

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АГРОМОНИТОРИНГА

Андрей Шелестов, Наталья Морзе, Ольга Куссуль, Юлия Грипич

Резюме: 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.

ACM Classification Keywords: D.2.12 [Software Engineering] Interoperability; Information Systems; H.1.1 [Models and Principles] Systems and Information Theory; H.3.5 [Information Storage and Retrieval] Online Information Services; I.4.8 [Image Processing and Computer Vision] Scene Analysis - Sensor Fusion.

Введение

Современное состояние дел в мониторинге сельского хозяйства и международной кооперации в этой области состоит во внедрении инициативы сельскохозяйственного мониторинга группы GEO (Group on Earth Observations — международная программа по кооперации между правительствами стран, международными организациями и космическими агентствами, <http://earthobservations.org/index.html>). 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 сложном и экологически напряженном мире. В настоящее время комитет GEO включает более 80 правительств стран (в том числе Украины), Европейскую комиссию и 56 межправительственных, международных и региональных организаций.

Сельское хозяйство является одной из девяти областей социального назначения (SBA) 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) (http://earthobservations.org/documents/cop/ag_gams/20070716).

В Европейском Союзе разрабатывается и находится на начальном этапе внедрения масштабная программа Глобального мониторинга в интересах мониторинга окружающей среды и безопасности (GMES). Программа имеет целью создание информационных систем поддержки принятия решений для учреждений Европейского Союза. Эти системы базируются на информационных сервисах мониторинга окружающей среды по нескольким направлениям, в частности мониторинга сельского хозяйства (www.gmes.info). На данный момент в рамках GMES введен сервис глобального мониторинга посевов сельскохозяйственных культур (Global Crop Monitoring), обновление карт классификации земных покровов (EUROLAND), мониторинга рационального использования культивируемых земель (Agri Environmental

Monitoring) и др. [Rembold et al, 2006]. В Объединенном исследовательском центре (JRC) Европейской Комиссии, которая предоставляет научную и техническую поддержку решений Европейской Комиссии в области сельского хозяйства и продовольственной безопасности, накоплен двадцатилетний успешный опыт использования данных ДЗЗ для решения 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 Российской Федерации Институтом космических исследований РАН создана система дистанционного мониторинга для 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].

Важной современной тенденцией является постепенное удешевление данных ДЗЗ совместно с увеличением их количества и качества. В этом смысле показательной есть деятельность международного сообщества во главе с GEO, благодаря которой ценные массивы данных ДЗЗ стали бесплатными. В частности, с 2009 г. все данные программы Landsat из архива службы геологической службы США (USGS) распространяются бесплатно. В частности, данные действующих спутников среднего пространственного разрешения Landsat-5, Landsat-7 и EO-1. Данные спутников миссии LDCM также планируются распространять бесплатно. В Европейском космическом агентстве (ESA) планируется распространения всех данных спутников серии Sentinel на бесплатной основе. Таким образом, в недалеком будущем станет возможным построение систем дистанционного мониторинга на основе новых дешевых данных.

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, 2009; Kussul et al, 2010a; Kussul et al, 2010b; 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 с возможностью получения геопространственных данных и спутниковой информации из системы уровня министерства.

