

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АГРОМОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

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

ВВЕДЕНИЕ

Современное положение дел в мониторинге сельского хозяйства и международной кооперации 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 заключается в повышении доступности и внедрении космических наблюдений через международную координационную деятельность с использованием возрастающих возможностей дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для поддержки принятия решений в экологии. В настоящее время в комитет GEO входят свыше 80 правительств стран (в том числе Украины), Европейская комиссия и 56 межправительственных, международных и региональных организаций.

Сельское хозяйство — одна из девяти областей социального назначения (SBA) группы GEO для международной координации и сотрудничества. В рамках этой области сформировано научное сообщество из 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 большая программа Глобального мониторинга в интересах мониторинга и безопасности (GMES). Основная цель программы — создание информационных систем поддержки принятия решений для учреждений Европейского Союза. Эти системы базируются на информационных сервисах мониторинга окружающей среды по нескольким направлениям, в частности 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 [1]. 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 опыт использования данных ДЗЗ решения задач сельскохозяйственной статистики и прогнозирования урожайности [2]. С 1992 г. 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 Российской Федерации Институтом космических исследований РАН создана система дистанционного мониторинга Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [3]. Институтом космических исследований МОН РК по заказу Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан создана система мониторинга сельскохозяйственных посевов зернового производства. Основная задача этих систем —

© А.Ю. Шелестов, А.Н. Кравченко, С.В. Скакун, С.В. Волошин, Н.Н. Кусскуль, 2013

мониторинг состояния посевов и определение структуры площадей пахотных земель. Обе системы функционируют на бесплатных данных приборов MODIS [4].

Важной современной тенденцией является постепенное удешевление данных ДЗЗ, увеличение их количества и повышение качества. В этом контексте показательна деятельность международного сообщества во главе с GEO, благодаря которой ценные массивы изображений ДЗЗ стали бесплатными. Так, с 2009 г. все снимки программы Landsat из архива службы геологической съемки США (USGS) распространяются бесплатно, в частности это данные действующих спутников среднего пространственного разрешения Landsat-5, Landsat-7 и EO-1. Снимки будущего спутника LDCM, а также данные спутников серии Sentinel Европейского космического агентства планируется предоставлять бесплатно. Таким образом, в недалеком будущем станет возможным построение систем дистанционного мониторинга на основе новых дешевых изображений [5].

В последние годы в Украине активно развиваются методы и информационные технологии, направленные на использование методов дистанционного зондирования решения задач различных ведомств, в том числе агропромышленного комплекса [6–10]. 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 разработана двухуровневая распределенная система агромониторинга на базе министерств и отдельных хозяйств [6, 9, 10]. 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 могут применяться 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).

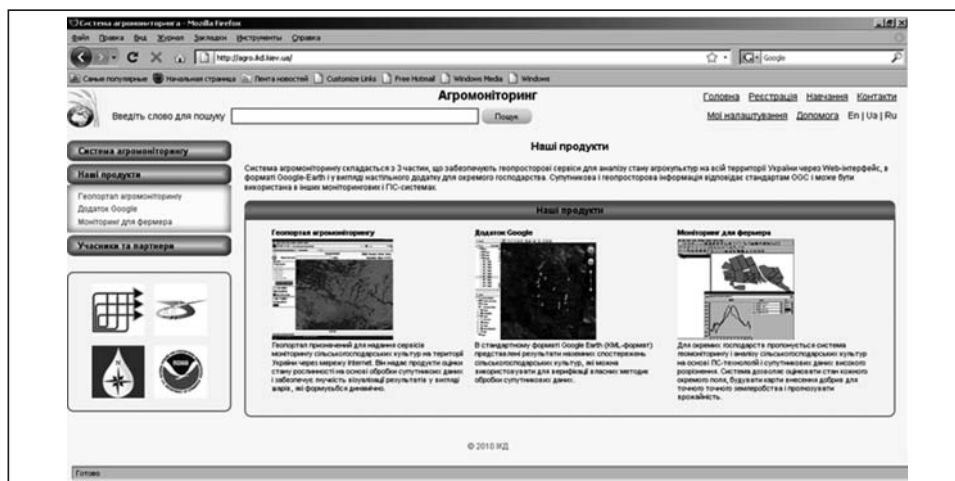


Рис. 1. Главная страница Web-сайта проекта

ГЕОПОРТАЛ 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 наземных измерений, которые должны обеспечить верификацию дистанционных методов через Web-интерфейс.

