

# ПРИМЕНЕНИЕ ГИС- И ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И. В. БЫЧКОВ, А. С. ГАЧЕНКО, А. К. ПОПОВА,  
Г. М. РУЖНИКОВ, Е. С. ФЕРЕФЕРОВ, А. Е. ХМЕЛЬНОВ  
*Институт динамики систем и теории управления СО РАН,  
Иркутск, Россия*

e-mail: bychkov@icss.ru, gachenko@icss.ru

This article describes an effective principle for storage of stationary data. This technique allows reducing the random access memory usage and minimizing the time required for data uploading. Using the proposed approach, a vector SMD format and an expansion module of IIS Web-server (for Internet/Intranet electronic cards publication in SMD format) are developed and implemented. A brief description of the data analysis systems developed by ISDCT SB RAS within interdisciplinary research programs is also presented.

## Введение

В настоящее время цифровые геопространственные данные активно используются в научных исследованиях и решении большого перечня прикладных задач.

Внедрение сети Интернет сделало геопространственные данные широко доступными. Стало возможным комбинирование использования ГИС-технологий и высокоскоростных каналов связи для цифровой интеграции физически разделенных, но тематически согласованных баз геопространственных данных. Специфика формирования геоинформационных ресурсов усилила актуальность создания проблемно-ориентированных программных средств, интегрирующих универсальные сетевые технологии с ГИС-технологиями, поддерживающих организацию и работу с пространственно распределенными данными, т. е. создающих интерактивную среду взаимодействия клиентских приложений с ГИС-сервером.

На первом этапе развития картографические веб-серверы обеспечивали лишь выбор и просмотр заданного набора картинок в форматах GIF, JPEG или других графических форматах. Первым среди подобных серверов считается National Atlas Information Service (NAIS) of Canada. Следующим этапом развития систем для веб-просмотра картографической информации было подключение функций СУБД для взаимодействия с базами данных (БД), содержащими атрибутивные данные карт. При таком подходе

стали предъявлять более высокие требования к программно-аппаратному обеспечению сервера, однако при этом повысилась эффективность его работы за счет структурированного представления картографических данных.

Современные технологии обработки пространственно распределенных данных, как правило, в дополнение к собственным возможностям предлагают “шлюзы” (gateways) к другим информационным системам или сетевым службам Интернет, использующим иные сетевые технологии. Это позволяет интегрировать различные технологические решения для организации геоинформационных ресурсов различного характера (картографические данные, снимки, программные средства, текстовые файлы и т. д.) и использовать для них наиболее приемлемые и эффективные средства поиска и доступа.

Интеграция Интернет и ГИС-технологий в 1990-х гг. создала основу развития такого направления сетевого взаимодействия с геопространственными данными, как телекартография, а в дальнейшем и веб-картографирование. Термин “телекартография” был предложен Grady В. Meehan для обозначения процесса картографирования на расстоянии. Этот подход распространяет текущее картографическое рабочее поле на все доступные корпоративные ресурсы и выводит его за рамки ресурсов конкретной ГИС.

В настоящее время ГИС-индустрия предлагает разнообразные решения для интеграции ГИС и Интернет. Производители ГИС работают в этом направлении, и каждый из них создает свою разновидность реализации серверов и клиентов “ГИС-по-Интернет”. Обычно такие серверы работают со структурами данных родственных ГИС-систем и только некоторые поддерживают форматы данных других ГИС.

Для исследований в области создания систем веб-публикации картографической информации и картографических сервисов большой интерес представляют стандарты, разработанные Open GIS Consortium (OGC <http://www.opengis.org/>), а также существующие программные системы, реализующие эти стандарты. Наиболее последовательно стандарты OGC применяются в продуктах фирмы ESRI. Продукт Spatial Database Engine (SDE) предназначен для работы с большими объемами пространственных данных, хранящимися в БД вместе с непространственной информацией. Клиентские приложения взаимодействуют с Arc SDE, используя протоколы взаимодействия, описанные в стандартах OGC. Технология SDE заслуживает значительного внимания в качестве возможного средства для реализации сервисов геоданных, при этом должны быть определены границы ее применимости.

Следует отметить, что при составлении стратегического плана развития Национальной геоинформационной инфраструктуры США создание сетевых технологий считается важнейшим условием ее формирования.

Существенный выигрыш в задачах анализа пространственной информации может быть получен от использования логических методов, позволяющих работать с данными на более высоком и более абстрактном уровне. Опыт создания таких систем (Kurt Fedra) демонстрирует высокий потенциал методов искусственного интеллекта в области ГИС. Логические методы позволяют облегчить поиск пространственной информации, могут использоваться для управления процессами ее обработки (создания новых данных на основе существующих, например, при генерализации), а также служить основой создания новых механизмов спецификации как пространственных, так и атрибутивных данных.

В институтах Иркутского научного центра (ИНЦ) СО РАН проводятся исследования, базирующиеся на уникальных проблемно- и предметно-ориентированных базах пространственных данных по ландшафтам и геосистемам, картографированию приро-

ды, хозяйства и населения Сибири (Институт географии СО РАН), геологической среде и сейсмическим процессам (Институт земной коры СО РАН), геохимии окружающей среды и осадочных бассейнов (Институт геохимии СО РАН), электроэнергетическим и трубопроводным системам (Институт систем энергетики СО РАН), биоразнообразию фауны и флоры оз. Байкал (Лимнологический институт СО РАН), физиологии растений, молекулярной биологии и экологии растительных организмов (Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН), дистанционному зондированию поверхности Земли (Институт солнечно-земной физики СО РАН) и т. д.

