

## Моделирование и разработка ГИС-сервисов для задач исследований в области энергетики\*

В. В. ТРИПУТИНА

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия*

e-mail: vic@isem.sei.irk.ru

An approach to the modeling and development of GIS-services is considered. GIS-services are a kind of the Web-services. Flexible tools for power engineering problems are suggested. GIS-services unite the functional abilities of data bases, computer maps and Web access. Topologic relations between map objects are described. Metadata is proposed as a tool for this purpose.

**Постановка задачи.** Одной из актуальных задач при проведении системных исследований энергетики является задача анализа функционирования и развития объектов энергетики в свете их пространственно-территориальных взаимосвязей, которую можно отнести к классу задач мониторинга объектов энергетики [1]. К объектам энергетики относятся административные районы, экономические зоны, объекты транспорта топливно-энергетических ресурсов, объекты энергоснабжающих систем, тепло- и электростанции, месторождения полезных ископаемых и т. п.

Исследования в области энергетики касаются топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целом, систем энергетики, региональных проблем энергетики, научно-технического прогресса (НТП) в энергетике, взаимосвязей энергетики и экономики, информационных (ИТ) и математических технологий в энергетике.

В последнее время ставится задача создания системы мониторинга энергетической безопасности и его информационной поддержки, которая может быть организована на основе современных информационных технологий [2].

Географическая распределенность объектов энергетики приводит к необходимости визуализировать результаты проводимых исследований на картах территорий субъектов РФ. До сих пор эта задача решалась только для исследований ТЭК с позиций энергетической безопасности и то в основном статическими методами, без учета топологической зависимости между объектами, возможность отображения на карте результатов различных исследований не рассматривалась. В то же время пространственный анализ исследований разных направлений может дать качественно новые результаты. Для этого следует заранее определить топологические отношения внутри каждого исследования и межсистемные отношения, т. е. необходимо применять методы предварительного геомоделирования. Для задач исследований энергетики такие методы еще не разработаны.

---

\*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-07-00265а, № 08-07-00172а), РГНФ (грант № 07-02-12112в).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2008.

Задача визуализации объектов на электронной карте решается уже давно (см., например, [3, 4]), но стационарными методами, т. е., во-первых, функцию отображения результатов исследований на электронной карте выполняет тот программный комплекс, с помощью которого проводятся исследования, во-вторых, структура информации и методы ее отображения скрыты в технологии работы этих программных комплексов. Кроме того, невозможно на существующих электронных картах отобразить какую-либо другую информацию об этих же объектах, но информация об объектах энергетики и информация о местности неразрывно связаны. Для удаленных пользователей актуально разместить информацию об объектах энергетики (результаты исследований, данные отчетов, статистические или нормативные данные) на карте местности, соблюдая при этом принципы защиты информации.

Предлагается разработать инструментарий, выполняющий следующие функции:

- формирование динамической электронной карты, содержащей объекты различных тематических направлений;
- поддержка геодемии пространственно-распределенных объектов на основе топологических отношений;
- отображение на электронных картах динамически загружаемых объектов энергетики в соответствии с разработанной геодеммией;
- хранение описания объектов энергетики;
- предоставление возможности удаленного доступа к электронным картам.

Информационные технологии, поддерживающие методы визуализации и анализа пространственно-распределенных объектов, относятся к классу ГИС-технологий. Актуальными являются многопользовательские геоинформационные системы, цель которых — обработка и анализ больших массивов геоданных. Многопользовательский режим работы ГИС обеспечивают Интернет/Интранет-технологии. Публикация ГИС-данных в сети Интернет позволяет просматривать данные при помощи стандартного веб-браузера. Основными задачами ГИС в Интернет являются: привязка объектов энергетики к картам местности, визуализация их с помощью шкал классификации, составление запросов, подготовка отчетов.