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

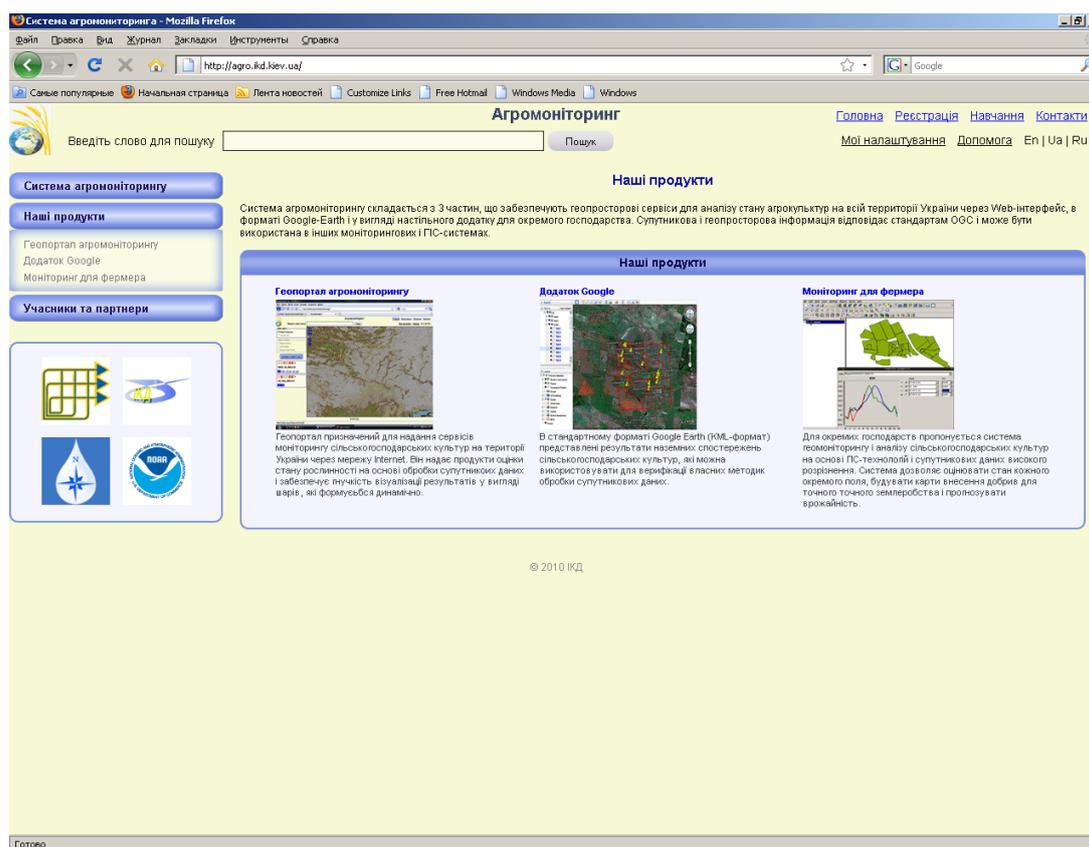


Рис. 1. Главная страница Web-сайта проекта

Геопортал агромоніторингу

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 программного обеспечения, поскольку геопортал предназначен для использования через браузер;
- Автоматическая загрузка новых продуктов и размещения их в базе данных. Среди программных компонентов геопортала есть целый 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.

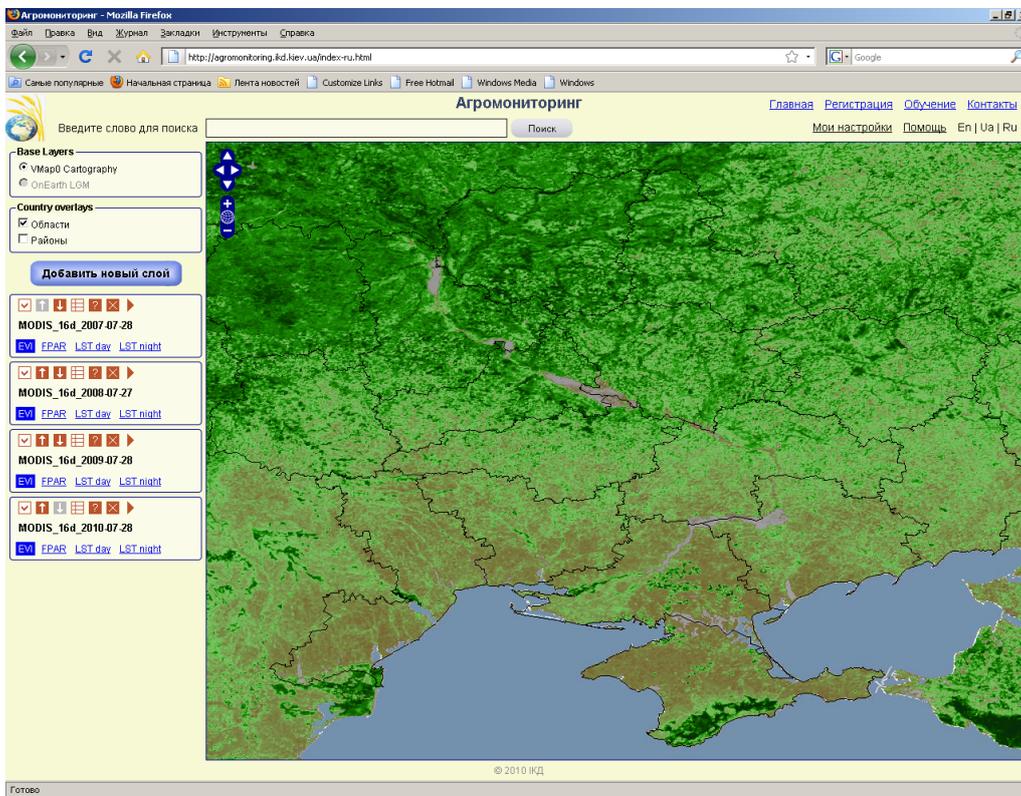


Рис. 2. Геопортал агромониторинга

Следует отметить, что в основу разработанного порталного 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).

