

УДК 004.75; 621.324; 913.002(571)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

И. Г. Окладников¹, А. Г. Титов², Т. М. Шульгина³, Е. П. Гордов⁴, В. Ю. Богомолов⁵,
Ю. В. Мартынова⁶, С. П. Сущенко⁷, А. В. Скворцов⁸

Представлен программный комплекс для проведения анализа и визуализации данных мониторинга и прогноза климатических изменений, реализующий современные концепции Веб 2.0, элементы ГИС-технологий и возможности интернет-доступа к прикладным моделям и наборам геофизических данных. Программный комплекс состоит из специализированного веб-портала, модульного вычислительного ядра, программных модулей для обработки геофизических данных и визуализации результатов, набора управляющих PHP-контроллеров и JavaScript-библиотеки для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС приложений на базе открытого ПО Geoserver и GeoExt. Работа частично поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы” (госконтракт № 07.514.11.4044) и ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 годы (госсоглашение № 8345 от 17.08.2012 г.), а также проектами СО РАН № IV.31.1.5 и IV.31.2.7, проектами РФФИ № 10–07–00547а, 11–05–01190а и интеграционными проектами СО РАН № 69, 131 и 140.

Ключевые слова: мониторинг изменений климата, информационные системы, Веб-ГИС-технологии.

1. Введение. Наборы пространственно-привязанных геофизических данных (базы метеорологических и географических данных, результатов моделирования и реанализа, спутниковых снимков и др.) активно используются при прогнозе, моделировании и интерпретации климатических и экосистемных изменений на разных пространственных и временных масштабах. К таким наборам относятся, прежде всего, совокупности многолетних систематических наблюдений метеорологических величин, получаемых сетью синоптических станций, а также архивы геофизических данных, созданные в центрах атмосферных исследований и прогнозов погоды США и Японии, а также ряда европейских стран с использованием глобальных климатических и метеорологических моделей. Наборы данных, полученные различными научными организациями, зачастую отличаются составом, типом и внутренней организацией геофизических данных, что затрудняет не только обмен ими, но и усложняет возможность их взаимного сравнения, а

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, просп. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; Томский филиал института вычислительных технологий СО РАН пр. Академический, 10/4, 645055, г. Томск; ст. науч. сотр., e-mail: oig@scert.ru

² Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, пр. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; Томский филиал института вычислительных технологий СО РАН просп. Академический, 10/4, 645055, г. Томск; мл. науч. сотр., e-mail: titov@scert.ru

³ Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, просп. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; мл. науч. сотр., e-mail: stm@scert.ru

⁴ Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, просп. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; Томский филиал института вычислительных технологий СО РАН просп. Академический, 10/4, 645055, г. Томск; Томский государственный университет, просп. Ленина, 36, 634050, г. Томск; профессор, e-mail: gordov@scert.ru

⁵ Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, просп. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; науч. сотр., e-mail: bogomolov@scert.ru

⁶ Институт мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, просп. Академический, 10/3, 634055, г. Томск; мл. науч. сотр.; Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, ул. Советская, 30, 630099, г. Новосибирск; ст. науч. сотр., e-mail: foxyj13@gmail.com

⁷ Томский государственный университет, просп. Ленина, 36, 634050, г. Томск; факультет информатики, декан, e-mail: ssp@inf.tsu.ru

⁸ Томский государственный университет, просп. Ленина, 36, 634050, г. Томск; профессор, e-mail: skv@indorsoft.ru

это уменьшает достоверность выполненного анализа. Кроме того, из-за растущих объемов данных моделирования и наблюдений (особенно спутниковых), которые в настоящее время составляют десятки–сотни терабайт для одного набора данных, уже сейчас возникают большие сложности при их комплексном анализе.

Возможное решение в указанной ситуации — это создание инфраструктуры для комплексного использования наборов пространственно-привязанных геофизических данных на основе современных информационно-телекоммуникационных технологий [1, 2]. Существующие подходы к обработке наборов геофизических данных позволяют интегрировать различные технологические решения для организации и анализа таких информационных ресурсов. В настоящее время признано, что разработка доступных через Интернет тематических информационно-вычислительных систем в рамках такой инфраструктуры должна основываться на использовании Веб-ГИС-технологий [3–9]. Их использование является перспективным способом повышения эффективности мультидисциплинарных региональных и глобальных исследований в области наук о Земле, включая анализ климатических изменений и их влияния на пространственно-временное поведение растительных экосистем.