Как правило, технология работы с ГИС-данными в сети Интернет предусматривает трехуровневую архитектуру [5]:

- 1) сервер пространственных данных, обеспечивающий эффективное взаимодействие с веб-сервером посредством обмена запросами на получение данных из различных источников;
- 2) средства создания фрагмента карты, позволяющие встроить его в веб-страницу;
- 3) Интернет-приложения (ГИС-сервисы), предоставляющие удаленным пользователям возможность работы с картами в сети.

ГИС-сервисы должны обеспечивать:

- организацию хранения пространственных и атрибутивных данных в виде геодемии;
- поддержку метаданных объектов энергетики;
- поддержку наборов различных типов пространственных данных (векторных, растровых, табличных и т. п.);
- возможность одновременной работы нескольких пользователей, имеющих собственный информационный ресурс;
- возможность развития и изменения функциональности системы.

**Геомодель.** Полная модель данных в ГИС имеет смешанный характер. Пространственные данные организованы в виде двух типов моделей — векторных и растровых. Атрибутивная информация объектов (называемая еще семантической), как правило, представлена в табличном виде и может поддерживаться СУБД реляционного типа. Симбиоз двух моделей данных, лежащих в основе представления пространственной и семантической информации в ГИС, называется геоинформационной моделью (геомоделью) [6]. Геомоделирование обеспечивает картографическую привязку аналитических данных, динамическое формирование и отображение картографических слоев на основе оперативной аналитической информации.

Пространственные и атрибутивные данные в исследованиях энергетики могут быть представлены геоинформационной моделью ( $G$ ) следующего вида:

$$G = \{O_l, O_e, T(O_e), M\},$$

где  $O_l$  — территориальные объекты электронной карты (объекты местности, административные объекты);  $O_e$  — объекты энергетики;  $T(O_e)$  — топологические отношения между объектами энергетики;  $M$  — метаданные.

Изначально под термином “топологические свойства” понимали ту часть описания пространственных данных, которая служит для описания взаимного положения геометрических объектов и их частей в векторно-топологическом представлении описания данных. В.Г. Горбачевым [7] введено понятие “топологическая ресурсная связь”. Такие связи нужны для того, чтобы дать возможность представлять на территории объекты, связанные в топологические ресурсные сети, они отражают расположение в пространстве реальных физических каналов передачи вещественных, энергетических и информационных ресурсов через границы объектов, отражаемых на цифровой карте.

Топологические отношения необходимы для поддержания топологической ресурсной связи в пределах одного направления исследований.

Топологические отношения между объектами энергетики тесно связаны с направлениями проводимых исследований. Они могут быть двух типов — внутрислойные и межслойные. Под слоем объектов понимается множество объектов энергетики, имеющих отношение к одному виду проводимых исследований независимо от вариантов этих исследований. Все пространственно-ресурсные отношения между объектами такого рода будем называть внутрислойными топологическими отношениями  $T(O_e^i)$ . Межслойные топологические отношения — это такие пространственные отношения между объектами разных типов, которые обычно регистрируются в разных слоях карты. Для энергетики характерно комплексное изучение систем энергетики, которые могут содержать одни и те же объекты, например объекты транспорта или переработки энергоресурсов, объекты добычи и потребления электро- и теплоэнергии. Поэтому именно межслойные топологические отношения представляют интерес с точки зрения системных исследований. Обозначим их  $T(O_e^i)$ .

Топологические отношения представлены в виде матрицы соответствия объектов одного слоя объектам другого слоя или темы. В случае, если карта представлена в векторном формате, в качестве базовых выбираются объекты основного слоя — так называемой подложки. Матрицы соответствия включают объекты основного слоя и связанные с ними объекты исследования. При этом объекты разного типа (точки, линии и полигоны) хранятся в разных матрицах. Если электронная карта представлена в растровом формате, то она предварительно делится на группы пикселов, соответствующие основным объектам карты: административные единицы (области и края или регионы,

областные центры, транспортные линии). Выделенным группам присваивается атрибутивная информация — наименование. Объекты исследования должны содержать такие же наименования административных единиц. На карте отображаются те объекты, для которых составлены матрицы соответствия согласно этим условиям. Привязка географического измерения осуществляется к одному или нескольким картографическим слоям.

