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

**Разработка прототипа виртуальной
информационно-вычислительной
среды для исследований
климатических и экологических
изменений с использованием
распределенных архивов больших
пространственных данных**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Гордов Е.П., Окладников И.Г., Титов А.Г. Разработка прототипа виртуальной информационно-вычислительной среды для исследований климатических и экологических изменений с использованием распределенных архивов больших пространственных данных // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 111-119. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/13.pdf> doi:[10.20948/abrau-2017-13](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-13)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Разработка прототипа виртуальной информационно-вычислительной среды для исследований климатических и экологических изменений с использованием распределенных архивов больших пространственных данных

Е.П. Гордов^{1,2}, И.Г. Окладников^{1,2}, А.Г. Титов^{1,2}

1 Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

2 Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Аннотация. Наборы разнородных геофизических пространственных данных широко используются при выполнении научных исследований. Вследствие быстрого роста их количества и объема, в настоящее время существует определенный дефицит программных инструментов, комплексно решающих задачу поиска, интеграции и совместного анализа различных геофизических и социально-экономических данных. В работе представлен прототип аппаратно-программной платформы виртуальной информационно-вычислительной среды (ВИС) для мониторинга, анализа и прогнозирования климатических и экологических изменений на внетропических территориях Северного полушария с использованием распределенных архивов больших пространственных данных. В частности, он предоставляет профильным специалистам и лицам, принимающим решения, детальные характеристики современных и возможных в будущем климатических изменений, а также надежный и доступный инструментарий для изучения их влияния на различные природные и социальные процессы.

Ключевые слова: пространственные данные, геосервисы, изменения климата, геоинформационные системы, веб-технологии

1. Введение

В настоящее время природная среда Земли претерпевает быстрые изменения, причем имеются тревожные признаки того, что некоторые критические стадии, ведущие к необратимым изменениям как в климатической системе, так и в ряде основных экологических систем, уже были пройдены [1]. Общее признание проблемы климатических изменений послужило причиной выделения значительных ресурсов, направленных на разработку новых инструментов мониторинга [2,3], моделирования и анализа с целью улучшения понимания происходящих изменений окружающей среды. Тем не менее, вследствие быстрого роста количества наборов пространственных данных об окружающей среде, возник дефицит программных инструментов, обладающих

дружественным интерфейсом, и решающих задачу поиска, интеграции и совместного анализа различных геофизических и социоэкономических данных [4]. Интеграция веб-сервисов и приложений с программными инструментами работы с данными наблюдений и моделирования [4, 5] не является новым подходом. Она уже была в той или иной степени реализована для предметных областей климатологии [6], гидрологии [7], и т.д., то есть для случаев, когда технологии ГИС являются частью научных исследований. Появление практических реализаций стандартов OGC (Open Geospatial Consortium) для веб-картографии, обработки и анализа пространственных данных [8], а также развитие клиентских библиотек (например LeafLet, <http://leafletjs.com/>), привело к дальнейшему росту популярности таких систем. Тем не менее, многие серьезные задачи в области геоинформатики, такие как обработка и анализ наборов многомерных данных, представляющих собой временные ряды геофизических параметров, таких как температура, количество осадков, и т.д., до сих пор не реализованы в качестве стандартов OGC и веб-технологий, [9].

В данной работе представлен прототип аппаратно-программной платформы виртуальной информационно-вычислительной среды (ВИС) для мониторинга, анализа и прогнозирования региональных климатических и экологических изменений на внетропических территориях Северного полушария.

2. Общая архитектура

Предлагаемая общая архитектура распределенной виртуальной информационно-вычислительной среды (ВИС) представлена произвольным множеством связанных между собой телекоммуникационными каналами автономных узлов. На рис.1 в качестве примера представлены два узла: узел № 1 (Node #1) и узел № 2 (Node #2). Программное обеспечение на каждом узле представлено геопорталом, сервисами веб-картографии на базе ПО Geoserver (<http://geoserver.org/>), веб-клиентом ГИС, базой метаданных, вычислительным ядром и его модулями обработки и визуализации. Таким образом, независимый узел ВИС однозначно определяется наличием полнофункционального геопортала, и, как минимум, одного высокопроизводительного вычислительного узла с подключенными системами хранения данных (СХД) и установленным вычислительным ядром. Системы хранения данных содержат наборы пространственных геофизических данных, представленные данными численного моделирования и натурных наблюдений, как правило в формате netCDF.

В рамках общей архитектуры определяющее значение имеют базы метаданных MySQL каждого узла виртуальной среды. Центральная база (drc) содержит описания узлов ВИС, каждый из которых, в свою очередь, имеет свой набор вычислительных узлов (Computing system #1, ...), хранилищ данных, список хранимых наборов данных. Все остальные узлы ВИС содержат реплику центральной базы (drc_replica).

