

# Распределенная система мониторинга водных ресурсов с использованием данных дистанционного зондирования

А.Ю. Шелестов, А.Н. Кравченко, Н.Н. Куцуль

*Институт космических исследований НАНУ-НКАУ  
03380 Киев, Украина, пр. Глушкова, 40  
E-mail: [inform@ikd.kiev.ua](mailto:inform@ikd.kiev.ua)*

Представлена архитектура системы регионального мониторинга параметров окружающей среды с использованием разнородных источников данных – дистанционного зондирования Земли, данных моделирования и наземных измерений. Архитектура системы и ее компоненты допускают повторное использование для решения различных задач мониторинга. В качестве примера такой задачи выбрана задача мониторинга параметров водной среды Днепровского лимана. Особенностью рассматриваемой системы является использование подхода Grid к распределению сложных вычислений. Представлены типичные компоненты системы мониторинга – усвоения данных, обработки, моделирования и предоставления результатов пользователю.

## Введение

С увеличением числа природных катаклизмов и техногенного влияния на водоемы, задача оценки состояния водных масс становится все более актуальной. Задачей системы, которой посвящается данная статья, является непрерывный мониторинг основных биофизических параметров Днепровского лимана на основе спутниковой информации. Основным инструментом мониторинга – анализ параметров цветности водной среды в видимом диапазоне и характеристик излучения в тепловом инфракрасном диапазоне.

Основной источник информации для оценки качества воды – это концентрации пигментов, в частности хлорофилла, которая является основной характеристикой биопродуктивности водоемов. В результате долгосрочного непрерывного мониторинга параметров Днепровского лимана можно отслеживать изменения в землепользовании, оценивать влияние распределенных источников загрязнений в результате промышленной и сельскохозяйственной деятельности, последствия деятельности 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. 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 данной статье будут рассмотрены вопросы выбора оптимальных источников данных, интеграции с существующими системами мониторинга, моделирования и распространения данных, использования существующих решений для тематической обработки данных ДЗЗ и представления результатов работы системы пользователям.

## Характеристики необходимых данных ДЗЗ

Основным источником данных для данной системы являются общедоступные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) низкого пространственного разрешения в диапазоне 0,4-12 мкм, которые генерируются прибором MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov>).

Исследование характеристик водной поверхности из космоса начались с запуска в 1978 г. 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 могут быть восстановлены по данным в видимом диапазоне электромагнитного излучения и сформулировать необходимые требования для дальнейших сенсоров цветности воды. Для восстановления геофизических параметров по характеристикам излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также для проведения атмосферной коррекции в [3] было выделено 8 основных спектральных каналов (таблица 1), а также множество комбинаций каналов сенсора, позволяющие получать конечные продукты с разным уровнем качества (таблица 2).

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

<b>Номер канала</b>	<b>Спектральный диапазон, нм</b>	<b>Максимальная ширина спектрального диапазона, нм</b>
0	1024 – 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

<b>Название комбинации каналов</b>	<b>Спектральные каналы</b>
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

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. Такие спутники будут способны выдавать данные о состоянии водоемов для ограниченных регионов с высокой частотой, несколько раз в час.

Среди данных современных сенсоров цветности воды наиболее доступны данные спектрорадиометра со средним пространственным разрешением MODIS. Согласно перечню наборов каналов для сканеров цветности воды, сенсор MODIS отвечает комбинации C3 (таблица 1). Дополнительно к спектральным каналам из набора C3, 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.

## Описание работы системы

Основной задачей системы является непрерывный мониторинг параметров водной среды Днепровского лимана на основе данных ДЗЗ в оптическом диапазоне.

На данный момент наиболее отработанными методами обработки спутниковых данных цветности воды являются методы, разработанные в рамках системы SeaDAS [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 (<http://www.ncep.noaa.gov>). Эти данные распространяются в географической проекции с пространственным разрешением 1 градус 4 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. Применение такого подхода позволяет восстанавливать поля метеорологических параметров для ограниченных территорий с высоким пространственным разрешением до 1 км, совпадающим с пространственным разрешением данных MODIS.