Преимущества использования Веб-ГИС-технологий заключаются в независимости от веб-браузеров и операционных систем, возможности комбинированного использования географически распределенных источников данных в случае совместимых проекций, масштабов и качества данных, возможности совместного использования вычислительных ресурсов и централизованных хранилищ данных, а также в автоматической установке и обновлении версий приложений. Таким образом, использование Веб-ГИС-технологий позволяет выполнить базовые требования к функциональности систем обработки и анализа геофизических данных:

- обеспечение пользователя всеми основными функциями настольной ГИС (выбор карты, навигация по карте, масштабирование и т.д.);
- использование множества базовых тематических слоев для представления различной картографической информации с возможностью их комбинирования;
- предоставление в отдельном информационном окне массива информации, связанной с конкретным географическим объектом, по удаленному запросу пользователя;
- наличие механизмов обмена данными с внешними системами на основе открытых форматов данных, а также средств расширения функциональности ГИС программными модулями продвинутых пользователей.

На сегодняшний день уже существуют несколько информационных веб-систем, посвященных, в той или иной мере, обработке пространственно-привязанных геофизических данных. Одна из них — это GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure (GIOVANNI). Эта система разработана в NASA, предназначена для организации доступа к процедурам обработки данных [10] и ориентирована на визуализацию, прежде всего, пространственно-распределенных данных спутниковых наблюдений и их производных продуктов. Еще одна система распространения и визуализации данных базируется на совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана, разработанной в Институте вычислительной математики (ИВМ) РАН [11, 12]. Эта система ориентирована на визуализацию результатов моделирования для различных климатических сценариев, полученных в ИВМ РАН. Система “Climate explorer”, разработанная в Королевском метеорологическом институте Голландии (KNMI), имеет в своем распоряжении большое количество разнообразных исторических данных наблюдений, реанализа, климатических индексов, результатов моделирования и сезонных прогнозов погоды (<http://climexp.knmi.nl/>). Ее функциональные возможности включают в себя отображение временных последовательностей данных в виде двумерных графиков, визуализацию полей данных, расчет средних и экстремальных значений, а также стандартного отклонения и корреляции с другими параметрами. Можно также упомянуть модель распределенной информационно-аналитической системы [13] для поиска, обработки и анализа пространственно-распределенных данных, основанную на комбинации ГИС- и веб-технологий и разрабатываемую в настоящее время в Институте вычислительных технологий (ИВТ) и Институте геологии и минералогии (ИГМ) СО РАН. Несмотря на ряд сделанных попыток, однако, в области информатизации наук о Земле по-прежнему нет мощного инструмента, опирающегося на Веб-ГИС-технологиях, обладающего унифицированным интерфейсом и объединяющего широкие возможности по обработке, анализу и визуализации наборов данных, полученных из различных источников, для проведения интегрированных геофизических исследований.

В настоящей статье рассматривается программный комплекс для мониторинга и прогноза региональных климатических изменений, построенный на основе Веб-ГИС-технологий и являющийся одним из ключевых элементов разрабатываемой программной инфраструктуры для поддержки интегрированных

научных исследований в области наук о Земле.

2. Программный инструментарий. Для разработки тематических информационно-вычислительных веб-систем для анализа геопривязанных данных авторами работы [7] создан специализированный программный инструментарий, состоящий из трех частей (рис. 1):

- вычислительное ядро, написанное с использованием языка GNU Data Language (GDL);
- набор исполняемых в рамках специализированного веб-портала управляющих PHP-модулей, обеспечивающих работу с картографическими веб-сервисами, модулями вычислительного ядра и элементами графического интерфейса пользователя;
- JavaScript-библиотека для создания типовых элементов графического интерфейса Веб-ГИС-приложений на базе технологии AJAX (Asynchronous Javascript and XML).

