

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ВЕБ-СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ¹

Е.П. Гордов, И.Г. Окладников

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Отдел проблем информатизации ТИЦ СО РАН, Томск

e-mail: gordov@scert.ru, oig@scert.ru

В.Ю. Богомолов, А.Г. Титов, Т.М. Шульгина

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

e-mail: bogomolov@scert.ru, titov@scert.ru, stm@scert.ru

В статье описана разрабатываемая в рамках специализированного Интернет-портала информационно-вычислительная система для проведения научных исследований, связанных со статистической обработкой и анализом архивов пространственно-привязанных геофизических данных, полученных как в результате наблюдений, так и моделирования. В процессе реализации использовался накопленный опыт разработки информационно-вычислительных веб-систем, обеспечивающих вычислительную обработку больших массивов пространственно-привязанных данных. Функциональные возможности разработанной модели системы включают в себя ряд процедур для оперативного математического и статистического анализа, обработки и визуализации данных. В качестве одного из приложений разрабатываемой системы были реализованы программные модули для анализа региональных особенностей динамики основных климатических характеристик и их взаимосвязей, а также для обеспечения графического представления результатов в виде графиков, диаграмм и полей на карте соответствующей территории с использованием Веб-ГИС технологий.

Введение

Наборы пространственно-привязанных геофизических данных (базы метеорологических и географических данных, результатов моделирования и реанализа, спутниковых снимков, и др.) активно используются в многочисленных приложениях, включающих, в частности, прогноз, моделирование и интерпретацию климатических и экосистемных изменений на разных пространственных и временных масштабах. При проведении геофизических, и, в частности, климатических исследований, находят широкое применение традиционные методы математической статистики для описания поведения и изменчивости метеорологических параметров, оценки линейных взаимосвязей, определения экстремальных состояний климата и т. д. [1]. Методы исследования климатических процессов широко представлены в отечественной и зарубежной литературе, начиная с простых оценок климатических средних и дисперсий, и заканчивая сложными статистическими методологиями, которые формируют базу диагностических вычислений при описании динамики климатических систем [2].

¹Работа выполнена при частичной поддержке проектом РФФИ №10-07-00547, проектами Программ фундаментальных исследований СО РАН 4. 31.1. 5 и 4.31.2.7, а также интеграционными проектами СО РАН №4, 50 и 66.

Прежде всего, для качественного изучения климата необходимы ряды многолетних систематических наблюдений метеорологических величин, которые могут быть получены из сети синоптических станций, а также по результатам работы метеорологических моделей. Так, при исследовании рядов станционных наблюдений следует учитывать влияние на них неклиматических факторов, таких как пространственное смещение станций, изменения в локальной окружающей среде (рост городов), изменения в приборах и методиках сбора наблюдений, которые приводят к нерепрезентативности данных [3-7]. Примерами смоделированных наборов данных, часто используемых при проведении климатических исследований, служат архивы геофизических данных, созданные центрами атмосферных исследований и прогнозов погоды стран Европы и Азии.

С целью исследования изменений климата по экстремальным значениям метеорологических величин используются индексы, рассмотренные и отобранные Группой экспертов по обнаружению, мониторингу и индексам изменения климата Комиссии по климатологии Всемирной метеорологической организации (ВМО) [8]. Индексы, характеризующие экстремальные значения ежесуточной температуры и количества осадков, представлены, как процентиля, пороговые значения, а также индексы продолжительности периода с заданными условиями, которые покрывают многие аспекты глобального изменения климата [9].

На сегодняшний день большое количество методов статистических расчетов и разнообразие методов графической интерпретации результатов, может быть реализовано с помощью, как различных программных пакетов, таких как Excel, Statistica, ArcGis и т. д., так и ряда информационно-вычислительных систем (KNMI Climate explorer [10], ECA&D [11], NASA GES DISC Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure (GIOVANNI) [12-14], CLIMVIS [15] и др.), позволяющих выполнять основные статистические процедуры на основе данных моделирования и наблюдений метеорологических станций. Также существует ряд программных пакетов, реализующих автоматическое вычисление экстремальных индексов ВМО. Одним из них является ПО RClimDex [16], представляющее собой программное обеспечение для статистических вычислений индексов изменения климата и визуализации результатов.

Следует отметить изначальную разнородность наборов данных, полученных от разных источников или организаций, которая затрудняет не только обмен данными и результатами, но также значительно усложняет возможность их сравнения, что уменьшает достоверность выполненного анализа. Таким образом, одной из важных задач информационной поддержки интегрированных научных исследований в области наук о Земле является создание основанной на современных информационно-телекоммуникационных технологиях программной инфраструктуры для комплексного использования наборов пространственно-привязанных геофизических данных. Современные технологии обработки геофизических данных позволяют интегрировать различные технологические решения для организации таких информационных ресурсов, в том числе данных дистанционного зондирования.

В настоящее время ряд специалистов, работающих с геопривязанными данными, полагают, что соответствующая информационно-вычислительная инфраструктура должна основываться на ГИС-технологиях [17-20]. Несмотря на ряд достижений в этой области ([21-22], <http://gis.ict.nsc.ru>), мы считаем, что использование только ГИС-технологий в сочетании с вычислительными ресурсами, требуемыми для поддержки современных моделей и

распределенным доступом к огромным архивам данных, является не очень перспективным. Особенно это справедливо для геофизики так называемых «текучих» сред (атмосфера, океан), в которой анализ динамики процессов на основе сложных вычислительных моделей является основной задачей. Для этой области нами был выбран подход, основанный на комбинированном использовании потенциала веб- и ГИС-технологий, и нацеленный на создание прикладной информационно-вычислительной веб-системы, обладающей функциональностью ГИС.

На сегодняшний день уже существует несколько информационных веб-систем посвященных, в той или иной мере, обработке пространственно-привязанных геофизических данных (GIOVANNI, [13]). Еще одна система распространения и визуализации данных базируется на Совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана, разработанной в Институте вычислительной математики (ИВМ) РАН [23-25]. Функциональные возможности системы KNMI "Climate explorer" [26-27] включают отображение временных последовательностей данных в виде 2-мерных 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 [28-29] 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. Однако, несмотря на ряд сделанных попыток, в области информатизации наук о Земле по-прежнему нет мощного инструмента, обладающего унифицированным веб-интерфейсом и объединяющего широкие возможности по обработке, анализу и визуализации наборов данных, полученных из различных источников, для проведения интегрированных геофизических исследований.