В рамках первого слоя ключевым программным компонентом является вычислительное ядро, представляющее собой независимое модульное программное обеспечение. Оно разработано с использованием языков GNU Data Language (GDL) и Python, предоставляющих апробированные процедуры математической обработки и визуализации пространственных данных, а также программные интерфейсы для чтения/записи файлов в форматах NetCDF, ESRI Shapefile, и доступа к базам данных PostgreSQL/PostGIS. Для управления работой ядра, формирования вычислительного конвейера и контроля выполнения модулей предусмотрен менеджер вычислительного ядра (рис. 2). Формирование вычислительного конвейера осуществляется на основе специального XML файла задания, подготавливаемого геопорталом по результатам действий пользователя.

Рис. 2. Общий алгоритм работы менеджера вычислительного ядра ВИС

Геопортал ВИС представляет собой промежуточное программное обеспечение [10], веб-приложения которого соответствуют апробированной архитектуре Boundless/OpenGeo [11]. Он включает:

1. Веб-портал, реализующий серверные веб-приложения, связь с веб-

- сервисами OGC, вычислительными системами;
2. Репозиторий Geoserver, содержащий базовые картографические слои (границы, рельеф, и т.д.), а также данные дистанционного зондирования;
 3. Веб-клиент ГИС, в виде картографического веб-приложения для работы с наборами пространственных данных netCDF;

Веб-клиент ГИС подразделяется на следующие части:

- серверная (backend) часть в виде PHP-приложений веб-портала, реализующих функциональность взаимодействия с вычислительным ядром, картографическими сервисами WMS/WFS/WPS, а также предоставляющие API для работы с клиентской частью, выполняемой в веб-браузере пользователя;
- клиентская (frontend) часть, которая спроектирована согласно технологии "single page application" на основе JavaScript-библиотек OpenLayers, ExtJS, GeoExt и должна обеспечивать интуитивно-понятный интерфейс пользователя, подобный интерфейсам таких распространенных настольных ГИС-приложений, как uDIG, QuantumGIS и т.д.

Можно выделить два основных серверных веб-приложения:

- Менеджер картографических слоев, обеспечивающий функциональность создания и администрирования растровых и векторных слоев ПО Geoserver через стандартный RESTful (Representational State Transfer) интерфейс. Он включает обработчик вычислительного XML-задания, получаемого от пользователя, и модуль удаленного вызова и отслеживания выполнения вычислительного ядра.
- Менеджер метаданных, обеспечивающий функциональность представления метаданных netCDF в формате JSON. Применение данного формата позволяет кэшировать структурированные данные на стороне клиента, а также легко загружать обновленную информацию с целью обновления полей интерфейса пользователя.

Клиентское веб-приложение предоставляет графический интерфейс пользователя, реализующий общую логику одностраничного приложения.

3. Разработанный прототип виртуальной информационно-вычислительной среды

Рабочий прототип ВИС состоит из двух связанных между собой автономных узлов, и обеспечивает распределенный доступ, обработку и визуализацию больших наборов пространственных данных по окружающей среде. Доступ к сервисам ВИС, предоставляется через стандартный веб-браузер.

Реализованный веб-клиент ГИС (рис. 3) прототипа разработан с использованием языков PHP 5 и JavaScript 1.8. Разработанная библиотека для создания элементов интерфейса веб-клиента основана на инструментарии

Рис. 3. Веб-клиент ГИС

GeoExt, а также на OGC сервисах ПО GeoServer. Веб-клиент выполняет две основные функции: редактирование XML-файла вычислительного задания, и визуальное представление картографической информации пользователю. Основные элементы графического интерфейса включают:

- панель представления картографических слоев на карте;
- дерево слоев;
- панель отображения легенды картографического слоя;
- информационная панель карты;
- панель состояния приложения;
- панель обзора карты;
- общее меню приложения;
- панель инструментов приложения (добавление/удаление слоя, сохранение netCDF данных, получение информации для географической точки и т.д.);
- контекстное меню приложения;

- мастер создания картографического слоя (рис. 4) на основе результатов вычислительной обработки наборов пространственных данных, доступных пользователю.

Рис. 4. Мастер создания картографического слоя

Следует отметить, что панель инструментов, меню приложения и контекстное меню содержат обработчики событий мыши и клавиатуры, которые, с контекстом выполнения приложения, однозначно определяют поведение веб-клиента ГИС в зависимости от действий пользователя. Веб-клиент ГИС удовлетворяет общим требованиям стандартов INSPIRE [12], и обеспечивает как запуск вычислительных сервисов для решения задач в области мониторинга климато-экологических изменений, так и представление результатов в виде картографических слоев WMS/WFS в растровых (PNG, JPG, GeoTIFF), векторных (KML, GML, Shape), и бинарных (netCDF) форматах.

