

Применение специализированного программного обеспечения при разработке экспериментального образца программно-аппаратной платформы «Климат»^{*}

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

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Томский филиал ИВТ СО РАН
titov@scert.ru, gordov@scert.ru, oig@scert.ru

Аннотация

В статье представлен разработанный с использованием специализированного программного обеспечения (инструментария) экспериментальный образец программно-аппаратной платформы «Климат», предназначенный для мониторинга и прогноза региональных климатических и экологических изменений и поддержки непрерывного образования, реализующий современные концепции Веб 2.0, элементы ГИС-технологий и возможности интернет-доступа к прикладным моделям, наборам геофизических данных и средствам визуализации результатов исследований.

1. Введение

Для информационной поддержки интегрированных научных исследований в области наук о Земле, в частности, для комплексного использования больших и изначально разнородных наборов пространственно-привязанных данных, полученных из разных источников, важной задачей является создание основанной на современных информационно-телекоммуникационных технологиях программной инфраструктуры [14, 26]. При этом, ее элементы должны удовлетворять требованиям инфраструктуры пространственных данных (ИПД, [22, 28]), что требует использования современных технологий обработки геофизических данных, позволяющих интегрировать различные программные решения для организации и обработки таких информационных ресурсов. Эти обстоятельства были учтены при разработке экспериментального образца программно-аппаратной платформы «Климат» [25].

В настоящее время признано, что соответствующая информационно-вычислительная инфраструктура должна основываться на использовании Веб-ГИС-технологий [3, 6, 9, 18, 23]. Использование этого подхода для разработки доступных через Ин-

тернет тематических информационно-вычислительных систем является перспективным способом повышения эффективности мультидисциплинарных региональных и глобальных исследований в области наук о Земле [8], включая анализ климатических изменений и их влияние на пространственно-временное поведение растительных экосистем.

Следует отметить, что на сегодняшний день уже существует ряд информационных систем, посвященных, в той или иной мере, обработке пространственно-привязанных геофизических данных (GIOVANNI [7, 13], RIMS [19]). При этом очевидно, 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 обеспечения 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. Такое программное обеспечение (инструментарий) в составе модульного вычислительного ядра и набора управляющих PHP-контроллеров на стороне сервера, а также JavaScript-библиотеки для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС приложений на базе технологии AJAX, было нами разработано [27, 29], с целью последующей реализации на его основе программно-аппаратной платформы «Климат».

2. Экспериментальный образец программно-аппаратной платформы «Климат»

Экспериментальный образец программно-аппаратной платформы «Климат» (ЭО Платформы) имеет трехуровневую структуру, где каждый уровень структуры строится на основе клиент-серверной архитектуры. Общая структура приведена на Рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная структура ЭО Платформы «Климат»

При более детальном рассмотрении архитектуры ЭО Платформы в ней можно выделить следующие основные компоненты:

1. Наборы пространственно-привязанных геофизических данных, представленные данными численного моделирования и натурных наблюдений и размещенные на нескольких удаленных серверах по тематическому признаку.
2. Модульное вычислительное ядро на стороне сервера, управляющее набором прикладных вычислительных модулей.
3. Веб-портал на стороне сервера, реализующий логику веб-приложений, связь с картографическими веб-сервисами, модулями вычислительного ядра, хранилищем данных и климатическими моделями.
4. Графический интерфейс пользователя на стороне веб-клиента, обеспечивающий ГИС-функциональность.
5. Интегрированные в платформу климатические модели «WRF» и «Planet Simulator».
6. Интегрированная в платформу информационная среда взаимодействия распределенных групп специалистов (форумы, wiki, блоги, ПО для совместной разработки приложений).

В настоящее время на аппаратной составляющей программно-аппаратной платформы развернуты и доступны для использования архивы пространственно-привязанных данных, включая: реанализы NCEP/NCAR [11, 12], реанализ JRA-25 [15], реанализы ERA-40 [5] и ERA Interim [2], глобальный реанализ XX столетия NOAA [1], и ряд других наборов, полученных в ходе климатического моделирования. Кроме того, в ЭО Платформы размещены данные полученные с помощью модели Planet Simulator [4], региональной модели WRF [21], архивы спутниковых данных Landsat 4-7, Global Land Survey (GLS) и MODIS (<http://glovis.tsc.ru/>), а также данные наблюдений с метеостанций, расположенных на территории Российской Федерации. Каждый из представленных архивов в организациях-источниках прошел ряд процедур проверки качества данных, подтверждающих их достоверность и адекватность полученной метеорологической информации.

