

Программный инструментарий для разработки Веб-ГИС систем для поддержки исследований в области климато-экологического мониторинга

А.Г. Титов, Е.П. Гордов, И.Г. Окладников

*Томский филиал Института вычислительных технологий СО РАН
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН*

Т.М. ШУЛЬГИНА

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

e-mail: titov@scert.ru

В статье описан создаваемый программный инструментарий для разработки геоинформационных веб-систем, обеспечивающих поддержку исследований в области климато-экологического мониторинга на основе комплексного анализа наборов пространственно-привязанных геофизических данных (метеонаблюдений, результатов моделирования, данных дистанционного зондирования). Программный инструментарий состоит из трех частей: вычислительного ядра, набора исполняемых в рамках специализированного веб-портала управляющих PHP-модулей, и JavaScript-библиотеки для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС приложений на базе технологии AJAX.

Вычислительное ядро реализует базовую функциональность для работы с наборами данных, а также предоставляет API для вызова вычислительных модулей, реализующих статистические процедуры. В качестве основы для представления картографической информации используется ПО GeoServer. JavaScript-библиотека, используемая для проектирования графического интерфейса, основана на инструментарии GeoExt, объединяющем библиотеки ExtJS Framework и OpenLayers. Представленный программный инструментарий позволяет создавать тематические Веб-ГИС системы для анализа разнородных геофизических данных и выявления тенденций климатических и экосистемных изменений.

Ключевые слова: информационные системы, Веб-ГИС технологии, программное обеспечение, пространственно-распределенные данные, метеорология, мониторинг окружающей среды

1. Введение

Важной задачей поддержки интегрированных научных исследований в области климато-экологического мониторинга является повышение их эффективности путем разработки специализированной программной инфраструктуры, обеспечивающей доступ и комплексный анализ пространственно-привязанных геофизических данных метеонаблюдений, моделирования, данных дистанционного зондирования, а также результатов их обработки (см. EGU-ESSI Position Paper, <http://sites.google.com/a/ima.cnr.it/egu-essi>). Такие наборы данных, как реанализы NCEP/NCAR [1–3], JRA-25 [4], ERA-40 [5], и т.д., активно используются в многочисленных приложениях, включающих, прогноз

и интерпретацию климатических и экосистемных изменений на разных пространственных и временных масштабах. С учетом современных тенденций развития сетевых технологий, очевидно, что требуемые инструменты должны быть доступны через Интернет, чтобы позволить пользователю удаленно обрабатывать архивы данных значительного объема и извлекать из них необходимую информацию.

В настоящее время все большее число специалистов, работающих с пространственно-привязанными данными, полагают, что соответствующая информационно-вычислительная инфраструктура должна основываться на комбинированном использовании потенциала веб- и ГИС-технологий [6–11]. Это обусловлено тем, что при использовании классических ГИС-технологий требуются мощные вычислительные ресурсы, а также распределенный доступ к огромным архивам данных, что далеко не всегда имеется на рабочем месте конечного пользователя. Таким образом, структурированная геоинформационная Интернет-система является эффективной и наиболее целесообразной платформой, основой для научно-исследовательского информационно-аналитического портала, [12].

Следует отметить, что типовое Веб-ГИС приложение является классическим «Rich Internet Application» (RIA, «богатое Интернет-приложение»), то есть приложением, доступным через Интернет и богатое функциональностью традиционных настольных приложений. Как правило, приложение RIA передаёт веб-браузеру необходимую часть пользовательского интерфейса, оставляя большую часть данных (ресурсы программы, данные и пр.) на сервере, что позволяет более сбалансировано использовать вычислительные ресурсы клиента и сервера, и обрабатывать большее количество сессий одновременно за счёт одного и того же аппаратного обеспечения.

