

## Распределенная система спутникового агромониторинга в Украине

А.Ю. Шелестов<sup>1</sup>, С.В. Скаун<sup>2</sup>, А.Н. Кравченко<sup>2</sup>, Н.Н. Куссуль<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,  
03187 Киев, ул. Героев Обороны, 15  
E-mail: andrii.shelestov@gmail.com;

<sup>2</sup>Институт космических исследований НАНУ-НКАУ,  
03187 Киев, просп. Глушкова, 40, корп. 4/1  
E-mail: inform@ikd.kiev.ua;

В работе рассмотрена распределенная система агромониторинга, созданная в Украине для пользователей уровня министерства и отдельного фермерского хозяйства. Мониторинг основывается на спутниковых данных и продуктах среднего и высокого разрешения. Система включает геопортал с Web-интерфейсом, а также упрощенную настольную версию, основанную на использовании ГИС-системы с расширенными функциональными возможностями автоматической загрузки спутниковых данных и бизнес-аналитики. Система построена на базе программного обеспечения с открытым кодом, удовлетворяющего стандартам OGC для обмена геопространственной информацией.

**Ключевые слова:** агромониторинг, геопортал, ГИС, OGC, спутниковые данные, распределенная система, Web-интерфейс, MODIS, геопространственный интеллект, Openlayers, AJAX.

### Введение

Современное состояние дел в мониторинге сельского хозяйства и международной кооперации в этой области состоит во внедрении инициативы сельскохозяйственного мониторинга группы GEO (<http://earthobservations.org>). Цель GEO как межправительственной структуры состоит в повышении доступности и внедрении космических наблюдений через международную координационную деятельность, используя возрастающие возможности дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для поддержки принятия решений в экологически напряженном мире. В настоящее время комитет GEO включает более 80 правительств стран (в том числе Украины), Европейскую комиссию и 56 различных международных организаций.

Сельское хозяйство является одной из 9 областей социального назначения группы GEO для международной координации и сотрудничества. В рамках этой области сформировано научное сообщество мониторинга сельского хозяйства для разработки и реализации Глобальной системы мониторинга сельского хозяйства, которое базируется на существующих системах и международных средствах спутникового мониторинга (задача GEO AG-0703). В Евросоюзе разрабатывается и находится на начальном этапе внедрения большая программа Глобального мониторинга в интересах мониторинга и безопасности (GMES). Программа направлена на создание информационных систем поддержки принятия решений для учреждений ЕС. Эти системы базируются на информационных сервисах мониторинга окружающей среды по нескольким направлениям, в частности мониторинга сельского хозяйства ([www.gmes.info](http://www.gmes.info)). На данный момент в рамках GMES введен сервис глобального мониторинга посевов сельско-

хозяйственных культур (Global Crop Monitoring), обновление карт классификации земельных покровов (EUROLAND), мониторинга рационального использования культивированных земель (Agri Environmental Monitoring) и др (Rembold et al., 2006). В Объединенном исследовательском центре, который предоставляет научную и техническую поддержку решений Европейской Комиссии в области сельского хозяйства и продовольственной безопасности, накоплен двадцатилетний успешный опыт использования данных ДЗЗ в решении задач сельскохозяйственной статистики и прогнозирования урожайности. С 1992 года в JRC функционирует и постоянно совершенствуется система прогнозирования урожайности AGRI4CAST.

В странах СНГ внедряются системы поддержки принятия решений в агропромышленном комплексе на основе спутникового мониторинга. В частности в РФ Институтом космических исследований РАН создана система дистанционного мониторинга Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Лупян и др., 2009). Институтом космических исследований МОН РК по заказу Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан создана система мониторинга сельскохозяйственных посевов зернового производства. Основной задачей этих систем является мониторинг состояния посевов и определения структуры площадей пахотных земель. Обе системы функционируют на бесплатных данных приборов MODIS (Толпин и др., 2010).

В последние годы в Украине активно развиваются методы и информационные технологии, направленные на использование методов дистанционного зондирования в решении задач различных ведомств, в том числе агропромышленного комплекса (Kussul et al., 2010; Kussul et al., 2009; Popov et al., 2008). В данной статье описывается подход к созданию распределенной информационной системы агромониторинга, которая находит свое применение как на уровне министерств, так и отдельных хозяйств.