Архитектура

Разрабатываемая информационно-вычислительная веб-система состоит из четырех основных частей (Рис. 1):

1. Структурированные архивы пространственно-привязанных геофизических данных, снабженные соответствующими метаданными.
2. Вычислительное ядро, представляющее собой набор независимых модулей, реализованных на языке IDL (Interactive data language, [30]).
3. Веб портал, реализующий логику веб-приложений, связь с картографическими веб-сервисами, и обеспечивающий работу с хранилищем метаданных
4. Графический интерфейс пользователя

В рамках разработки проводится сбор, анализ, автоматизированная систематизация и преобразование к форматам NetCDF/HDF5 метеорологических данных и данных дистанционного зондирования, с последующим размещением их на высокопроизводительном сервере для использования системой.

Для выбранных регионов, в частности, для Западной Сибири, на основе архивов данных наблюдений с метеорологических станций, а также полей метеопараметров низкого пространственного разрешения (реанализов), восстанавливаются поля метеорологических величин с высоким пространственным разрешением.

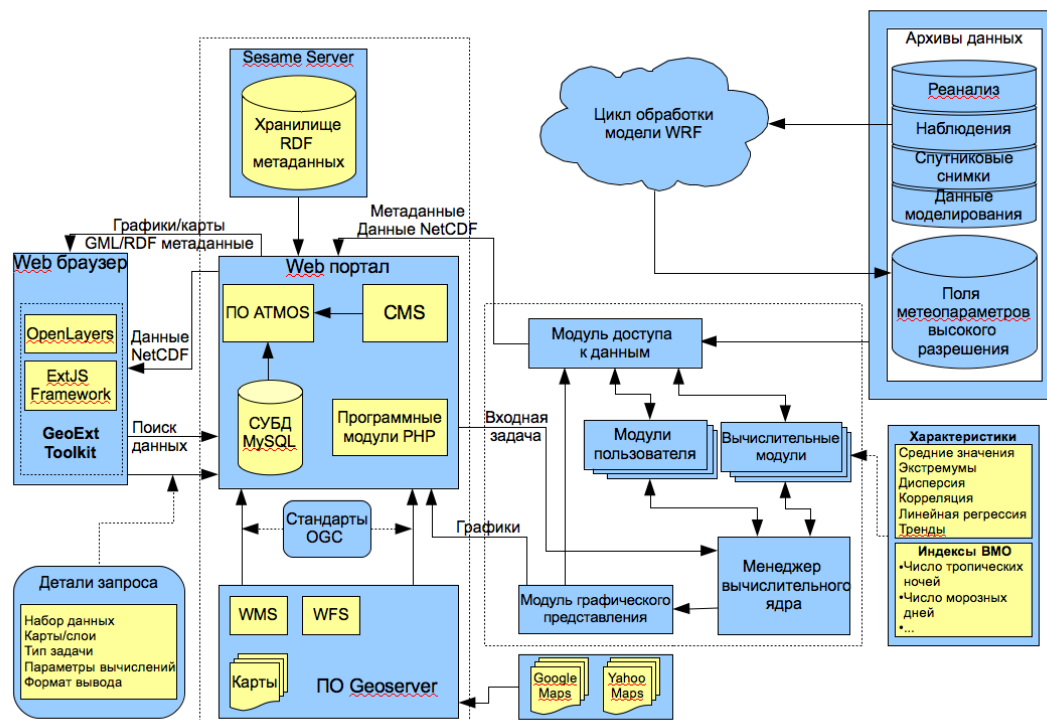


Рис. 1. Общая архитектура разрабатываемой системы

Восстановление данных полей производится с помощью статистических методов и современной вычислительной модели WRF [31], включающей в себя функцию усвоения данных измерений внутри вычисляемой области. Вычислительное ядро реализует функциональность доступа, поиска, выборки и обработки наборов данных. Модули ядра выполняются в среде IDL, а их вызов и управление производится веб-приложениями, выполняемыми в рамках специализированного веб-портала. Задача, сформированная пользователем системы, а также параметры желаемой визуализации результатов, передаются менеджеру ядра в виде XML-файла. Задача содержит указания на обрабатываемые геофизические характеристики (названия архивов данных и переменных), пространственные и временные границы интересующей области (широта, долгота, один или несколько уровней по высоте, один или несколько временных интервалов), тип карты выбранной для анализа территории, а также последовательность математической и/или статистической обработки каждой переменной, с указанием параметров графического вывода результата на каждом этапе обработки. Графический вывод представляет собой один или несколько графических файлов в формате GeoTIFF, либо анимация в формате MJPEG, либо векторные shape-файлы в формате ESRI (Environmental Systems Research Institute), [32]. Параметры вывода описывают 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 (при выводе 3-мерных полей на плоскости), размер графиков в пикселях, имя файла для вывода. Менеджер ядра производит анализ задачи, подготавливает расчетный конвейер и производит запуск соответствующих расчетных модулей. Каждый расчетный модуль имеет доступ к архивам данных через специальную библиотеку функций и ничего не знает о форме их хранения. Библиотека

доступа к данным обеспечивает поиск, чтение и выборку данных из архивов, а также предоставляет специализированный API. На первоначальном этапе реализуется функциональность, представленная в прототипе информационно-вычислительной системы, созданной авторами ранее [33]: расчет экстремальных и средних значений, стандартного отклонения, подсчет числа дней для которых значение параметра лежит в заданном диапазоне, вычисление коэффициентов корреляции и линейной регрессии, расчет трендов и индексов изменения климата [8].

По окончании расчетов производится визуализация полученных результатов согласно спецификации задачи с записью результатов расчетов в виде одного или нескольких графических, анимационных или shape-файлов. Кроме того, результаты расчетов предоставляются пользователю в формате NetCDF, а также в виде универсального XML-представления, что обеспечивает их интероперабельность. Файл с метаданными результатов удовлетворяет XML стандартам представления географической информации и метаданных, в частности, ISO19115 и ГОСТ Р 52573-2006. Для обеспечения совместимости со стандартами технологии Semantic Web, в том числе семантической интероперабельности при автоматической обработке результатов, метаданные также предоставляются в формате RDF [34]. Соответствующая RDF-схема [35] создана на основе упомянутых выше стандартов метаданных, а также на основе таких XML-стандартов, как Дублинское Ядро [36], Directory Interchange Format [37], Ecological Metadata Language [38], и др.