**Метаданные.** Структура метаданных отражает структуру геомодели и включает метаданные атрибутивной информации, метаданные пространственных объектов, описания топологических отношений.

Метаданные атрибутивной информации имеют следующую структуру: название объекта, характеристики функционирования объекта, временные характеристики объекта, принадлежность к типу исследований, принадлежность к системе энергетики.

Метаданные пространственных объектов описывают структуру цифровой модели местности и содержат: название темы, вид графической модели — векторная или растровая (если векторная, то вид объектов — точка, линия или полигон) и название объектов (если растровая, то — название подложки или электронной карты, масштаб, атрибуты объектов). Такая структура предполагает интеграцию ГИС-данных разного формата одновременно из различных источников.

Чтобы значения показателей объектов отобразить в виде тематической карты, необходимо построить легенду тех слоев, к объектам которых выполнена картографическая привязка. При построении легенды используются методы тематического картографирования, позволяющие объекты слоя разбить на классы на основе соответствующих значений анализируемого показателя.

**ГИС-сервисы.** ГИС-сервисы решают следующие задачи: построение геомодели, визуализация слоев карты с объектами, связанными топологическими отношениями, масштабирование карты, построение тематической карты на основе классификации объектов, создание легенды и др.

ГИС-сервисы для задач исследований энергетики разрабатываются в рамках работ, связанных с созданием информационной инфраструктуры ИСЭМ СО РАН (гранты РФФИ № 07-07-00265а и № 08-07-00172а, РГНФ № 07-02-12112в, научный проект “Разработка методических основ и интеллектуальных компонентов ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике”, НИР в рамках приоритетной программы исследований СО РАН № 3.1 “Информационные и вычислительные технологии поддержки принятия решений”).

Предполагается распределенное хранение метаданных: описание геомодели — в базе метаданных репозитория, описание объектов карты — в базе данных ГИС-сервера, сами карты — в файловом хранилище. Для управления таким хранением разрабатываются сервисы репозитория: внесение метаданных, извлечение метаданных, доступ к информационным объектам [8]. На рис. 1 показано взаимодействие ГИС-сервисов с остальными компонентами ИТ-инфраструктуры.

Веб-сервер служит для организации удаленного доступа, ГИС-сервер обеспечивает вызов ГИС-сервисов и поддержку электронных карт векторных форматов. ГИС-сервисы выполняют функции в зависимости от требований пользователя. Геомодель хранится в репозитории, доступ к ней обеспечивается сервисами репозитория. Электронные карты растровых форматов хранятся в файловом хранилище, их подключение происходит на основе топологических отношений объектов, входящих в геомодель.