В ИНЦ СО РАН на базе Института динамики систем и теории управления СО РАН (ИДСТУ СО РАН) создан Иркутский региональный центр геоинформационных технологий (ГИС-центр). Администрацией Иркутской области в ГИС-центр передана цифровая топооснова Иркутской области масштаба 1 : 200 000 (в формате ГИС КАМАТ) для проведения работ в интересах органов государственной власти.

В ИДСТУ СО РАН разработаны современные технологии создания информационно-аналитических, интеллектуальных ГИС, комплексирования разноформатных баз данных, созданы конвертеры в форматы наиболее распространенных ГИС, реализован ряд научных и прикладных ГИС-проектов.

В рамках комплексного проекта информатизации науки и образования в ИНЦ СО РАН создана Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса (ИИВС ИрНОК) с пропускной способностью магистрали до 1 Гбайт/с, а также региональный узел доступа к СПД СО РАН, организована точка подключения для сетей Бурятского научного центра СО РАН, Читинского государственного университета и ЧИПРЭК СО РАН.

К ИИВС ИрНОК подключен вычислительный кластер МВС-1000/16 ИДСТУ СО РАН, на базе которого создан суперкомпьютерный центр коллективного пользования, поддерживающий информационно-вычислительное обеспечение фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в институтах ИНЦ СО РАН и вузах байкальского региона. Разработаны и внедряются математические и информационные технологии организации высокопроизводительных и распределенных вычислений, в частности, с использованием территориально распределенных ресурсов grid-сети.

Таким образом, в ИНЦ СО РАН создана информационно-вычислительная, телекоммуникационная инфраструктура и накоплены уникальные научные проблемно- и предметно-ориентированные геопространственные данные, это может стать основой формирования Центра поддержки междисциплинарных научных исследований институтов ИНЦ СО РАН.

В настоящее время в данном направлении наиболее актуальны исследования по разработке и созданию:

- интеллектуальных методов и инструментальных средств создания и анализа интегрированных распределенных информационно-аналитических и вычислительных систем с применением ГИС-, grid- и веб-технологий;
- единой интегрированной инфраструктуры проблемно- и предметно-ориентированных тематических баз пространственных данных институтов ИНЦ СО РАН;
- современных методов и технологий интеграции разноформатных междисциплинарных данных и результатов исследований, базирующихся на пространственных характеристиках и признаках;
- централизованного хранилища цифровой топоосновы и картографической информации с удаленным веб-доступом пользователей;

- системы сервисов геоданных СО РАН;
- новых методов и технологий исследования и обработки пространственных данных, включая разработку логических методов и методов обработки больших массивов данных;
- ГИС-портала институтов ИНЦ СО РАН;
- методов и средств планирования распределенного решения информационно-вычислительных задач;
- специальных баз проблемно- и предметно-ориентированных географических данных и знаний для их размещения в сети Интернет;
- новых моделей и методов, базирующихся на результатах натуральных наблюдений и эмпирических данных, включая создание методов и технологий обработки данных дистанционного зондирования;
- новых методов и технологий анализа и обработки географических данных и знаний в интегрированных системах геоинформационного картографирования.

В целом отмечается существенный рост потребностей со стороны науки и образования в доступных информационно-вычислительных ресурсах для проведения фундаментальных и прикладных исследований. Это приводит к необходимости интеграции (в том числе с использованием grid-технологий) пространственно распределенных хранилищ разнородных данных и вычислительных мощностей, организации коллективного доступа к ним. В связи с этим большой интерес представляют технологии, позволяющие автоматизировать процесс создания комплексных тематических геоинформационных систем.

## 1. Векторный формат для представления неизменяемых карт

В ИДСТУ СО РАН накоплен большой опыт в области разработки средств публикации электронных карт в Интернет/Интранет. Имеется несколько альтернативных реализаций клиентского и серверного программного обеспечения, поддерживающих общий интерфейс взаимодействия между клиентом и сервером. Для реализации серверного обеспечения были опробованы различные технологии: взаимодействие с однопользовательской ГИС через OLE (например, для ГИС КАМАТ [1]), использование динамических библиотек (ГИС “Панорама” [2]), собственная разработка для публикации карт, представленных в формате Shape [3]. Однако по своим возможностям разработанные инструменты были недостаточно универсальными, ориентированными на работу с конкретными форматами. Поэтому встала задача создания нового серверного модуля, предназначенного для публикации электронных карт, который должен обеспечить максимальную эффективность по использованию памяти и скорости работы, а также максимальную универсальность, возможность использования для различных форматов векторных электронных карт.

Основные принципы программного обеспечения:

- использование формата электронных карт SMD (Static Map Data), достаточно гибкого, чтобы в нем можно было представить метрическую, семантическую информацию и информацию о способах отображения объектов широкого круга ГИС;

— для публикации электронная карта должна быть подготовлена в одном из поддерживаемых форматов, после чего она импортируется в формат SMD, при этом внешний вид карты остается близким к исходному за счет импорта условных знаков.

Таким образом, электронные карты, представленные в формате SMD, не предполагается редактировать — вместо этого реализуется импорт карт из систем, в которых эта задача может быть решена (кстати, при этом воспроизводится и способ отображения карты).

При разработке формата SMD предложен эффективный принцип хранения неизменяемых данных, позволяющий сократить расход оперативной памяти и минимизировать время загрузки информации из файла. Для этого все блоки, представляющие данные в оперативной памяти, сохраняются в один общий образ памяти, при этом запоминаются все адреса, которые надо скорректировать в этом образе после загрузки в память. Процесс создания такого образа можно сравнить с работой редактора связей при создании исполняемого файла. После считывания образа памяти выполняется корректировка адресов. Различаются следующие виды корректируемых адресов: ссылки внутри блока, ссылка на таблицу виртуальных методов зарегистрированного класса, ссылка на зарегистрированный класс, данные которого сохраняются средствами записи в поток (например, растровые изображения), ссылки на зарегистрированные стандартные классы (реализации которых могут различаться в разных версиях библиотеки классов). После корректировки адресов образ памяти приходит в работоспособное состояние.