### **Задачи и функции системы**

В рамках нескольких конкурсных проектов была разработана двухуровневая распределенная система агромониторинга на уровне министерств и отдельных хозяйств (Kussul et al., 2010; Шелестов и др., 2011). Основное назначение системы – предоставлять информационные продукты оценки площадей сельскохозяйственных культур и мониторинга состояния посевов на регулярной основе, с привлечением как данных дистанционного зондирования земной поверхности, так и данных наземных измерений, которые обеспечивают верификацию дистанционных методов.

Система включает две составные части: подсистему уровня министерства, реализованную в виде геопортала, и подсистему уровня отдельного хозяйства, основанную на использовании геоинформационной системы с открытым кодом.

Система реализована с использованием программного обеспечения с открытым кодом. Спутниковая и другая геопространственная информация предоставляется по стандартам OGC и может использоваться в других мониторинговых и ГИС-системах.

Доступ к системе обеспечивается через Web-сайт проекта по адресу <http://agro.ikd.kiev.ua> (рис. 1).

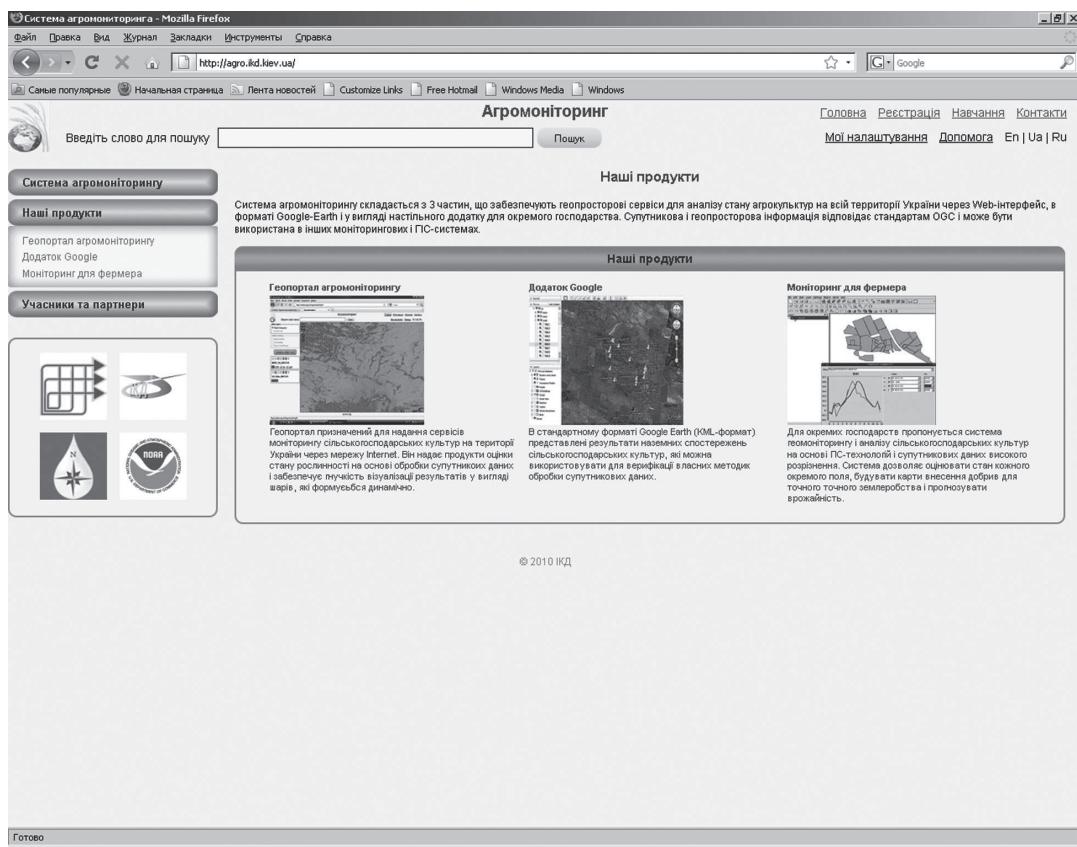


Рис. 1. Главная страница Web-сайта проекта

## Геопортал агромониторинга

**Основная концепция.** Предлагаемая распределенная система предоставляет информационные продукты оценки площадей сельскохозяйственных культур и мониторинга состояния посевов на регулярной основе, с привлечением как данных дистанционного зондирования земной поверхности, так и данных наземных измерений, которые должны обеспечить верификацию дистанционных методов через Web-интерфейс.