Специализированный веб-портал является связующим звеном между элементами разрабатываемой системы, а также между системой и конечным пользователем. 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. Задача аннотации, хранения, эффективного семантического поиска необходимых для научных исследователей наборов геофизических данных, а также организации к ним оперативного доступа, к настоящему моменту не теряет своей актуальности. Вследствие этого, в рамках веб-портала создается веб-приложение для работы с метаданными, описывающими архивы геофизических данных, и реализующее требуемую функциональность с использованием технологий Semantic Web [39].

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, [40]). Помимо простой визуализации и создания данных, новым аспектом работы с пространственными данными является перенос в веб собственно их обработки и анализа. Это становится возможным благодаря развитию мощного инструментария, легко размещаемого на веб-серверах, такого как Mapserver [41], GeoTools [42], и т. д. Использование технологий Веб-ГИС, и, в частности, протоколов WMS/WFS, предполагается для реализации следующей функциональности системы:

1. Масштабирование графических результатов вычислений.
2. Выбор географического диапазона.
3. Использование множества слоев для представления различной картографической информации.

4. Предоставление массива информации, связанной с конкретным географическим объектом, по удаленному запросу пользователя.

Пользователь разрабатываемой системы оперирует веб-браузером, который является стандартным клиентом, имеющимся на любой современной рабочей станции. Графический интерфейс для администрирования и эксплуатации информационно-вычислительной системы предоставляет пользователю возможность в простой и интуитивно понятной форме сформировать задание на обработку пространственно-распределенных данных. Разработка графического интерфейса ведется с использованием языков DHTML, PHP и JavaScript. Библиотека для проектирования элементов интерфейса основана на инструментарии GeoExt [43], объединяющем JavaScript-библиотеки ExtJS Framework [44] и OpenLayers [45]. Последняя используется для реализации функциональности ГИС, и позволяет оперативно создавать веб-интерфейс для отображения картографических материалов, представленных в различных форматах и расположенных на различных серверах.

Используемые наборы данных

В настоящее время для использования в разрабатываемой информационно-вычислительной веб-системе доступны следующие архивы пространственно распределенных данных: первая и вторая редакция реанализа Национального центра атмосферных исследований (NCAR) и Национальных центров предсказаний по окружающей среде (NCEP) [46-48], реанализ JRA-25 Японского метеорологического агентства (JMA) и Центрального исследовательского института электрической промышленности (CRIEPI)[49], реанализ ERA-40 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [50], а также Глобальный реанализ XX столетия Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) и Объединенного исследовательского института наук об окружающей среде (CIRES). Кроме того, в хранилище данных имеются архивы спутниковых данных Landsat 4-7, Global Land Survey (GLS), MODIS (<http://glovis.tsc.ru/>), а также данные наблюдений с метеостанций.

Функциональность веб-ГИС системы

К настоящему моменту были получены следующие результаты. Выработана общая концепция архитектуры информационно-вычислительной веб-системы и структура хранилища наборов геофизических данных. Проведен сбор и подготовка описанных в предыдущем разделе архивов пространственно-привязанных данных для использования в системе, выбраны и реализованы методы их предварительной обработки [51-52]. В частности, одним из приложений системы является оценка особенностей динамики и взаимосвязей основных метеорологических характеристик и их анализ. В дальнейшем набор доступных для обработки данных будет расширяться, в том числе за счет обработки пользовательских данных. Подготовлен базовый набор геопривязанных карт, включая карты растительного покрова, природных экосистем, индекса NDVI, для их последующего использования в Веб-ГИС сервисе.

Реализована следующая функциональность для работы с наборами геофизических данных: добавление/редактирование RDF-метаданных, поиск по авторам метаданных и по исследователям входящим в соответствующий проект, семантический поиск по ключевым словам. Сервер репозитория RDF метаданных Sesame [53] функционирует в рамках среды

Tomcat и обеспечивает необходимый инструментарий для анализа, интерпретации, создания запросов и хранения RDF метаданных.

Разработана программная библиотека, обеспечивающая вычислительным модулям доступ к подготовленным наборам данных. Реализован менеджер задач вычислительного ядра, создан набор из тринадцати вычислительных модулей для расчета базовой статистики и индексов изменения климата [8]. Полученные результаты расчетов индексов изменения климата для различных наборов пространственно-распределенных данных приведены на Рис. 2 и 3.

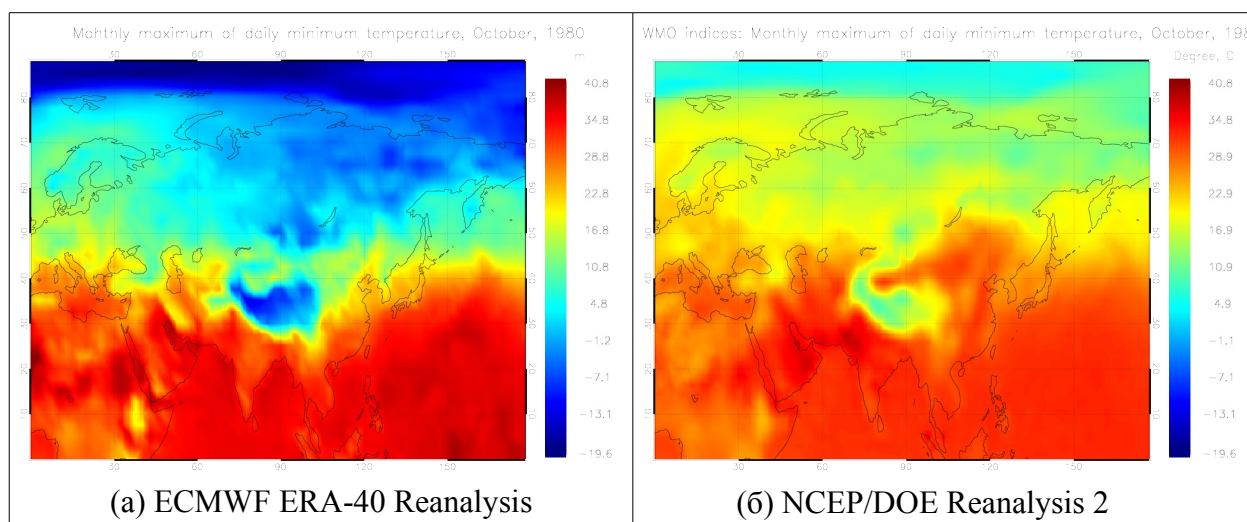


Рис. 2. Индекс изменения климата «Месячный максимум дневной минимальной температуры», октябрь 1980г.