В результате существенно сокращается время загрузки данных в оперативную память: вместо того чтобы считывать по несколько блоков данных из файла для каждого объекта, все объекты загружаются в память одной командой чтения. Например, карта Иркутска, содержащая более 800 000 объектов, открывается из формата SXF (обменный формат ГИС “Панорама”) за 1.5 мин, а из формата SMD — за 12 с (на одном компьютере). Использование образа памяти сокращает латентность программного обеспечения: время реакции при первой загрузке данных большого объема уменьшается до сравнимого с временем передачи данных по сети. Кроме того, хранение данных одним блоком несколько сокращает занимаемый ими объем памяти за счет исключения накладных расходов менеджера динамической памяти.

В формате SMD применяется ряд решений, повышающих скорость обработки данных при отображении как окна небольшого размера, так и всей карты. Для ускорения выполнения оконного запроса используется пространственная индексация, а для ускорения отображения больших фрагментов карты — сортировка списков объектов по предельным масштабам.

В формате SMD поддерживается эффективное хранение семантики объектов, содержащих как обязательные (присутствующие у всех объектов), так и необязательные (имеющиеся у меньшей части объектов) атрибуты. Допускается наличие в одной карте большого количества (десятки тысяч) атрибутов. У объекта может быть несколько значений одного необязательного поля. За счет работы с необязательными полями реализуется непосредственный импорт семантики, представленной тегами способом (код атрибута, значение атрибута) из ГИС “Панорама”.

Для работы с данными в формате SMD разработано приложение *IrkGV.exe*, позволяющее открывать и просматривать карты из различных форматов и сохранять загруженные данные в формат SMD (рис. 1). Разработан модуль расширения веб-сервера IIS для публикации в Интернет/Инtranет электронных карт в формате SMD.



Рис. 1. Просмотр карты в формате SMD

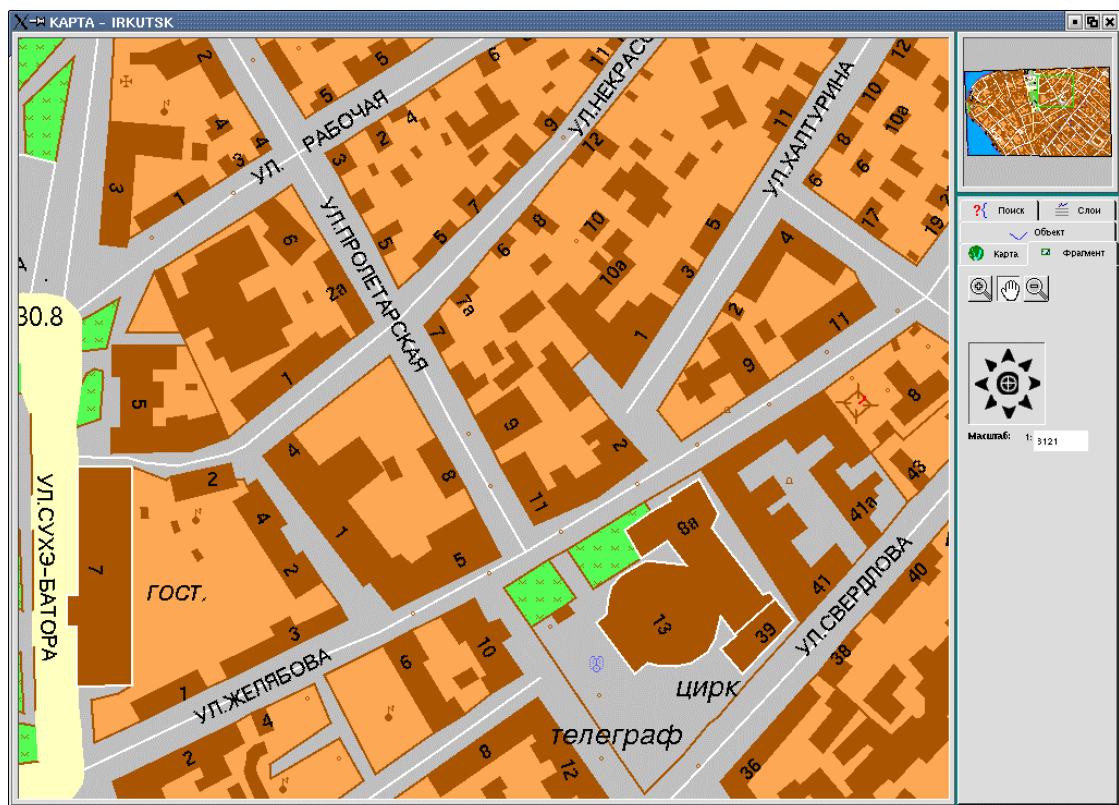


Рис. 2. Версия программы под Linux

Реализованы конвертеры в формат SMD из форматов ГИС “Панорама”, ArcView и MapInfo. Разработанные конвертеры поддерживают импорт не только семантической и метрической информации, но и информации о способе отображения объектов. Таким образом, для публикации в Интернет/Инtranet подготовленной в одном из вышеупомянутых форматов карты ее необходимо конвертировать в формат SMD, при этом конвертация информации о способе отображения позволяет получить внешний вид карты, близкий к оригиналу (рис. 2).

На Pentium IV 3 ГГц при работе с картой Иркутска, которая содержит 820 тыс. объектов (данные занимают 125 Мбайт), вся карта отображается за 3 с, загрузка этой карты в память выполняется за 10 с.