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

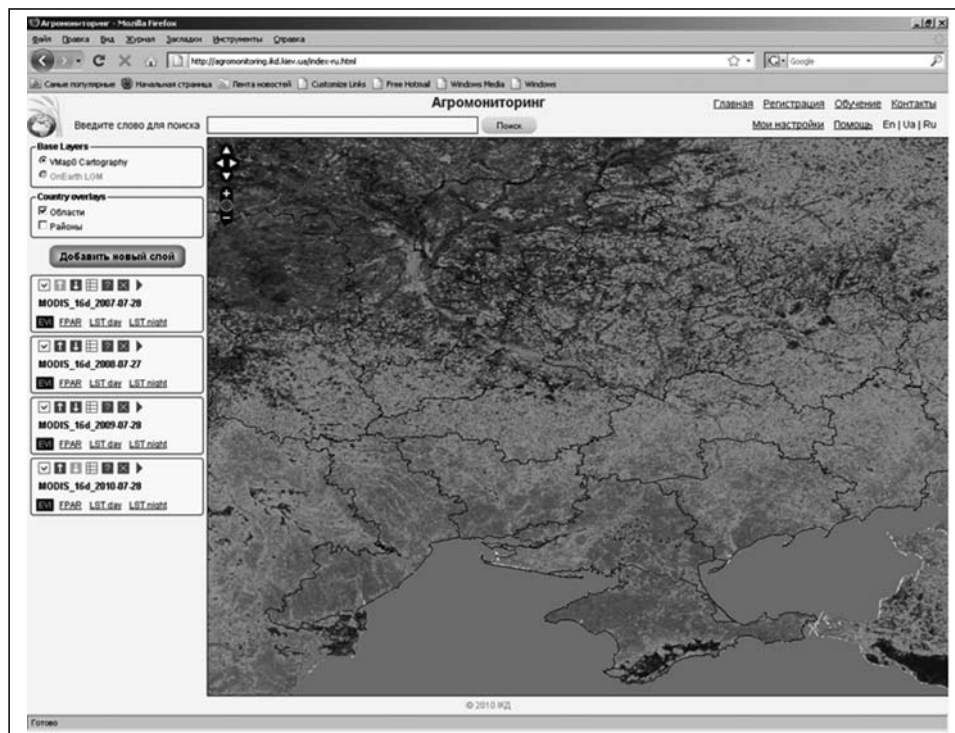


Рис. 2. Геопортал агромониторинга

Рассмотрим основные преимущества геоportала.

— Отсутствие требований к использованию специализированного программного обеспечения, поскольку геоportал предназначен для применения через браузер.

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

— Используемые технологии на основе существующей в БД информации позволяют динамически формировать различные слои геопространственного изображения.

— Возможность работы в заданном временном диапазоне.

— Средства пользовательского интерфейса дают возможность 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.

Следует отметить, что в основу разработанного портального решения положена архитектура «клиент–сервер» на основе шаблона «тонкого» клиента. Серверные

компоненты реализованы на языке программирования Python, предоставляющем возможность взаимодействия с планировщиком задач и высокопроизводительной кластерной техникой [11], что позволяет эффективно решать ряд прикладных задач со сложным потоком выполнения задач, планировать автоматическое получение данных и т.д. Более того, при таком подходе можно задействовать и другие мощные механизмы решения сложных задач, в том числе Grid [12–14], а также применять современные методы обеспечения безопасности [15, 16]. При необходимости использования сложных моделей можно формировать запросы на высокопроизводительные вычисления [11].