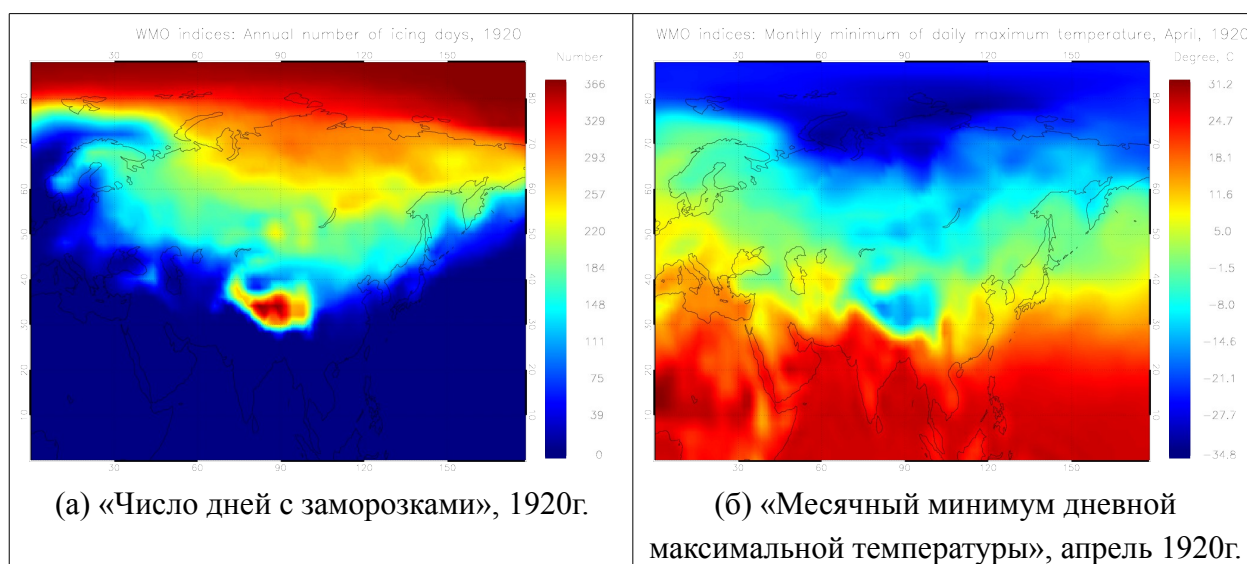


Рис. 3. Индексы изменения климата по данным NOAA-CIRES XX Century Reanalysis

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. В качестве технологической базы для представления картографической информации в Интернет используется ПО GeoServer [54],

соответствующее стандартам OpenGIS [55]. Произведена интеграция базовой ГИС-функциональности с ПО веб-портала (Рис. 4), а также реализовано совместное представление графических результатов вычислений и карт Google Maps [56] (Рис. 5). Это закладывает программную основу для разработки веб-портала как части геоинформационной веб-системы.

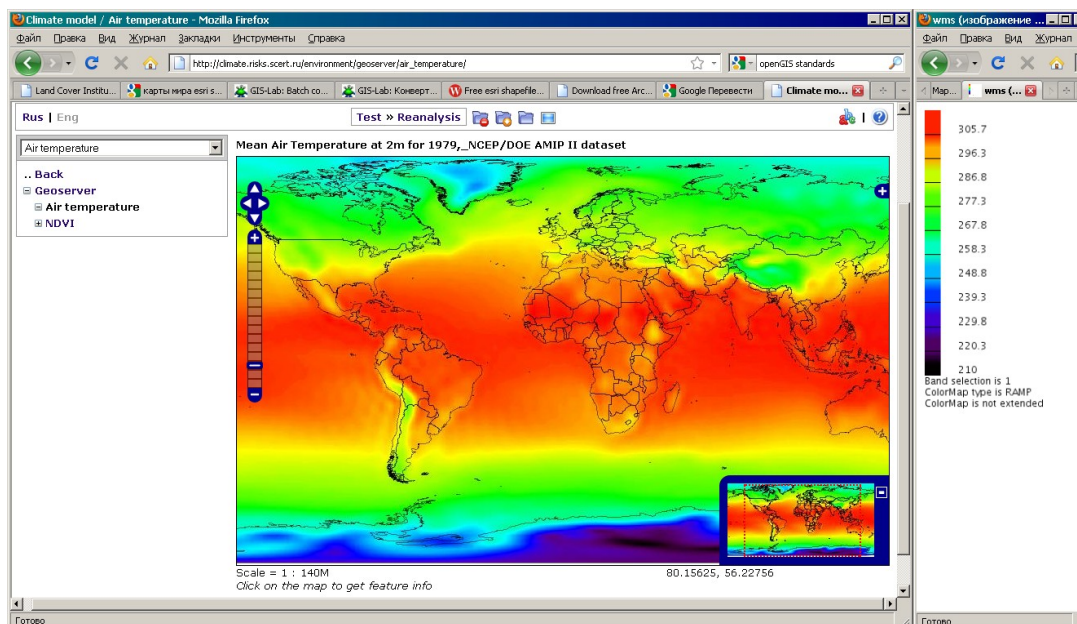


Рис. 4. Средняя температура воздуха на высоте 2м, 1979г., в формате GeoTIFF, с наложенной векторной картой мира и соответствующей легендой.