Доступ к геопорталу, основному компоненту информационной системы, и предоставляемым ею продуктам обеспечивается по адресу <http://agro.ikd.kiev.ua> (рис. 2).

К основным преимуществам геопортала следует отнести следующие.

- Отсутствие требований к использованию специализированного ПО, поскольку геопортал предназначен для использования через браузер;

- Автоматическая загрузка новых продуктов и размещение их в базе данных. Среди программных компонентов геопортала есть ряд специализированных модулей, предназначенных для автоматического сканирования удаленных архивов данных наблюдения Земли, их получение и размещение в базе данных. Возможность гибкой настройки динамических слоев и продуктов на базе существующей информации.

- Используемые технологии на основе существующей в базе данных информации позволяют динамически формировать различные слои геопространственного изображения.

- Возможность работы в заданном временном диапазоне.

- Средства пользовательского интерфейса позволяют в интерактивном режиме генерировать запросы на получение информации из БД для заданного периода времени.

– Использование только лицензионно чистого программного обеспечения. Все проектные решения базируются на использовании бесплатного программного обеспечения с открытым кодом.

В основу разработанного портального решения положена архитектура «клиент-сервер» на основе шаблона «тонкого» клиента. Серверные компоненты реализованы на языке программирования Python, предоставляющие возможность взаимодействия с планировщиком задач и высокопроизводительной кластерной техникой. Такие возможности являются важными, поскольку позволяют эффективно решать целый ряд прикладных задач со сложным потоком выполнения задач, планировать автоматическое получение данных и т.д. При необходимости использования сложных моделей можно формировать запросы на высокопроизводительные вычисления. Архитектура системы с Web-интерфейсом приведена на рис. 3.

**Средства разработки клиентской части, системные требования и функциональность.** При разработке клиентской части Web-системы использовались Javascript-библиотеки Openlayers (с расширением touch.js) и JQuery. Система работает в браузерах Internet Explorer 6 и выше, Firefox, Google Chrome, Safari и Opera.

Клиентская часть представляет собой Web-страницу, в верхней части которой размещенная навигационная панель, слева – панель управления картой, а справа от нее – карта. В списке слоев на панели управления каждый слой представлен в виде блока, где отображается название слоя (например, MODIS\_16d\_2009\_07\_01), список вариантов слоя (например, EVI, FPAR, LST day, LST night), один из которых (по умолчанию выбран первый), а также панель инструментов (в виде набора пиктограмм).