Предложенная архитектура является открытой и позволяет естественным образом расширять функциональность информационной системы, привлекая новые принципы получения новой информации, например, на основе Sensor Web [17]. Архитектура системы с Web-интерфейсом приведена на рис. 3.

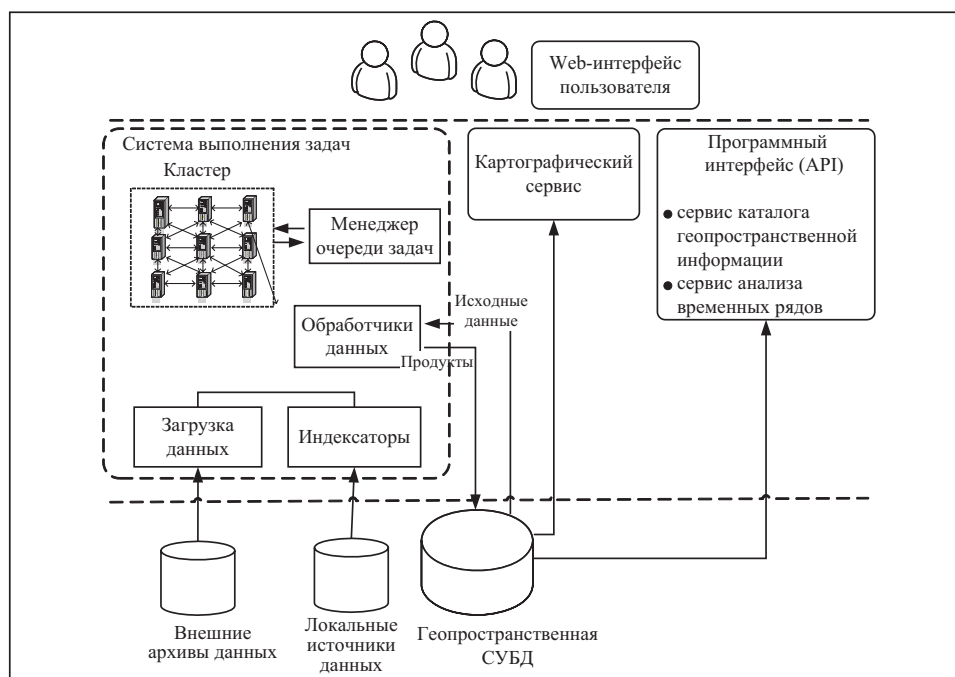


Рис. 3. Архитектура системы

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 размещена 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), а также панель инструментов (в виде набора пиктограмм).

С помощью панели инструментов можно выполнить такие функции: показать/скрыть слой; переместить слой вверх (меняется порядок в списке слоев и на карте); переместить слой вниз; показать/скрыть легенду и справку; удалить слой; выбрать дату (по щелчку на значке выбора даты появляется панель со списком дат. При выборе новой даты текущий слой меняется на аналогичный, соответствующий выбранной дате).