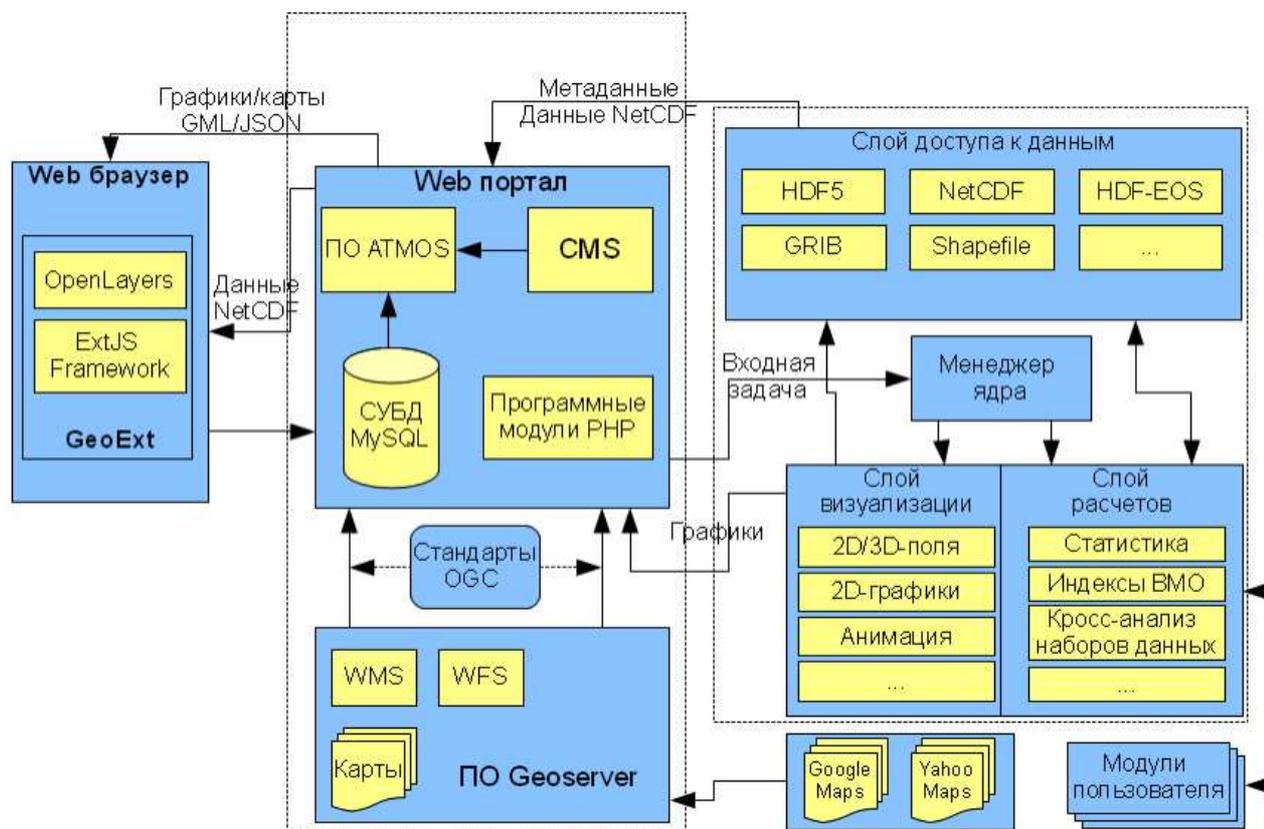


Рис. 1. Общая архитектура программного инструментария

Вычислительное ядро реализует базовую функциональность для работы с архивами пространственно-привязанных данных (доступ, поиск, выборка, представление данных в форматах NetCDF (Network Common Data Form), Shapefile и т.д.), а также предоставляет API (Application Programming Interface) для вызова вычислительных модулей, реализующих процедуры анализа, обработки и визуализации данных. Функции ядра выполняются в среде GDL, а их вызов и управление производится PHP-модулями, выполняемыми в рамках специализированного веб-портала. Работа вычислительного ядра по обработке данных, передаче промежуточных результатов и записи окончательных результатов в файлы регламентируется заданием, формируемым веб-порталом на основе параметров, заданных пользователем в графическом веб-интерфейсе. Задание представляет собой XML-файл, который содержит указания на обрабатываемые геофизические характеристики, пространственные и временные границы интересующей области, базисный слой карты выбранной для анализа территории, а также последовательность обработки каждого метеопараметра с указанием свойств вывода результатов в графические файлы. Менеджер ядра производит анализ задания, подготавливает расчетный конвейер и производит запуск соответствующих расчетных модулей. По окончании расчетов модуль вывода и визуализации записывает результаты в файлы форматов GeoTIFF, ESRI Shapefile (Environmental Systems Research Institute), NetCDF или XML согласно заданиям. Графические файлы передаются в ПО GeoServer для представления пользователю в виде слоев на карте.