Преимущества использования Веб-ГИС технологий достаточно очевидны: теоретическая независимость от веб-браузеров и операционных систем; возможность комбинированного использования географически распределенных источников данных в случае совместимых проекций, масштабов и качества данных; возможность совместного использования централизованных хранилищ данных; автоматическая установка и обновление версий приложения. К недостаткам следует отнести: необходимость полагаться на внешние источники данных, недостаточная надежность существующей сетевой инфраструктуры (типичные приложения RIA требуют постоянного подключения к серверу), требовательность к пропускной способности сети, относительная сложность разработки связанная с необходимостью применения многочисленных технологий. Таким образом, использование технологий Веб-ГИС позволяет выполнить следующие требования к ГИС функциональности веб-систем обработки и анализа геофизических данных [13]:

1. Обеспечение пользователя всеми основными функциями настольной ГИС: выбор карты, навигация по карте, масштабирование карты и т.д.
2. Использование множества базовых тематических слоев для представления различной картографической информации, возможность их включения-выключения
3. Предоставление в отдельном информационном окне массива информации, связанной с конкретным географическим объектом, по удаленному запросу пользователя.
4. Наличие механизмов обмена данными с внешними системами на основе открытых форматов данных, средств расширения функций ГИС возможностями продвинутых пользователей.

На сегодняшний день уже существует ряд информационных систем, посвященных, в той или иной мере, обработке пространственно-привязанных геофизических данных. В качестве примеров можно привести модель распределенной информационно-аналитической системы ИВТ/ ИГМ СО РАН [14, 15] для поиска, обработки и анализа пространственно-распределенных данных, а также систему анализа метеорологических данных в режиме реального времени [16]. Намного более функциональной системой для обработки и визуализации данных спутниковых наблюдений является система GES-DISC Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure (GIOVANNI), разработанная в NASA [17, 18]. Разработка инфраструктуры пространственных данных на базе стандартов OGC [19] и ISO также ведется в рамках проекта SIB-ESS-C (Siberian Earth System Science Cluster). Инструменты для обработки пространственно-распределенных временных рядов наблюдений, на данный момент доступные на веб-портале проекта (<http://argon.geogr.uni-jena.de/sibessc/>) в тестовом режиме, предоставляют возможности доступа к данным, а также визуализации и анализа происходящих на территории Сибири изменений с помощью современных Веб-ГИС технологий (Mapfish framework, SIMILE Timeline Widgets, и т.д.) [20]. Довольно мощной по своим функциональным возможностям является информационно-аналитическая система для экологического мониторинга состояния природной среды и ресурсов [13], разработанная в ИВМ СО РАН.

Одной же из наиболее развитых систем для интегрированной онлайн-обработки разнородных данных по климату, гидрологии, данных дистанционного зондирования и т.д. является RIMS (An Integrated Mapping and Analysis System with Application to Siberia, <http://RIMS.unh.edu/>) [21]. Данное ПО является весьма успешной попыткой реализации полнофункциональной ГИС-системы в виде веб-приложения с помощью такого картографического ПО как MapServer [22], и широко используется при выполнении многочисленных исследовательских проектов, [23], включая проекты NEESPI (<http://NEESPI.sr.unh.edu>). Его особенностью является работа именно с цифровыми наборами данных, а не с их графическими представлениями, включая такую функциональность, как доступ к значениям данных для каждого пикселя демонстрируемой карты, доступ к агрегированным по пространственному и временному критериям наборам данных, а также инструменты для их поиска. Основной причиной создания RIMS на основе Веб-ГИС технологий авторы называют постоянно возрастающие сложности в обновлении и использовании распределенных архивов геофизических данных.

Таким образом, современные информационно-телекоммуникационные технологии позволяют интегрировать различные программные решения для построения соответствующих Интернет-ресурсов, что можно видеть на примере вышеупомянутых систем. Ясно, что ни одна из существующих систем не может в принципе решать весь спектр задач, возникающих в области климато-экологического мониторинга. Поэтому, особую важность приобретает создание специализированного программного инструментария для быстрой разработки тематических Веб-ГИС приложений, предоставляющих исследователям возможности анализа разнородных геофизических данных, в том числе данных высокого пространственного разрешения, и выявления тенденций климатических и экосистемных изменений.

2. Открытое ПО для разработки Веб-ГИС приложений

В настоящее время общие принципы и стандарты в области разработки программного обеспечения, предоставляющего картографические веб-сервисы, разрабатываются и декларируются международной некоммерческой организацией Open Geospatial Consortium (OGC, [19]), членами которой являются NASA, Oracle, Google, ESRI, Autodesk и др. Помимо простой визуализации данных, новым аспектом работы с пространственными данными является перенос в веб собственно их обработки и анализа. Это стало возможным благодаря развитию мощного инструментария, легко размещаемого на веб-серверах, такого как Mapserver [22], Geoserver [24], FeatureServer [25], и т. д., обеспечивающих сервисы WMS/WFS/WCS, а также развитию собственно веб-клиентов ГИС, отвечающих за реализацию графического интерфейса пользователя.

