



НОВЫЕ СРЕДСТВА КИБЕРНЕТИКИ, ИНФОРМАТИКИ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

А.Н. КРАВЧЕНКО, Н.Н. КУССУЛЬ, Е.А. ЛУПЯН, В.П. САВОРСКИЙ,
Л. ХЛУХИ, А.Ю. ШЕЛЕСТОВ

УДК 681.32

МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ¹

Ключевые слова: обработка спутниковых данных, Grid-технологии, метеорологическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

С увеличением числа природных катаклизмов и техногенного влияния на водоемы оценка состояния водных масс становится все актуальней. Задачей системы, которой посвящается данная статья, является непрерывный мониторинг основных биофизических параметров Днепровского лимана с использованием спутниковой информации. Инструмент мониторинга — анализ параметров цвета водной среды в видимом диапазоне и характеристик излучения в тепловом инфракрасном диапазоне.

Основной источник информации для оценки качества воды — это концентрация пигментов, в частности хлорофилла, которая является главной характеристикой биопродуктивности водоемов. В результате долгосрочного непрерывного мониторинга параметров Днепровского лимана можно отслеживать изменения в землепользовании, оценивать влияние распределенных источников загрязнений в ходе промышленной и сельскохозяйственной деятельности, последствия работы Днепровского каскада ГЭС, оценивать параметры биопродуктивности.

Проблема оценки качества воды внесена в перечень приоритетных задач, которые необходимо решить в ближайшей время в процессе развития европейской системы глобального мониторинга в интересах окружающей среды и безопасности GMES (Global Monitoring for Environment and Security). Подобные задачи отмечены и в планах Международной группы наблюдения Земли (GEO) на 2007–2009 гг., в частности в разделах WA-07-P2 (Global Water Quality Monitoring) и WA-07-P3 (Satellite Water Measurements) [1].

В настоящей статье рассматриваются вопросы выбора оптимальных источников информации, интеграции с существующими системами мониторинга, моделирования и распространения данных, использования существующих решений для тематической обработки материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и представления результатов работы системы пользователям. Особенностью рассматриваемого подхода является применение Grid-технологии для распределения сложных вычислений, а также использование кластеров семейства СКИТ

¹Разработка системы мониторинга частично поддержана грантом УНТЦ-НАНУ «Разработка эффективных Grid-технологий экологического мониторинга на основе спутниковых данных» (проект № 3872), а также совместным грантом INTAS-CNES-NSAU №06-100024-9154 «Data Fusion Grid Infrastructure».

© А.Н. Кравченко, Н.Н. Кусскуль, Е.А. Лупян, В.П. Саворский, Л. Хлухи, А.Ю. Шелестов, 2008

(суперкомпьютеры для реализации информационных технологий) для реализации вычислительно-сложных элементов системы.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОБХОДИМЫХ ДАННЫХ ДЗЗ

Основным источником данных для рассматриваемой системы являются общедоступные космические снимки низкого пространственного разрешения в диапазоне 0,4–12 мкм, которые генерируются прибором MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, <http://modis.gsfc.nasa.gov>).

Исследование характеристик водной поверхности из космоса началось с запуска в 1978 году спутника Nimbus-7 с сенсором CZCS (Coastal Zone Color Scanner) [2], предоставившего данные цветности океана до 1986 г. Результаты исследований совокупности спутниковых данных CZCS, данных аэросъемок и наблюдений in-situ предоставили возможность определить параметры водной толщи, которые можно восстановить по данным в видимом диапазоне электромагнитного излучения, и сформулировать необходимые требования для дальнейших сенсоров цвета воды. Для восстановления геофизических параметров по характеристикам излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также для проведения атмосферной коррекции в [3] выделено восемь основных спектральных каналов (табл. 1), а также множество комбинаций каналов сенсора, позволяющие получать конечные продукты с разным уровнем качества (табл. 2).

Для решения задач восстановления геофизических параметров по данным в видимом диапазоне необходима регистрация излучения в узком интервале частот с высоким уровнем сигнал-шум. Это усложняет создание сенсоров с высоким пространственным разрешением для полярно-орбитальных спутников или сенсоров с низким пространственным разрешением для геостационарных спутниковых систем. Поэтому основным источником данных в видимом диапазоне с необходимыми радиометрическими характеристиками являются сенсоры полярно-орбитальных спутников с типичным пространственным разрешением 1 км и периодом повторного наблюдения 2–3 дня. Геостационарные спутники, предназначенные для наблюдения за водной толщей, только планируются. Они смогут выдавать данные о состоянии водоемов для ограниченных регионов с высокой частотой, несколько раз в час.