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, 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 (<http://www.geoext.org/>), ExtJS Framework [14] и OpenLayers (<http://openlayers.org>). Взаимодействие браузера с сервером производится асинхронно без перезагрузки веб-страниц в форматах обмена данными JSON (JavaScript Object Notation), GML (Geography Markup Language) и др. Программный инструментарий обеспечивает следующие базисные элементы графического интерфейса типового Веб-ГИС-приложения:

- 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 и просмотра/редактирования свойств;
- 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.

Разработка веб-портала выполнена согласно общим принципам и стандартам в области создания программного обеспечения, предоставляющего картографические веб-сервисы, разработанным международной некоммерческой организацией Open Geospatial Consortium (OGC, <http://www.opengeospatial.org>). При этом была учтена современная тенденция переноса в веб не только простой визуализации пространственных данных, но и собственно их обработки и анализа. Это стало возможным благодаря использованию ПО Geoserver 2.1.0 (<http://geoserver.org/display/GEOS/What+is+GeoServer>), обеспечивающего сервисы WMS/WFS/WCS, а также развитие веб-клиентов ГИС, отвечающих за реализацию графического интерфейса пользователя. В дополнение к стандартным картографическим веб-сервисам OGC он реализует спецификацию WFS-T, обладает развитым веб-интерфейсом для интерактивного создания и изменения картографических ресурсов и предоставляет RESTful (Representational State Transfer) интерфейс [15].

Созданный на основе разработанного инструментария программный комплекс представляет собой тематическую информационно-вычислительную Веб-ГИС-систему для мониторинга и прогноза региональных климатических изменений.

3. Общее описание программного комплекса. Программный комплекс для обработки и анализа геопривязанных метеорологических данных состоит из следующих компонентов:

- графический интерфейс веб-приложения;
- модульное вычислительное ядро;
- модули обработки геофизических данных и визуализации результатов обработки;
- специализированный веб-портал.

Комплекс предоставляет конечным пользователям возможности проведения распределенной обработки и анализа пространственно-привязанных геофизических данных, запуска метеорологических моделей, визуализации результатов расчетов, совместной разработки приложений, обмена данными и результатами исследований с использованием любого графического интернет-браузера. В рассматриваемом программном комплексе реализованы механизмы интеграции в состав вычислительной инфраструктуры новых аппаратных ресурсов (кластеров, систем хранения данных, систем визуализации) и ведения распределенного структурированного архива пространственно-привязанных геофизических данных.

Производительность программного комплекса напрямую зависит от аппаратного обеспечения, на котором он установлен. Минимальные требования к аппаратному обеспечению невелики: сервер с процессором не ниже Intel Dual Core (2 Гб ОЗУ) или аналогичным под управлением ОС Linux 2.6 и с жестким диском, достаточным для размещения обрабатываемых геофизических данных. Однако такого аппаратного обеспечения будет достаточно для обслуживания лишь одного пользователя. В настоящее время

программный комплекс развернут на аппаратной площадке ИМКЭС СО РАН, включающей в себя высокопроизводительный сервер HP Proliant DL585 G7 на базе четырех 12-ядерных процессоров AMD Opteron 6172 с 32 Гб ОЗУ для работы вычислительного ядра, сервер на базе Intel Pentium 4 для работы веб-портала, сервер на базе двух Intel Xeon 5130 для работы геосервера и три сетевых системы хранения данных общим объемом 26 Тб. Все серверы объединены в сеть на скорости соединения 1 Гб/сек. Веб-сервер подключен к сети Интернет на скорости 1 Мб/сек. Такого аппаратного обеспечения достаточно для одновременного обслуживания до 100 клиентов, просматривающих результаты обработки геофизических данных; до 40 клиентов, обрабатывающих данные; или до 10 клиентов, проводящих численное моделирование с использованием встроенных в комплекс моделей. Увеличение числа одновременно обслуживаемых пользователей достигается развертыванием программного комплекса на более производительной вычислительной площадке.

Проведенное тестирование производительности программного комплекса на аппаратной площадке ИМКЭС СО РАН показало его высокую эффективность в скорости обработки и анализа пространственно-привязанных данных. Так, например, для расчета средних за месяц значений приземной температуры для территории Евразии с визуализацией полученных результатов требуется около 1 минуты, в то время как использование “общепринятого” подхода к обработке этих данных может потребовать несколько дней, а иногда и недель, в зависимости от пропускной способности интернет-канала, производительности рабочей станции и квалификации исследователя. При “общепринятом” подходе исследователь самостоятельно производит поиск и скачивание через Интернет требуемых наборов данных на локальный жесткий диск, преобразует файлы данных в формат, требуемый программным обеспечением, используемым исследователем в его работе, и выполняет обработку и анализ данных на своей рабочей станции.