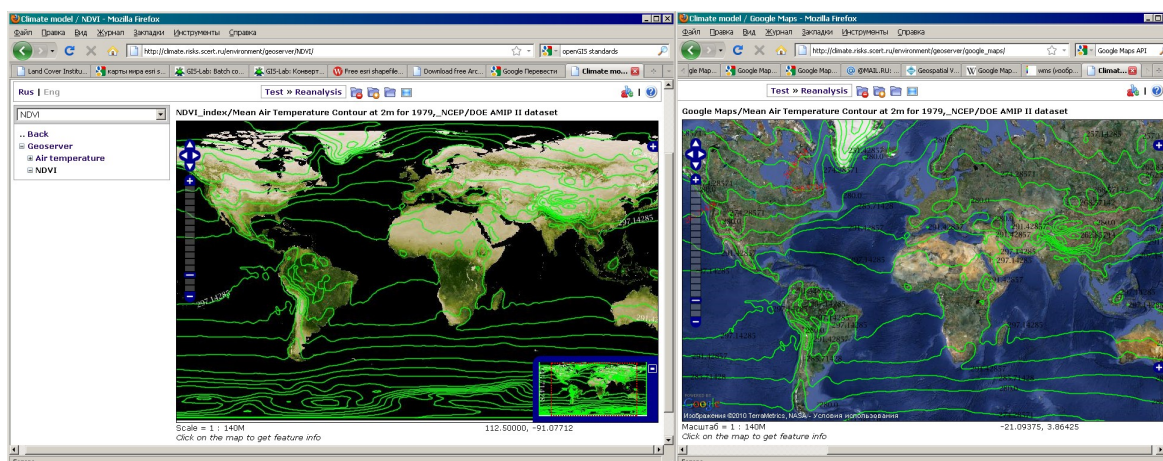


Рис. 5. Контуры средней температуры воздуха на высоте 2м, 1979г., в формате ESRI Sharefile, с базовым слоем отображающим индекс NDVI (слева) и Google Maps Satellite (справа).

Исследование динамики климатических характеристик

Одним из применений разрабатываемой веб-ГИС системы является проведение статистических исследований климатических характеристик для территории Сибири по данным моделирования (Реанализ) и наблюдений.

Множество работ по исследованию климатических изменений в Сибири показали, что эти изменения неравномерно распределены по территории и образуют особые области - «горячие точки», - где наблюдается быстрое потепление климата. Для более детального изучения особенностей динамики регионального климата необходимо исследовать динамику как общего, так и экстремального поведения метеорологических величин по данным наблюдений на метеорологических станциях и по данным численного моделирования.

В рамках данного исследования проводилось изучение поведения температуры воздуха на территории Западной Сибири в терминах таких климатических характеристик как среднегодовые, средне-сезонные и среднемесячные значения температуры воздуха, продолжительности теплого и вегетационного периодов; а также дневного и годового разброса температур. При этом использовались данные реанализа ECMWF ERA40 с пространственным разрешением $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ за временной период 1958-2000 г.г., а также данные наземных наблюдений 37 метеорологических станций, расположенных на территории Западной Сибири за период 1958-2000 г.

Проведенный анализ показал следующие результаты. Тренд поведения среднегодовой температуры (Рис. 6, слева), рассчитанные по данным Реанализа ERA-40, показал статистически значимое увеличение температуры воздуха в северной части территории Западной Сибири, достигающий $0,3 - 0,45^{\circ}\text{C}/10$ лет. Результаты, полученные на основе наблюдений метеорологических станций показали рост средней годовой температуры в среднем на $0,3-0,7^{\circ}\text{C}/10$ лет. Тренды, полученные по данным станционных наблюдений дают значения выше, чем данные Реанализа, но общая динамика поведения температуры воздуха сохраняется. Для выявления роли каждого сезона и календарного месяца в формировании поля средних годовых температур также рассчитаны и изучены их тренды. Рост температуры воздуха в зимний сезон составляет $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет, а в отдельных районах достигает $0,7^{\circ}\text{C}/10$ лет. Изменения температуры воздуха в весенний сезон составляет $0,5-0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет, в то время как изменение температур летнего и осеннего сезонов не показывает значимых изменений в температуре воздуха.

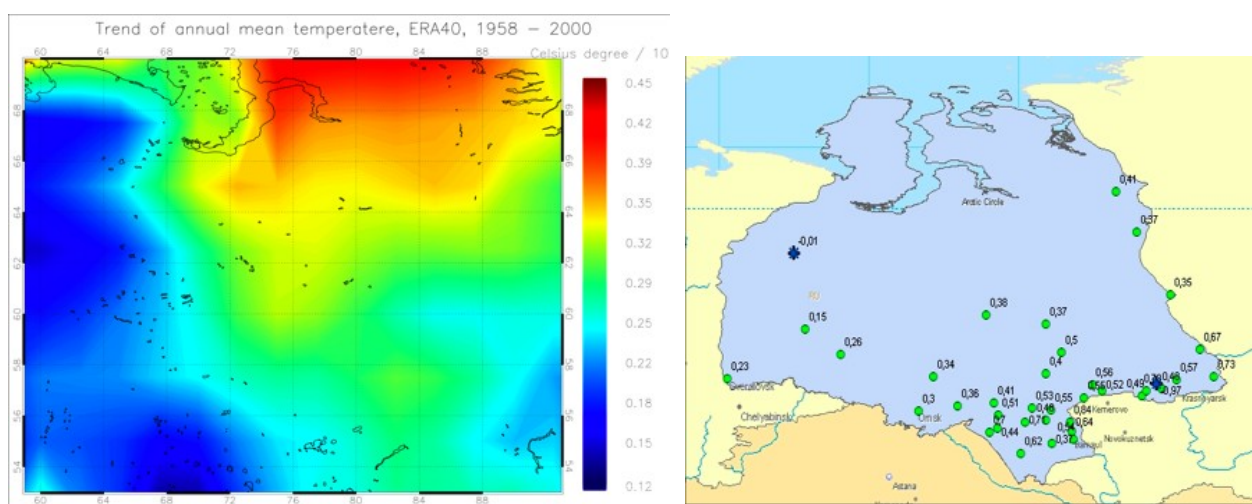


Рис. 6. Тренд среднегодовой температуры по данным реанализа ECMWF ERA-40 ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) и данным с метеостанций ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) для территории Сибири, 1958-2000 г.г.

Наряду с анализом осредненных климатических характеристик, изучено поведение индексов климатических экстремалей, касающихся температуры воздуха. Рассчитанные

тренды амплитуды дневных температур (Рис.7, слева) не показывают статистически значимых изменений в поведении максимальных и минимальных значений температур. В динамике амплитуды годовых температур также не выявлено статистически значимых изменений за исключением северного района Западной Сибири.