Среди данных современных сенсоров цвета воды наиболее доступны данные спектрометра со средним пространственным разрешением MODIS. Согласно перечню наборов каналов для сканеров цветности воды сенсор MODIS отвечает комбинации С3 (см. табл. 2). Дополнительно к спектральным каналам из набора С3 MODIS предоставляет информацию в нескольких каналах видимого диапазона, ближнего и среднего инфракрасного диапазона, позволяющего разрабатывать специфические алгоритмы для этого сенсора. Кроме каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, MODIS содержит каналы в тепловом инфракрасном диапазоне, позволяющие восстанавливать температуры поверхности водоемов.

Таблица 1. Спектральные диапазоны, предназначенные для восстановления цвета водной поверхности

Номер канала	Спектральный диапазон, нм	Максимальная ширина спектрального диапазона, нм
0	01024–1064	30
1	855–890	20
2	744–757	14
3	704–713	10
4	550–565	10
5	485–495	10
6	438 – 448	10
7	407–417	10

Таблица 2. Комбинации спектральных диапазонов

Название комбинации каналов	Спектральные каналы
C1	1, 2, 4, 5
C2	1, 2, 4, 5, 6
C3	1, 2, 4, 5, 6, 7
C4	1, 2, 3, 4, 5, 6
C5	0, 1, 2, 4, 5, 6
C6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
C7	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 + дополнительные каналы в видимой области спектра

2. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Основная задача системы — непрерывный мониторинг параметров водной среды Днепровского лимана на базе данных ДЗЗ в оптическом диапазоне.

На текущий момент наиболее отработанными методами обработки спутниковых данных цвета воды являются методы, созданные в рамках системы SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) [4]. Пакет SeaDAS позволяет получать ряд параметров качества воды, в частности оценивать концентрацию хлорофилла и поверхностную температуру водной толщи.

Для восстановления геофизических характеристик водной среды и решения задачи атмосферной коррекции SeaDAS необходимы данные о пространственном распределении концентрации озона, а также несколько метеорологических параметров. По умолчанию, в SeaDAS используются климатологические значения метеорологических величин. Для более точной обработки существует возможность использования результатов объективного анализа NCEP (National Centers for Environmental Prediction, <http://www.ncep.noaa.gov>). Эти данные распространяются в географической проекции с пространственным разрешением 1° четыре раза в сутки. Подобного пространственного и временного разрешения недостаточно для решения задач тематической обработки спутниковых данных в прибрежных районах.

Для уточнения метеорологических параметров в рамках данного сервиса используются результаты мезомасштабного моделирования погоды. Такой подход позволяет восстанавливать поля метеорологических параметров для ограниченных территорий с высоким пространственным разрешением до 1 км, совпадающим с пространственным разрешением данных MODIS.

Для валидации обработки результатов дистанционного зондирования должны использоваться данные наблюдений in-situ. При отработке метода использовались данные Херсонской гидробиологической станции НАН Украины.

Для решения задач тематической обработки, сбора и подготовки данных ДЗЗ, а также предоставления результатов обработки пользователям была проведена декомпозиция системы мониторинга на следующие компоненты (рис. 1):

- подсистема усвоения данных;
- модули тематической обработки данных;
- подсистема обеспечения метеорологическими данными;
- подсистема визуализации.