Для проверки возможностей программного комплекса для климато-экологических исследований было проведено его комплексное тестирование на примере изучения современных климатических изменений на территории Сибири. Для описания приземной температуры воздуха Сибири использовался набор данных ECMWF ERA Interim, а для описания количества осадков — набор данных APHRODITE JMA. На основе этих наборов данных были изучены изменения приземной температуры воздуха и количества осадков на территории региона в период последних десятилетий. Полученные результаты анализа динамики температуры и количества осадков последних лет хорошо согласуются с результатами других авторов и качественно уточняют пространственные масштабы обнаруженных изменений, что отражает надежность и эффективность использования функциональных возможностей программного комплекса для анализа изменения климата и экосистем [16].

3.1. Графический интерфейс веб-приложения. Графический интерфейс программного комплекса (веб-интерфейс) представляет собой набор сценариев, написанных на языках PHP, JavaScript, HTML с использованием JavaScript-библиотек ExtJS, OpenLayers, GeoExt и обеспечивающих пользователя интуитивно понятным онлайн-инструментом, подобным интерфейсам таких распространенных настольных ГИС-приложений, как uDIG и QuantumGIS (рис. 2).

Основная функциональность веб-интерфейса заключается во взаимодействии с конечным пользователем, решающим вычислительную задачу в области климато-экологического мониторинга и прогноза, обеспечении связи с программными модулями веб-портала (авторизация, локализация и т.д.), формировании формализованного описания задач для вычислительного ядра, а также в корректном представлении результатов вычислений в цифровом и графическом видах с использованием современных Веб-ГИС-технологий. Веб-интерфейс также предоставляет интерфейс программирования приложений (API) для реализации соответствующих PHP-контроллеров, связывающих вычислительное ядро, веб-портал и картографические веб-сервисы. Графический интерфейс веб-приложения имеет возможность непосредственно оперировать картографическими веб-сервисами посредством WMS/WFS-запросов.

В рамках реализации возможностей, связанных с технологией Веб 2.0, в состав программного комплекса включены следующие компоненты.

1. “Форум”: коммуникативный инструмент, позволяющий организовать асинхронное общение пользователей программного комплекса. Существует возможность создавать разные типы форумов, подписываться на форумы, отслеживать и выделять новые сообщения.

2. “Wiki”: дает возможность организации совместной работы нескольких пользователей над документами непосредственно в окне браузера с помощью простого языка разметки, который позволяет легко и быстро размечать в тексте структурные элементы и гиперссылки, форматировать и оформлять отдельные элементы; Wiki идеально подходит для расширения информационных возможностей программного комплекса путем создания баз знаний, технических заданий и подготовки различных документов, над которыми происходит совместная работа нескольких пользователей.