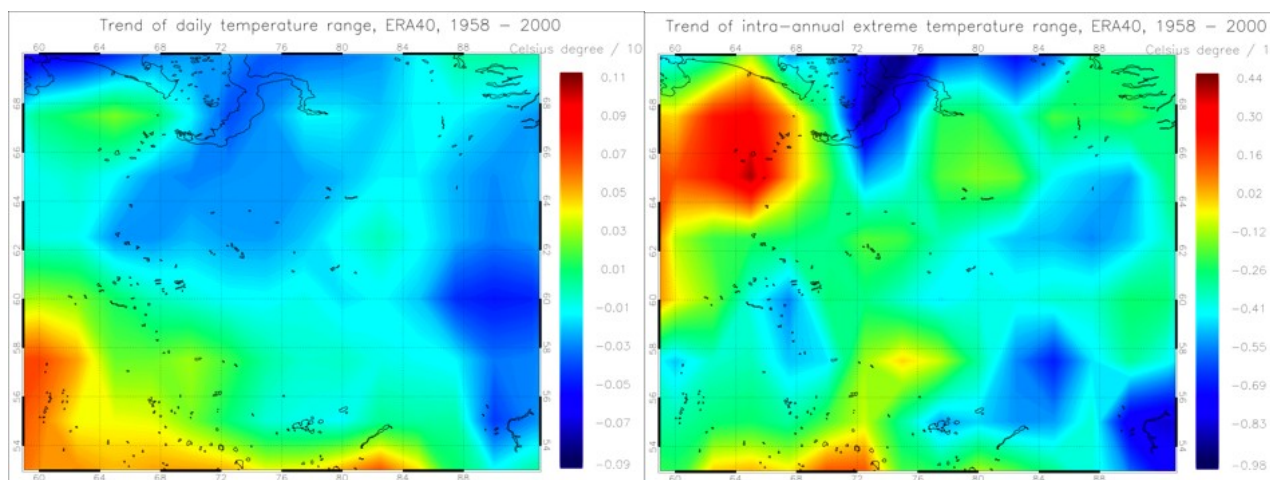


Рис. 7. Тренд индекса «Амплитуда дневной температуры» (разница максимальной и минимальной дневной температуры) (слева) и индекса «Амплитуда годовой температуры» (разница абсолютного максима и абсолютного минимума годовой температуры) (справа) по данным реанализа ECMWF ERA-40 (°C/10 лет) 1958-2000 г.г.

Следует также отметить влияние климатических изменений на биологические процессы, проходящие в различных экосистемах окружающей среды. В частности, в лесной продуктивности, которая играет важную роль в формировании глобального углеродного баланса. Существует ряд климатических индикаторов, определяющих развитие лесных экосистем и их вклад в баланс углерода, такие как продолжительность теплого периода года и вегетационного сезона, оттепелей в зимний период года и заморозков в течение теплого сезона, сумма эффективных температур и т. д. Некоторые из них были рассчитаны для территории Сибири. Результаты вычислений выявили тенденцию к увеличению продолжительности теплого и вегетационного сезонов со среднесуточной температурой больше 0 °C и 5 °C соответственно, в среднем на 2-3 дня/10 лет. Расчеты, полученные для дней с оттепелями (среднесуточная температура выше -2 °C), выявили увеличение количества дней с оттепелями в среднем на 2 – 4 дня каждые 10 лет на севере и востоке территории Западной Сибири.

В целом можно сказать, что для территории Западной Сибири наблюдается существенный рост среднегодовой температуры воздуха (0.3–0.4 °C за 10 лет). Было отмечено, что изменения зимней и весенней температур оказывают большее влияние на среднегодовую температуру, нежели изменения в летней и осенней. Кроме того, наблюдается увеличение вегетационного периода в среднем на 2-3 дня за 10 лет, а также увеличение амплитуды суточных и годовых температур. Результаты, полученные по данным реанализа ECMWF ERA-40 находятся в хорошем соответствии с данными стационарных наблюдений.

Региональное климатическое моделирование

Целью данного моделирования является создание архива данных региональных метеорологических полей с пространственным разрешением 20 км. для Западной Сибири и

10 км. – для выбранных областей, в частности – Большого Васюганского болота. На первом этапе расчет проводится для исторического промежутка 1990-2000 г., на втором этапе – 1960-1990 г. Так же, на первом этапе был проведен анализ доступных архивов данных, использование которых в качестве начального приближения и граничных условий для региональной модели представлялось возможным. В результате, был выбран реанализ ECMWF ERA-40 как наиболее точно воспроизводящий метеорологические характеристики для территории западной Сибири (по результатам сравнения с данными наблюдений на метеостанциях за одинаковый временной период). Основным инструментом для расчета данных проекций является модель WRF (модель прогноза и исследование погоды). Данная модель является свободно распространяемой, с открытым кодом, использует препроцессорную систему и является очень «гибкой» с точки зрения настройки пакета программ и исходного кода. Общая структура программного комплекса для проведения климатического моделирования приведена на рис. 9.

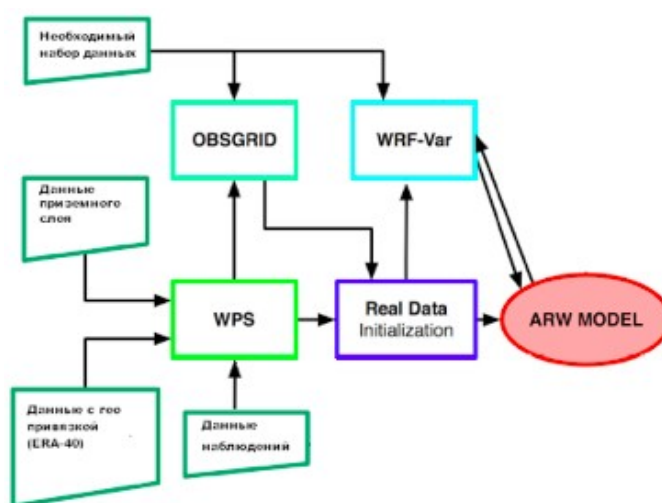


Рис. 9. Структура программного комплекса WRF-ARW и WFDDA.