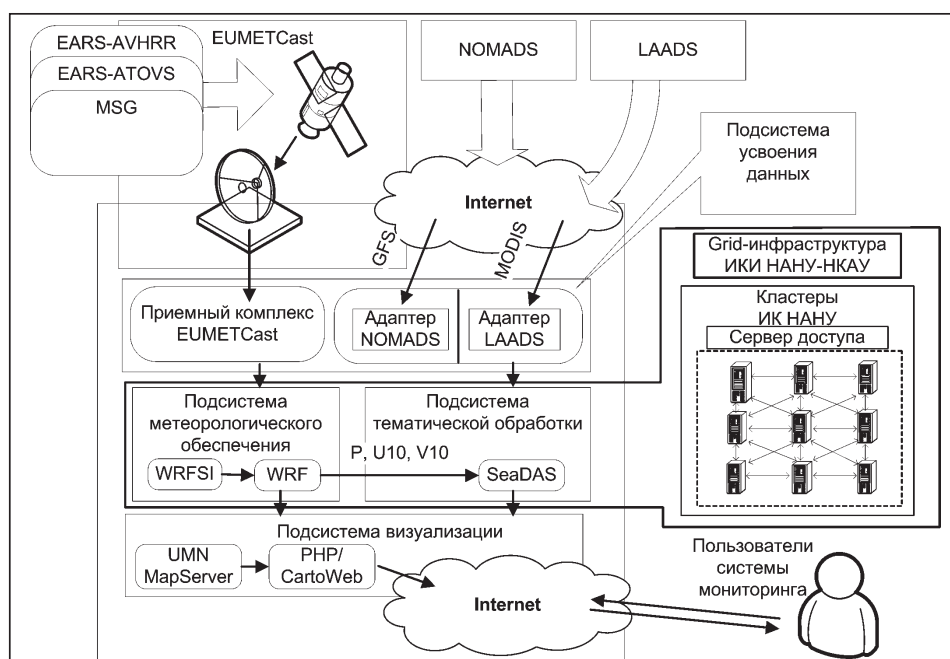


Рис. 1. Схема работы системы мониторинга

Для выполнения задач обработки данных и метеорологического моделирования, которые являются вычислительно сложными, в данной системе применяется подход Grid. Система мониторинга использует существующую Grid-инфраструктуру [5], которая объединяет вычислительные и информационные ресурсы Института космических исследований с вычислительными ресурсами Института кибернетики НАН Украины. В частности, ресурсы Института кибернетики состоят из вычислительных кластеров СКИТ-1 (48 процессоров), СКИТ-2 (64 процессора) и находящегося в разработке СКИТ-3 (150 двухъядерных процессора). Настоящий Grid основан на программном обеспечении среднего уровня Globus Toolkit v4 (<http://www.globus.org/toolkit/>). Для выполнения последовательностей задач используется система Karajan, а для распределения задач на локальных ресурсах — системы управления задачами: Torque и SLURM. Поддержка выполнения задач в параллельном режиме обеспечивается реализациями стандарта MPI OpenMPI и Scaly. Мониторинг загруженности ресурсов выполняется системой Ganglia (<http://ganglia.ikd.kiev.ua/>).

3. ПОДСИСТЕМА УСВОЕНИЯ ДАННЫХ

Рассматриваемая подсистема представляет собой набор специализированных интерфейсов к системам предоставления и распространения геопространственных данных. Сейчас реализованы интерфейсы и налажено усвоение данных из систем NOMADS (NOAA Operational Model Archive Distribution System) [6], LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>), российской системы спутникового мониторинга (<http://www.nffc.aviales.ru/rus/main.sht>) и EUMETCast (http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/EUMETCast/index.htm).

Системы NOMADS и LAADS — Web-ориентированные системы предоставления данных по протоколам FTP и/или HTTP. Доступ к данным возможен в течение продолжительного времени с момента их создания (нескольких дней, недель, месяцев в зависимости от типа данных). Поэтому от подсистемы усвоения не требуется работа в режиме реального времени, но необходима возможность пакетной загрузки данных за продолжительный период. Система EUMETCast предназначена для широкоэвентельного распространения данных по спутниковым каналам связи. Для работы с этой системой необходима работа системы усвоения данных в режиме реального времени.

Для усвоения данных из систем, подобных NOMADS и LAADS, создана специализированная система пакетной обработки заданий. Средства усвоения данных из конкретной системы представлены набором взаимосвязанных задач, таких как обновление метаинформации о наличных данных и времени их существования, подготовка к загрузке и собственно загрузка. Каждое задание уникально идентифицируется, ведется реестр заданий с указанием времени его создания, запуска, завершения, состояния и параметров приоритета. Для представления реестра заданий в системе используется реляционная база данных. Ведение реестра позволяет осуществлять перезапуск, восстановление после сбоев в процессе выполнения заданий, а также избегать повторного выполнения заданий в случае пакетной загрузки.

Система NOMADS используется для получения данных глобального моделирования погоды с помощью модели GFS (Global Forecast System, <http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo/index.html>). С точки зрения клиента, эта система представляет собой набор серверов, которые дублируют друг друга и распределяют нагрузку на систему. Данные GFS обновляются четыре раза в сутки. Для доступа к подмножеству данных в системе NOMADS функционирует сервис ftp2u (http://nomad3.ncep.noaa.gov/DOC/ftp2u_help.html), который позволяет осуществлять выборку данных по времени, переменным (например, температура, скорость ветра), вертикальному уровню (например, 500 мбар, 2 м от поверхности) и географическим координатам (указывается прямоугольник в географической системе координат). В случае отказа в обслуживании основного сервера NOMADS в рамках задания загрузки данных осуществляется последовательный опрос всех серверов NOMADS.

Система LAADS используется для получения продуктов MODIS (данных уровня L1B MOD012KM, MOD02HKM и MOD02QKM, а также расширенных данных о геопривязке MOD03). Для усвоения данных LAADS созданы задания обновления метаданных о имеющихся снимках, а также загрузки снимков, находящихся в прямом доступе. Поскольку LAADS не предоставляет информацию о территории покрытия снимков, фильтрация данных по географическим координатам осуществляется на этапе сбора информации о имеющихся снимках.