Для валидации результатов обработки данных дистанционного зондирования должны использоваться данные наблюдений in-situ. При отработке метода были использованы 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.

Для выполнения задач обработки данных и метеорологического моделирования, которые являются вычислительно-сложными, в данной системе используется 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 (74 двухъядерных процессора). Данный 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/>).

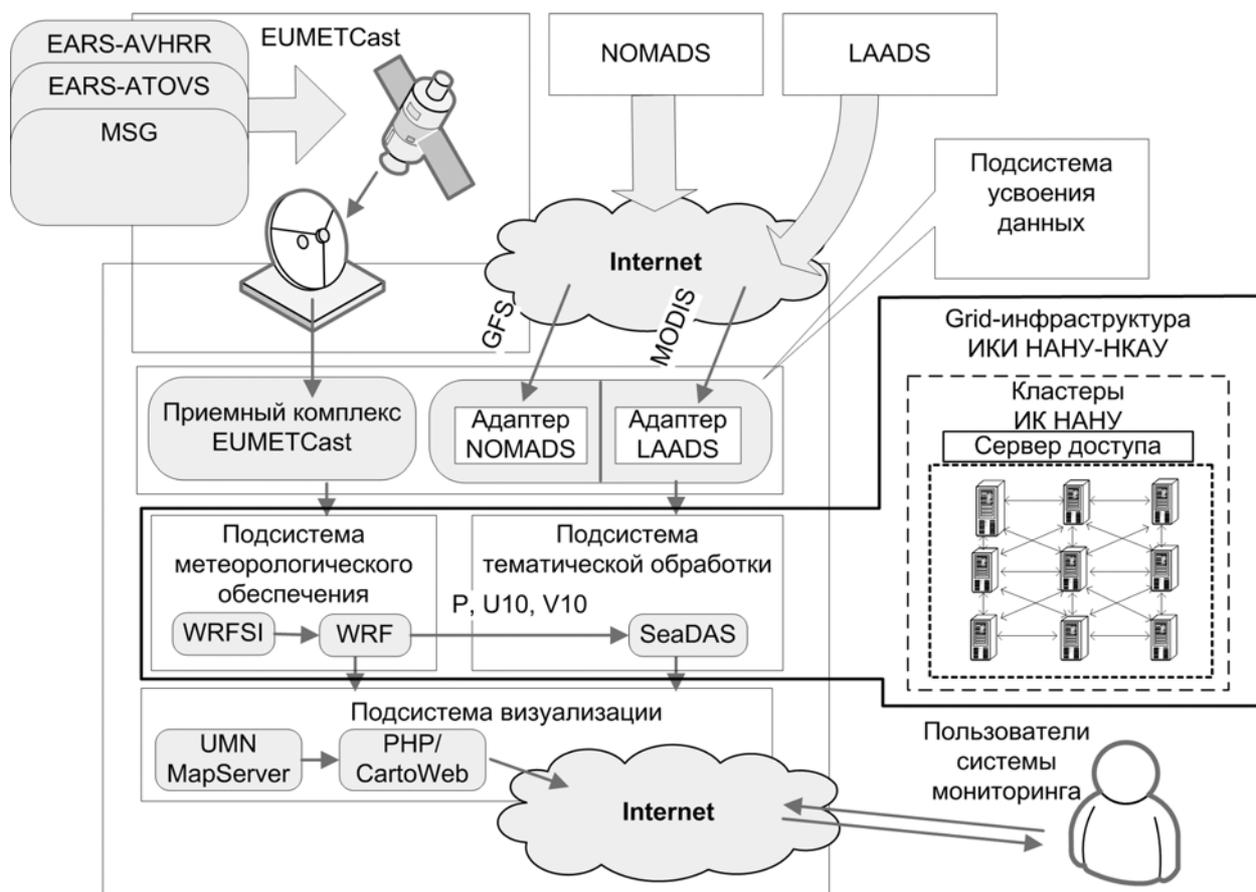


Рис. 1. Схема работы системы мониторинга

### Подсистема усвоения данных

Данная подсистема представляет собой набор специализированных интерфейсов к системам предоставления и распространения геопространственных данных. На данный момент реализованы интерфейсы и налажено усвоение данных из систем NOMADS [6], LAADS (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>) и EUMETCast ([http://www.eumetsat.int/Home/Main/What\\_We\\_Do/EUMETCast/index.htm](http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/EUMETCast/index.htm)).