Рис. 10. Схема расчета долгосрочной проекции метеополей моделью WRF

При расчете полей (Рис. 10) используется процедура «сеточный наджинг», для корректировки полей приземной температуры данными станционных измерений. Для запуска модели на долгий срок применяется процедура 3DVAR. Для детализации приземного слоя используется карта землепользования USGS Landsat с пространственным разрешением 10 км и динамическая модель подстилающей поверхности Noah. Такой подход дает возможность

учитывать влияние приземного слоя на формирование метеополей как мелкомасштабной структуры, включающей, как гидрологическую, так и биологическую компоненту. Калибровка модели, подборка физических схем и параметризация производилась по данным измерений на метеостанциях, расположенных на территории Западной Сибири.

Для численного моделирования в качестве расчетной области используется территория Западной Сибири (размер области – 2500x2000 км, шаг сетки – 20 км, шаг по времени – 6 часов). Результат моделирования выводится в формате netCDF.

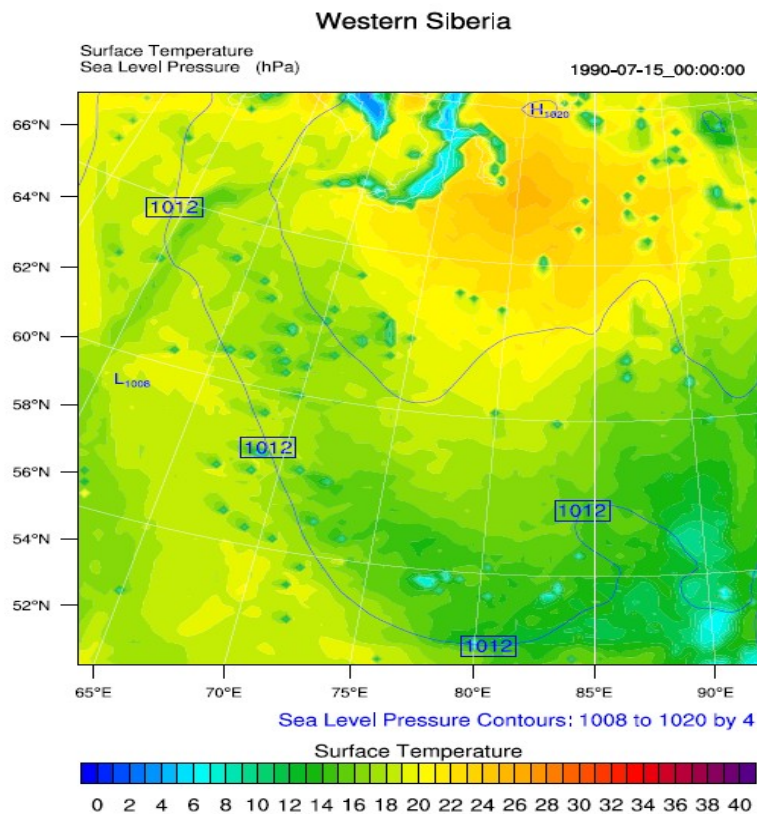


Рис. 11. Среднесуточная температура на 2 м, 2 фев. 1999 г., Модель WRF, пространственное разрешение - 20 м.

Из полученных полей, в частности приземной температуры (Рис.11), видно что, появилась неоднородная структура с явно выраженными локальными возмущениями, которые обусловлены вкладом приземных экосистем в формировании метеополей. Результаты сравнения полученных результатов с полями глобальных моделей говорят о явной детализации обусловленной учетом специфики геосистемы региона.

На основе полученных метеополей будет проведен анализ климатических изменений на территории Западной Сибири во второй половине XX века, с дальнейшим выявлением локальных неоднородностей в климатических полях. Определение геопривязки данных неоднородностей, к какой либо компоненте геосистемы региона, позволит определить её роль в общей картине изменения климата Западной Сибири. Также, данные архивы могут быть использованы в качестве граничных условия для других климатических моделей, которые исследуют различные аспекты изменения климатической системы Западной Сибири и её компоненты.

Заключение

Описанный проект направлен на разработку методов интеграции междисциплинарных (географических, климатических, метеорологических) архивов данных полевых наблюдений, моделирования и данных дистанционного зондирования; разработку универсального программного инструментария в виде комплексной информационно-вычислительной системы, обладающей ГИС-функциональностью, для работы с разнородными пространственно-распределенными данными. Данная информационно-вычислительная система является следующим шагом в процессе разработки прикладных информационно-телекоммуникационных систем, предоставляющих специалистам различных областей науки уникальные возможности надежного анализа разнородных геофизических данных. Использование апробированных вычислительных алгоритмов обеспечит достоверность получаемых в конкретных предметных областях результатов.

Доступность системы в Интернете и возможность работы с данными без использования специальных знаний в программировании должна позволить широкому кругу ученых сконцентрироваться на решении конкретных задач.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ №10-07-00547, проектов Программ фундаментальных исследований СО РАН 4. 31.1. 5 и 4.31.2.7, а также интеграционных проектов СО РАН №4, 50 и 66.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] John R. Lanzante Resistant, Robust and nonparametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data, Revision for International Journal of climatology, 1996.
- [2] Hans von Storch, Francis W. Zwiers Statistical Analysis in Climate Research, Cambridge University Press, 1999.
- [3] Jones, P.D., Raper, S.C.B., Santer, B., Cherry, B.S.B., Goodess, C., Kelly, P.M., Wigley, T.M.L., Bradley, R.S., and Diaz, H.F., 1985. A Grid Point Surface Air Temperature Data Set for the Northern Hemisphere, TRO22, Department of Energy, Washington, 251 pp.
- [4] Karl, T.R., and Williams, C.N. Jr., 1987. 'An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities', J. Climate Appl. Meteorol., 26, 1744–1763.
- [5] Gullett, D.W., Vincent, L. and Sajecki, P.J.F. 1990. Testing for Homogeneity in Temperature Time Series at Canadian Climate Stations, CCC Report No. 90-4, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario. 43 pp.
- [6] Heino, R. 1994. Climate in Finland During the Period of Meteorological Observations, Finnish Meteorological Institute Contributions, 12, 209 pp.
- [7] Peterson, T.C. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review // Int. J. Climatol. 18: 1493 – 1517, 1998. Society, A. M. (1993).
- [8] Peterson T.C., 2005: Climate Change Indices. WMO Bulletin, 54(2), 83-86.
- [9] J. Sillmann, E. Roeckner Indices for extreme events in projections of antropogenic climate change // Climate Change, 2008, 86:83 – 104, p. 83 – 104.
- [10] G.J. van Oldenborgh and G. Burgers The KNMI climate explorer: a web site to investigate teleconnections and seasonal forecasts.
- [11] Alber Klain Tank European Climate Assessment and Dataset (ECA&D), EUMETNET/WCSN optional programme, 2007, 1 – 38.