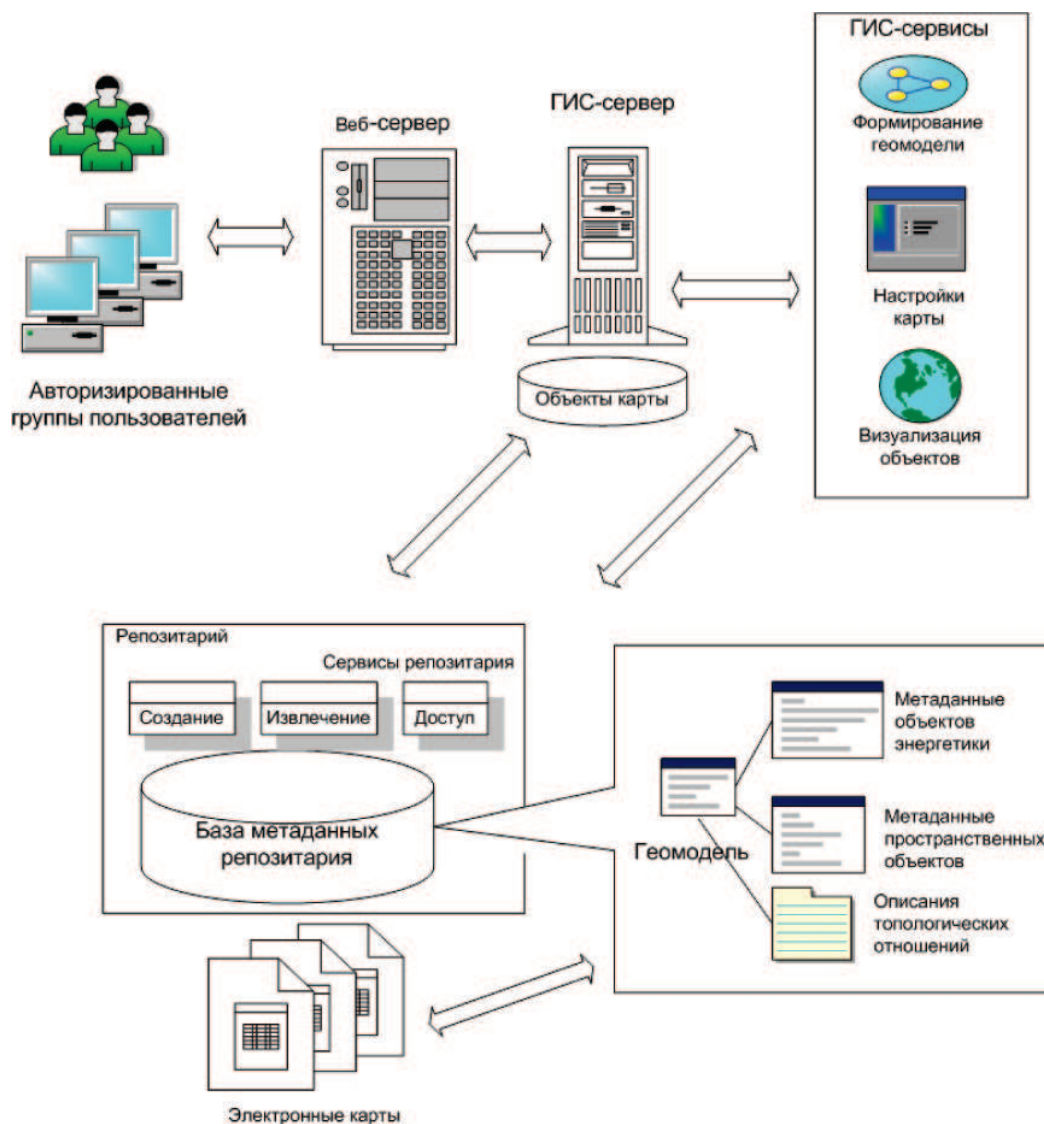


Рис. 1. Взаимодействие ГИС-сервисов с компонентами ИТ-инфраструктуры

Пользователь обращается к веб-серверу с запросом на отображение информации на электронной карте. Веб-сервер перенаправляет запрос к ГИС-сервису. Далее формируется геомодель, которая будет храниться в репозитории. Если такая модель уже существует, то она не формируется вновь, а загружается из репозитория. Метаданные пространственной информации передаются ГИС-серверу с целью подобрать наиболее подходящую карту местности. Затем выполняются функции расположения объектов на карте (масштабирование, классификация и формирование легенды на основе выделенных классов). Результат отправляется пользователю через веб-сервер. Диаграмма последовательности работы компонентов и ГИС-сервисов приведена на рис. 2.

Формирование электронной карты и тематических слоев происходит параллельно, как это показано на рис. 3. Геомодель формируется на основе уже имеющихся данных карты — географических атрибутов объектов местности — и географической информации объектов энергетики, хранящейся в метаданных. Для этого составляются топологические отношения в виде матриц соответствия объектов карты и объектов исследований. Частным случаем такого сопоставления является процесс геокодирования [6].