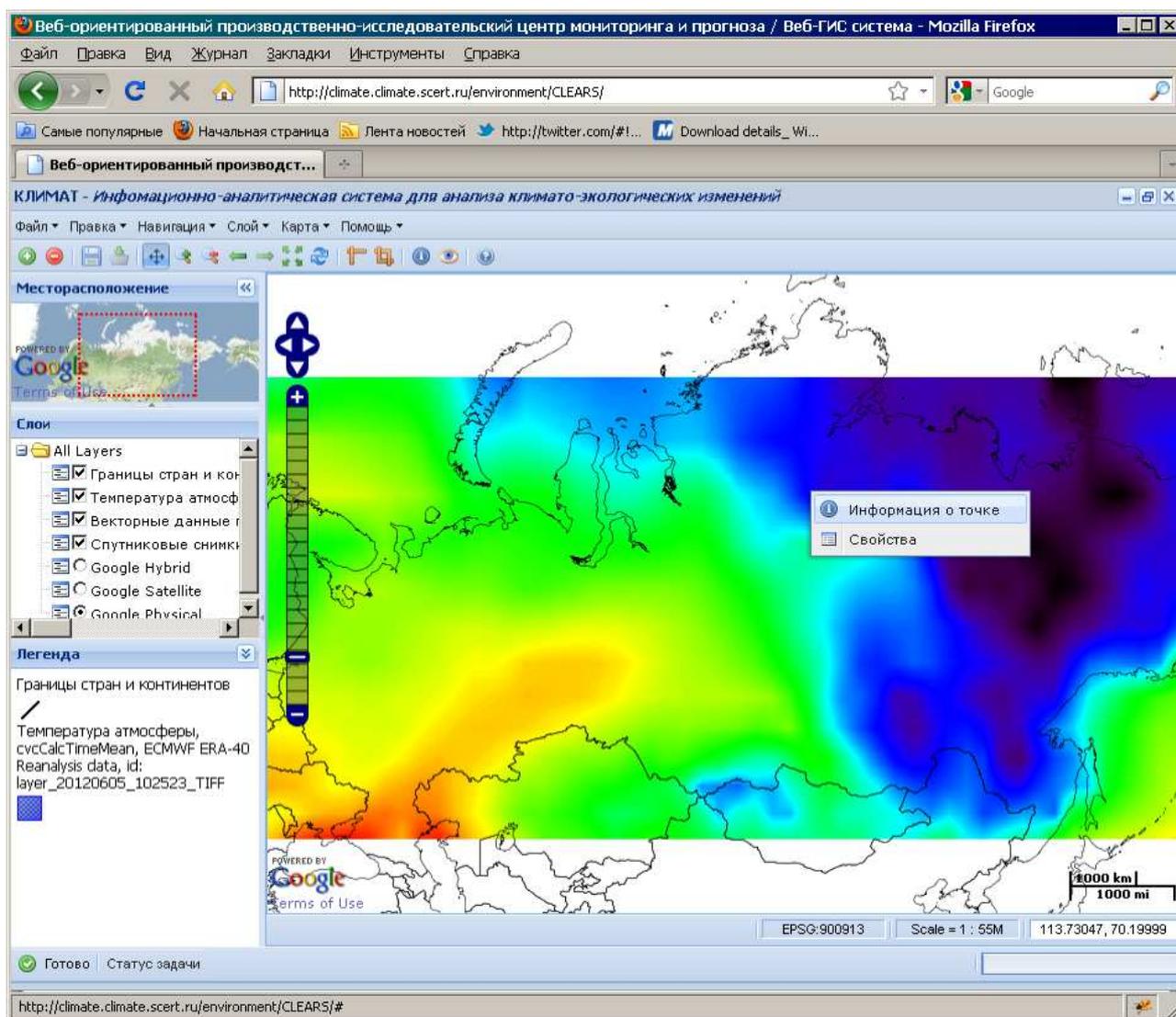


Рис. 2. Графический интерфейс веб-приложения

3. “Чат”: позволяет участникам дистанционной программы синхронно обмениваться сообщениями в реальном времени. Это очень удобно для проведения быстрого обсуждения по какому-либо вопросу. Модуль позволяет просматривать уже состоявшиеся чат-сессии.

4. Программные компоненты поддержки создания пользователями новых конфигураций численных моделей, интегрированных в программный комплекс.

3.2. Модульное вычислительное ядро. Модульное вычислительное ядро представляет собой программу, написанную на языках программирования GNU Data Language и Python, которая контролирует и производит конвейерное выполнение последовательности внешних программных модулей и модульных подсистем. Эти модули, обеспечивающие основную функциональность программного комплекса по обработке, анализу и визуализации геопривязанных данных, получают доступ к наборам геофизических данных через программные интерфейсы, которые предоставляет им вычислительное ядро. В частности, подсистема вычислительного ядра для доступа к наборам данных обеспечивает поиск и выборку из архивов геофизических данных, хранящихся на распределенных дисковых системах хранения.

3.3. Модульная подсистема численной обработки данных. Модульная подсистема численной обработки данных представляет собой набор программных модулей, написанных на языке программирования GNU Data Language, которые обеспечивают численную обработку геофизических данных. Эти модули работают в тесном контакте с вычислительным ядром, которое использует их для обработки данных согласно полученному заданию.

Модули реализуют методы обработки и анализа пространственно-привязанных геофизических дан-

ных, подобранные в рамках выполнения данной работы. В частности, в рассмотрение включены основные статистические характеристики (среднее значение, среднеквадратическое отклонение, наибольшее и наименьшее значения метеовеличины) [17] и показатели временной структуры метеорологических рядов (повторяемость и непрерывная продолжительность атмосферного явления со значениями метеорологических величин выше или ниже заданных пределов в пределах заданного периода времени) [18], отражающие закономерности изменения случайных величин во времени и в пространстве. Важным в практическом отношении является получение сведений об экстремальных явлениях и их вероятностных характеристиках [19]. В [19] рассмотрен набор климатических индексов изменения климата (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/indices.shtml>), основанных на значениях суточной температуры и суточного количества осадков. Некоторые индексы рассчитываются для фиксированных пороговых значений, связанных с конкретными применениями. В этих случаях пороговые значения одинаковы для всей используемой сети наблюдений. Другие индексы основываются на пороговых значениях, которые варьируют в зависимости от местоположения наблюдательных пунктов. В этих случаях пороговые значения определяются как процентиля соответствующих рядов данных, а особенности временной динамики климатических показателей определяются долговременными составляющими временных рядов (трендами, позволяющими оценить тенденцию изменения метеорологической величины), а также оценкой статистической значимости выявленных тенденций и степенью корреляционных связей метеорологических явлений [17].