В настоящее время большинство проектов с открытым исходным кодом базируется на ПО UMN Mapserver и Geoserver. MapServer, разрабатываемый с середины 1990-х, является очень мощным инструментом создания картографических веб-сервисов, по своей функциональности не уступающим платному ПО, и поставляется в виде CGI-приложения с набором дополнительных компонент. Более новый продукт Geoserver основан на Java-инструментарии Geotools [26], требует для установки сервлет-контейнер Tomcat или Jetty, и в дополнение к стандартным картографическим веб-сервисам OGC реализует спецификацию WFS-T. Также он обладает развитым веб-интерфейсом для интерактивного создания и изменения разрабатываемых картографических ресурсов. Согласно комплексному исследованию производительности [27], при адекватном конфигурировании оба продукта имеют сравнимые характеристики, и выбор в пользу одного из них может быть сделан исходя из соображений архитектуры разрабатываемого ПО и удобств разработки. Учитывая, что Geoserver также предоставляет RESTful (Representational State Transfer) интерфейс [28], выбор при разработке программного инструментария был сделан в пользу этого ПО.

Как следует из обзора веб-клиентов ГИС [29], можно сделать вывод, что последние поколения клиентов, как правило, базируются на библиотеке OpenLayers [30], основанной на технологии AJAX (Asynchronous Javascript and XML) и позволяющей оперативно создавать веб-интерфейс для отображения картографических материалов, представленных в различных форматах и расположенных на различных серверах. Также существует ряд комплексных клиент-серверных решений для построения Веб-ГИС приложений, таких как MapFish (<http://www.mapfish.org/>, основан на среде Python), MapBender (<http://www.mapbender.org/>, язык PHP), Geomajas (<http://www.geomajas.org/>, технологии Java, GWT Framework), KIDS (Key Indicator Data System, <http://kids.fao.org/>), iGeoPortal [31] (Java), и др. Следует также отметить проекты, использующие Flash для создания клиентской части веб-приложений – Flamingo, OpenScales и Geoide. В данной работе рассматривались только решения, совместимые с уже разработанными прототипами информационных систем по обработке и визуализации геофизических данных [32], основанными на ПО веб-портала ATMOS [33], реализованном на языке PHP.

JavaScript-библиотеки для построения клиентской части приложений RIA на основе технологии AJAX являются необходимыми компонентами создаваемого программного инструментария. Наиболее известными являются библиотеки JQuery (<http://jquery.com>) и The Yahoo! User Interface Library (YUI) (<http://developer.yahoo.com/yui/3>). Несмотря на малый размер и неплохую внутреннюю функциональность по работе с данными, они

обладают слабым набором виджет-компонент, что явно недостаточно для построения адекватного графического интерфейса пользователя. В свою очередь, такие программные продукты, как DHTMLX (<http://www.dhtmlx.com>) и DOJO (<http://dojotoolkit.org>), хотя и предлагают довольно богатый набор компонент графического интерфейса, вызывают достаточно много нареканий пользователей по производительности и количеству ошибок, обнаруживаемых в релизах. Таким образом, в качестве базиса для разработки клиентской части программного инструментария была выбрана библиотека ExtJS [34], что обусловлено следующими соображениями:

1. Богатейший набор предоставляемых виджет-компонент; библиотека позиционируется именно как инструмент для построения веб-интерфейсов; наилучший дизайн.
2. Поддержка интероперабельности с библиотеками JQuery и Prototype.
3. Поддержка REST.
4. Наличие Ext4Yii Framework (<http://ext4yii.com/>), реализованном на PHP, и обеспечивающем работу с компонентами ExtJS на стороне сервера.

Далее, при построении клиентской части программного инструментария будет использоваться библиотека GeoExt [35], объединяющая функциональные возможности ExtJS и OpenLayers. Следует отметить, что к подобному результату (использование GeoExt, FeatureServer) пришли авторы работы [36], при разработке решений на основе открытых программных продуктов, а в целом архитектура разрабатываемых с помощью инструментария Веб-ГИС приложений соответствует архитектуре OpenGeo [37].