Для работы с системой EUMETCast создано программно-аппаратное решение приема данных по стандарту DVB. В настоящий момент налажен прием, фильтрация по географическим координатам, каталогизация снимков спутников серии MSG, Meteosat, GOES, NOAA, MetOp, а также обработка снимков MSG [7], результаты которой представлены по адресу http://dos.ikd.kiev.ua/?option=com_mapserver.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ SeaDAS

Пакет SeaDAS является «развитой системой анализа изображений, которая предназначена для обработки, отображения, анализа и оценки качества данных цветности воды» (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas/>). ПО SeaDAS было разработано в Goddard Space Flight Center NASA и позволяет обрабатывать данные сенсоров SeaWIFS, MODIS, CZCS, OCTS.

Функциональность ПО SeaDAS включает:

- преобразование данных из уровня обработки L1A к уровню L1B;
- тематическая обработка данных (уровень L2);
- обобщение данных для конкретного региона за определенный промежуток времени (уровень L3).

Дополнительно SeaDAS позволяет обрабатывать снимки MODIS, предоставляющиеся в режиме Direct Broadcast (преобразование данных из уровня L0 в данные уровня L1A, а также геопривязку изображений).

Основной компонент тематической обработки спутниковых данных в пакете SeaDAS — компонент MSL12 (Multi Sensor Level 1 to Level 2). Он позволяет получать следующие тематические продукты из данных MODIS:

- исходящее излучение на разных длинах волн;
- параметры атмосферной коррекции снимков для территорий морей и океанов;
- концентрация хлорофилла в воде;
- температура водной поверхности.

ПО MSL12 разработано для обработки данных сенсора SeaWIFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor), имеющих только восемь каналов в видимой и ближней инфракрасной области спектра. В версии SeaDAS 5.0 комплекс MSL12 расширен специально для обработки данных MODIS, в частности в средневолновой области инфракрасного диапазона [8]. Это особенно важно для прибрежных территорий (в том числе для территории Днепровского лимана). Еще одно преимущество MSL12 в составе SeaDAS 5.0 — использование каналов MODIS с пространственным разрешением 250 и 500 м, что потенциально может увеличить пространственное разрешение данных о концентрации хлорофилла до 250—500 м.

Как уже отмечалось, для тематической обработки данных излучения водной толщи необходима дополнительная информация, а именно:

- метеорологические данные (приводный ветер на высоте 10 м, величина давления на уровне моря, содержащее водяного пара в атмосфере);
- пространственное распределение концентрации озона;
- температура водной поверхности.

В стандартной конфигурации SeaDAS имеется возможность использования климатологических метеорологических данных или результатов анализа NCEP (в этом случае, если момент съемки не совпадает со временем проведения анализа, происходит простая временная интерполяция данных). В качестве данных о рас-

пределении озона могут использоваться данные EP TOMS (<http://toms.gsfc.nasa.gov/eptoms/epsat.html>) или TOAST (<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/OZONE/TOAST/>). В качестве данных о поверхностной температуре водной толщи могут выступать климатологические данные, информационные продукты NOAA OISST (http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis/) или в случае обработки снимков MODIS температура поверхности воды может быть вычислена непосредственно по спутниковым изображениям.

Пример результатов обработки снимков MODIS для территории Черного моря с помощью ПО MSL12 показан на рис. 2.

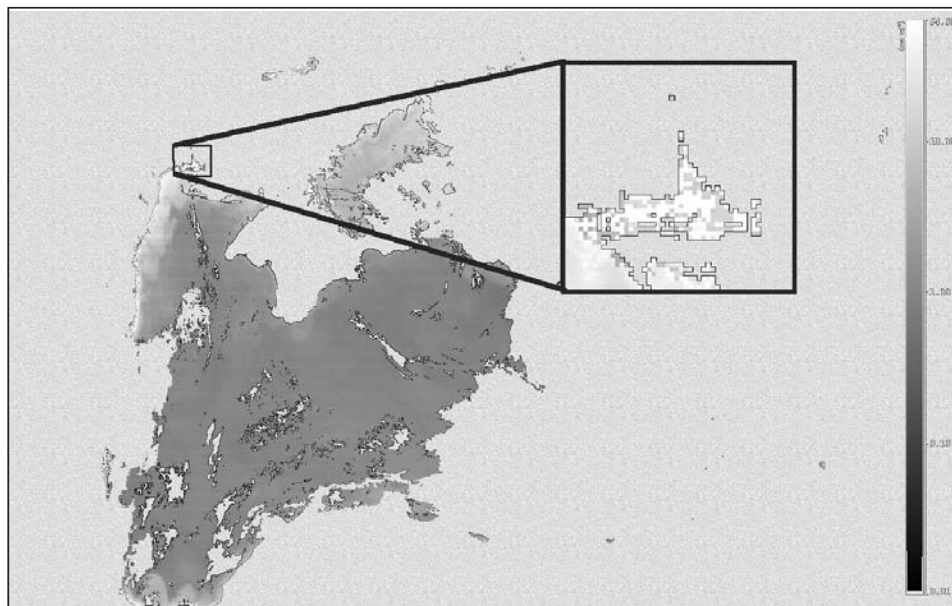


Рис. 2. Результаты тематической обработки данных MODIS для оценки концентрации хлорофилла с помощью пакета SeaDAS на территории Черного моря и Днепровского лимана

5. ПОДСИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Модели численного прогноза погоды (Numerical Weather Prediction — NWP) генерируют четырехмерные распределения в пространстве-времени основных метеорологических параметров. Такие модели делятся на глобальные модели циркуляции атмосферы и региональные. Примерами глобальных моделей являются GFS, которая используется центром NCEP, и модель TL799L91 (http://www.ecmwf.int/products/forecasts/guide/The_ECMWF_global_atmospheric_model.html), которая используется центром ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Среди региональных моделей прогноза погоды нужно отметить модели с открытым кодом MM5 (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>) и WRF (<http://www.wrf-model.org/index.php>, <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>) [9].

Глобальные модели характеризуются низким пространственным разрешением, что, однако, улучшается с прогрессом в области высокопроизводительных вычислений. Региональные модели прогноза погоды — мезомасштабные модели и специально приспособлены для моделирования с высоким пространственным разрешением. Для из запуска необходимы данные глобального моделирования для спецификации краевых условий региональной модели.

Использование результатов работы региональной модели прогноза погоды в качестве дополнительной информации при тематической обработке снимки MODIS вместо климатологических результатов или данных глобального анализа улучшает качество обработки за счет увеличения пространственного разрешения метеороло-

гических параметров, а также вследствие улучшенной временной интерполяции метеорологических данных с учетом атмосферной динамики.

Прогнозирование с использованием моделей численного прогноза погоды связано с высокой вычислительной сложностью прогнозов и требует применения высокопроизводительной вычислительной техники. Генерация прогнозов с высоким пространственным разрешением усложняется с увеличением горизонтального разрешения модели в связи с быстрым ростом необходимых вычислительных ресурсов, а именно квадратичным ростом объема необходимой памяти и кубическим ростом времени вычисления. В современных системах моделирования погоды эта проблема решается за счет использования каскада вложенных сеток с увеличивающимся пространственным разрешением.

В качестве модели численного прогноза погоды в данной системе используется региональная модель WRF. Она разрабатывается и поддерживается многими организациями США. С точки зрения реализации эта система гибкая и портативная, позволяет проводить параллельные вычисления на высокопроизводительной технике. Следует отметить, что система WRF в основном ориентирована на использование на территории США, так что для применения результатов работы WRF для территории Украины необходима ее адаптация.

На текущий момент модель WRF функционирует в операционном режиме в Институте космических исследований НАН Украины и НКА Украины. Построение прогнозов погоды (на 72 часа) происходит регулярно раз в 6 часов. Прогнозы строятся на сетке 200x200 с размером элемента сетки 10x10 км. Для учета кривизны поверхности Земли сетка модели задана в равноугольной проекции Ламберта. Для представления вертикальных распределений параметров сетка модели имеет 31 вертикальный уровень. В качестве ее краевых условий используются прогнозы глобальной модели GFS, поступление которых обеспечивается подсистемой усвоения данных. Для подготовки начальных и краевых условий для моделирования используется система WRFSI (<http://wrfsi.noaa.gov/>). Вычисление прогноза на 72 часа в этой конфигурации составляет 4 часа на кластере Института космических исследований (два двухпроцессорных узла с процессорами AMD Opteron 2.2 ГГц). Пример работы модели приведен на рис. 3, а.

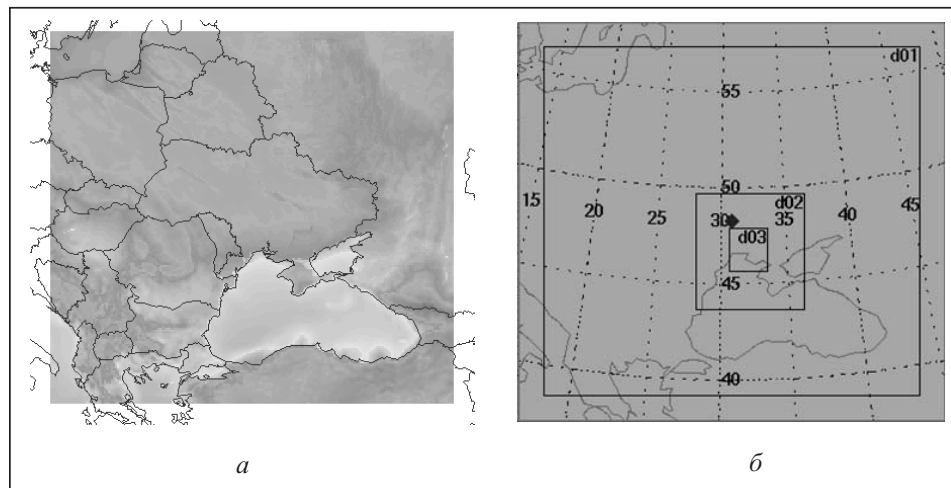


Рис. 3: а — результаты прогноза температуры на высоте 2 м с помощью модели WRF; б — конфигурация вложенных сеток модели WRF для территории Днепровского лимана

