, \quad (27)$$

а из (24) и (26) следует, что

$$S_* = (S_{n(k+1)}, S_{n(k+2)}, \dots, S_{n(k+b)}). \quad (28)$$

Таким образом, операция добавления справедлива для двух однотипных  $T_1^n$  и  $T_2^n$ :

$$T_3^n = T_1^n \cup T_2^n \quad (29)$$

и будет в этом случае называется объединением МИО, при этом

$$S(T_3^n) = S(T_1^n) = S(T_2^n), \quad (30)$$

а последний элемент схемы результирующего МИО  $T_3^n$  является объединением последних элементов схем МИО  $T_1^n$  и  $T_2^n$ .

**Операция удаления.** Удаление — процедура, обратная добавлению, и она заключается в исключении из множества однотипных МИО в (2) одного МИО  $T_{i_0}^{n-1}$  и уменьшения их количества на единицу, то есть  $k = k-1$ . При этом изменяется элемент  $S_n$  схемы (19) удалением из нее одного элемента  $S_{ni_0}$ . Так как порядок элементов в схеме не существен, то для простоты обозначения будем считать, что удаляется последний элемент, то есть  $i_0 = k$ . В противном случае, при удалении произвольного элемента  $S_{i_0}$ , оставшиеся просто необходимо перенумеровать. Обозначим операцию удаления

$$T^n = T^n / T_{i_0}^{n-1}, \quad (31)$$

так что по-прежнему

$$S(T^n) = S^n = (S_1, S_2, \dots, S_n), \quad (32)$$

$$S_n = (S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{nk-1}).$$

Учитывая замечания (21)–(28) с заменой в них (21) на (31) и (23) на (32), по аналогии с (29) можно ввести операцию удаления из  $T_1^n$  его части  $T_2^n$

$$T_3^n = T_1^n / T_2^n, \quad (33)$$

что фактически соответствует разделению одного МИО на два однотипных МИО, поэтому эту операцию в случае  $b > 1$  будем называть *разделением* МИО.

Операции добавления и удаления составляют группу операций обновления данных, вместе с операциями порождения и проецирования они позволяют осуществлять описание, ввод, корректировку и поиск информации, хранящейся в МИО.

Таким образом, существующая многомерная модель данных позволяет описывать пространственные данные и операции над ними, необходимые для построения ГИС.

В рамках концепции многомерных информационных объектов для объединения в единую модель данных ГИС и атрибутивных баз данных можно воспользоваться операциями объединения разнотипных МИО различных размерностей. На рис. 2 показан пример графического представления МИО, описывающего БД, содержащую пространственные, атрибутивные и метаданные, образованный при помощи объединения трех МИО разной размерности

$$T^6 = T_{г.об.}^4 \cup_{\text{КОДоб,СЛ}} T_{атр.об.}^3 \cup_{\text{СЛ}} T_{т.п.}^2 \quad (34)$$

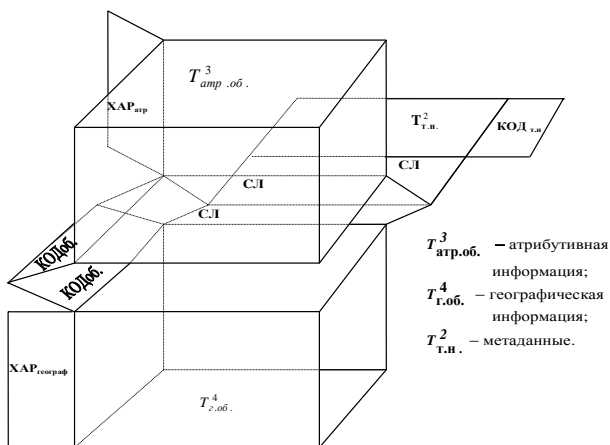


Рис. 2. Графическое представление МИО для описания разнородных БД

Такое представление позволяет описать все рассматриваемые данные в рамках единой многомерной модели данных.

**РЕШЕНИЕ  
НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ  
НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ГИС**

К настоящему моменту времени, в соответствии с естественным развитием геоин-

формационных систем на предприятиях и в организациях, в основном решаются задачи создания картографических баз данных, их интеграции с существующими атрибутивными базами данных и построения на их основе информационно-справочных систем. ГИС этого класса позволяют вводить, редактировать (исправлять или заменять), а также просматривать всю интересующую пользователя картографическую и атрибутивную информацию по предприятию.