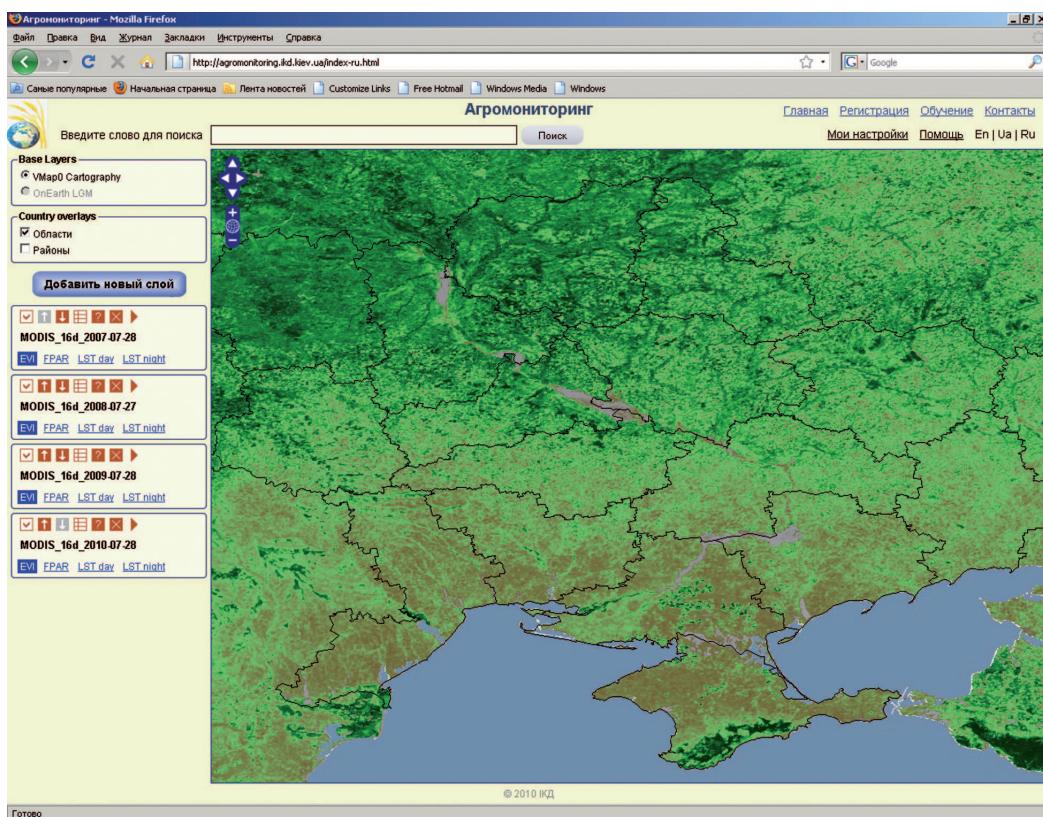


Рис. 2. Геопортал агромониторинга

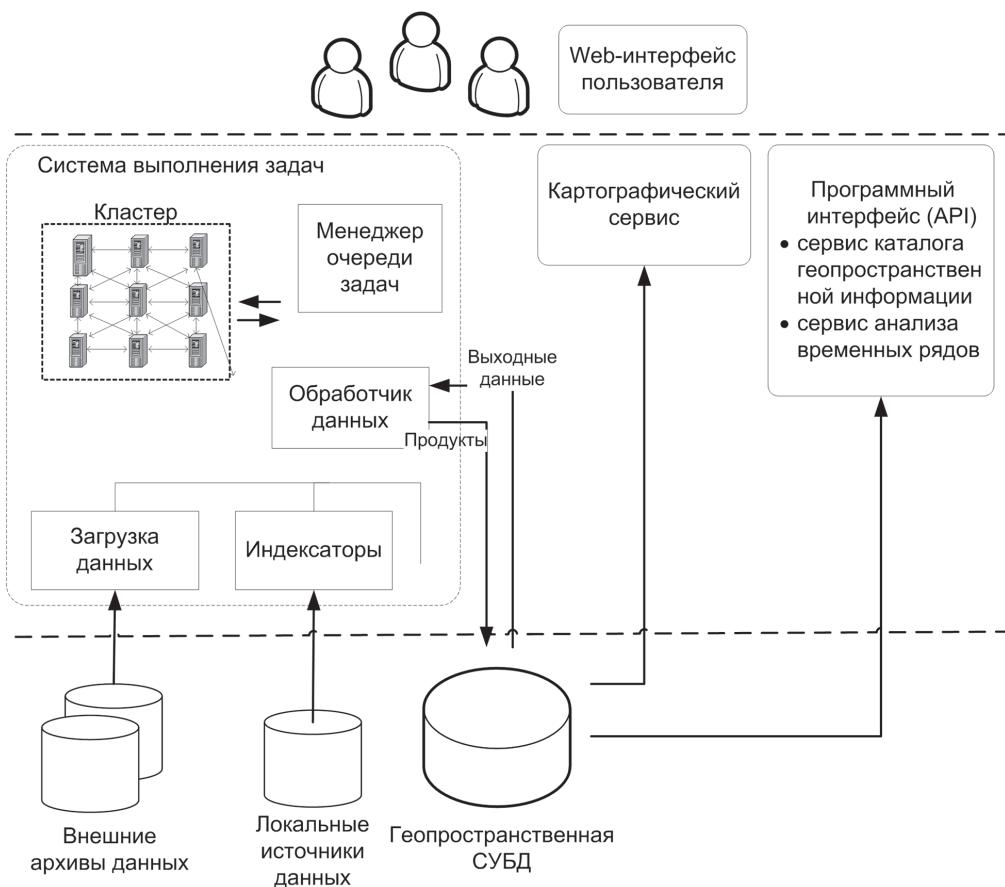
Панель инструментов позволяет показать/скрыть слой; переместить слой вверх (меняется порядок в списке слоев и на карте); переместить слой вниз; показать/скрыть леген-

ду; получить справочную информацию; удалить слой; выбрать требуемую дату ( по щелчку на значке выбора даты появляется панель со списком дат. При выборе новой даты текущий слой меняется на аналогичный, соответствующий выбранной дате).