Вычислительное ядро, реализованное на языках программирования GNU Data Language (GDL) и Python 2.7, является частью разработанного ранее

программного инструментария, и обеспечивает чтение и обработку XML-файла задания, сформированного пользователем при помощи графического интерфейса, а также конвейерное выполнение на его основе последовательности вызовов внешних программных модулей. В процессе выполнения конвейера промежуточные результаты работы с выхода одного модуля передаются на вход другого согласно заданной последовательности. Модульное ядро получает основную функциональность по обработке и визуализации данных за счет использования подключаемых внешних программных модулей, для которых оно предоставляет программный интерфейс доступа к наборам геофизических данным, а также базовые классы для обработки данных, визуализации (в форматах GeoTIFF, MJPEG, ESRI Shapefile, EPS) и вывода результатов (NetCDF). Для интеграции архива геофизических данных в экспериментальный образец платформы, наборы данных были упорядочены и размещены на высокопроизводительной дисковой системе хранения данных. Для каждого набора данных был разработан соответствующий модуль вычислительного ядра ЭО Платформы, обеспечивающий поиск и выборку требуемых данных, а также сформирован файл-дескриптор в формате XML, содержащий метаданные, описывающие набор и ускоряющий работу с набором.

Внешние программные модули численной обработки данных были реализованы в рамках ЭО Платформы «Климат», и представлены в виде набора независимых классов, каждый из которых имеет уникальное имя и располагается в отдельном файле. Каждый программный модуль численной обработки данных отвечает за один тип обработки и наследуется от родительского класса `svcCalc`, являющегося элементом вычислительного ядра и предоставляющего методы, обеспечивающие базовую функциональность по обработке данных. Список модулей представлен в Таблице 1.

Модули вычислительного ядра выполняются в среде GDL, а их вызов и управление производится РНР-контроллерами, выполняемыми в рамках специализированного веб-портала, являющегося основой ЭО Платформы «Климат». Контроллеры организованы в пакетную структуру, и обеспечивают серверный интерфейс для взаимодействия с графическим интерфейсом пользователя, вычислительным

Таблица 1. Типы обработки, предоставляемые ядром

№	Тип обработки, которую предоставляет соответствующий модуль
1	Вычисление среднего значения метеовеличины по времени
2	Вычисление среднеквадратического отклонения метеовеличины
3	Вычисление коэффициента асимметрии
4	Вычисление коэффициента эксцесса
5	Вычисление абсолютного максимума метеовеличины
6	Вычисление абсолютного минимума метеовеличины
7	Вычисление размаха значений метеовеличины
8	Определение числа морозных дней
9	Определения числа теплых дней
10	Определения числа дней с заморозками
11	Определение числа тропических ночей
12	Определение продолжительности вегетационного периода
13	Вычисление суммы эффективных температур
14	Расчет индекса интенсивности осадков
15	Расчет числа дней с осадками выше заданных границ
16	Определения максимальной продолжительности периода без осадков
17	Определение максимальной продолжительности периода с осадками
18	Расчет гидротермического коэффициента Селянинова
19	Расчет значений линейного тренда
20	Расчет значений коэффициента корреляции

ядром, стандартными картографическими веб-сервисами (WMS/WFS/WCS) и хранилищем геопривязанных данных.

Специализированный веб-портал является центральным связующим звеном между элементами разработанной платформы, обеспечивающим взаимодействие с пользователем. В нем реализованы механизмы авторизации пользователей, подключение к базам данных, использование HTML-шаблонов, языковая локализация, система управления контентом (CMS) и ряд других возможностей. Его разработка выполнена в рамках общих принципов и стандартов в области разработки программного обеспечения, предоставляющего картографические веб-сервисы, разработанных международной некоммерческой организацией Open Geospatial Consortium (OGC, [16]). После выполнения сравнительного анализа проектов с открытым исходным кодом, для реализации ЭО Платформы был выбран современный продукт Geoserver версии 2.1.0. Таким образом, веб-портал обеспечивает функциональность веб-приложений для работы с картографическими слоями при манипуляции геофизическими данными и результатами их обработки (Рис. 2).