Первым, наиболее распространенным классом задач, решаемых в Росводресурсах, являются информационно-справочные задачи, которые позволяют осуществлять поиск и уточнение местоположения и характеристик интересующих объектов.

На рис. 3 представлен пример совместного отображения атрибутивных и пространственных данных, получаемых из интегрированной БД ГИС «Росводресурсы». При этом в основном окне отображается пространственное положение найденного объекта, а в дополнительном окне — его атрибутивные характеристики.

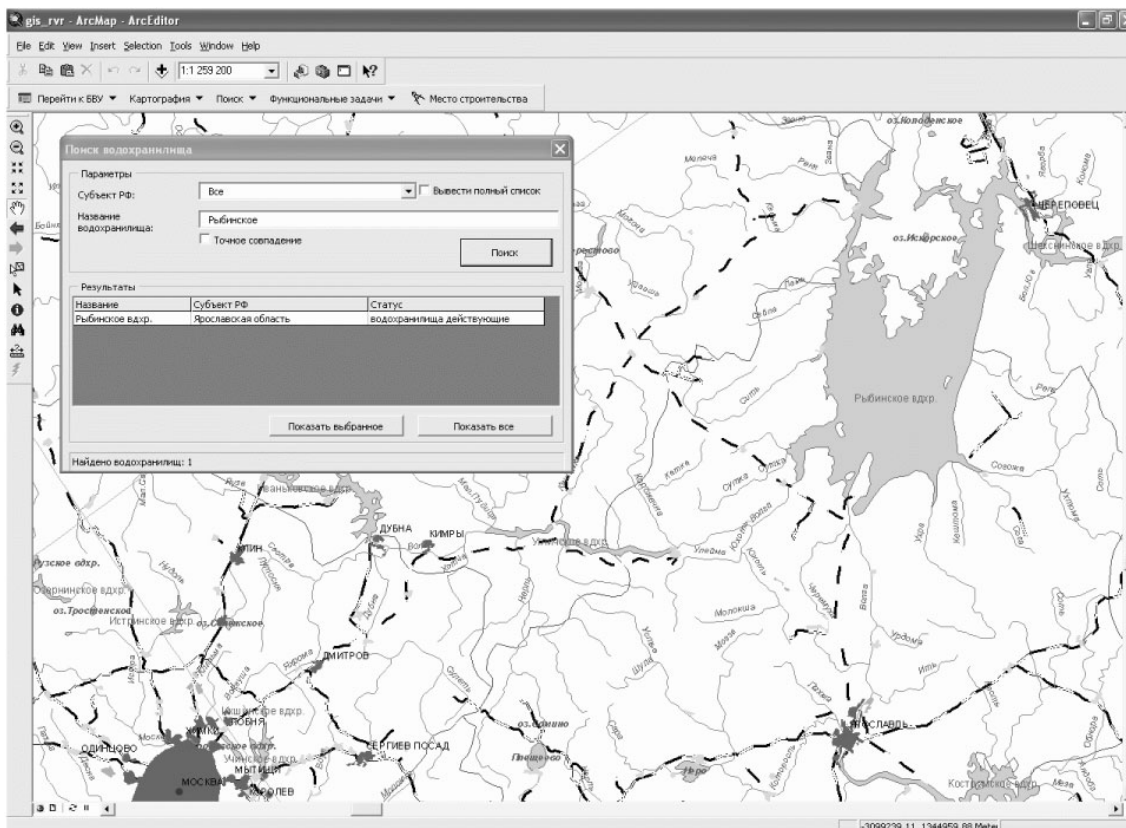


Рис. 3. Совместное отображение атрибутивных и пространственных данных из интегрированной БД (поиск Рыбинского водохранилища)