Слой загружается на карту и одновременно слева в панели управления появляется соответствующий ему блок. Так можно добавлять несколько слоев, новые слои появляются поверх других, ранее сгенерированных слоев, а информация о них добавляется в начале списка слоев на панели управления.

Клиентский интерфейс реализован с помощью технологии AJAX. При загрузке страницы сначала происходит инициализация карты, добавляется базовый слой, карта центрируется и добавляется инициализация touch-интерфейса. Для расположения элементов на экране используется технология CSS, а также Javascript-код, который вызывается при загрузке и изменении размеров окна.

Запрос к программному интерфейсу сервера осуществляются с использованием подхода JSONP (который позволяет реализовать кросс-доменные запросы). Реализация клиентской части имеет достаточное быстродействие, в том числе при работе с несколькими слоями одновременно. Клиентская часть может работать как одновременно на нескольких хостах, так и на локальном компьютере или планшете с доступом к Интернет.



*Рис. 3. Архитектура системы*

### Подсистема мониторинга уровня хозяйства

Отдельным хозяйствам предоставляется упрощенная «клиентская» версия системы, построенная на основе ГИС- и мобильных технологий с использованием спутниковых дан-

ных высокого разрешения (рис. 4). Система предоставляет удобные средства анализа состояния посевов и прогнозирования урожайности. Для отдельного хозяйства строятся точные цифровые карты отдельных полей; карты внесения удобрений для точного и управляемого земледелия; прогнозы урожайности.

**Архитектура подсистемы уровня отдельного хозяйства.** ГИС для фермера включает в себя следующие составные части:

- Источники данных: информация из архивов пользователя (полученные из соответствующих документов, занесенные в БД вручную) и спутниковые снимки;
- Встроенная система управления базами данных SQLite (<http://www.sqlite.org/>);
- Геоинформационная система QGIS (<http://www.qgis.org/>) с дополнительным компонентом для работы с информацией из базы данных;
- Средства обработки данных: автоматизированные обработчики спутниковых изображений и административный интерфейс для работы с базой данных.

Система QGIS является программным обеспечением для работы с геопространственными данными, которое поддерживает известные форматы данных и предоставляет программный интерфейс для реализации дополнительных компонентов, что позволяет расширять его функциональность. QGIS является программным обеспечением с открытым кодом и распространяется в соответствии с положениями лицензии GPL. SQLite – реализация реляционной системы управления базами данных, которую легко встраивать в другие системы.