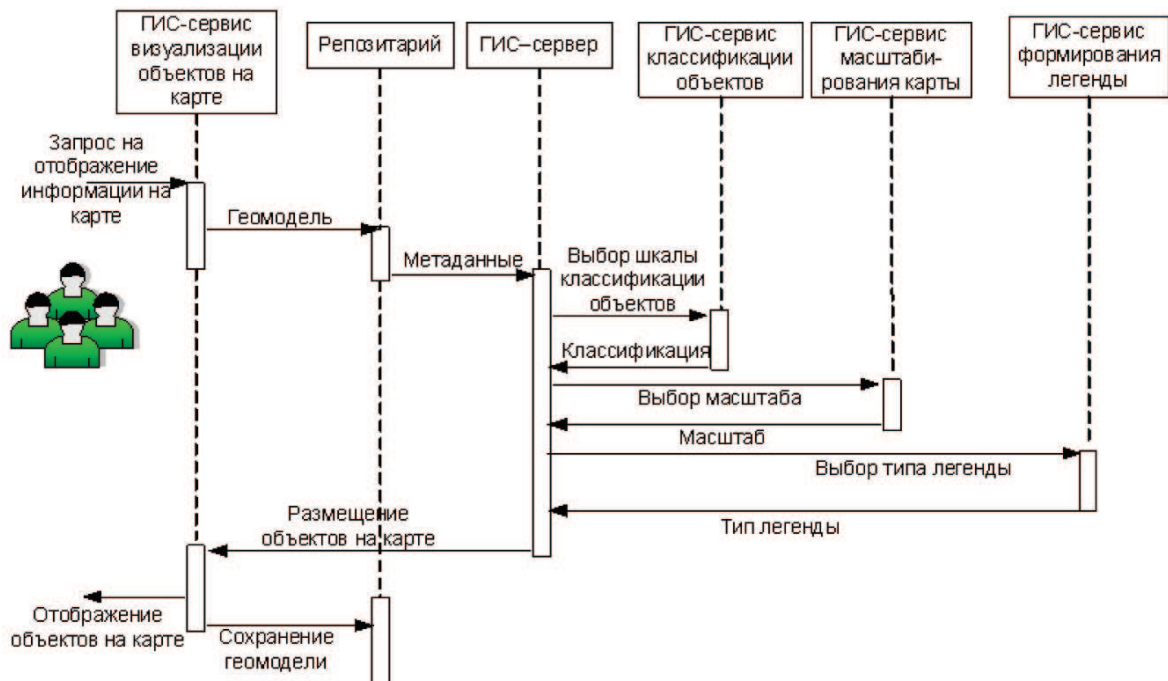


Рис. 2. Диаграмма последовательности работы ГИС-сервисов

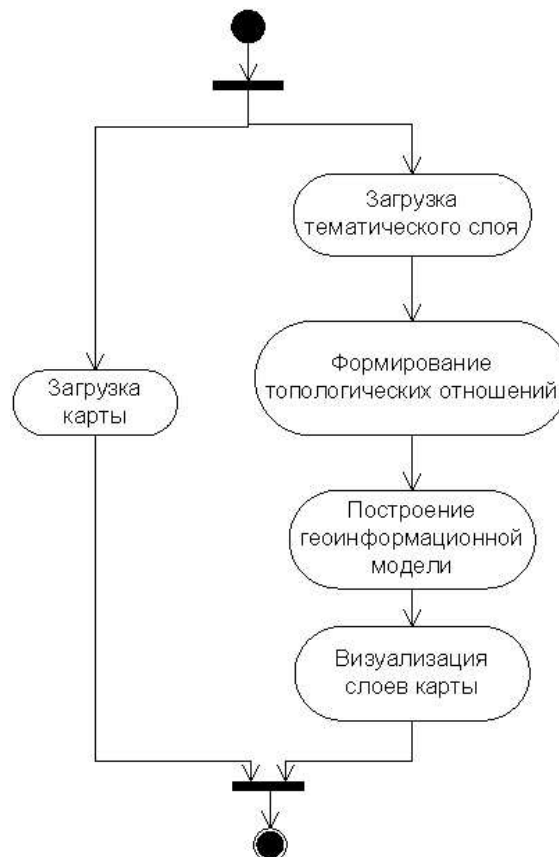


Рис. 3. Процесс формирования геоинформационной модели

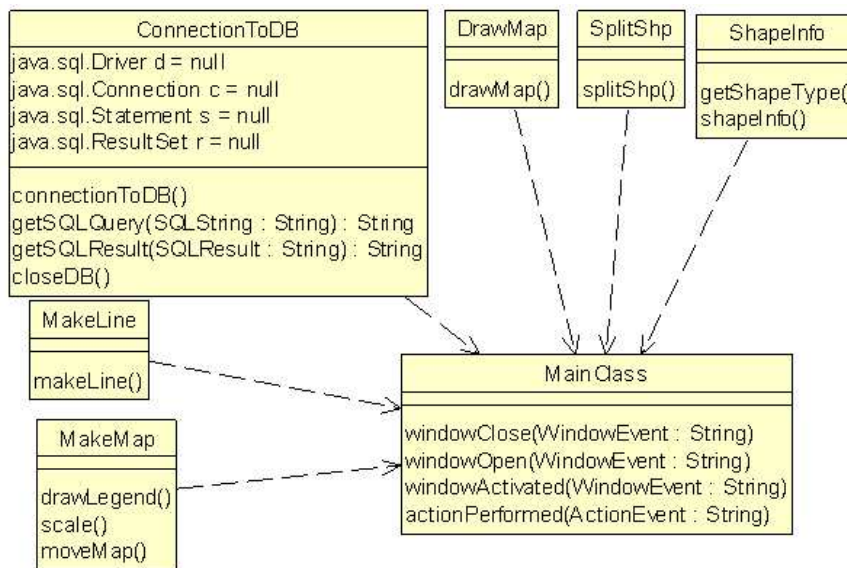


Рис. 4. Диаграмма классов ГИС-сервисов

Основные функции ГИС-сервисов, формирующих тематическую карту, могут быть представлены в виде диаграммы классов (рис. 4). Диаграмма выполнена в нотации UML с помощью CASE-средства Rational Rose. Класс ConnectionDB осуществляет подключение к базе данных, при этом метод connectionToDB выполняет поиск драйвера и подключение к базе данных. Метод getSQLQuery осуществляет выборку данных из базы данных в соответствии с запросом, который представлен в виде строки с параметром. Метод getSQLResult осуществляет разборку результата, который возвращается в виде массива строк. Метод closeDB осуществляет закрытие соединения с базой данных.

В классе MainClass создается объект класса ConnectionDB и осуществляется обращение к его методам. Метод drawMap класса DrawMap выполняет отображение карты в области окна, метод splitShp — разбиение карты на заданное количество зон. Методы getShapeType и shapeInfo выполняют отображение информации об объектах карты. Метод makeLine класса осуществляет отрисовку линии на карте. Методы drawLegend, scale и moveMap класса MakeMap выполняют соответственно отображение легенды, масштабирование и перемещение карты.

**Пример.** Рассмотрим, как отображаются данные о транспорте топливно-энергетического ресурса, в данном случае — угля, на карте России. Данные содержат информацию об объектах добычи (переработки) угля и транспортировке его в различные административные единицы — области, края, республики. Эту информацию можно представить в виде следующих тематических слоев: административные единицы, транспортные узлы, направленные транспортные дуги и объемы перевозок угля (рис. 5). Транспортные линии формируются соединением узлов на основе топологических отношений, представленных в геоинформационной модели.

Для формирования геомодели выбирается карта России, содержащая информацию о географическом расположении административных единиц и транспортных узлов. Тематическая карта формируется путем совмещения всех тематических слоев.

На рис. 6 приведен пример работы ГИС-сервисов, выполняющих отображение транспортировки угля на карте западных районов России.