Графический интерфейс веб-приложения (веб-интерфейс), был создан с использованием специализированной JavaScript-библиотеки разработанного ранее программного инструментария, и представляет собой набор сценариев на языках PHP, JavaScript, HTML, обеспечивающих пользователя программно-

аппаратной платформы «Климат» интуитивно-понятным онлайн-инструментом, подобным интерфейсам таких распространенных настольных ГИС-приложений, как uDIG, QuantumGIS и др. (Рис. 3).

Основная функциональность веб-интерфейса заключается в формализации запросов пользователя, решающего вычислительную задачу в области климато-экологического мониторинга и прогноза, и, таким образом, в формировании задач для модульного вычислительного ядра, а также в корректном представлении результатов вычислений в цифровом и графическом форматах с использованием современных Веб-ГИС-технологий, в виде, привычном пользователю типовой настольной ГИС.

Веб-интерфейс также предоставляет интерфейс программирования приложений (API) для реализации соответствующих PHP-контроллеров, связывающих вычислительное ядро платформы, веб-портал, и картографические веб-сервисы.

Таким образом, веб-интерфейс обеспечивает следующие базисные элементы:

- окно отображения карты с соответствующей информационной панелью (масштабная линейка, навигационная карта, координаты, размеры показываемой области, используемые легенды);
- список слоев отображаемой карты, с возможностью добавления/удаления, включения/выключения, просмотра/редактирования свойств;
- панель навигации;