Системы NOMADS и LAADS являются Web-ориентированными системами предоставления данных по протоколам FTP и/или HTTP. Доступ к данным предоставляется в течении 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, в то же время необходима возможность пакетной загрузки данных за продолжительный период времени. Система EUMETCast предназначена для широковещательного 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 данных к загрузке и собственно загрузка данных. Каждое задание уникально идентифицируется, ведется реестр заданий с указанием времени создания задания, запуска, завершения, состояния задания и параметров приоритета. Для представления реестра заданий в системе используется реляционная база

данных. Ведение реестра позволяет осуществлять перезапуск заданий, 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 (<http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo/index.html>). С точки зрения клиента, данная система представляет собой набор серверов, которые дублируют друг друга и распределяют нагрузку на систему. Данные GFS обновляются 4 раза в сутки. Для доступа к подмножеству данных, в системе NOMADS функционирует сервис ftp2u ([http://nomad3.ncep.noaa.gov/DOC/ftp2u\\_help.html](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 последовательных 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 данных, а также загрузки данных, находящихся в прямом доступе. Поскольку LAADS не предоставляет информации о территории покрытия снимков, фильтрация данных по географическим координатам осуществляется на этапе сбора информации о имеющихся данных.

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

## Программное обеспечение SeaDAS

Пакет SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) 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 данный промежуток времени (уровень L3).

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

Основной компонент тематической обработки спутниковых данных в пакете SeaDAS – компонент MSL12 (Multi Sensor Level 1 to Level 2). Этот пакет 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 было разработано для обработки данных сенсора SeaWiFS, имеющих только 8 каналов в видимой и ближней инфракрасной области спектра. В версии SeaDAS 5.0, комплекс MSL12 был расширен специально для обработки данных MODIS, в частности в средневолновой

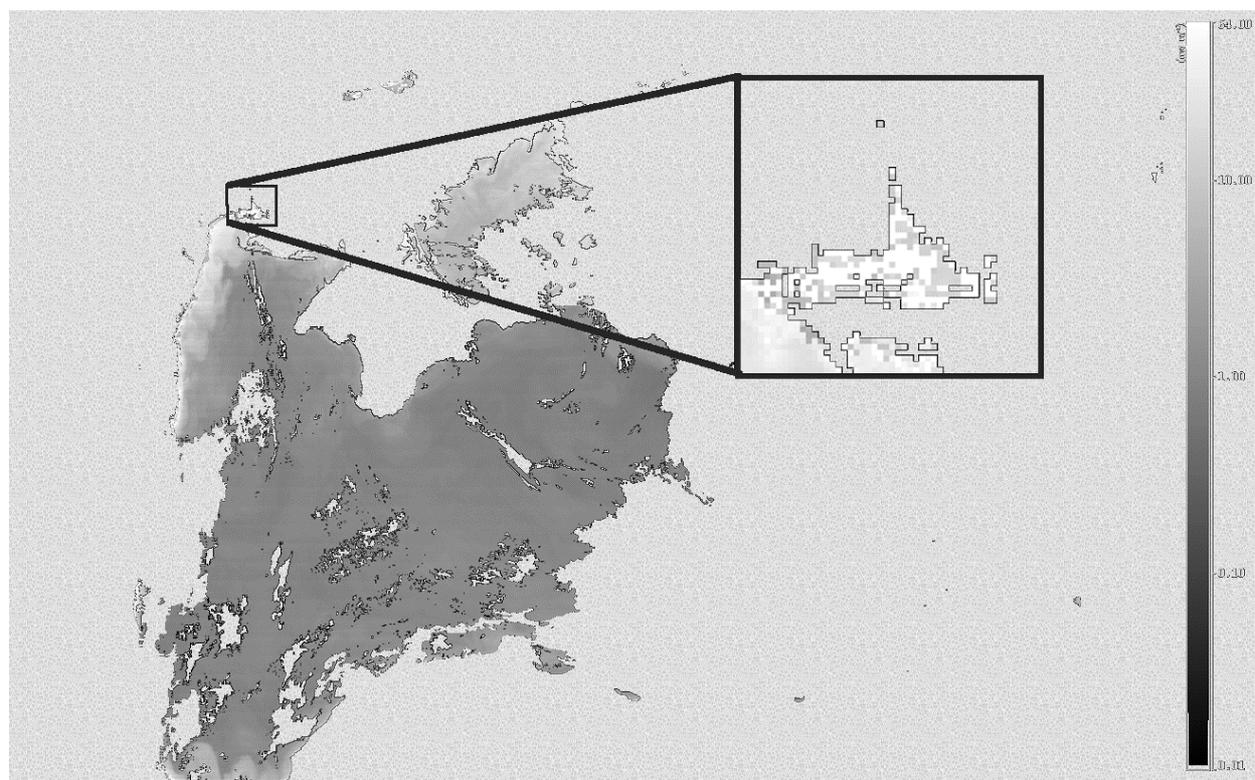
области инфракрасного диапазона [8]. Это особенно важно для прибрежных территорий (в том числе для территории Днепровского лимана). Еще одно преимущество MSL12 в составе SeaDAS 5.0 – использование каналов MODIS с пространственным разрешением 250 и 500 м, что потенциально может увеличить пространственное 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 (приводной 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 существует 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 распределении 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 использоваться климатологические данные, данные NOAA OISST ([http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst\\_analysis/](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 данным.