## 2. Технология интеграции функций ГИС в существующие АРМы

Наиболее естественным способом интеграции уникальной научной проблемно- и предметно-ориентированной геопространственной информации, получаемой институтами ИИЦ СО РАН по общей территории, является ее привязка к электронной карте. В междисциплинарных научных исследованиях электронная карта становится ценным информационным ресурсом и служит инструментом для мониторинга природно-экологических процессов, их фиксации и отображения их последствий.

Геоинформационное обеспечение для проведения междисциплинарных исследований должно базироваться на единой топографо-геодезической основе, единых классификаторах информации, форматах и согласованных структурах баз данных, что позволяет объединить независимо создаваемые тематические базы данных в общий банк, сократить время на получение новых наукоемких результатов.

В настоящее время информационно-аналитическая среда институтов ИИЦ СО РАН состоит из набора автоматизированных рабочих мест (АРМов), реализованных в разных системах программирования и ориентированных под разные СУБД, отсутствуют общие геоинформационные ресурсы, все это затрудняет проведение междисциплинарных исследований.

Для учета в существующих АРМах геопространственной информации об объектах необходимо расширить их функциональные возможности за счет интеграции с геоинформационными системами. Это позволит привлечь современные геоинформационные технологии для решения актуальных проблем и получения новых знаний в различных предметных областях.

В таких ГИС, как ArcView и MapInfo [4, 5], существует возможность построения запросов, связывающих между собой несколько таблиц и картографических слоев, но уровень автоматизации этих функций не позволяет решить поставленную задачу в полном объеме без создания специализированных приложений, работающих под управлением ГИС.

В ИДСТУ СО РАН для автоматизации процесса интеграции в существующие АРМы функциональных возможностей ГИС разработана инструментальная информационная система, основанная на оригинальной технологии обработки метаданных, клиент-серверных технологиях с использованием ГИС в концепции Интернет/Инtranet систем, предназначенных для публикации картографической информации (геоданных) из БД без возможности ее модифицирования на “клиенте” [6, 7]. Разработан модуль для

публикации геоданных из БД, настраиваемый на работу с конкретной базой данных при помощи метаописаний ее структуры и шаблонов пользовательских форм (страниц), также реализован настраиваемый модуль редактирования геоданных в БД [8]. Создание этого модуля позволило разработать систему ГеоАРМ, которая обеспечивает взаимодействие с наиболее распространенными СУБД и содержит полнофункциональные средства работы с геоданными. ГеоАРМ поддерживает в существующих АРМах функции поиска, просмотра и редактирования информации из существующих БД, обеспечивая при этом возможности отображения этой информации на карте, выполнение пользовательских запросов с отображением результатов на электронной топооснове, ведение тематических слоев, автоматизацию администрирования описаний БД и электронных карт.

ГеоАРМ включает в себя картографическую подсистему, созданную при помощи пакета GIS ToolKit ГИС “Панорама”, использующую электронную топооснову [9, 10]. В системе реализована функция поиска на карте объектов. Окно отображения карты содержит поля ввода для выбора имеющихся на карте объектов по наименованию или коду. Система взаимодействует с БД, используя файлы описаний ее структуры, которые являются текстовыми INI-файлами и могут быть созданы и изменены в любом текстовом редакторе. В систему включены формы, позволяющие интерактивно создавать и редактировать основные элементы файлов описаний. В готовый файл описания структуры БД для повышения уровня безопасности функционирования АРМа может быть записан признак завершенности, после считывания которого все административные функции в системе блокируются.

Система ГеоАРМ состоит из подсистем: настраиваемого АРМа и картографического модуля.

В основе настраиваемого АРМа лежит технология метаописаний БД, которая позволяет единообразно решать различные задачи обработки данных с использованием описаний БД: структуры, таблиц и представлений. В описании таблицы указывается, какие поля таблицы БД используются в системе (некоторые поля могут быть исключены из описания), какими свойствами с точки зрения системы они обладают и какие связи существуют между данной таблицей и другими таблицами.

Настраиваемый АРМ включает модуль просмотра и редактирования содержимого базы данных. Система ГеоАРМ может быть настроена без перекомпиляции на работу с БД, доступ к которым обеспечивается на основе BDE (Borland Database Engine) при условии, что БД имеют следующую структуру: в качестве первичных ключей основных таблиц используются целочисленные поля, а связи между таблицами определяются как список соответствий между отдельными полями таблиц. В этом случае может быть организована работа системы ГеоАРМ с базой внедренного АРМа. Если же структура существующей БД препятствует ее непосредственному использованию, то может быть проведено периодическое преобразование БД с учетом вышеперечисленных требований.

В системе ГеоАРМ реализована возможность формирования запросов. Пользователь может сформулировать условие запроса для отбора записей при просмотре таблицы или представления их в табличной форме. Редактор пользовательских запросов позволяет интерактивно сформировать логическое условие для выбора записей таблицы или представления, а также просмотреть результаты выполнения составленного запроса.

Картографический модуль позволяет просматривать картографическую информацию, находить на электронной карте объекты, информация о которых содержится в БД, и, наоборот, находить в БД информацию, связанную с объектом карты. В модуле



также реализованы стандартные механизмы просмотра карты, такие как загрузка карты, масштабирование, перетаскивание карты, нанесение, удаление объекта, получение информации об объекте. Привязка БД к карте осуществляется через геокодирование или привязку к произвольным объектам карты через таблицу связей.

Специализированные тематические слои создаются поверх основной электронной топоосновы, при этом пользователь, не имея права редактировать ее, может вносить изменения в созданные им специализированные слои. При включении новых типов объектов классификатор карты изменяется средствами ГИС “Панорама”.