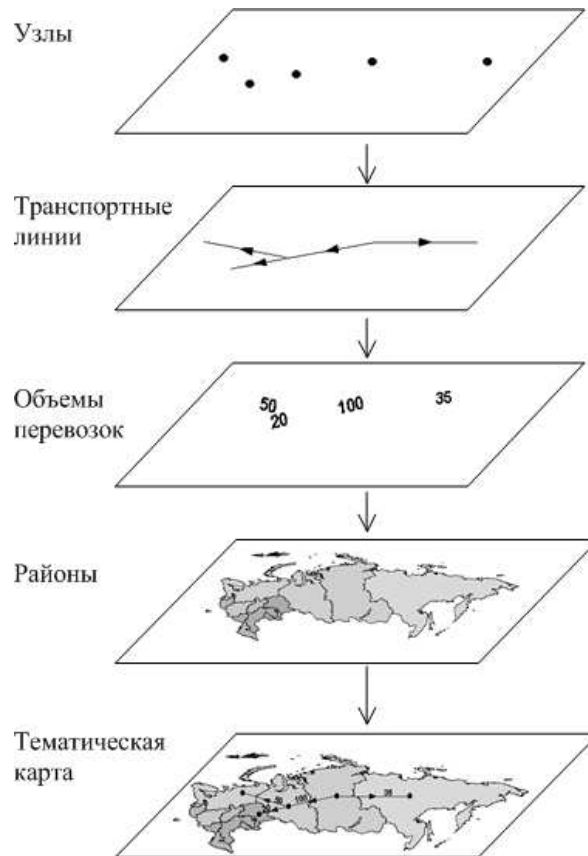


Рис. 5. Тематические слои транспортных перевозок угля

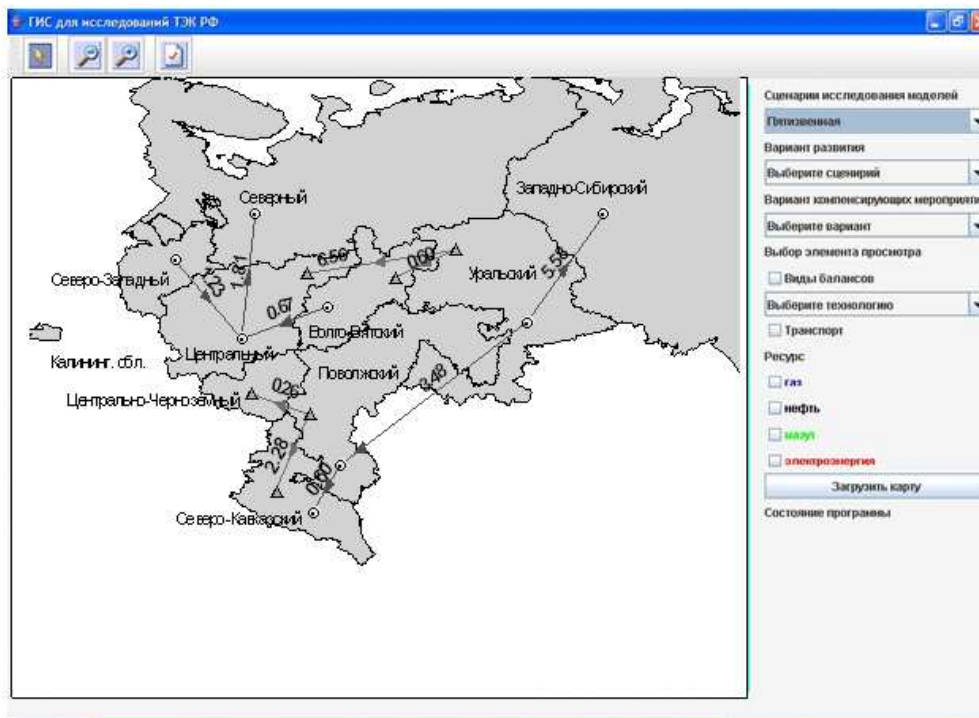


Рис. 6. Пример работы ГИС-сервисов



**Применяемые технологии.** ГИС-сервер обеспечивает работу с векторными картами в интерактивном режиме через любые типы веб-браузеров Plug-in для использования с Netscape Navigator и ActiveX Control — для использования с Microsoft Internet Explorer для Windows-систем, Java Edition — для использования с системами Sun Solaris и Apple Macintosh. Он обладает гибкими инструментами построения и оформления карт, поддерживает работу с мировыми системами координат и картографическими проекциями, читает пространственные и атрибутивные данные форматов широко применяемых в России инструментальных ГИС, а также осуществляет связь объектов карты с соответствующими им записями в удаленных базах данных различных СУБД. ГИС-сервер работает на основе стандартного инструмента MapGuide Server. Этот инструментарий выбран по следующим причинам: внутренний формат Autodesk MapGuide — SDF-файл имеет только пять атрибутов (индексы, идентификатор, имя, геометрия, URL), поэтому такие файлы намного меньше по объему и быстрее передаются через Интернет. В качестве удаленных баз данных могут использоваться любые ODBC-совместимые базы данных: DBF-файл, Microsoft SQL Server, Microsoft Access и Oracle.

ГИС-сервисы обеспечивают автоматическое создание тематических векторных карт, внедрение этих карт в веб-страницу, подбор композиции карты и установок плоттера, а также подбор элементов карты: легенды, шкалы масштаба, указателя сторон света, выбор заголовков, логотипа. Они используют средства запроса информации, дизайна слоев карты, механизмы использования гиперссылок, управляют слоями карты и доступом веб-клиента к функциям приложений и данным карты. Технологии, применяемые для разработки ГИС-сервисов, аналогичны технологиям разработки веб-сервисов и определены в [9]. Основная платформа создания веб-сервисов — Java 2 Enterprise Edition (J2EE), язык программирования — Java.