Такая последовательность процедур, включающая в себя вычисление климатических показателей и изучение их пространственной и временной динамики, позволяет получить наиболее полное представление об особенностях происходящих колебаний климатической системы изучаемого региона.

Модель WRF

Модель WRF	
Регион	Произвольный
Долготный диапазон	<input type="text"/> ° - <input type="text"/> °
Широтный диапазон	<input type="text"/> ° - <input type="text"/> °
Начальные дата и время	1990 Июнь 02 00:00
Период моделирования	12 часов
Пространственный шаг по долготе, м	20000
Пространственный шаг по широте, м	20000
<input type="button" value="Выбрать"/> <input type="button" value="Сброс"/>	

Рис. 3. Окно запуска модели “WRF”

Модель Planet Simulator

Модель Planet Simulator	
Выбор сценария	Control
Периодичность вывода результата в файл	раз в сутки
Периодичность вывода диагностической информации	раз в месяц (30 сут)
Длительность моделирования	100 лет
<input type="button" value="Запустить модель"/> <input type="button" value="Сбросить"/>	

Рис. 4. Окно запуска модели “Planet Simulator”

3.4. Модульная подсистема запуска моделей. В рамках программного комплекса реализована возможность запуска интегрированных в систему мезомасштабной метеорологической модели Weather Research and Forecasting model (WRF, [20]) (рис. 3) и климатической модели промежуточной сложности “Planet Simulator” [21] (рис. 4). Эти модели интегрированы в программный комплекс преимущественно с образовательной целью и предназначены для обучения студентов и аспирантов геолого-географических, метеорологических, физических и других факультетов и кафедр ВУЗов в рамках изучения поведения и взаимосвязей различных компонентов окружающей среды. Хотя такие модели находятся в Интернете в свободном доступе, они весьма сложны для установки и настройки рядовыми пользователями, а также требуют серьезных вычислительных ресурсов. Поскольку основное назначение моделей носит образовательно-демонстрационный характер, большинство настроек предустановлены квалифицированными специалистами, пользователю для изменения доступны только основные параметры, а периоды моделирования — ограничены, что также снижает вычислительную нагрузку на сервер и позволяет запускать до 10 экземпляров модели несколькими пользователями одновременно. Количество моделей существенно зависит от производительности аппаратной платформы, на которой развернут программный комплекс. Подсистема запуска моделей позволяет пользователю в интерактивном режиме задавать ключевые параметры работы моделей и запускать расчет на высокопроизводительном сервере, при этом пользователю нет необходимости дожидаться окончания расчета модели, находясь на сайте программного комплекса, — он может заниматься другими делами. По окончании расчета пользователю приходит уведомление на зарегистрированный адрес электронной почты. Результаты моделирования добавляются

в файловый архив геофизических данных, откуда пользователь может скачать их по предоставленной ссылке или использовать в дальнейшей обработке средствами программного комплекса.

3.5. Модульная подсистема визуализации результатов. Модульная подсистема визуализации результатов представляет собой набор программных модулей, написанных на языке программирования GNU Data Language, которые обеспечивают построение и запись в графические файлы различных полей, диаграмм и графиков, соответствующих полученным результатам обработки и анализа геофизических данных, а также запись их в виде файлов в форматах GeoTIFF, EPS, PNG, ESRI Shapefile. Данная подсистема предоставляет программный интерфейс, в который модульное вычислительное ядро передает данные, подлежащие визуализации. Полученные графические файлы передаются в веб-портал для представления их в виде слоев на карте в графическом интерфейсе программного комплекса.