Панель инструментов имеет такие функции:

- показать/скрыть слой;
- переместить слой вверх (меняется порядок в списке слоев и на карте);
- переместить слой вниз;
- показать/скрыть легенду;
- справка;
- удалить слой;
- выбор даты (по щелчку на значке выбора даты появляется панель со списком дат. При выборе новой даты текущий слой меняет на аналогичный, соответствующий выбранной дате).

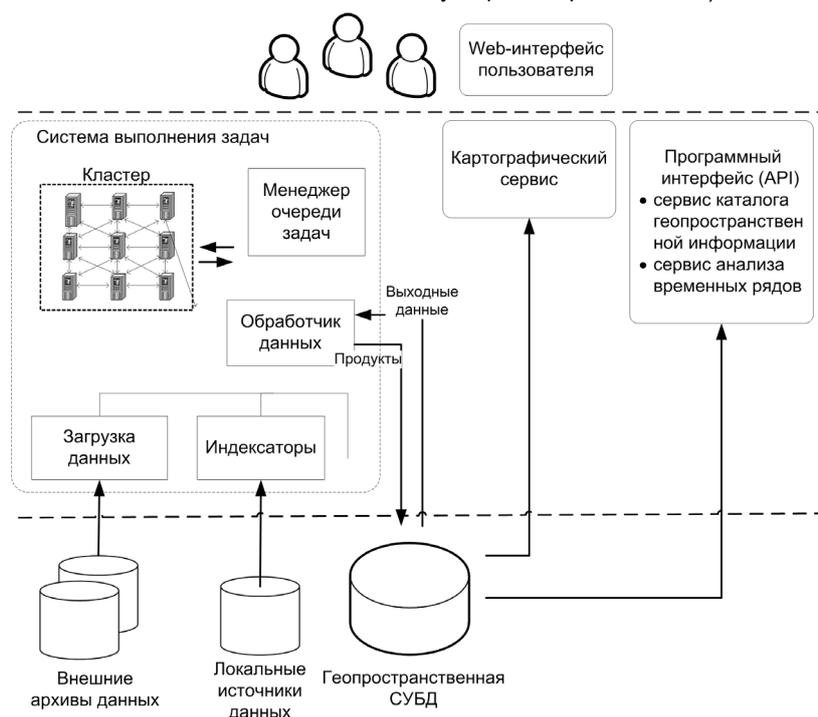


Рис. 3. Архитектура системы

После загрузки страницы на карте отображается только основной слой. В панели управления размещена кнопка добавления нового слоя. После щелчка на этой кнопке появляется панель со списком наборов данных, после выбора требуемого из которых в рабочей области отображается новый слой (например, MODIS) за указанную дату (рис. 4). 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.