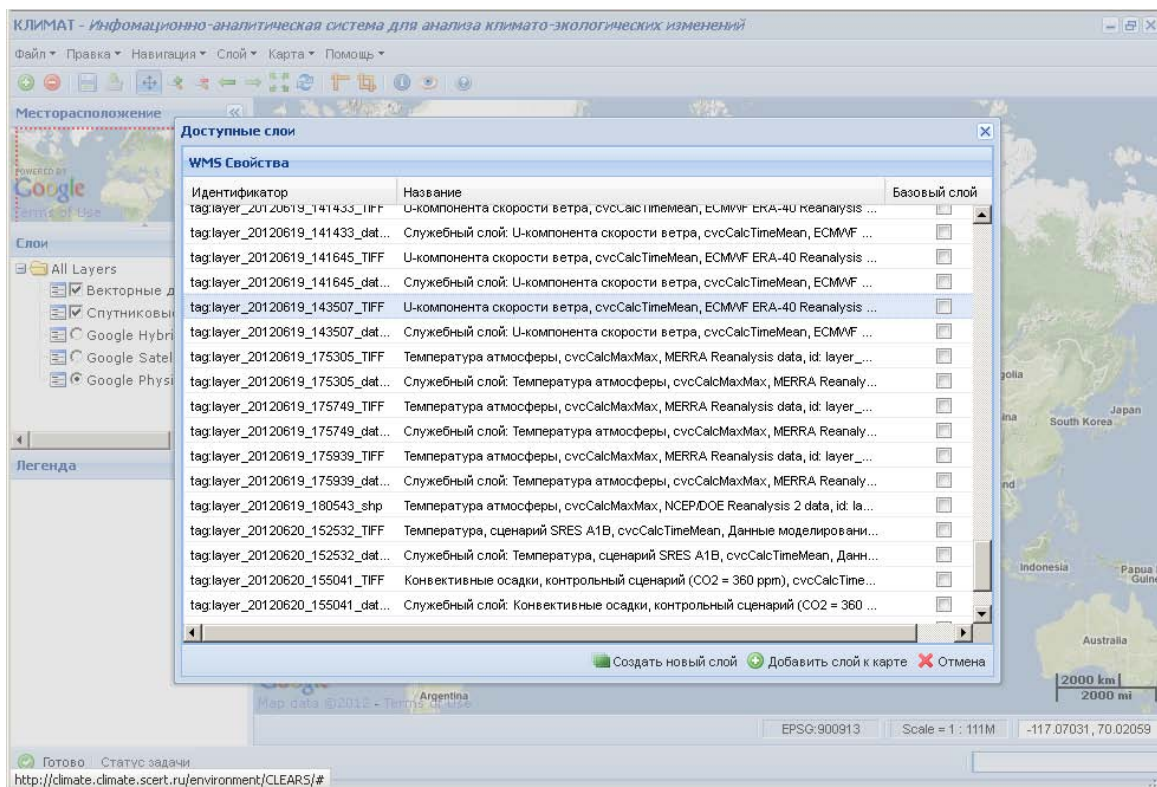


Рис. 2. Выбор картографического слоя

- общая информационная панель, отображающая текущее состояние приложения;
- общее меню и панель инструментов приложения (увеличение/уменьшение/центрирование/перерисовка карты, информация по заданному объекту, рисование линий/полигонов, и т.д.);
- окно вывода результата запроса пользователя (координаты точки, значения вычисляемых параметров для включенных слоев);
- контекстно-зависимое меню по правому клику мыши;
- диалоговые окна;
- аналитические таблицы и графики.

Следует отметить, что JavaScript-библиотека программного инструментария, предназначенная для проектирования графического интерфейса пользователя в рамках веб-браузера, основана на PO GeoExt [10], ExtJS Framework [20] и OpenLayers [17]. Взаимодействие браузера с сервером производится асинхронно без перезагрузки веб-страниц. Программный инструментарий обеспечивает ряд базисных компонент графического интерфейса типового Веб-ГИС приложения, таких как окно отображения карты, информационные панели, списки слоев, меню, кнопки, тулбары, диалоговые окна, обработчики стандартных событий (события мыши, клавиатуры) и т.д., что заметно повышает эффективность процесса разработки веб-интерфейса за счет их повторного использования.

Модели «WRF» и «Planet Simulator» были выбраны для интеграции в ЭО Платформы для анализа современных климатических процессов с высоким пространственным разрешением и выполнения высокоскоростных оценок возможных в будущем климатических изменений. Адаптированная модель «WRF» представляет собой WRF ARW комплекс версии 3.2.1 [24] установленный и настроенный на многопроцессорной вычислительной системе. Данная модель собрана в единый компонент с возможностью запуска посредством выполнения одного исполняемого файла. Это позволяет обеспечить запуск и управление моделью через Веб-ГИС-портал ЭО Платформы с целью решения задач в области исследования динамики климатических параметров.

Функциональное назначение интегрированной аналогичным образом в ЭО Платформы модели «Planet Simulator» - выполнение вычислений для выбранного набора значений концентрации углекислого газа для периода с 2000 по 2100 годы (сценарного моделирования) и их сохранение в распределенном архиве.

Интегрированная в платформу информационная среда взаимодействия распределенных групп специалистов базируется на программном обеспечении Wordpress (<http://wordpress.org/>), Wiki (<https://www.dokuwiki.org/>) и Subversion (<http://subversion.apache.org/>), и представляет собой комплексное решение по информационной поддержке использования ЭО.