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

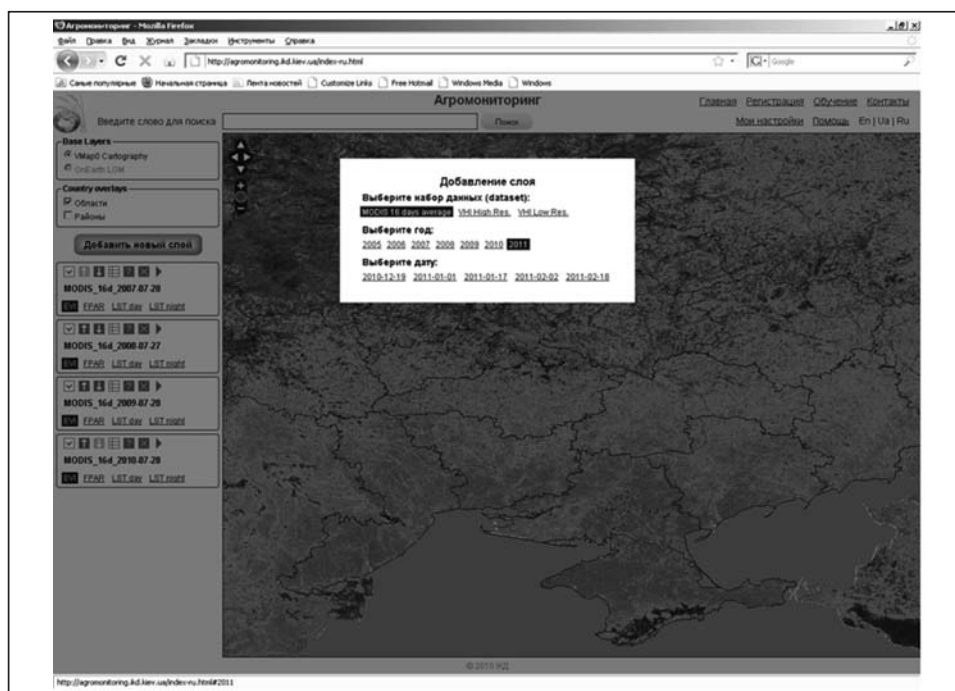


Рис. 4. Панель со списком наборов данных

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, а информация о них добавляется в начале списка слоев на панели управления.

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.

Модальные блоки (например, блок добавления слоя) отображаются с помощью 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 осуществляется с помощью 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 [10], построенная на основе ГИС- и мобильных технологий с использованием спутниковых данных высокого разрешения (рис. 5).

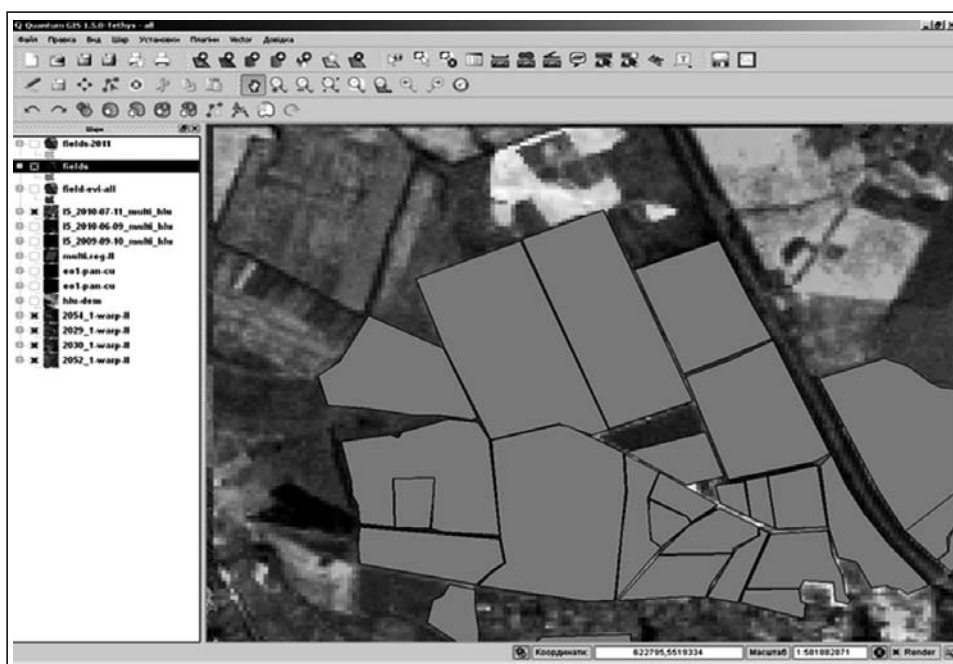


Рис. 5. Интерфейс пользователя «клиентской» версии системы агромониторинга

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.

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

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

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 БД. Благодаря легкости ее использования в качестве встроенного компонента ее удобно использовать как back-end десктопного программного обеспечения.

Процесс работы системы предусматривает агрегацию информации из различных 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 измерения, произведенные на полях), а также спутниковые снимки.