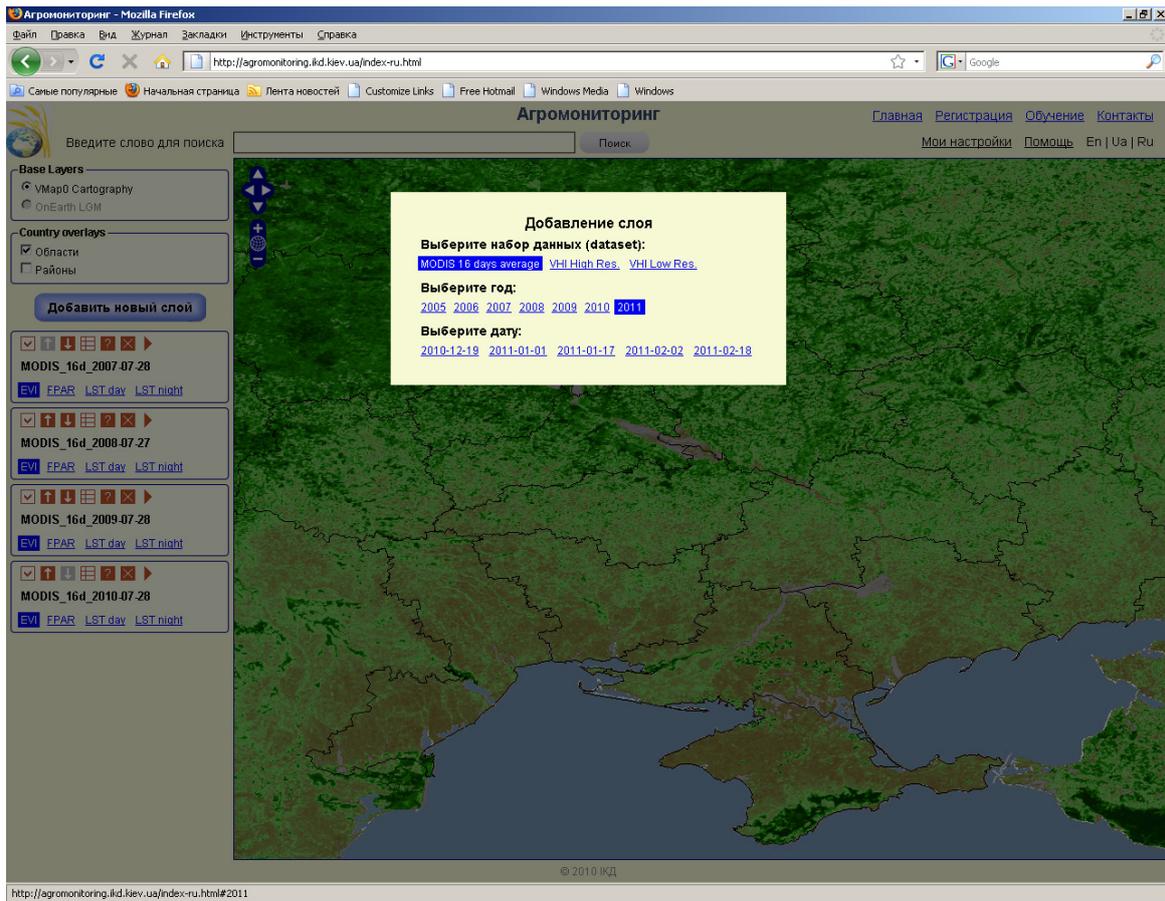


Рис. 4. Панель со списком наборов данных

Реализация клиентской части. Интерфейс реализован с помощью технологии AJAX. При работе с ним динамически загружаются отдельные части страницы, сама страница не перезагружается. Кроме указанных библиотек Javascript используется сценарий `map.js`, который и реализует основную функциональность.

При загрузке страницы сначала происходит инициализация карты (параметр `Bounds` задает ограничение на область карты для повышения скорости загрузки), добавляется базовый слой (`ol_wms_base`), карта центрируется и добавляется инициализация `touch`-интерфейса (`Touchhandler`):

Для расположения элементов на экране используется технология CSS, а также Javascript-код, который вызывается при загрузке и изменении размеров окна

Для отображения модальных блоков (например, блока добавления слоя) используются функции `addmodal` (активирует модальный блок), `addoverlay` (добавляет полупрозрачный слой, который покрывает все кроме модального блока) и `hidemodal` (скрывает все активные модальные блоки).

Запрос к программному интерфейсу сервера осуществляются с использованием подхода JSONP (который в отличие от обычного JSON 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.

ПОДСИСТЕМА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ХОЗЯЙСТВА

Отдельным хозяйствам предоставляется упрощенная «клиентская» версия системы, построенная на основе ГИС- и мобильных технологий с использованием спутниковых данных высокого разрешения (рис. 5).

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;
- Спутниковые данные – оперативная и объективная информация о состоянии посевов на каждом поле;
- Прогнозы урожайности.