Пример результатов обработки данных 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. Показаны территория Черного моря и Днепровского лимана.*

## Подсистема обеспечения метеорологическими данными

Модели численного прогноза погоды (Numerical Weather Prediction, NWP) генерируют 4-мерные распределения в пространстве-времени основных метеорологических параметров. Такие модели делятся на глобальные модели циркуляции атмосферы и региональные модели. Примерами глобальных моделей являются модель GFS (Global Forecast System), которая используется центром NCEP (National Centre for Environmental Prediction) и модель TL799L91 ([http://www.ecmwf.int/products/forecasts/guide/The\\_ECMWF\\_global\\_atmospheric\\_model.html](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 являются мезомасштабными моделями и специально приспособлены для моделирования с высоким пространственным разрешением. Для запуска таких моделей необходимы данные глобального моделирования для спецификации краевых условий региональной модели.

Использование результатов работы региональной модели прогноза погоды в качестве дополнительных данных при тематической обработке данных MODIS вместо климатологических данных или данных глобального анализа будет содействовать улучшению качества обработки за счет увеличения пространственного разрешения метеорологических 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. Система моделирования WRF разрабатывается и поддерживается многими организациями США, среди которых NCAR, NOAA, AFWA. С точки зрения реализации данная система является гибкой и портативной, позволяя проводить параллельные вычисления на высокопроизводительной технике. Следует отметить, что система WRF в основном ориентировалась на использование на территории США, так что для применения результатов работы WRF для территории Украины необходима адаптация модели.

На данный 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 вертикальных уровней. В качестве краевых условий модели используются данные глобальной модели GFS, поступление которых обеспечивается подсистемой усвоения данных. Для подготовки данных для моделирования используется система WRFSI (<http://wrfsi.noaa.gov/>). Вычисление прогноза на 72 часа в данной конфигурации составляет 3,5 часа на кластере Института космических исследований (2 двухпроцессорных узла с процессорами AMD Opteron 2.2 ГГц). Пример работы модели приведен на рис. 3 а.