Таким образом, ГеоАРМ позволяет интегрировать функции ГИС в существующие информационные системы, в которых изначально эта возможность не была предусмотрена.

### 3. Реализованные научные ГИС-проекты

В рамках формирования основ распределенной информационно-аналитической системы на основе ГИС и веб-технологий для поддержки междисциплинарных исследований реализован ряд проектов.

#### 3.1. Программный комплекс прогнозирования состояния лесных ресурсов

Программный комплекс создан с использованием математических моделей и тематических геопространственных данных Института географии СО РАН [11, 12] и ориентирован на прогнозирование состояния лесных ресурсов территории.

Комплекс представляет собой инструментальное средство (рис. 3), объединяющее три подсистемы: математического моделирования, автоматизации логических рассуждений (систему искусственного интеллекта), геоинформационную подсистему [13, 14].

Подсистема математического моделирования предназначена для прогнозирования состояния лесных ресурсов на основе комплекса математических моделей и тематических пространственно распределенных баз данных лесных ресурсов. Прогноз осуществляется на основе численных расчетов по модельному сценарию, задаваемому комбинацией параметров модели и начальными данными. В дальнейшем по заданным критериям проводятся анализ результатов каждого сценария и передача информации в блок визуализации и ГИС. Описание задачи прогнозирования, объекта моделирования, задание критериев анализа результатов производятся в процессе диалога с подсистемой пользовательского интерфейса.

Подсистема искусственного интеллекта, реализованная с помощью логического языка программирования Prolog, позволяет автоматизировать процессы построения комплекса математических моделей лесных ресурсов и выбора наиболее приемлемой. Она включает базу знаний о структуре каждой модели, ее структурной и параметрической идентификации и начальных условиях. Правила базы знаний позволяют также гибко описать антропогенные воздействия на лесные ресурсы. Исходные данные для идентификации модели и вычисления начальных условий загружаются из баз данных. Запросы к базам данных генерируются запросной подсистемой в процессе построения формализованного представления модели. Подсистема языка Prolog, встроенная в программный комплекс прогнозирования состояния лесных ресурсов при помощи Java-

библиотеки tuProlog 1.3, позволяет представлять любые сущности Java (объекты, классы, пакеты) в виде термов языка Prolog.

Геоинформационная подсистема осуществляет визуализацию результатов прогнозирования состояния лесных ресурсов и построение картографических произведений (рис. 4). Картографические данные отображаются с помощью Java-библиотеки OpenMap, позволяющей строить приложения и апплеты, оперирующие географической