4. Заключение. В рамках формирования информационно-вычислительной инфраструктуры для обработки и анализа геопривязанных данных разработан программный комплекс для мониторинга и прогноза региональных климатических изменений. Этот комплекс предоставляет конечным пользователям возможности проведения распределенной обработки и анализа пространственно-привязанных геофизических данных (результатов моделирования, данных наземных и спутниковых наблюдений) и запуска численных моделей и визуализации результатов обработки через интерактивный веб-интерфейс с использованием любого графического интернет-браузера. В программном комплексе реализованы механизмы интеграции в состав вычислительной инфраструктуры новых аппаратных ресурсов (кластеров, систем хранения данных, систем визуализации) и ведения распределенного структурированного архива пространственно-привязанных геофизических данных. Разработанный программный комплекс объединяет современные концепции Web 2.0, возможности доступа и обработки результатов климатического и метеорологического моделирования и больших наборов геофизических данных, совместной разработки приложений, а также обмена данными и результатами исследований в рамках единого специализированного веб-портала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nativi S., Ramamurthy M., Ritschel B.* EGU-ESSI position paper (<http://www.scert.ru/files/EGU-PositionPaper-final.pdf>).
2. *Гордов Е.П., Лыкосов В.Н.* Развитие информационно-вычислительной инфраструктуры для интегрированного исследования окружающей среды Сибири // Вычислительные технологии. 2007. **12**, вып. 2. 19–30.
3. Environmental changes in Siberia and their global consequences / Edited by P. Ya. Groisman and G. Gutman. Springer Environmental Science and Engineering. Vol. XII. Dordrecht: Springer, 2013.
4. *Frans J.M., van der Wel.* Spatial data infrastructure for meteorological and climatic data // Meteorol. Appl. 2005. **12**. 7–8.
5. *Gordov E.P., Fazliev A.Z., Lykosov V.N., Okladnikov I.G., Titov A.G.* Development of web based information-computational infrastructure for Siberia integrated regional study // Environmental Change in Siberia. Earth Observation, Field Studies and Modelling. Series: Advances in Global Change Research / Ed. by H. Balzter. Vol. 40. Dordrecht: Springer, 2010. 233–252.
6. *Атаева О.М., Кузнецов К.А., Серебряков В.А., Филиппов В.И.* Портал интеграции пространственных данных “ГеоМета”. М.: ВЦ РАН, 2010.
7. *Гордов Е.П., Okladnikov И.Г., Titov А.Г.* Использование Веб-ГИС технологий для разработки информационно-вычислительных систем для анализа пространственно-привязанных данных // Вестник НГУ. Серия: Информ. технологии. 2011. **9**, вып. 4. 94–102.
8. *Gordov E., Bryant K., Bulygina O., 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 // Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences / Ed. by P. Ya. Groisman and G. Gutman. Springer Environmental Science and Engineering. Vol. XII. Dordrecht: Springer, 2013. 19–55.
9. *Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Чубаров Л.Б.* Центр мониторинга социально-экономических процессов и природной среды в Сибирском федеральном округе: проект и первые результаты его реализации // Сибирское отделение РАН в XXI веке. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 95–107.
10. GIOVANNI: GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure (<http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>).
11. *Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лыкосов В.Н.* Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. Препринт ИВМ РАН. М.: ИВМ РАН, 1998.
12. *Галин В.Я., Володин Е.М., Смышляев С.П.* Модель общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН с динамикой озона // Метеорология и гидрология. 2003. **5**. 13–23.
13. *Шокин Ю.И., Жижимов О.Л., Пестунов И.А., Синяевский Ю.Н., Смирнов В.В.* Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных // Вычислительные технологии, 2007. **12**, вып. 3. 108–115.

14. *Frederick S., Ramsay C., Blades S.C.* Learning Ext JS. Birmingham: Packt Publishing, 2008.
15. *Richardson L., Ruby S.* Restful Web services. Cambridge: O'Reilly, 2007.
16. *Shulgina T.M., Genina E.Yu., Gordov E.P.* Dynamics of climatic characteristics influencing vegetation in Siberia // Environmental Research Letters, 2011 (DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045210).
17. *von Storch H., Zwiers F.W.* Statistical analysis in climate research. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999.
18. *Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.* Климатологическая обработка метеорологических наблюдений. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
19. *Sillmann J., Roeckner E.* Indices for extreme events in projections of antropogenic climate change // Climate Change. 2008. **104**. 83–104.
20. *Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M.* A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR. Boulder, 2008.
21. *Fraedrich K., Jansen H., Kirk E., Luksch U., Lunkeit F.* The planet simulator: towards a user friendly model // Meteorol. Z. 2005. **14**, N 3. 299–304.

Поступила в редакцию
27.12.2012