Для восстановления метеорологических данных для территории Днепровского лимана модель WRF сконфигурирована с использованием двух вложенных сеток, как показано на рис. 3, б. В данной конфигурации начальная сетка d01 (с горизонтальным пространственным разрешением 10 км) совпадает с сеткой модели WRF,

Таблица 3. Время вычисления одной итерации модели WRF на кластере СКИТ-3

Количество узлов	Количество ядер процессоров	Время вычисления одной итерации, с	Ускорение вычислений
1	4	4.36	1
2	8	2.49	1.75
4	16	1.22	3.57
8	32	0.615	7.09
16	64	0.35	12.46
32	128	0.18	24.22
64	256	0.1	43.6

которая используется для построения операционных прогнозов. Вложенные сетки d02 и d03 имеют горизонтальное пространственное разрешение 3,3 и 1,1 км соответственно. Все сетки состоят из 200x200 точек. Таким образом, для генерации данных для территории Днепровского лимана с пространственным разрешением 1,1 км необходимо увеличение времени вычислений в 13 раз.

Поскольку моделирование погоды с высоким горизонтальным пространственным разрешением — вычислительно сложная задача и требует значительных вычислительных ресурсов, для ее решения используются кластеры СКИТ-1 и СКИТ-3 Института кибернетики НАНУ. Данные кластеры позволили существенно ускорить вычислительный процесс (табл. 3, рис. 4, *а*). При этом наблюдается почти линейный рост продуктивности с ростом числа вычислительных узлов (рис. 4, *б*). При использовании восьми узлов кластера СКИТ-3 ускорение вычислений по сравнению с одним узлом составило 7,09 (из 8-ми возможных), а при использовании 64-х узлов работа модели ускоряется в 43,6 раза (см. табл. 3).

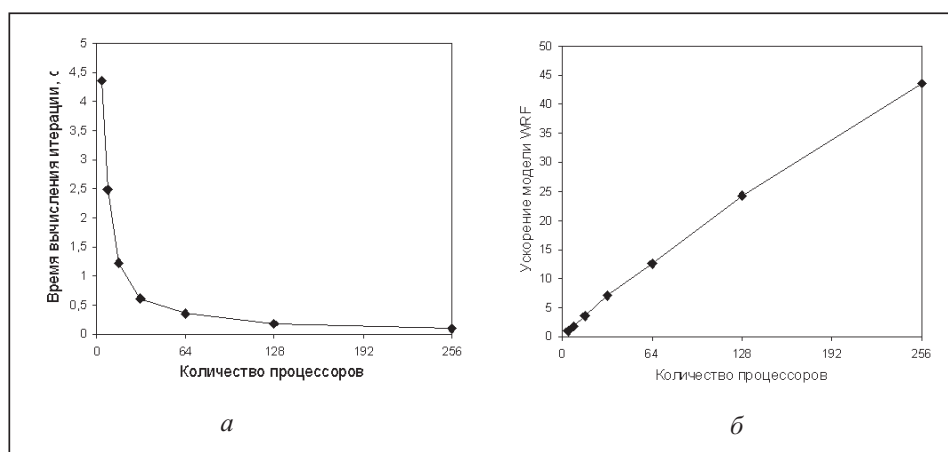


Рис. 4. График производительности модели WRF на кластере СКИТ-3: *а* — время вычисления одной итерации; *б* — ускорение работы модели в зависимости от количества узлов

7. ПОДСИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Для предоставления результатов работы системы в данной системе использованы современные средства публикации геопространственных данных в Internet, основанные на стандартах OGC [10, 11]. В качестве таких средств выбрано программное обеспечение с открытым кодом: картографический сервер UMN MapServer (<http://mapserver.gis.umn.edu/>) и программный каркас для создания картографического Web-интерфейса пользователя CartoWeb (<http://www.cartoweb.org/>).

В рамках подсистемы визуализации созданы Web-службы предоставления результатов метеорологического моделирования (http://dos.ikd.kiev.ua/?option=com_wrf) и тематической обработки данных MODIS (http://dos.ikd.kiev.ua/?option=com_wrapper). Обе Web-службы доступны на сайте Центра обработки данных Института космических исследований НАНУ-НКАУ (<http://dos.ikd.kiev.ua/>).