- [12] Acker, J. G., and G. Leptoukh, 2007. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data, Eos Trans. AGU, 88(2), doi:10.1029/2007EO020003.
- [13] GIOVANNI: GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure. <http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>.
- [14] NASA GES DISC on-line visualization and analysis system for gridded remote sensing data (G. Leptoukh, S. Berrick, H. Rui, Z. Liu, T. Zhu, S. Shen).
- [15] Thomas F. Ross, Daniel J. Manns, Wayne M. Faas, National Data Center, Asheville, North Carolina CLIMVIS – a cool way to visualize NOAA’s climate data, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina.
- [16] RclimDex User Guide <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>.
- [17] Frans J. M. van der Wel, 2005. Spatial data infrastructure for meteorological and climatic data. Meteorol. Appl. 12, 7-8, doi:10.1017/S1350482704001471.
- [18] Gupta, A., Marciano, R., Zaslavsky, I., Baru, C., 1999. “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, Vol. 1737.
- [19] Dragicevic, S., Balram, S., Lewis, J., 2000. 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.
- [20] Peng, Z-R and Tsou, M-H., 2003. Internet GIS - Distributed Geographic Information Systems for the Internet and Wireless Networks. New York: John Wiley & Sons.
- [21] Vatsavai, Ranga Raju, Thomas E. Burk, B. Tyler Wilson, Shashi Shekhar, 2000. 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., P. 95-101.
- [22] Якубайлик О.Э. Геоинформационный Интернет-портал. // Вычислительные технологии, Т. 12, Спец. выпуск 3, 2007, С. 116-125.
- [23] Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лыкосов В.Н. Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. М., Препринт ИВМ РАН. 1998. 180 с.
- [24] Галин В.Я., Володин Е.М., Смышляев С.П. Модель общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН с динамикой озона. Метеорология и гидрология, 2003, N 5, с.13-23.
- [25] Результаты Экспериментов с Совместной Моделью Общей Циркуляции Атмосферы и Океана ИВМ РАН. <http://ksv.inm.ras.ru>
- [26] Oldenborgh, G.J. van, M.A. Balmaseda, L. Ferranti, T.N. Stockdale and D.L.T. Anderson, 2004, Evaluation of atmospheric fields from the ECMWF seasonal forecasts over a 15 year period. J. Climate, 2005, 18, 16, 2970-2989.
- [27] Climate Explorer. <http://climexp.knmi.nl/>
- [28] 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, Т. 12, Спец. выпуск 3, 2007, С. 108-115.

- [29] 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, 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.
- [30] IDL - Data Visualization Solutions. <http://www.ittvis.com/ProductServices/IDL.aspx>
- [31] The Weather Research & Forecasting Model Website. <http://www.wrf-model.org/>
- [32] ESRI Shapefile Technical Description, 1998. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- [33] A. Titov, E. Gordov, I. Okladnikov, T. Shulgina Web-system for processing and visualization of meteorological data for Siberian environment research // International Journal of Digital Earth, DOI: 10.1080/17538940902866187, Vol. 2, Issue S1 April 2009, p. 105 – 119.
- [34] Resource Description Framework (RDF), 2004. <http://www.w3.org/RDF/>
- [35] Титов А.Г. RDF схема для метаданных по метеорологии и климату // Измерения, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды / Под общей редакцией проф. Е.П. Гордова. – Томск: Издательство Томского ЦНТИ, 2006. - с. 58 - 61.
- [36] Dublin Core Metadata Initiative. <http://dublincore.org/>
- [37] Directory Interchange Format (DIF) Writer's Guide. <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/User/difguide/difman.html>
- [38] Ecological Metadata Language. <http://knb.ecoinformatics.org/software/eml/>
- [39] Титов А.Г., Гордов Е.П., Окладников И.Г. Использование технологий Semantic Web в информационно-вычислительной системе для анализа данных по окружающей среде // Вестник НГУ, Серия: Информационные технологии, Т.8, выпуск 1, 2010, с. 60-67.
- [40] Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org>
- [41] MapServer. <http://mapserver.org/>
- [42] GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit. <http://www.geotools.org/>
- [43] JavaScript Toolkit for Rich Web Mapping Applications, <http://www.geoext.org/>
- [44] Ext JS - JavaScript Framework and RIA Platform. <http://extjs.com/>
- [45] OpenLayers: Free Maps for the Web. <http://openlayers.org>
- [46] NCEP/NCAR Reanalysis <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>.
- [47] E. Kalnay and et. al The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 77, No 3., March 1996, p. 437 – 471.
- [48] M. Kanamitsu, et. al, NCEP-DOE AMIP II Reanalysis (R-2) // American Meteorological Society, November 2002, p. 1631-1643.
- [49] K. Onogi, et al. The JRA-25 Reanalysis, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.85, No. 3, pp. 369-432, 2007
- [50] ERA-40 Project Report Series, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, 2007.
- [51] Гордов Е.П., Окладников И.Г., Титов А.Г. Информационно-вычислительные системы на основе веб-технологий для исследования региональных природно-климатических процессов // Вычислительные технологии, Том 12, Специальный выпуск № 3, 2007, с. 20-29.
- [52] Окладников И.Г., Титов А.Г., Мельникова В.Н., Шульгина Т.М. Веб-система для обработки и визуализации метеорологических и климатических данных // Вычислительные технологии, Т.13, Спецвыпуск №3, 2008, с. 64 – 69.

- [53] Jeen Broekstra, Arjohn Kampman, Frank van Harmelen. Sesame: An Architecture for Storing and Querying RDF Data and Schema Information (2001) // In: Semantics for the WWW, MIT Press, 2001, D. Fensel, J. Hendler, H. Lieberman and W. Wahlster (eds).
- [54] What is GeoServer. <http://geoserver.org/display/GEOS/What+is+GeoServer>
- [55] OpenGIS Standards and Specifications. <http://www.opengeospatial.org/standards>
- [56] Google Maps API. <http://code.google.com/intl/ru/apis/maps/>