На основе спутниковых снимков с помощью геоинформационной системы QGIS создаются векторные карты полей, которые вносятся в общую БД. Спутниковые снимки проходят предварительную обработку, после этого 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 БД 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 [10].

В результате все данные оказываются в общей БД (векторные, числовые) и в файлах изображений (визуальные). Они 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 для QGIS.

Дополнительные модули. Первичная функциональность QGIS позволяет просматривать атрибуты, привязанные к объектам на карте, в виде таблицы. При наличии 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, 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 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 расширение для графической библиотеки QT — библиотека QWT. Данные для графиков получаются непосредственно из общей БД с помощью запроса на языке SQL.

Еще один дополнительный компонент системы — модуль генерирования отчетов. Он позволяет автоматически генерировать отчеты в соответствии с шаблоном. Это может использоваться как для бизнес-аналитики, так и для автоматизации документооборота предприятия (рис. 7).

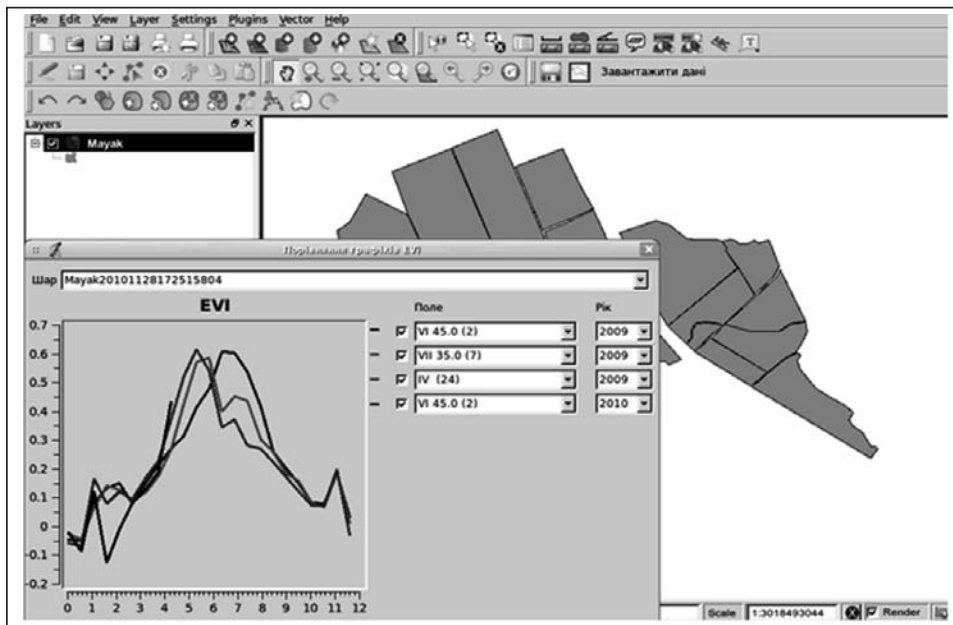


Рис. 6. Графики индекса EVI

Содержание питательных веществ
(данные из слоя 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	IV	/	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 питательных веществах в почве в определенный период времени или количестве внесенных удобрений.

Интерфейс с БД. Базовая функциональность QGIS дает возможность использовать в качестве источника данных разные форматы, но ее возможности работы со сложноструктурированными данными ограничены. 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 БД распределенной системы, поскольку к каждому полю привязываются сложноструктурированные 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 БД SQLite, что сразу же позволяет воспользоваться всеми ее возможностями, т.е. выполнять произвольные SQL-запросы. Структура БД приведена и более подробно описана в [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 предостав-