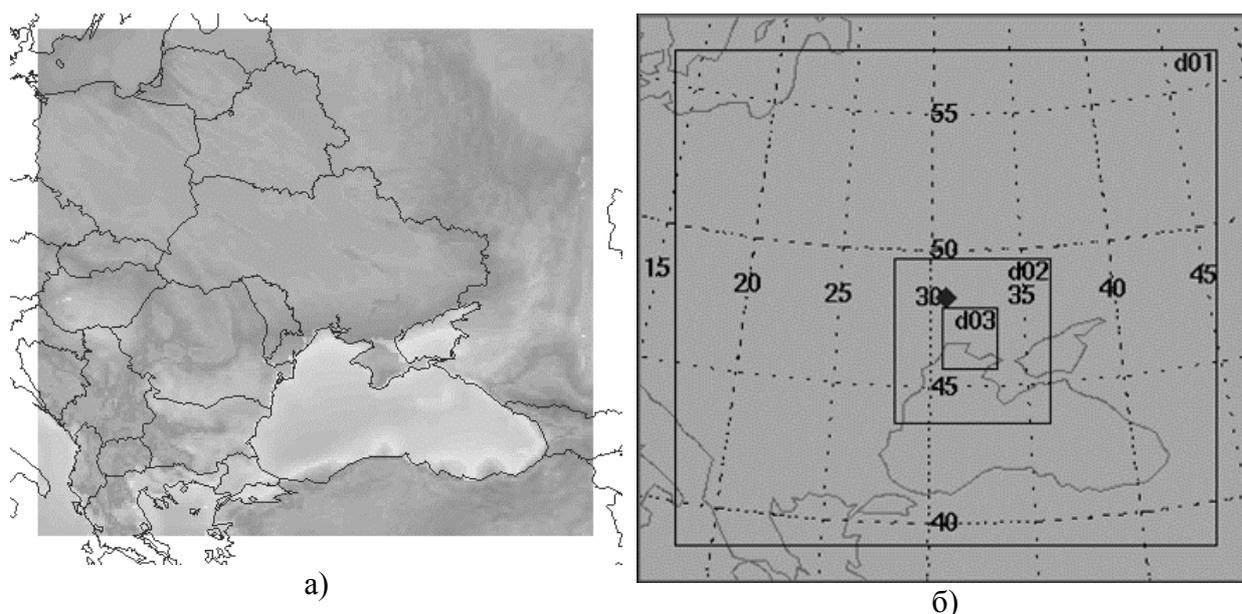


Рис. 3. а) результаты прогноза температуры на высоте 2 м с помощью модели WRF, б) конфигурация вложенных сеток модели WRF для территории Днепровского лимана

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, 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 13 раз.

### Подсистема визуализации

Для предоставления результатов работы системы пользователям, в данной системе использованы современные средства публикации геопространственных данных в сети Internet, основанные на стандартах OGC. 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](http://dos.ikd.kiev.ua/?option=com_wrf)) и тематической обработки данных MODIS ([http://dos.ikd.kiev.ua/?option=com\\_wrapper](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 метеорологического моделирования позволяет пользователям создавать анимированные последовательности кадров, которые отображают динамику параметров атмосферы на территории Украины, в том числе температуры, давления, скорости ветра, количества осадков. Пользователю предоставляется возможность задания параметров анимации: отображаемых информационных слоев, времени начала моделирования и периода прогноза. Для создания службы использован язык PHP, генерация анимаций осуществляется с помощью

библиотеки визуализации геопространственных данных PHP-MapScript, которая является интерфейсом к UMN MapServer. Интерфейс службы представлен на рис. 4.