3. Архитектура

Представляемый программный инструментарий состоит из трех частей (Рис. 1):

1. Вычислительное ядро, реализованное на языке ITTVIS IDL [38].
2. Набор исполняемых в рамках специализированного веб-портала управляющих PHP-модулей, обеспечивающих работу с картографическими веб-сервисами, модулями вычислительного ядра и элементами графического интерфейса пользователя.
3. JavaScript-библиотека для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС приложений на базе технологии AJAX.

Вычислительное ядро реализует базовую функциональность для работы с архивами пространственно-привязанных данных (доступ, поиск, выборка, представление данных в форматах NetCDF, Shapefile и т.д.), а также предоставляет API для вызова вычислительных модулей, реализующих статистические процедуры. Модули ядра выполняются в среде IDL, а их вызов и управление производится PHP-модулями, выполняемыми в рамках специализированного веб-портала. Задача, сформированная пользователем, а также параметры желаемой визуализации результатов, передаются менеджеру ядра в виде XML-файла. Задача содержит указания на обрабатываемые геофизические характеристики, пространственные и временные границы интересующей области, базисный

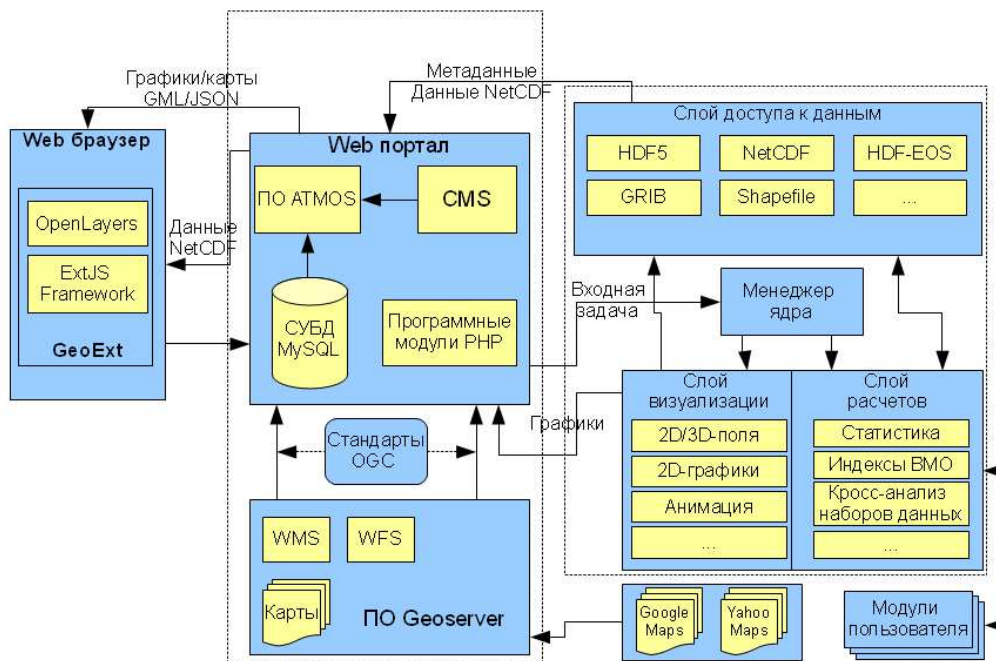


Рис. 1. Общая архитектура программного инструментария

слой карты выбранной для анализа территории, а также последовательность статистической обработки каждой переменной, с указанием параметров графического вывода результата на каждом этапе обработки. Модуль визуализации ядра позволяет производить графический вывод в форматах GeoTIFF, MJPEG, ESRI Shapefile (Environmental Systems Research Institute), [39]. Интерфейс модуля специфицирует содержание и тип графического результата (3-мерное графическое поле с цветовой дифференциацией по величине в каждой точке, контурное поле, векторное поле, 2-мерный график), наличие и тип легенды, географическую проекцию, размер графиков в пикселях, имя файла для вывода. Менеджер ядра производит анализ задачи, подготавливает расчетный конвейер и производит запуск соответствующих расчетных модулей. На данном этапе созданы расчетные модули, реализующие функциональность, представленную в прототипе информационно-вычислительной системы, созданной авторами ранее [32]. По окончании расчетов производится визуализация полученных результатов в виде слоев карты согласно спецификации задачи. Кроме того, результаты расчетов выводятся также в форматах NetCDF и XML, что обеспечивает их интероперабельность.

В качестве основы для представления картографической информации используется ПО GeoServer.