ляет 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 представляет собой набор подсистем различного назначения, тесно взаимодействующих между собой, обеспечивает ряд полезных функций: 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 — GEOSS и GMES [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rembold F., Delincé J., Boogard H., Burger A. Spatial information systems in crop monitoring: developing new global models and sharing the data // GSDI-9 Conf. Proc. Santiago, Chile, 2006.
2. Disaster risk assessment based on heterogeneous geospatial information / N.N. Kussul, B.V. Sokolov, Ya.I. Zyelyk, V.A. Zelentsov, S.V. Skakun, A.Yu. Shelestov // J. of Automat. and Inform. Sci. — 2010. — 42, N 12. — P. 32–45.
3. Лупян Е. А., Барталев С. А., Савин И. Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. — 2009. — № 6. — С. 47–49.
4. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК / В.А. Толпин, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, Е.В. Флитман // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — 7, № 2. — С. 221–232.
5. Мониторинг водных ресурсов на основе интеграции разнородных данных и высокопроизводительных вычислений / А.Н. Кравченко, Н.Н. Куссуль, Е.А. Лупян., В.П. Саворский, Л. Хлухи, А.Ю. Шелестов // Кибернетика и системный анализ. — 2008. — № 6. — С. 117–126.
6. The data fusion Grid infrastructure: project objectives and achievements / N.N. Kussul, A.Ju. Shelestov, S.V. Skakun, O.M. Kravchenko, Yu. Gripich, L. Hluchy, P. Kopp, E.A. Loupian // Comput. and Inform. — 2010. — 29. — P. 319–334.
7. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid and sensor web technologies for environmental monitoring // Earth Sci. Inform. — 2009. — 2, N 1–2. — P. 37–51.
8. Web service for biodiversity estimation using remote sensing data / M. Popov, N. Kussul, S. Stankevich, A. Kozlova, A. Shelestov, O. Kravchenko, M. Korbakov, S. Skakun // Intern. Journ. of Digital Earth. — 2008. — 1, N 4. — P. 367–376.
9. Шелестов А. Ю., Кравченко А. Н., Волошин С. В. и др. Web-портал системы агромониторинга // Наука и инновации. — 2011. — № 3. — С. 30–35.
10. Шелестов А. Ю., Куссуль Н. Н., Загородний Е. В. и др. Геоинформационная система фермера // Там же. — 2011. — № 3. — С. 25–29.
11. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. High performance intelligent computations for environmental and disaster monitoring // Intel. Data Proces. in Global Monitoring for Environment and Security (K. Markov, V. Velychko ed.). ITHEA. — Sofia, 2010. — P. 64–92.
12. The data fusion Grid infrastructure: project objectives and achievements / L. Hluchy, N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko, Y. Gripich, P. Kopp, E. Lupian // Comput. and Inform.. — 2010. — 29, N 2. — P. 319–334.
13. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid system for flood extent extraction from satellite images // Earth Sci. Inform. — 2008. — 1, N 3–4. — P. 105–117.
14. Шелестов А. Ю., Куссуль Н. Н., Скакун С. В. Grid-технологии в системах мониторинга на основе спутниковых данных // Проблемы управления и информатики. — 2006. — № 1–2. — С. 259–270.
15. Shelestov A., Kussul N. Using the fuzzy-ellipsoid method for robust estimation of the state of a grid system node // Cybernetics and Systems Analysis. — 2008. — 44, N 6. — P. 847–854.
16. Skakun S., Kussul N. An agent approach for providing security in distributed systems // Proc. of Int. Conf. «Modern Problems of Radio Engineering, Telecom., and Comput. Sci.», TCSET. — Slavsko, Lviv, Ukraine, 2006. — P. 212–215.

17. Interoperable infrastructure for flood monitoring: sensorweb, Grid and cloud / N. Kussul, D. Mandl, Moe K., J.-P. Mund, J. Post, A. Shelestov, S. Skakun, J. Szarzynski, G. Van Langenhove, M. Handy // IEEE Journ. of Selected Topics in Appl. Earth Observations and Remote Sensing. — 2012. — 5, N 6. — doi: 10.1109/JSTARS.2012.2192417.
18. Efficiency assessment of different approaches to crop classification based on satellite and ground observations / J. Gallego, A. Kravchenko, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, Y. Grypych // J. of Automat. and Inform. Sci. — 2012. — 44, N 5. — P. 67–80.

Поступила 07.07.2011