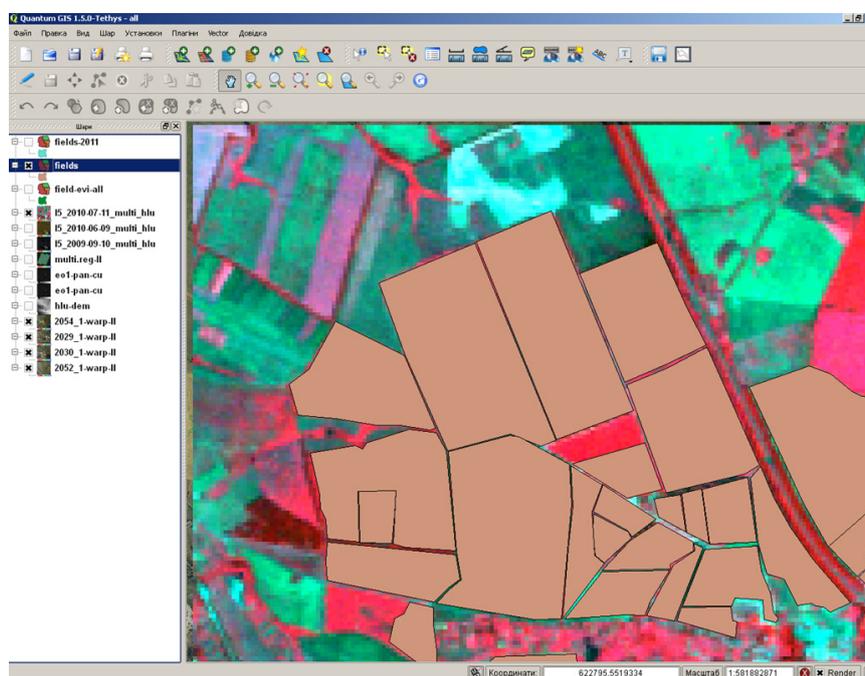


Рис. 5. Интерфейс пользователя «клиентской» версии системы агромониторинга

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

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

Система QGIS представляет собой программное обеспечение для работы с геопространственными данными, которое поддерживает большинство распространенных форматов данных и предоставляет программный интерфейс для реализации дополнительных компонентов, что позволяет при необходимости расширить его функциональность. QGIS является программным обеспечением с открытым кодом и распространяется в соответствии с положениями лицензии GPL. SQLite – реализация

реляционной системы управления базами данных. Благодаря легкости ее использования в качестве встроенного компонента, ее удобно использовать в качестве back-end десктопного программного обеспечения.

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, сгенерированных на ее основе, через пользовательский интерфейс.

К первичным источникам информации относятся в первую очередь данные, предоставленные пользователем (исторические и текущие произведенные на полях измерения), а также спутниковые снимки.

На основе спутниковых снимков с помощью геоинформационной системы QGIS 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 на базе геопространственных и спутниковых данных 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. Интерфейс администратора предусматривает постоянный контроль целостности данных и регулярное создание резервных копий. Это защищает данные от искажения вследствие человеческих и технических ошибок.

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 (векторные, числовые) и в файлах изображений (визуальные). Данные хранятся в таком формате, чтобы система QGIS была способна 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 виде таблицы. В случае наличия большого количества числовых характеристик (например, измерений за определенный период времени) такой способ представления информации не является наглядным. Для предоставления информации в форме, удобной для пользователя, был разработан модуль, расширяющий функциональность QGIS. Данное программное обеспечение (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. 6).

Для отображения графиков используется расширения для графической библиотеки QT - библиотека QWT. Данные для графиков получают непосредственно из общей базы данных с помощью запроса на языке SQL.

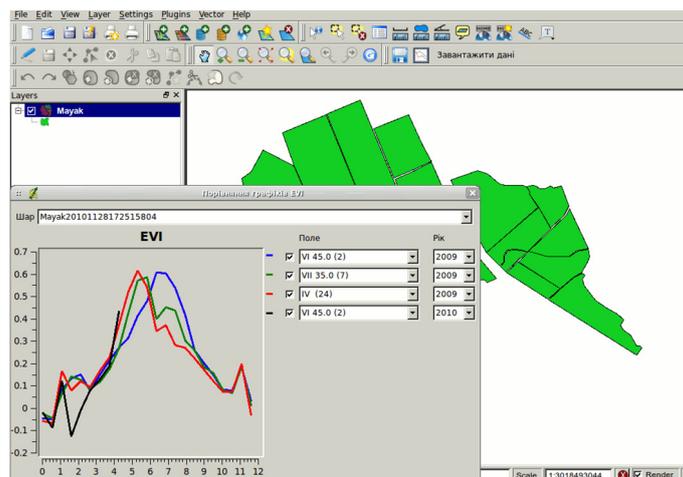


Рис. 6. Сравнение графиков индекса EVI

Еще одним дополнительным компонентом системы является модуль генерирования отчетов. Разработанный дополнительный компонент позволяет осуществлять автоматическое генерирование отчетов в соответствии с шаблоном. Эта возможность может быть использована как для бизнес-аналитики, так и для автоматизации документооборота предприятия (рис. 7).