Специализированный веб-портал является связующим звеном между элементами программного инструментария. В нем реализована необходимая базовая функциональность, такая как авторизация пользователей, подключение к базам данных, использование HTML-шаблонов, языковая локализация, система управления контентом (CMS) и ряд других возможностей. Управляющие PHP-модули (контроллеры) организованы в пакетную структуру, и обеспечивают серверный интерфейс для взаимодействия с графическим интерфейсом пользователя, вычислительным ядром, картографическими веб-сервисами и хранилищем данных дистанционного зондирования.

JavaScript библиотека, используемая для проектирования графического интерфейса пользователя в рамках веб-браузера, основана на ПО GeoExt [35], ExtJS Framework [34] и OpenLayers [30]. Взаимодействие браузера с сервером производится асинхронно без перезагрузки веб-страниц. Программный инструментарий должен обеспечивать следующие базисные элементы графического интерфейса типового Веб-ГИС приложения (в качестве прототипа можно использовать ПО geoext-viewer, (<http://code.google.com/p/geoext-viewer/>):

1. Окно отображения карты с соответствующей информационной панелью (масштабная линейка, навигационная карта, координаты, размеры показываемой области, используемые легенды).
2. Список слоев отображаемой карты, с возможностью добавления/удаления, включения/выключения, просмотра/редактирования свойств.
3. Общая информационная панель, отображающая текущее состояние приложения.
4. Общее меню и панель инструментов приложения (увеличение/уменьшение/центрирование/перерисовка карты, информация по заданному объекту, рисование линий/полигонов, и т.д.).
5. Окно вывода результата запроса пользователя (координаты точки, значения вычисляемых параметров для включенных слоев).
6. Контекстно-зависимое меню по правому клику мыши.
7. Диалоговые окна.
8. Аналитические таблицы и графики.

4. Предварительные результаты

Выполнена разработка общей архитектуры программного инструментария, необходимого для построения базисных элементов интегрированных информационно-вычислительных систем для обработки больших архивов пространственно-привязанных геофизических данных с помощью Веб-ГИС технологий. Выработаны основные требования, которым должны отвечать инструментарий и проектируемый на его основе прототип информационно-вычислительной системы для проведения комплексных исследований в области климато-экологического мониторинга.

Произведена интеграция базовых компонент графического интерфейса пользователя с ПО веб-портала ATMOS, а также реализовано совместное представление графических результатов вычислений и карт Google Maps, Yahoo Maps (Рис. 2). При этом в качестве одного из слоев или подложки при отображении полей метеорологических данных могут быть использованы данные спутникового зондирования Landsat (комбинация спектральных каналов, готовые продукты).

Подготовлен базисный набор геопривязанных карт, включая карты растительного покрова, природных экосистем, индекса NDVI, для их последующего использования в Веб-ГИС сервисе.