Web-служба метеорологічного моделювання дозволяє створювати анімовані послідовності кадрів, які відображають динаміку параметрів атмосфери на території України, в тому числі температури, тиску, швидкості вітру, кількості опадів. Користувачеві надається можливість задати параметри анімації: відображаємих інформаційних шарів, часу початку моделювання і періоду прогнозу. Для створення служби використано мову PHP, генерація анімацій здійснюється за допомогою бібліотеки візуалізації геопросторових даних PHP-MapScript — інтерфейса до UMN MapServer. Інтерфейс служби представлено на рис. 5.

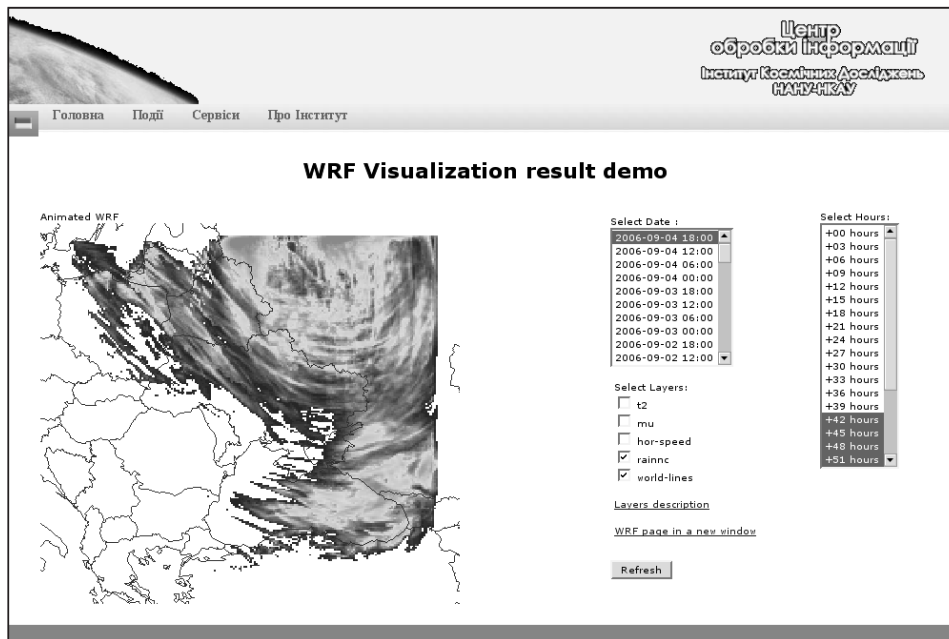


Рис. 5. Інтерфейс сервісу метеорологічного моделювання

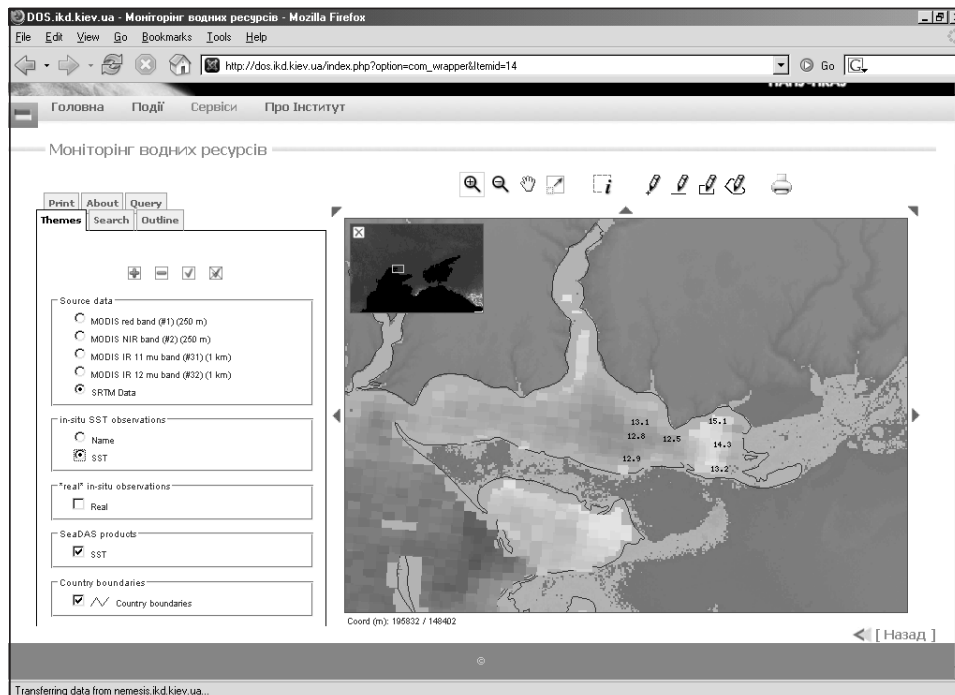


Рис. 6. Інтерфейс сервісу моніторингу водних ресурсів

Web-служба тематической обработки данных позволяет отображать пользователю исходные данные ДЗЗ, продукты, полученные на их основе, результаты наземных измерений на территории Днепровского лимана и дополнительную картографическую информацию. Web-интерфейс пользователя создан на основе ПО CartoWeb. Функциональность данной службы включает расширенные возможности отображения информационных слоев данных, иерархическую группировку слоев, инструменты навигации (в том числе с использованием обзорной карты), создания и выполнения запросов к данным, печати карт в формате PDF. Интерфейс службы представлен на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье рассмотрены вопросы функционирования региональных систем мониторинга на примере задачи мониторинга биофизических параметров водной среды Днепровского лимана. Основным источником информации для решения задачи являются результаты косвенных измерений концентрации пигментов в водной среде и температуры водной поверхности. В качестве исходных данных используются спутниковые снимки низкого пространственного разрешения прибора MODIS.

Для решения задачи тематической обработки материалов ДЗЗ на региональном уровне необходимо использование дополнительной информации, в том числе метеорологических данных. В рассматриваемой системе для построения полей метеорологических параметров используется региональная метеорологическая модель WRF. Для обработки больших объемов поступающих данных, а также для решения задач моделирования оказались востребованы высокопроизводительные вычисления и подход Grid к эффективному использованию распределенных вычислительных и информационных ресурсов.

Предварительные результаты валидации работы системы с использованием непосредственных наблюдений геофизических параметров в Днепровском лимане показали, что измеренные значения температуры поверхности отличаются от расчетных не больше чем на 1–2°K.