Основные компоненты геодезии — метаданные пространственных и атрибутивных характеристик объектов — разрабатываются с помощью языка XML.

## Список литературы

- [1] ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ стратегия России на период до 2020 года // Прил. к обществ.-дел. журн. “Энергетическая политика”. М.: ГУ ИЭС, 2003. 136 с.
- [2] РАБЧУК В.И., ПЯТКОВА Н.И., СЕНДЕРОВ С.М. и др. Стратегические угрозы энергетической безопасности России до 2020 г. Иркутск, 2004. (Препр. РАН. Сиб. отд-ние. ИСЭМ. № 1).
- [3] ПОПОВА О.М. Построение геоинформационной системы электрических сетей // Вест. Иркут. гос. техн. ун-та. 2006. № 2 (26). С. 101–104.
- [4] АЛЕКСЕЕВ В.В., КУРАКИНА Н.И., ЖЕЛТОВ Е.В. ГИС комплексной оценки состояния окружающей природной среды // Arcreview. 2007. № 1 (40). С. 16–17.
- [5] ФОРДИС А. Autodesk MapGuide 6 и ArcIMS 4. Сравнение инструментов и возможностей: Пер. А. Макурина. <http://www.sapr.ru/Archive/SG/2005/3/13/>
- [6] ДЕМЕРС Н.М. Географические информационные системы. Основы. М.: Изд-во Дата+, 1999. 491 с.
- [7] ГОРБАЧЕВ В.Г. Что такое “топологические” отношения в цифровой картографии или для чего топологические отношения нужны в геоинформатике? [http://www.integro.ru/metod/topo\\_relations.htm](http://www.integro.ru/metod/topo_relations.htm)

- 
- [8] Трипутина В.В., Копайгородский А.Н., Макагонова Н.Н. Информационная инфраструктура научных исследований // Информационные и математические технологии в науке, технике и образовании: Сб. науч. тр. / РАН. Сиб. отд-ние. Ин-т систем энергетики. 2005. Ч. 1. С. 72–80.
- [9] Фартышев Д.А., Черноусов А.В. Методы использования Web-сервисов для построения вычислительной ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике // Тр. XII Байкальской Всерос. конф. 2007. С. 46–54.

*Поступила в редакцию 25 января 2008 г.*