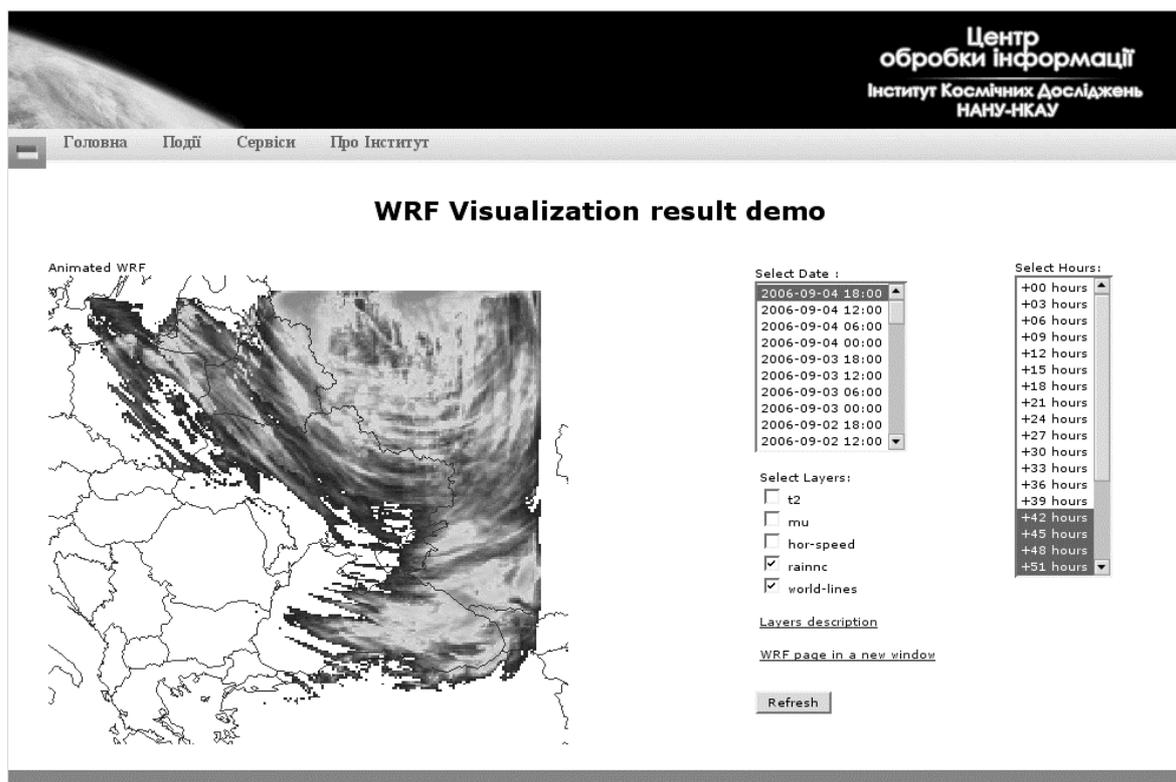


Рис. 4. Интерфейс сервиса метеорологического моделирования

Web-служба тематической обработки данных позволяет отображать пользователю исходные данные ДЗЗ, продукты, полученные на их основе, результаты наземных измерений на территории Днепроовского 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. 5.

## Выводы

Таким образом, в данной статье были рассмотрены вопросы функционирования региональных систем мониторинга на примере задачи мониторинга биофизических параметров водной среды Днепроовского 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 более 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, осуществить внедрение схемы усвоения спутниковых данных в процесс метеорологического моделирования, дополнить систему мониторинга экологическим моделированием лимана.

Разработка системы мониторинга была частично поддержана грантом УНТЦ-НАНУ «Разработка эффективных GRID-технологий экологического мониторинга на основе спутниковых данных» (проект №3872), а также совместным грантом INTAS-CNES-NSAU «Data fusion Grid infrastructure».