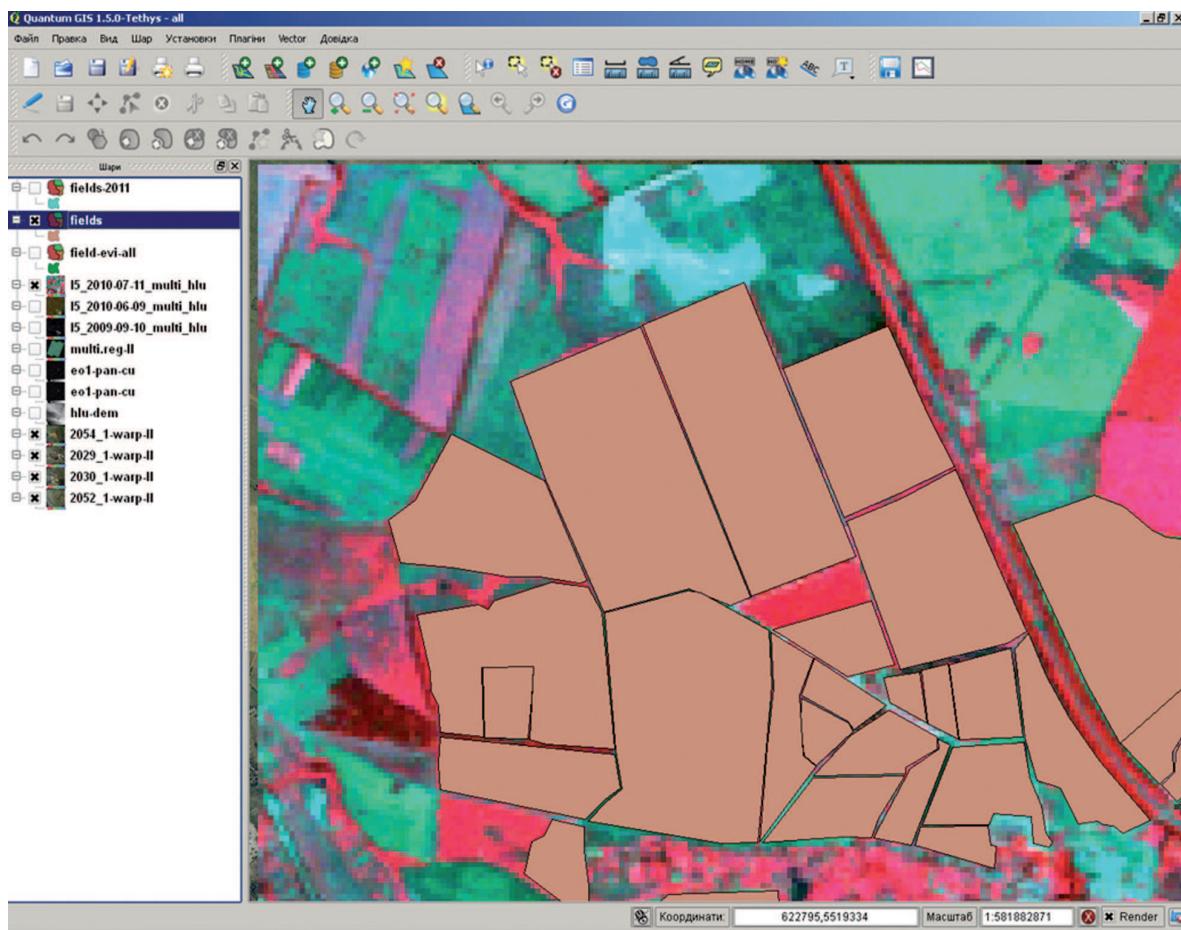


Рис. 4. Интерфейс пользователя «клиентской» версии системы

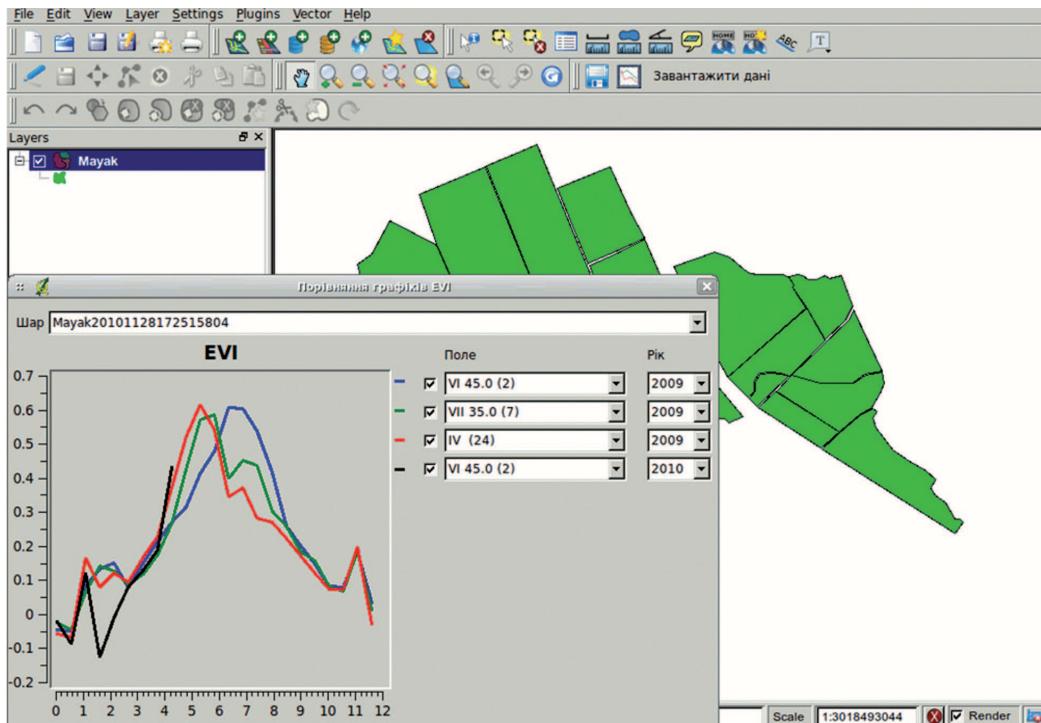


Рис. 5. Сравнение графиков индекса EVI

Процесс работы системы предусматривает агрегацию информации из разнородных источников (документация пользователя, спутниковые снимки), ее обработку, хранение в унифицированном структурированном формате, и дальнейшее предоставление информации или отчетов через пользовательский интерфейс.

На основе спутниковых снимков с помощью QGIS-системы создаются векторные карты полей, которые вносятся в общую базу данных. Спутниковые снимки проходят предварительную обработку, после чего их удобно использовать для оценки параметров местности как отдельные слои QGIS. Кроме того, на основе снимков подсчитываются некоторые количественные характеристики (индексы), соответствующие отдельным полям в определенный период времени. Наличие разнообразной геопространственной информации позволяет реализовать возможности геопространственного интеллекта формирования принципиально новой информации для поддержки принятия решения.

Данные, предоставленные пользователем, упорядочиваются, и вносятся в общую базу данных с использованием интерфейса администратора для работы с БД. Разработанная БД служит для унифицированного обмена информацией между компонентами системы и детально рассматривается в (Шелестов и др., 2011). В результате все данные оказываются в общей БД и в файлах изображений. Данные хранятся в таком формате, чтобы система QGIS могла отображать часть из них – векторные и растровые карты – как отдельные слои. Другая часть информации может быть прочитана и отображена с помощью специально разработанного модуля к QGIS.

**Дополнительные модули.** Первичная функциональность QGIS позволяет просматривать атрибуты, привязанные к объектам на карте. В случае наличия большого количества числовых характеристик (например, измерений за определенный период времени) такой способ представления информации не является наглядным. Для предоставления информации в удобной форме был разработан модуль, расширяющий функциональность QGIS. Дан-

ное ПО предоставляет специальный программный интерфейс для разработки и встраивания в систему дополнительных модулей, который поддерживает языки программирования C++ и Python. В данном случае использовался язык Python, а также графическая библиотека QT.