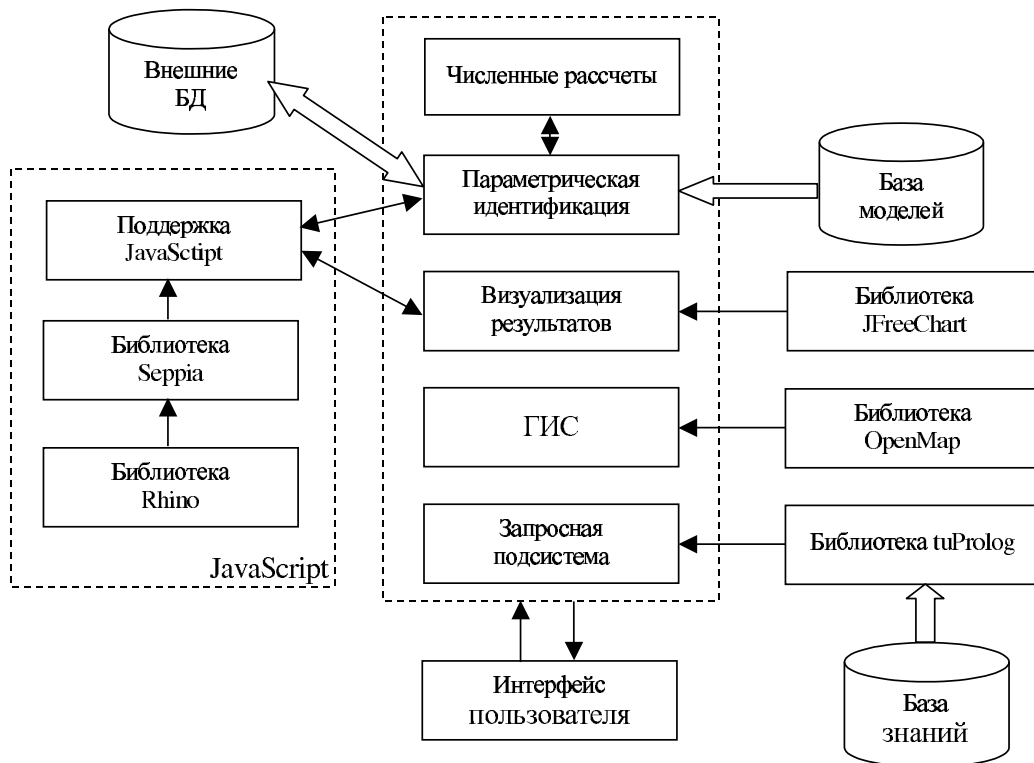


Рис. 3. Архитектура программного комплекса

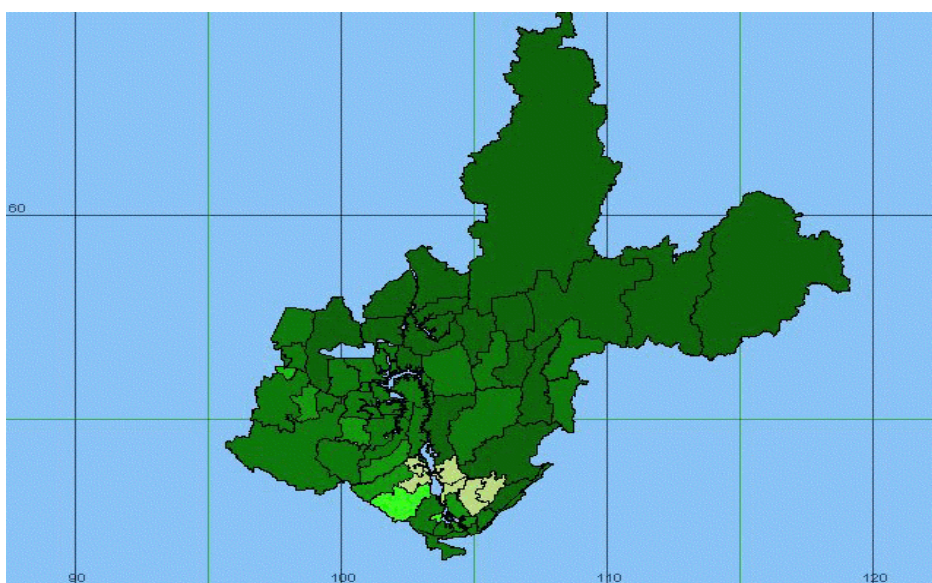


Рис. 4. Прогноз на 30 лет для спелых лесов хвойной породы

информацией. OpenMap отображает картографические данные и осуществляет обработку запросов пользователей на манипулирование этими данными (масштабирование, перемещение, добавление слоев, сохранение и т. д.), а также позволяет использовать данные форматов ESRI (шейп-файлы) и данные из текстовых файлов CSV (comma-separated values).

В созданном программном комплексе предусмотрена возможность создания карты по результатам прогнозных расчетов, на которой каждая расчетная единица (например, лесхоз) в зависимости от численного значения расчетной характеристики отображается некоторым цветом. Для раскраски берутся относительные значения характеристики, например отношение площади молодняков сосны к общей площади лесхоза. Более темные цвета соответствуют большему значению характеристики, более светлые — меньшему. Для отображения результатов в виде картографического произведения данные расчета из БД передаются в ГИС-подсистему, которая и производит их отображение с привязкой к топооснове и сетке границ выделов. В качестве топоосновы в настоящее время используется карта лесхозов Иркутской области.

Система позволяет строить картографические произведения для любого момента времени расчета модели, при этом существует возможность экспортировать изображения в файл (формата JPEG) и затем строить анимационные изображения.

Кроме анимационных изображений на основе JPEG-файлов система позволяет для каждой стадии расчета динамики лесов формировать новое изображение как новый слой тематической карты. Динамика объекта исследования представляется серией картографических слоев, помеченных соответствующим моментом времени. Эти слои при последовательном подключении формируют картографическую анимацию, отображающую изменение во времени и в пространстве различных характеристик лесов.

Программный комплекс реализован также и в виде апплета — Java-приложения, встраиваемого в современные Интернет-браузеры. Апплет является доверенным (trusted), что позволяет ему сохранять данные на компьютер пользователя, так как для обычных апплетов действия с компьютерами пользователей запрещены в целях обеспечения их безопасности. Поэтому перед запуском доверенного апплета выдается сообщение, в котором указываются параметры апплета (кем и для чего он создан), и запрашивается подтверждение на его использование. По результатам расчетов могут быть построены графики, а также на карте приведена площадная информация прогнозных расчетов (рис. 5). Элементы управления апплета поддерживают следующие функции:

- перемещение центра изображения (панорамирование);
- изменение масштаба изображения (наезд);
- изменение набора отображаемых слоев;
- изменение режима просмотра изображения;
- запросы к объектам картографического произведения.

Механизм программирования пользовательских приложений реализован при помощи интерпретатора языка программирования JavaScript и специальной библиотеки jsDUD, что позволяет интегрировать множество базовых функций и объектов в рамках одного приложения. Библиотека реализована в виде модуля, она предоставляет доступ к различным функциям программы. Блок работы со скриптами взаимодействует с пользователем не через основной пользовательский интерфейс программного комплекса, а его процедуры вызываются непосредственно скриптом на языке JavaScript. В программу-приложение JavaScript должна включаться загрузка модуля jsDUD, ко-