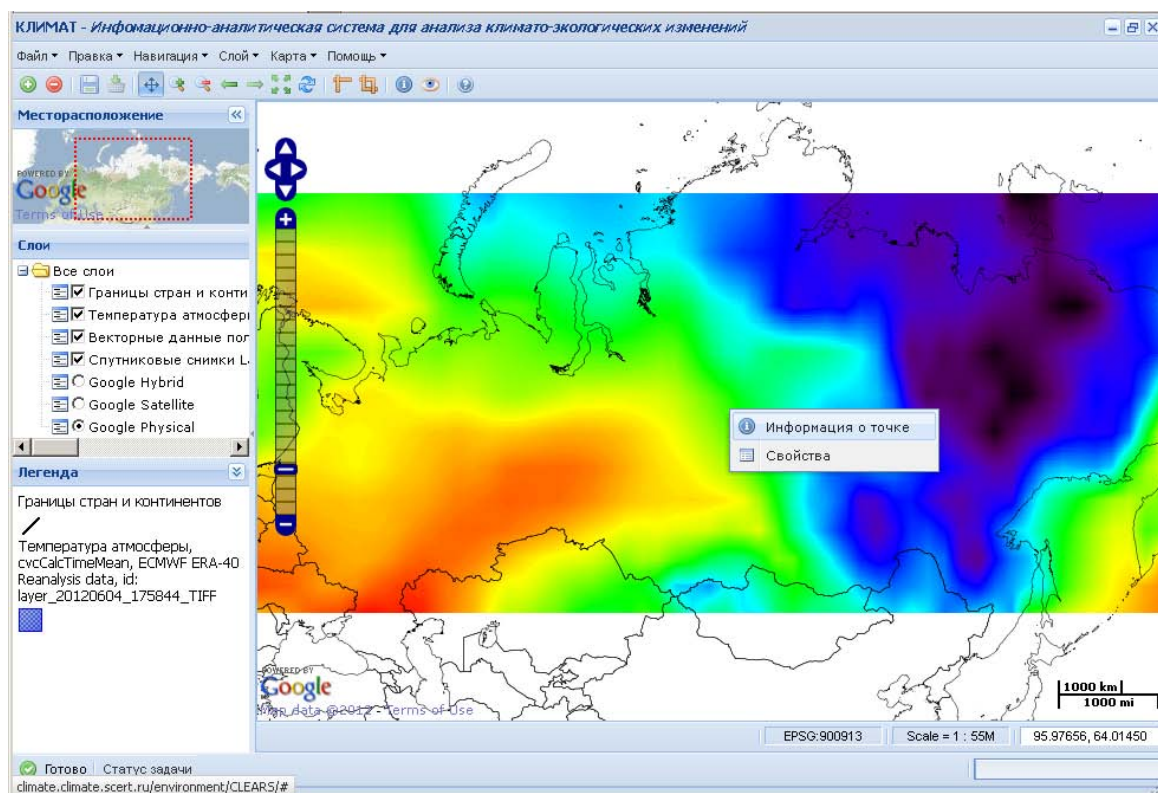


Рис. 3. Графический интерфейс веб-приложения

Платформы, включающее в себя возможности создания пользовательских блогов, пользовательских групп с ограничением доступа к информации по группам, публичных или ограниченных (по конкретным пользователям и группам) блогов, публикации ресурсов (ссылок на сетевые ресурсы, файлы презентаций, статей, результатов расчетов), а также совместной разработки программного обеспечения и документации (система контроль версий).

3. Заключение

Разработанный с использованием ранее созданного программного инструментария экспериментальный образец платформы «Климат» обеспечивает информационно-вычислительную поддержку исследований изменений регионального климата, объединяя современные концепции Web 2.0 и возможности доступа к климатическим и метеорологическим моделям, большим наборам геофизических данных, средствам визуализации, совместной разработки приложений распределенными научными коллективами, проведения научных исследований на основе этих приложений, а также организации обучения студентов и аспирантов. При этом он обеспечивает доступ для конечного пользователя ко всем функциям платформы через веб-портал с использованием возможностей стандартного браузера, в виде интерактивного графического интерфейса пользователя, обеспечивая, в частности, возможность обработки пространственно-

привязанных геофизических данных и визуализацию результатов расчетов с помощью Веб-ГИС технологий.

Литература

- [1] Compo G. P. et al. The Twentieth Century Reanalysis Project. // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137, p. 1–28. doi: 10.1002/qj.776.
- [2] Dee D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137, p. 553–597. doi: 10.1002/qj.828.
- [3] 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, September 2 - 8, 2000.
- [4] Fraedrich, K., H. Jansen, E. Kirk, U. Luksch, and F. Lunkeit. The Planet Simulator: Towards a user friendly model. // Meteorologische Zeitschrift. – June 2005. – Vol. 14. – No. 3. – P. 299-304.
- [5] ERA-40 Project Report Series // European Centre for Medium Range Weather Forecasts, No. 17, 2007. URL: http://emcc.dmi.gov.tr/FILES/model-data/ERA40_PRS17_rev1.pdf.
- [6] Frans J. M. van der Wel. Spatial data infrastructure for meteorological and climatic data. // Meteorol. Appl.–2005.– V.12.–P.7-8.– DOI:10.1017/S1350482704001471.