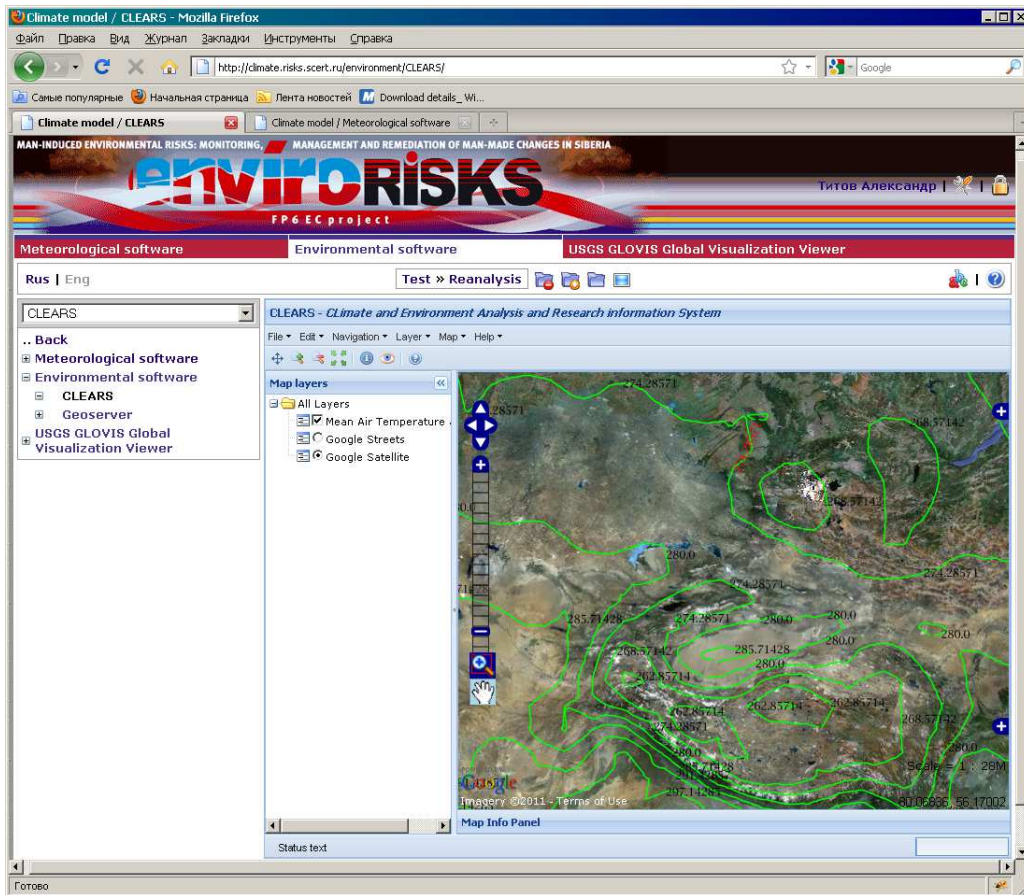


Рис. 2. Прототип интерфейса пользователя. Контуры средней температуры воздуха на высоте 2м, 1979г., в формате ESRI Shapefile, с базовым слоем Google Maps Satellite

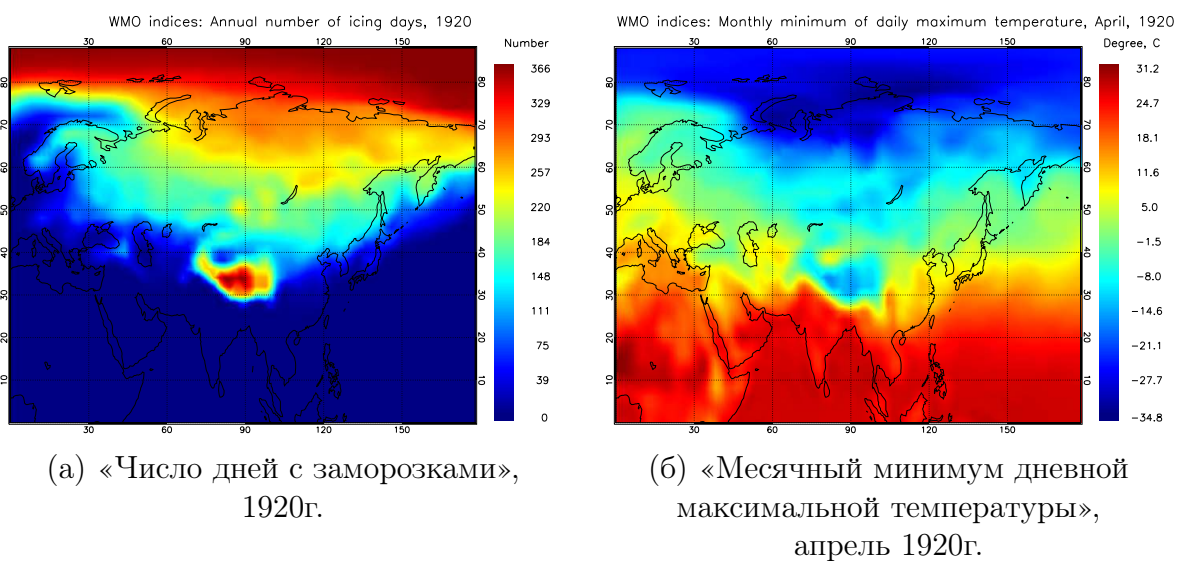


Рис. 3. Индексы изменения климата по данным NOAA-CIRES XX Century Reanalysis

Разработана программная библиотека, обеспечивающая вычислительным модулям доступ к наборам геоданных. Реализован менеджер задач вычислительного ядра, создан набор из тринадцати вычислительных модулей для расчета базовой статистики и индексов изменения климата [40]. Поведение индексов изменения климата показано на Рис. 3. С целью получения карт поверхности высокого разрешения (30 м) был реализован модуль ядра для обработки данных дистанционного зондирования Landsat 4–7 на языке программирования ITTVIS IDL. Кроме того, разработан графический модуль ядра, обеспечивающий визуализацию результатов обработки и запись их в файлы формата Encapsulated Postscript, GeoTIFF и ESRI Shapefile, а также предоставление конечному пользователю картографических легенд по соответствующему WMS-запросу.