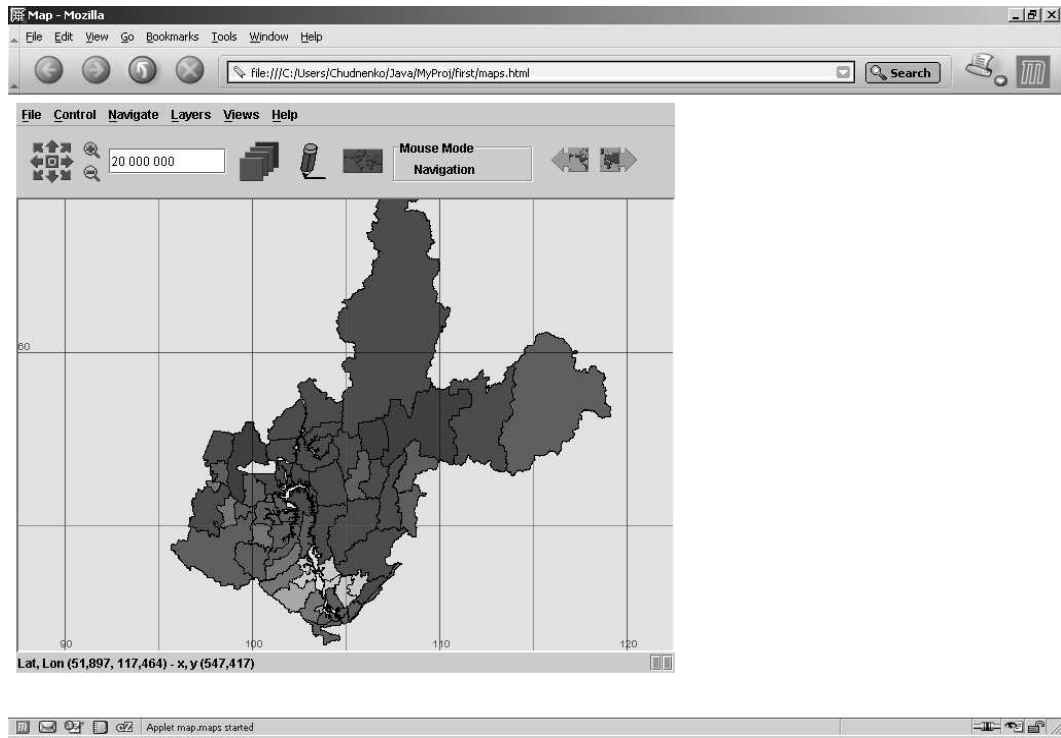


Рис. 5. Отображение в апплете расчетных данных

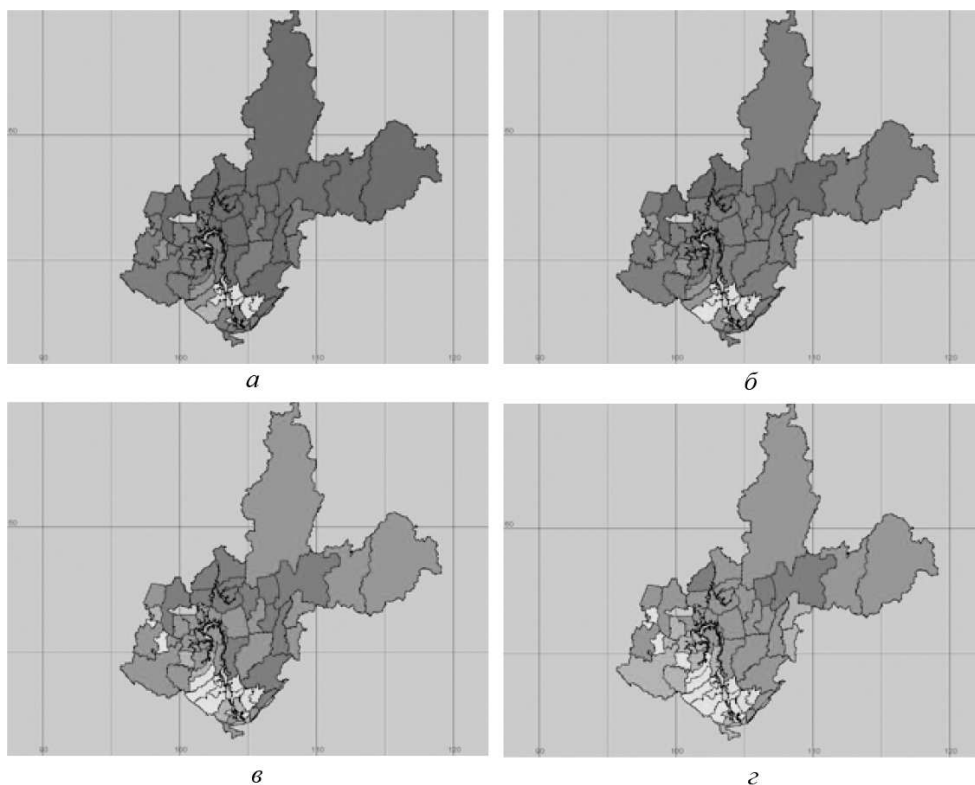


Рис. 6. Моделирование изменения запасов спелых и перестойных лесов хвойных пород: *а* — в начальный момент времени, *б* — через 5 лет, *в* — через 22 года, *г* — через 30 лет. Разными тонами показаны запасы насаждений: от светлого к темному — в порядке увеличения запасов

торый непосредственно производит расчет по математической модели заданного сценария. Рассчитанные значения результата доступны через функции модуля jsDUD, который содержит следующие компоненты: расчет сценариев модели динамики управления древостоем, конструирование графиков и диаграмм по результатам расчетов, реализованное на основе библиотеки JFreeChart. Пользовательский интерфейс программы строится на основе библиотеки Swing, доступ к которой также обеспечивается средствами JavaScript.

Взаимодействие между Java-модулем и интерпретатором JavaScript осуществляется с помощью библиотек Rhino и Sepia.

Программный комплекс прогнозирования состояния лесных ресурсов кроме хранения, отображения и обработки пространственно распределенных данных позволяет отображать информацию, полученную в результате математического моделирования динамики лесных ресурсов в виде таблиц, диаграмм, а также представляет динамику ресурса в виде анимации (рис. 6).

### **3.2. Информационно-аналитическая система “Фотосинтез хвойных Восточной Сибири”**

Исследование роли стока и эмиссии углерода наземными экосистемами в глобальном масштабе и определение запасов углерода в фитомассе наземных экосистем актуальны в связи с изменением климата, связанным с увеличением концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  и усилением роли температурного фактора в регуляции экосистемных процессов [15, 16].

Перспективными направлениями также являются построение математических моделей и прогноз на их основе максимальной скорости фотосинтеза растительности, образующего зеленый покров континентов, и определение стока углерода в лесные экосистемы регионального уровня по фотосинтетическому поглощению  $\text{CO}_2$ .

В настоящее время данных о фотосинтезе видов-доминантов лесной растительности отдельных регионов, отличающихся спецификой климатических условий, явно недостаточно для проведения комплексных исследований.