В рамках дальнейшего развития системы планируется провести масштабную валидацию результатов тематической обработки данных ДЗЗ, адаптацию параметров SeaDAS для Днепровского лимана, внедрить схему усвоения спутниковых данных в процесс метеорологического моделирования, дополнить систему мониторинга экологическим моделированием лимана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), 2007–2009 Work Plan: Toward Convergence. — 2006. — 38 p.
2. Antoine D., Morel A., Gentili B., Gordon H.R., Barzon V.F., Evans R.H., Brown J.W., Walsh S., Baringer W., Li A. In Search of Long-term Trends in Ocean Color // EOS, Transactions American Geophysical Union. — 2003. — **84**, N 32. — P. 301–309.
3. Morel A. Minimum Requirements for an Operational Ocean-Colour Sensor for the Open Ocean. Dartmouth, Canada: IOCCG. — 1998. ISSN: 1098-6030. — 50 p.
4. Fu G., Baith K.S., McClain C.R. SeaDAS: The SeaWiFS Data Analysis System // Proceedings of «The 4th Pacific Ocean Remote Sensing Conf.». — Qingdao (China). — 1998. — P. 73–79.
5. Шелестов А.Ю., Кравченко А.Н., Корбаков М.Б., Куссиль Н.Н., Скаун С.В., Рудакова А.И., Ильин Н.И., Тютюнник Л.И. Grid-технология реализации украинского сегмента GEOSS // Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок» (спец. додаток). — 2006. — С. 106–125.
6. Rutledge G.K., Alpert J., Ebisuzaki W. NOMADS: A Climate and Weather Model Archive at the National Oceanic and Atmospheric Administration // Bulletin of the Americ. Meteorolog. Soc. — 2006. — **87**, N 3. — P. 327–341.
7. Shelestov A., Kravchenko O., Korbaikov M. Services for Satellite Data Processing // Inform. Theor. and Appl. — 2006. — **12**, N 3. — P. 272–276.
8. Franz B.A., Werdell P.J., Meister G., Kwiatkowska E.J., Bailey S.W., Ahmad Z., and McClain C.R. MODIS Land Bands for Ocean Remote Sensing Applications // Proceedings of Ocean Optics XVIII. — Montreal (Canada). — October 9–13, 2006.
9. Skamarock W.C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. Boulder, Colorado, USA: NCEP. — 2005. — 100 p.
10. Кравченко О.М., Шелестов А.Ю. Застосування реалізацій стандартів OGC для створення розподілених систем візуалізації та надання геопросторових даних // Проблеми програмування. — 2006. — № 2–3. — С. 135–139.
11. Shelestov A., Kravchenko O., Ilin M. Geospatial data visualisation in Grid system on Ukrainian segment of GEOSS/GMES // Proc. of the 5-th Intern. Conf. "Inform. Research&Applic". — Varna (Bulgaria). — June 26–30, 2007. — **2**. — P. 422–428.

Поступила 12.09.2007