5. Заключение

Предложенный программный инструментарий для быстрой разработки прикладных Веб-ГИС систем на основе разработанной архитектуры позволит производить интегрированную обработку разнородных геофизических данных полевых наблюдений, моделирования и дистанционного зондирования, таким образом, предоставив специалистам из различных областей науки уникальные возможности их надежного анализа и выявления тенденций климатических и экосистемных изменений. Работа выполнена при поддержке программ СО РАН (проекты: 4.31.1.5, 4.31.2.7; ИП: 4, 9, 50, 66), гранта РФФИ № 10-07-00547.

Список литературы

- [1] NCEP/NCAR Reanalysis. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>.
- [2] KALNAY E. ET AL. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *bulletin of the American Meteorological Society*. March 1996. Vol. 77. No 3. P. 437–471.
- [3] KANAMITSU M. ET AL. NCEP-DOE AMIP II Reanalysis (R-2) // *American Meteorological Society*. November 2002. P. 1631–1643.
- [4] K. ONOGI, ET AL. The JRA-25 Reanalysis // *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 2007. Vol. 85. No. 3. P. 369–432.
- [5] ERA-40 Project Report Series // *European Centre for Medium Range Weather Forecasts*. 2007.
- [6] FRANS J. M. VAN DER WEL. Spatial data infrastructure for meteorological and climatic data // *Meteorol. Appl.* 2005. Vol. 12. P. 7–8. DOI:10.1017/S1350482704001471.
- [7] GUPTA A., MARCIANO R., ZASLAVSKY I., BARU C., «Integrating GIS and Imagery through XML-Based Information Mediation». In P. Agouris and A. Stefanidis (Eds.). *Integrated Spatial Databases // Digital Images and GIS, Lecture Notes in Computer Science*. 1999. Vol. 1737.
- [8] DRAGICEVIC S., BALRAM S., LEWIS J. The role of Web GIS tools in the environmental modeling and decision-making process // *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs*. Banff, Alberta, Canada. 2000. September 2–8.
- [9] PENG Z-R AND TSOU M-H. *Internet GIS - Distributed Geographic Information Systems for the Internet and Wireless Networks // New York*. 2003. John Wiley & Sons.

- [10] VATSAVAI RANGA RAJU, THOMAS E. BURK, B. TYLER WILSON, SHASHI SHEKHAR A Web-based browsing and spatial analysis system for regional natural resource analysis and mapping // Proc. of the 8th ACM int. symp. on Advances in geographic information systems. Washington, D.C., US., 2000. P. 95–101.
- [11] ЯКУБАЙЛИК О.Э. Геоинформационный Интернет-портал. // Вычислительные технологии. Т. 12. Спец. выпуск 3. 2007. С. 116–125.
- [12] ШАПАРЕВ Н.Я., КАДОЧНИКОВ А.А., ГОСТЕВА А.А., ЯКУБАЙЛИК О.Э. Проблемы реализации геоинформационной интернет-системы природно-ресурсной тематики // Тр. науч. конф. «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф. Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Красноярск: ИВМ СО РАН, 2003. Т. 1. С. 244–250.
- [13] ЯКУБАЙЛИК О.Э., КАДОЧНИКОВ А.А., ПОПОВ В.Г., ТОКАРЕВ А.В. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов // J. of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2008. № 1(4). С. 375–384.
- [14] ШОКИН Ю.И., ЖИЖИМОВ О.Л., ПЕСТУНОВ И.А., СИНЯВСКИЙ Ю.Н., СМИРНОВ В.В. Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Спец. выпуск 3. С. 108–115.
- [15] ДОБРЕЦОВ Н.Н., ПОТАТУРКИН О.И., ЧУБАРОВ Л.Б., ШОКИН Ю.И. О проекте распределенной информационно-вычислительной системы сбора, хранения и обработки данных дистанционного зондирования Земли для регионов Сибири и Дальнего Востока // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13 и Вестник КазНУ. № 3. Часть 1. 2008. Совместный выпуск по материалам Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании», 10–14 сентября, 2008.
- [16] REFIK SAMET, SERHAT TURAL. Web based real-time meteorological data analysis and mapping information system // International Journal of Education and Information Technologies. 2010. Issue 4. Vol. 4. P. 187–196.
- [17] GIOVANNI: GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure // <http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>.
- [18] LEPTOUKH G., BERRICK S., RUI H., LIU Z., ZHU T., SHEN S. NASA GES DISC on-line visualization and analysis system for gridded remote sensing data.
- [19] Open Geospatial Consortium // <http://www.opengeospatial.org>.
- [20] GERLACH R., SCHMULLIUS C., FROTSCHER K. Supporting NEESPI with Data Services — The SIB-ESS-C e-Infrastructure // Geophysical Research Abstracts. 2009. Vol. 11, EGU2009-13591.
- [21] PROUSSEVITCH A., VOROSMARTY C., GLIDDEN S., FEKETE B., GREEN P., LAMMERS R. Global-RIMS: A Global Rapid Integrated Mapping System for Hydrology Visualization and Analysis // Computers and Geosciences (in review 2009)
- [22] MapServer. <http://mapserver.org/>.
- [23] WELP L.R., RANDERSON J.T., FINLAY J.C., DAVYDOV S.P., ZIMOVA G.M., DAVYDOVA A.I., ZIMOV S.A. A high-resolution time series of oxygen isotopes from the Kolyma River: Implications for the seasonal dynamics of discharge and basin-scale water use // Geophysical Research Letters. 2005. Vol. 32. L14401. DOI:10.1029/2005GL022857.