Вміст поживних речовин

Вміст поживних речовин
(дані з шару fields-2011)

	Name	Descriptio	gumus	N	P	K	Ph	Hr	S	V
0	II	;35.3 ;	0	0	0	0	5.8	1.3	26	95
1	VI	;45 ;	4.94	105	109	6.9	0	0	0	0
2	VI	;154.8 ;	4.94	105	109	6.9	0	0	0	0
3	VI	;27.2 ;	3.76	90	97	66	0	0	0	0
4	VII	;42.3 ;	3.7	85	93	77	0	0	0	0
5	VII	;20.0 ;	3.6	60	81	72	0	0	0	0
6	VII	;35 ;	3.6	60	81	72	0	0	0	0
7	VII	;63.0 ;	2.59	68	63	113	0	0	0	0
8	III	;103.6 ;	0	0	0	0	6.6	0.9	34	97
9	V	/	0	0	0	0	9.6	2	16	89
10	IV	;25.9 ;	0	0	0	0	5.6	0	0	0
11	I	;18.0 ;	0	0	0	0	5.6	0	0	0

Рис. 7. Пример автоматически сгенерированного отчета

Отчеты генерируются в формате HTML и могут содержать информацию о содержании питательных веществ в почве в определенный период времени или количестве внесенных удобрений.

Интерфейс с базой данных. Базовая функциональность QGIS позволяет использовать в качестве источника данных разные форматы, но ее возможности работы со сложно 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 разных типов измерений и т.п. Приведение этих данных к формату QGIS повлекло бы потерю структурированности.

Поэтому вместо использования имеющейся в QGIS функциональности 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].

Литература

- [Rembold et al, 2006] F. Rembold, J. Delincé, H. Boogard, A. Burger. Spatial Information Systems in Crop Monitoring: Developing New Global Models and Sharing the Data. GSDI-9 Conference Proceedings. Santiago, Chile, 2006.
- [Kussul et al, 2009] N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun. Grid and sensor web technologies for environmental monitoring. Earth Science Informatics, Vol. 2, N 1-2. P.37-51, 2009.
- [Kussul et al, 2010a] N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko. 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, P.64-92, 2010.
- [Kussul et al, 2010b] N.N. Kussul, A.Ju. Shelestov, S.V. Skakun, O.M. Kravchenko, Yu. Gripich, L. Hluchy, P. Kopp, E.A. Loupian. The Data Fusion Grid Infrastructure: Project Objectives and Achievements. Computing and Informatics, Vol. 29. P.319-334, 2010.
- [Popov et al, 2008] M. Popov., N. Kussul, S. Stankevich, A. Kozlova, A. Shelestov, O. Kravchenko, M. Korbakov, S. Skakun. Web Service for Biodiversity Estimation Using Remote Sensing Data. International Journal of Digital Earth, 1(4), P.367-376, 2008.
- [Куссуль и др, 2010] Н.Н. Куссуль, Б.В. Соколов, Я.И. Зельк, В.А. Зеленцов, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов. Оценка рисков стихийных бедствий на основе разнородной геопространственной информации. Проблемы управления и информатики, N 6. С.97-110, 2010.
- [Лупян и др, 2009] Е.А. Лупян, С.А. Барталев, И.Ю. Савин. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России. Аэрокосмический курьер. № 6. С.47-49, 2009.
- [Толпин и др, 2010] В.А. Толпин, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, Е.В. Флитман. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.7. № 2. С.221-232, 2010.
- [Шелестов и др, 2011] А.Ю. Шелестов, А.Н. Кравченко, С.В. Волошин, и др. Web-портал системы агромониторинга. Наука и инновации. Т. 7, № 3. С. 30-35, 2011.

Информация об авторах

Андрей Шелестов – зав. кафедрой, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, 03187 Киев, ул. Героев Оборона, 15, e-mail: andrii.shelestov@gmail.com

Наталья Морзе – проректор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, 03187 Киев, ул. Героев Оборона, 15, e-mail: nmorze@ukr.net

Ольга Куссуль – аспирант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», 03056, г.Киев-56, проспект Победы, 37, e-mail: olgakussul@gmail.com

Юлия Грипич – аспирант, Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 03680, г. Киев, проспект Глушкова 40, корп. 4/1, e-mail: yulchenya@ukr.net