Одно из расширений функциональности системы QGIS представляет собой инструмент для построения и сравнения графиков индексов по отдельным полям за выбранный период времени. С его помощью на основе информации из БД можно выбрать любое из имеющихся полей, период времени, и сгенерировать требуемые графики (рис. 5). Для отображения графиков используется расширение QWT графической библиотеки QT. Данные для графиков получаются непосредственно из общей базы данных с помощью запроса на языке SQL.

Еще одним дополнительным компонентом системы является модуль генерации отчетов. Он позволяет автоматически генерировать отчеты в соответствии с шаблоном. Эта возможность может быть использована как для бизнес-аналитики, так и для автоматизации документооборота предприятия. Отчеты генерируются в формате HTML и могут содержать информацию о содержании питательных веществ в почве в определенный момент времени или количестве внесенных удобрений.

**Интерфейс с базой данных.** Базовая функциональность QGIS позволяет использовать в качестве источника данные разных форматов, но ее возможности работы со сложной структурированными данными являются ограниченными. Так, поддерживается работа с метаданными, т.е. фиксированным набором полей примитивных типов (число, строка и т.п.), привязанных к одному объекту на карте. Этого недостаточно для работы с общей базой данных распределенной системы, поскольку к каждому полю привязываются сложно структурированные данные: за разный период времени, для различных измерений и т.д. Приведение этих данных к формату QGIS повлекло бы потерю структурированности. Поэтому вместо использования базовой функциональности QGIS для работы с данными разработан дополнительный модуль, который обеспечивает доступ непосредственно к базе данных SQLite, что сразу же позволяет воспользоваться всеми ее богатыми возможностями, т.е. выполнять произвольные SQL-запросы. Структура используемой БД приведена и более подробно описана в (Куссуль и др., 2010).