- [24] What is GeoServer // <http://geoserver.org/display/GEOS/What+is+GeoServer>.
- [25] FeatureServer – RESTful Geographic Feature Storage // <http://featureserver.org/>.
- [26] GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit // <http://www.geotools.org/>.
- [27] ANDERSON B., DEOLIVEIRA J. Mapserver vs Geoserver // <http://www.slideshare.net/novum.limitis/mapserver-vs-geoserver>.
- [28] RICHARDSON L., RUBY S. Restful Web Services (First ed.) // O'Reilly. 2007. 446p.
- [29] CARRILLO G. Web mapping client comparison v.5, Soluciones Geoformasticas Libres // http://geotux.tuxfamily.org/index.php?option=com_myblog&task=view&id=265&Itemid=59&lang=en
- [30] OpenLayers: Free Maps for the Web // <http://openlayers.org>.
- [31] Deegree iGeoPortal – Standard Edition v2.4 // http://download.deegree.org/deegree2.4/docs/igeoportal/deegree_igeoportal_documentation_en.pdf
- [32] TITOV A., GORDOV E., OKLADNIKOV I., SHULGINA T. Web-system for processing and visualization of meteorological data for Siberian environment research // International Journal of Digital Earth. Issue S1 April 2009. Vol. 2. P. 105–119. DOI: 10.1080/17538940902866187.
- [33] GORDOV E.P., LYKOSOV V.N., FAZLIEV A.Z. Web portal on environmental sciences “ATMOS” // Advances in Geosciences. 2006. No 8. P. 33–38.
- [34] FREDERICK S., RAMSAY C., BLADES S.C. Learning Ext JS // Packt Publishing. 2008. 299 p.
- [35] JavaScript Toolkit for Rich Web Mapping Applications // <http://www.geoext.org/>.
- [36] MILER M., ODOBASIC D., MEDAK D. Efficient Web-GIS Solution based on Open Source Technologies: Case-Study of Urban Planning and Management of the City of Zagreb, Croatia // Proceedings of the XXIV FIG International Congress – Facing the Challenges – Building the Capacity / Prof. Dr.-Ing. Rudolf Staiger, editor(s). Sydney, Australia : International Federation of Surveyors, 2010.
- [37] White Paper: The OpenGeo Architecture // <http://opengeo.org/publications/opengeo-architecture/>.
- [38] ITTVIS IDL - Data Visualization Solutions // <http://www.ittvvis.com/ProductServices/IDL.aspx>.
- [39] ESRI Shapefile Technical Description, 1998 // <http://ww.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.
- [40] PETERSON T.C. Climate Change Indices // WMO Bulletin. 2005. No 54(2), P. 83–86.