В этой связи для Прибайкалья, обладающего лесными массивами с преобладанием хвойных (ель, сосна, лиственница), с использованием геоинформационных технологий создается информационно-аналитическая система “Фотосинтез хвойных Восточной Сибири”, включающая показания фотосинтеза отдельных видов хвойных и факторов среды, наиболее полно характеризующих природно-климатические условия территории.

В ИДСТУ СО РАН создана структура базы данных ИАС ФС по информации Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, проведено ее частичное наполнение данными (около 60 тысяч значений) часовых значений нетто-фотосинтеза сосны, ели и лиственницы и соответствующих им показаний факторов среды (освещенности, температуры, относительной влажности воздуха, запасов влаги и температуры почвы), а также создана система запросов для решения информационно-аналитических задач. В качестве карты выбрана электронная топооснова масштаба 1 : 1 000 000.

ИАС ФС позволит исследовать фотосинтетический и продукционный потенциал видов хвойных лесов, оценивать климатический потенциал вегетации, рассчитывать и прогнозировать сток углерода за любой период времени в течение вегетации и в отдельные годы. Результаты выполненных исследований откроют принципиальную возможность для сравнительного изучения динамики углеродного стока в древостой разного

породного состава, определения переходных уравнений расчета реального ежегодного депонирования углерода, а также выявления оптимальных и лимитирующих параметров этого процесса.

## Заключение

Изложен эффективный принцип хранения неизменяемых данных, позволяющий сократить расход оперативной памяти и минимизировать время загрузки информации из файла. С использованием предложенного подхода разработан векторный формат SMD. Реализован модуль расширения веб-сервера IIS для публикации в Интернет/Инtranет электронных карт в формате SMD. Реализованы конвертеры в формат SMD из форматов ГИС “Панорама”, ArcView и MapInfo. Разработанные конвертеры поддерживают импорт не только семантической и метрической информации, но и информации о способе отображения объектов.

Дано описание технологии интеграции функциональных возможностей геоинформационных систем в существующие информационные системы, позволяющие автоматизировать процесс создания комплексных информационно-аналитических систем.

Дано краткое описание информационно-аналитических систем, создаваемых в ИД-СТУ СО РАН в рамках междисциплинарных исследований.

## Список литературы

- [1] Бычков И.В., Кухаренко Е.Л., Хмельнов А.Е. и др. ГИС органов власти и управления Иркутской области // Тр. Междунар. конф. “ГИС для устойчивого развития территорий (ИНТЕРКАРТО 6)”. Апатиты, 2000. Т. 2. С. 62–65.
- [2] Гаченко А.С., Федоров Р.К. Публикация векторных данных в сети Интернет на основе ГИС “Панорама” // Матер. Всерос. науч. молодеж. конф. “Под знаком “Сигма””. Омск, 2003. С. 20.
- [3] Гаченко А.С., Федоров Р.К., Хмельнов А.Е. Программные модули публикации ГИС-информации в Интернет // Матер. Всерос. конф. “Инфокоммуникационные и вычислительные технологии и системы”. Улан-Удэ, 2003. С. 103–104.
- [4] GIS AND MAPPING SOFTWARE. <http://esri.com>
- [5] MAPINFO CORPORATION. <http://mapinfo.com>
- [6] Бычков И.В., Фереферов Е.С., Хмельнов А.Е. Технология создания автоматизированных рабочих мест с возможностью обработки пространственных данных на основе метаописаний структур баз данных // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12, № 5. С. 41–51.
- [7] Гаченко А.С., Хмельнов А.Е. Технология создания информационных систем на основе метаданных // Матер. II Всерос. конф. “Инфокоммуникационные и вычислительные технологии и системы” (ИКВТС-06) с междунар. участием. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2006. Т. 1. С. 99–100.
- [8] Бычков И.В., Гаченко А.С., Ружников Г.М. и др. Интеграция информационно-справочных систем и ГИС на основе технологии метаописания структуры БД // Там же. С. 86–92.

- [9] Присяжнюк С.П., Железняков А.В. Опыт применения инструментария GIS ToolKit в отечественных разработках // Информ. бюл. ГИС-Ассоциация. 2001. № 3 (30).
- [10] ГИС “ПАНОРАМА”. <http://www.gisinfo.ru>
- [11] МОДЕЛИ управления природными ресурсами / Под ред. В.И. Гурмана. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. 204 с.
- [12] Черкашин А.К. Система математических моделей леса // Планирование и прогнозирование природно-экономических систем. Новосибирск: Наука, 1984. С. 46–57.
- [13] Черкашин Е.А., Чудненко А.К. Гибридная ГИС прогнозирования динамики лесонасаждений // Вест. ТГУ. Приложение № 9 (II). Докл. V Всерос. конф. с междунар. участием “Новые информационные технологии в исследовании сложных структур” (ИСАМ’04). Томск, 2004. С. 69–72.
- [14] Бычков И.В., Черкашин Е.А., Чудненко А.К. Создание системы поддержки принятия решений по рациональному использованию лесных ресурсов // Матер. Междунар. конф. “Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании”. Ч. 1. Алматы; Новосибирск, 2004. С. 364–369.
- [15] Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Игнатьева О.В. и др. Влияние промышленных выбросов на ассимиляционный аппарат и фотосинтез в сосновых насаждениях Восточной Сибири // Успехи совр. биологии. 2006. Т. 126, № 2. С. 221–232.
- [16] Суворова Г.Г., Янькова Л.С., Копытова Л.Д., Филиппова А.К. Сезонные оптимумы фотосинтеза хвойных Байкальской Сибири // Сиб. экол. журн. 2007. № 2. С. 289–296.

*Поступила в редакцию 28 ноября 2007 г.*