## Выводы

В процессе выполнения нескольких конкурсных проектов разработана информационная система агромониторинга, предназначенная для поддержки принятия решений в интересах агропромышленного комплекса. Система основывается на реализации принципов геопространственного интеллекта и предоставляет возможности совместного анализа геопространственной информации различного временного и пространственного разрешения пользователям уровня министерства и отдельного хозяйства. Система апробирована в Гидрометцентре Украины и крупном сельскохозяйственном кооперативе.

С технической точки зрения, разработанная система, которая по существу представляет собой набор подсистем различного назначения, тесно взаимодействующих друг с другом, предоставляет ряд полезных функций. Прежде всего это автоматическая подкачка в сетевое хранилище новых данных из различных источников, динамическое формирование слоев подсистемы визуализации на основе имеющихся в хранилище данных, поддержка задач планирования и распределения задач и, наконец, предоставление возможности использования сложных моделей и их просчета на высокопроизводительной технике. Использование

международных стандартов OGC для обмена информацией обеспечивает интероперабельность с другими системами мониторинга и поддержки принятия решений, в том числе международными (Куссуль и др., 2010).

## Литература

1. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S.* Grid and sensor web technologies for environmental monitoring // Earth Science Informatics, 2009. Vol. 2, N 1-2. P.37-51.
2. *Kussul N.N., Shelestov A.Ju., Skakun S.V., Kravchenko O.M., Gripich Yu., Hluchy L., Kopp P., Louopian E.A.* The Data Fusion Grid Infrastructure: Project Objectives and Achievements // Computing and Informatics, 2010. Vol. 29. P.319-334.
3. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O.* High performance Intelligent Computations for Environmental and Disaster Monitoring // In Intelligent Data Processing in Global Monitoring for Environment and Security (Krassimir Markov, Vitalii Velychko editors). I T H E A, Sofia, 2010. P.64-92.
4. *Popov M., Kussul N., Stankevich S., Kozlova A., Shelestov A., Kravchenko O., Korbakov M., Skakun S.* Web Service for Biodiversity Estimation Using Remote Sensing Data // International Journal of Digital Earth, 2008. 1(4). P.367-376.
5. *Rembold F., Delincé J., Boogard H., Burger A.* Spatial Information Systems in Crop Monitoring: Developing New Global Models and Sharing the Data // GSIDI-9 Conference Proceedings. Santiago, Chile, 2006.
6. Куссуль Н.Н., Соколов Б.В., Зельник Я.И., Зеленцов В.А., Скакун С.В., Шелестов А.Ю. Оценка рисков стихийных бедствий на основе разнородной геопространственной информации // Проблемы управления и информатики, 2010. N 6. С.97-110.
7. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер, 2009. № 6. С.47-49.
8. Толгин В.А., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Савин И.Ю., Флитман Е.В. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 2. С.221-232.
9. Шелестов А.Ю., Кравченко А.Н., Волошин С.В., и др. Web-портал системы агромониторинга// Наука и инновации, 2011. № 3.

## Distributed system for agriculture monitoring in Ukraine

**A. Shelestov<sup>1</sup>, S. Skakun<sup>2</sup>, A. Kravchenko<sup>2</sup>, N. Kussul<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National University of Life and Environment Sciences of Ukraine

03187 Kyiv, 15 Geroev Oborony str.

E-mails: andrii.shelestov@gmail.com;

<sup>2</sup>Space Research Institute NASU-NSAU

03680 Kyiv, 40 Glushkov Prospekt, build. 4/1

E-mails: inform@ikd.kiev.ua;

The paper describes a distributed system for agriculture monitoring in Ukraine at two levels: ministerial level, and agriculture enterprise level. The crop monitoring is done using data and products derived from moderate and high-resolution remote sensing satellites. The system includes as components a geoportal with Web interface, and a desktop GIS with additional functions of automatic data retrieval and business-logic analysis. The system is built up using open-source software and conforms to OGC standards for geospatial information management.

**Keywords:** agricultural monitoring, geoportal, GIS, OGC, satellite observations, distributed system, Web-interface, MODIS, geospatial intelligence, Openlayers, AJAX.