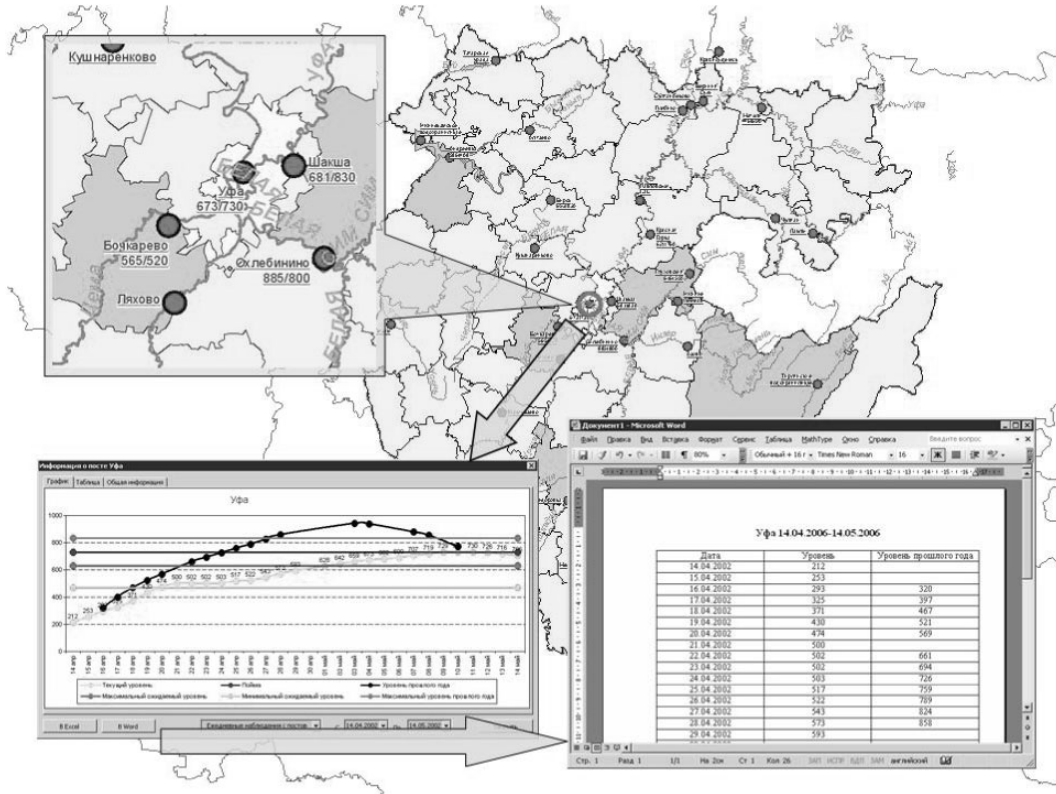


Рис. 4. Представление информации в виде карт, графиков и таблиц

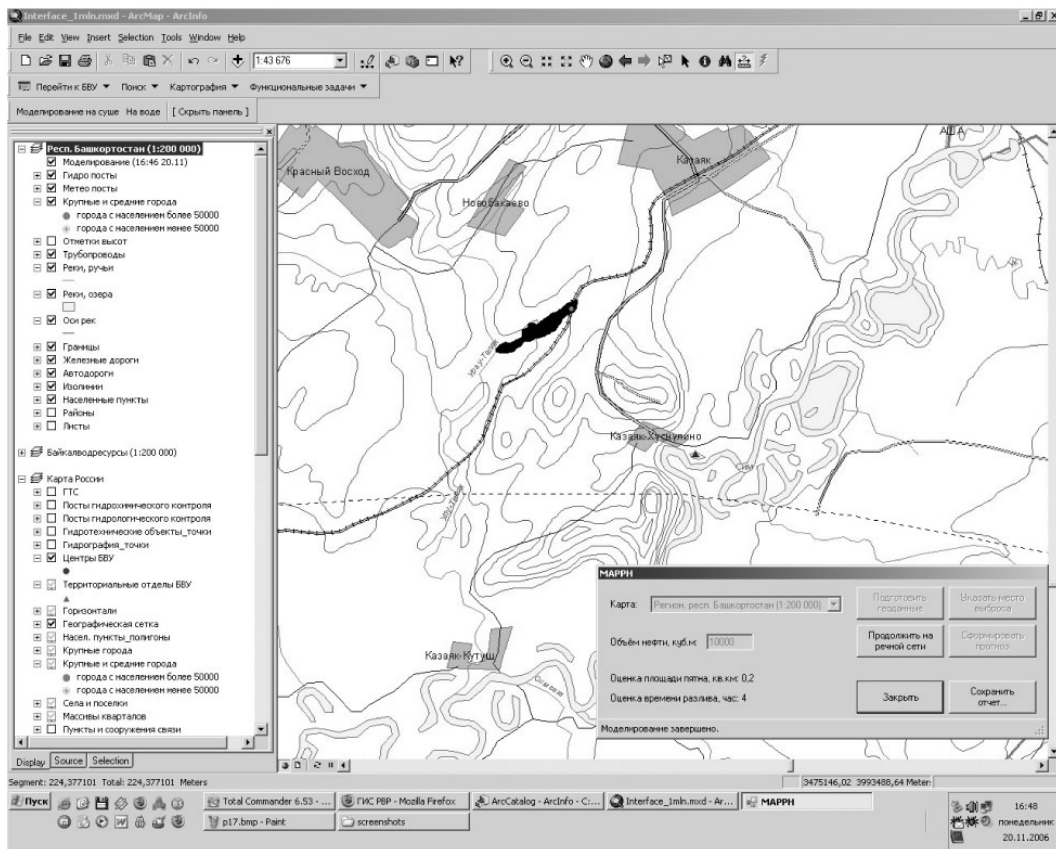


Рис. 5. Совместное использование атрибутивных и пространственных данных из интегрированной БД для расчета параметров распространения нефтяного пятна

На рис. 4 приведен пример решения одной из задач информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуацией на территории РБ, более подробно рассмотренного в [4]. Информация об уровнях воды на гидрологических постах (в данном случае, пост «Уфа») представлена в 3-х видах: в картографическом, в виде графиков и таблиц.

На рис. 5 показан пример совместного использования атрибутивных и картографических данных из интегрированной БД для расчета параметров распространения нефтяного пятна при решении задачи моделирования аварийных разливов нефти (АРН). Данная задача позволяет моделировать последствия АРН, связанные с угрозой попадания нефти в водные объекты на основании данных о рельефе, хранящихся в географической базе данных и данных об объемах излившейся нефти, хранящихся в БД предприятия.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введенные многомерные информационные объекты и операции над ними дают возможность компактно и наглядно описывать пространственные и атрибутивные данные информационных систем предприятия в виде единой многомерной информационной модели, что позволяет разработать ГИС предприятия или организации, интегрированную в корпоративную информационную систему.

Описанная в статье технология интеграции геоинформационных систем в корпоративные информационные системы крупных предприятий и организаций позволяет существенно повысить информационную насыщенность среды деятельности руководства и структурных подразделений предприятия при принятии решения как за счет качественного изменения состава обрабатываемой информации, так и за счет применения новых способов обработки и анализа информации, используемой при принятии решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павлов, С. В.** Комплексное решение некоторых задач управления предприятиями нефтегазового комплекса Республики Башкортостан на основе ГИС технологий / С. В. Павлов, Р. З. Хамитов // Нефтегазовое дело. 2003. № 1. С. 75–84.