Общая схема функционирования прототипа ВИС выглядит следующим образом. Пользователь системы взаимодействует с веб-клиентом ГИС геоportала. При первом запуске пользователь имеет доступ к заранее

подготовленным слоям, и может добавлять новые, полученные на основе обработки наборов пространственных данных, доступных на выбранном вычислительном узле ВИС. При добавлении пользователем нового слоя программные компоненты ВИС выполняют следующие операции:

- пользователь выбирает климатические или метеорологические параметры, интересующий пространственно-временной диапазон, а также требуемую математическую и/или статистическую обработку (рис. 4);
- на основе полученных от пользователя данных, геопорталом формируется XML задание на обработку и визуализацию данных;
- менеджер вычислительного ядра определенного вычислительного узла ВИС подготавливает вычислительный конвейер и запускает программные модули для обработки выбранных данных. По окончании обработки результаты сохраняются в графических файлах (GeoTIFF) и файлах данных (ESRI Shapefile, netCDF, XML);
- полученные файлы добавляются в репозиторий картографических слоев ПО Geoserver для последующего добавления нового слоя на карту и отображения в графическом интерфейсе пользователя. Также, пользователь может скачать результаты через веб-интерфейс в виде файлов netCDF.

Далее, пользователь может либо провести анализ полученных результатов, либо продолжить создание новых слоев карты.

4. Заключение

Разработанный прототип виртуальной информационно-вычислительной среды для мониторинга и прогнозирования региональных климатических и экологических изменений объединяет современные концепции web 2.0, средства визуализации, и возможности проведения научных исследований международными исследовательскими коллективами с использованием распределённых архивов больших пространственных данных. Представленная распределенная архитектура позволяет оперативно добавлять к узлам ВИС новые вычислительные узлы, системы хранения данных, а также обеспечивает гибкую информационно-вычислительную поддержку исследований климатических и экосистемных изменений с помощью современных Веб-ГИС технологий.

Работа поддержана грантом РНФ № 16-19-10257.

Литература

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy,

- S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688 pp.
2. Eiken, H., Walsh, J.E. and Schlosser, P., 2009. Arctic Observing Network (AON) Design and Implementation (ADI) Project Plan, 2009-09-25, accessed November, 2009.
 3. GCOS, 2010. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 Update), August 2010.
 4. Dubois, G., Cornford, D., Pebesma, E., Hristopulos, D. and Pilz, J., 2011. Introduction to this special issue on geoinformatics for environmental surveillance. *Computers & Geosciences*, 37(3): 277-279.
 5. Brodaric, B., Fox, P. and McGuinness, D.L., 2009. Geoscience knowledge representation in cyberinfrastructure. *Computers & Geosciences*, 35(4): 697-699.
 6. Bernholdt, D., Bharathi, S., Brown, D., Chanchio, K., Chen, D., Chervenak, A., Cinquini, L., Drach, B., Foster, I., Fox, P., Garcia, J., Kesselman, C., Markel, R., Middleton, D., Nefedova, V., Pouchard, L., Shoshani, A., Sim, A., Strand, G. and Williams, D., 2005. The Earth System Grid: Supporting the Next Generation of Climate Modeling Research. *Proc. IEEE*, 93(3): DOI 10.1109/JPROC.2004.842745.
 7. Kumar, S.V., Peters-Lidard, C.D., Tian, Y., Houser, P.R., Geiger, J., Olden, S., Lighty, L., Eastman, J.L., Doty, B., Dirmeyer, P., Adams, J., Mitchell, K., Wood, E.F. and Sheffield, J., 2006. Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling. *Environmental Modelling & Software*, 21(10): 1402-1415.
 8. Pebesma, E., Cornford, D., Dubois, G., Heuvelink, G.B.M., Hristopulos, D., Pilz, J., Stöhlker, U., Morin, G. and Skøien, J.O., 2011. INTAMAP: The design and implementation of an interoperable automated interpolation web service. *Computers & Geosciences*, 37(3): 343-352.
 9. OGC Reference Model (ORM). Open Geospatial Consortium Inc., Document:OGC 08-062r7, v2.1, 2011-12-19, <http://www.opengis.net/doc/orm/2.1>.
 10. Gordov, E. P., Lykosov, V. N., and Fazliev, A. Z.: Web portal on environmental sciences "ATMOS", *Adv. Geosci.*, 8, 33-38, doi:10.5194/adgeo-8-33-2006, 2006.
 11. L. Becirspahic and A. Karabegovic. Web portals for visualizing and searching spatial data // *Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 2015 38th International Convention on, Opatija, 2015, pp. 305-311. doi: 10.1109/MIPRO.2015.7160284
 12. Katleen Janssen. *The Availability of Spatial and Environmental Data in the European Union: At the Crossroads Between Public and Economic Interests* / Kluwer Law International, 2010, ISBN 9041132872, 9789041132871, 617 p.