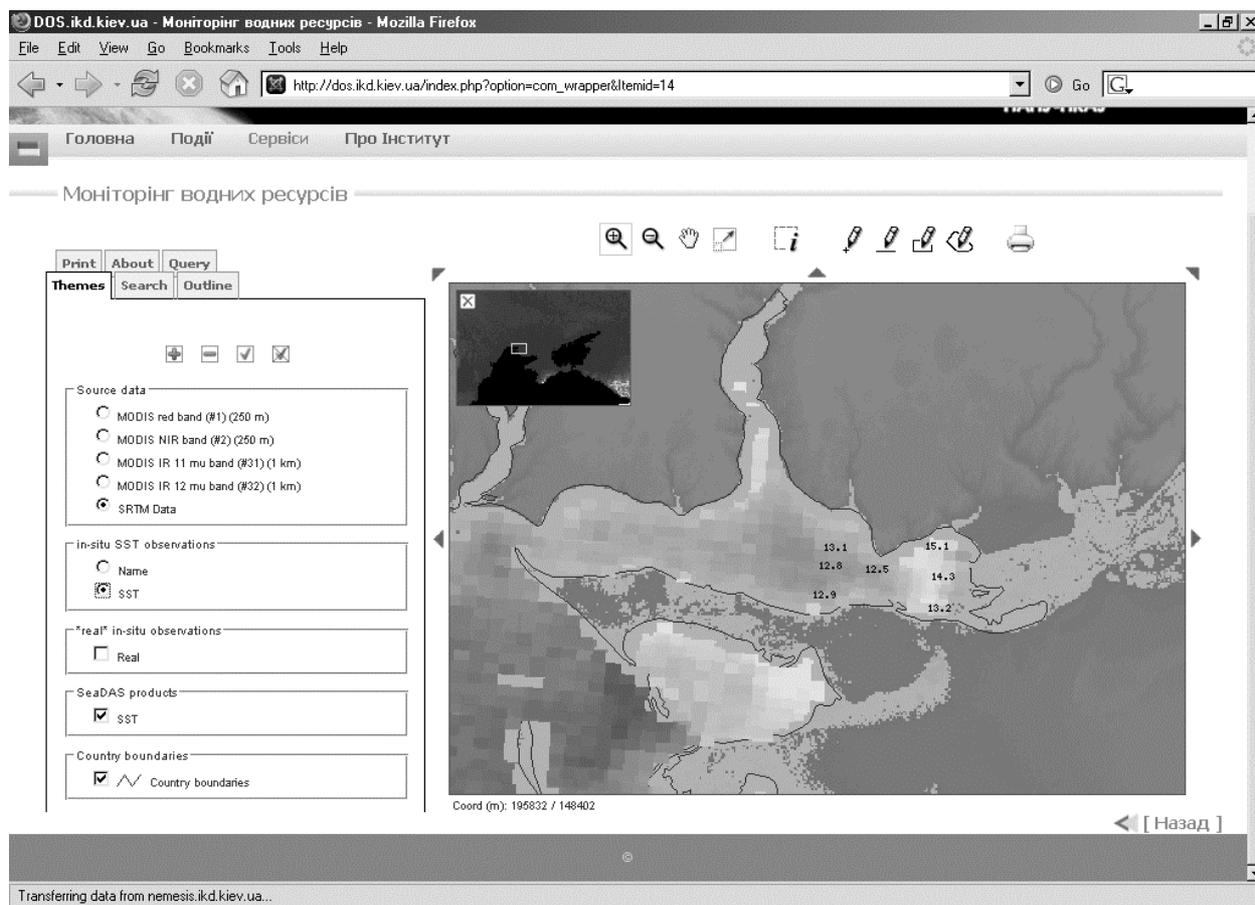


Рис. 5. Интерфейс сервиса мониторинга водных ресурсов

## Литература

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. V. 84. №32. P. 301-309.
3. Morel A. (ed.) 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 Conference". Qingdao, China. July, 1998. P. 73-79.
  5. *Шелестов А.Ю., Кравченко А.Н., Корбаков М.Б., Куссуль Н.Н., Скакун С.В., Рудакова А.И., Ильин Н.И., Тютюнник Л.И.* Grid-технология реализации украинского сегмента GEOSS // Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок» (спеціалізований 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 American Meteorological Society. 2006. V. 87. №3. P. 327–341
  7. *Shelestov A., Kravchenko O., Korbakov M.* Services for Satellite Data Processing // International Journal "Information Theories and Applications". 2006. V. 12. №3, P. 272-276.
  8. Franz, B.A., P.J. Werdell, G. Meister, E.J. Kwiatkowska, S.W. Bailey, Z. Ahmad, and C.R. McClain MODIS Land Bands for Ocean Remote Sensing Applications // Proceedings of Ocean Optics XVIII. Montreal, Canada. 2006.
  9. *Skamarock W.C. et al.* A Description of the Advanced Research WRF Version 2. Boulder, Colorado, USA: NCEP, 2005. 100 p.