2. **Гвоздев, В. Е.** Информационное обеспечение контроля и управления состоянием природно-технических систем : учеб. пособие / В. Е. Гвоздев, С. В. Павлов, И. У. Ямалов. Уфа : УГАТУ, 2002. 138 с.
3. **Павлов, С. В.** Создание корпоративной геоинформационной системы для Федерального агентства водных ресурсов / С. В. Павлов, Р. З. Хамитов, О. И. Христодуло // Компьютерные науки и информационные технологии : матер. 6-й Междунар. науч.-практ. конф. CSIT'2004. Будапешт, 2004. С. 62–66.
4. **Павлов, С. В.** Использование геоинформационных технологий при разработке подсистемы информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуации на территории Республики Башкортостан / С. В. Павлов, С. Р. Галямов, И. Н. Зайтов, О. И. Христодуло // ArcReview. 2006. № 4 (39). С. 5.
5. **Никитин, А. Б.** Геоинформационная система федерального агентства водных ресурсов / А. Б. Никитин, С. В. Павлов, Р. З. Хамитов // ArcReview. 2006. № 1 (36). С. 6–7.

#### ОБ АВТОРАХ



**Павлов Сергей Владимирович**, проф., зав. каф. геоинф. систем. Дипл. по спец. «Вычислительная математика» (БГУ, 1977), д-р техн. наук (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. обработки пространств. данных.



**Хамитов Рустэм Закиевич**, рук. Федер. агентства водных ресурсов (ФАВР). Дипл. инж. по авиац. и ракетн. двигателям (МВТУ им. Баумана, 1972). Д-р техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. информ. систем при управлении соц.-экон. объектами.



**Христодуло Ольга Игоревна**, доц. каф. геоинф. систем. Дипл. инж. по автоматиз. и механиз. процессов обр. и выдачи инф-и (УАИ, 1991). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. проектир. и разработки корпорат. инф. систем.