- [7] GIOVANNI: GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>.
- [8] Evgeny Gordov et al. Development of Information-Computational Infrastructure for Environmental research in Siberia as a baseline component of the Northern Eurasia Earth Science Partnership Initiative (NEESPI) Studies / Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences // Springer Environmental Science and Engineering, ISBN: 978-94-007-4568-1, Groisman, Pavel Ya.; Gutman, Garik (Eds.) 1st Edition., 2013, 357 p. (in press).
- [9] 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.
- [10] JavaScript Toolkit for Rich Web Mapping Applications [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.geoext.org/>.
- [11] 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.
- [12] Kanamitsu M. et. Al. NCEP-DOE AMIP II Reanalysis (R-2) // American Meteorological Society.— November 2002— P.1631-1643.
- [13] G. Leptoukh, S. Berrick, H. Rui, Z. Liu, T. Zhu, S. Shen. NASA GES DISC on-line visualization and analysis system for gridded remote sensing data // Proc. of the 31th International Symposium of Remote Sensing of the Environment. 2005. St. Petersburg, Russia, 20-24 June.
- [14] Stefano Nativi, Mohan Ramamurthy, Bernd Ritschel. EGU-ESSI Position Paper. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sites.google.com/a/ima.cnr.it/egu-essi/Home/documents>
- [15] K. Onogi, et al. The JRA-25 Reanalysis. // Journal of the Meteorological Society of Japan.—2007.— V.85.—N.3.—P.369-432.
- [16] Open Geospatial Consortium. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.opengeospatial.org>.
- [17] OpenLayers: Free Maps for the Web. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://openlayers.org>.
- [18] Peng, Z-R and Tsou, M-H., Internet GIS // Distributed Geographic Information Systems for the Internet and Wireless Networks.—New York: John Wiley & Sons.—2003.
- [19] 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)
- [20] Shea Frederick, Colin Ramsay, and Steve Cutter Blades. Learning Ext JS / Packt Publishing. 2008. 299p.
- [21] Skamarock William C. et al. Description of the Advanced Research WRF Version 3. - NCAR technical note NCAR/TN-475+STR, 2008.
- [22] Steiniger S., Hunter A.J.S., “Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure”, In: Bocher E., Neteler M., (eds.), Geospatial Free and Open SourceSoftware in the 21st Century, LNCG, Heidelberg, Springer, 2012a, p. 247-261.
- [23] Vatsavai, Ranga Raju, Thomas E. Burk, B. Tyler Wilson, Shashi Shekhar. A Web-based rowing and spatial analysis system for regional natural resource analysis and mapping. // Abstracts of reports at the 8th ACM int. symp. on Advances in geographic information systems. Washington, D.C., US.—2000.— P. 95-101.
- [24] Wei Wang et al. ARW version 3 Modeling System User’s Guide. - NCAR, 2012. URL: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/ARWUsersGuideV3.pdf
- [25] Гордов Е.П., Богомолов В.Ю., Генина Е.Ю., Окладников И.Г., Титов А.Г., Шульгина Т.М. Геоинформационная веб-система для исследования региональных природно-климатических изменений и первые результаты ее использования // Оптика Атмосферы и океана, 2012, Т. 25, №2, с. 137 – 143.
- [26] Гордов Е.П., Лыкозов В.Н. Развитие информационно-вычислительной инфраструктуры для интегрированного исследования окружающей среды Сибири // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Специальный выпуск 2: Информационные технологии для эколого-биологических исследований. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН. С. 19-30.
- [27] Е.П. Гордов, И.Г. Окладников, А.Г. Титов. Программный инструмент для поддержки исследований в области климато-экологического мониторинга // Труды XIV Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2011), Санкт-Петербург, Россия, 2011. – с. 45 – 52.
- [28] Кошкарев А.В., Ряховский В.М., Серебряков В.А. Инфраструктура распределенной среды хранения, поиска и преобразования пространственных данных. – Открытое образование, 2010, № 5. – С. 61-73.
- [29] Окладников И.Г., Титов А.Г., Гордов Е.П. Системное программное обеспечение веб-ориентированного производственно-исследовательского центра мониторинга и прогноза региональных климатических изменений // Электронный физико-технический журнал, Алтайский государственный технический университет. - 2012. - Т. 7. - С. 53-59.

Using of the dedicated software framework in the process of development of the experimental platform “Climate”

A. Titov, E. Gordov, I. Okladnikov

In this paper the experimental software and hardware platform “Climate” for monitoring and forecast of regional climate and ecological changes and educational support is presented. It was created using dedicated software framework for rapid development of Web-GIS systems and implements such modern technologies as Web 2.0, web mapping, interactive access to computational climate modules as well as to georeferenced datasets and data processing and visualization tools.

* Работа выполнялась при поддержке госконтракта Минобрнауки № 07.514.11.4044, гранта РФФИ №10-07-00547, программ СО РАН (проекты: 4.31.1.5, 4.31.2.7).