Оценка состояния сельскохозяйственных культур на основе межгодовой динамики с использованием данных MODIS

В.А. Толпин, С.А. Барталев, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, А.А. Прошин, Е.В. Флитман

Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: tolpin@d902.iki.rssi.ru

В статье описываются основные возможности блока системы мониторинга сельскохозяйственных земель МСХ РФ обеспечивающего возможность анализа временных серий NDVI. Блок создавался для проведения сравнения хода NDVI на различных территориях в различные годы с цель выбора годов аналогов. В работе описываются подсистемы подготовки, обработки, хранения, представления и анализа данных. Приводятся результаты использования блока для оценки урожайности.

Введение

Одной из основных задач систем мониторинга сельскохозяйственной деятельности является оценка состояния и урожайности сельскохозяйственных культур. Достаточно распространенный метод получения таких оценок основывается на сравнении динамики состояния растительности в различные годы и поиске года аналога.

Методики и подсистемы оценки урожайности по году аналогу используются в настоящее время во многих системах мониторинга сельскохозяйственной деятельности. Основной задачей данных подсистем является:

- анализ условий развития сельскохозяйственной растительности в различных регионах в текущем году;
- анализ исторических данных для выбора года аналога;
- преставление оценок по ожидаемой урожайности с использованием данных об урожайности различных культур, которые наблюдались в годе аналоге.

Для решения этих задач в системе мониторинга сельскохозяйственных земель должна быть сформирована технологическая подсистема позволяющая:

- вести архивы исторических данных, необходимых для сопоставления динамики развития растительности в различные годы;
- вести архивы об урожайности различных культур по различным регионам в разные годы;
- осуществлять оперативный сбор данных за текущий сезон, необходимых для сопоставления динамики развития растительности в различные годы;
- обеспечивать анализ и сопоставление данных за различные годы с целью выбора года аналога;
- предоставлять информацию об урожайности в выбранные годы аналоги.

Описываемая в работе подсистема была создана и в настоящее время введена в опытную эксплуатацию в рамках системы мониторинга сельскохозяйственных земель [1-2]. В настоящей статье представлено описание и алгоритмы работы основных элементов подсистемы, а также кратко описаны результаты опытной эксплуатации подсистемы.

Подсистема ориентирована на сбор и анализ информации о динамике усредненного вегетационного индекса (NDVI) [3-4] по различным регионам. Индекс NDVI оценивается на основе данных спутникового мониторинга и отражает уровень развития растительности. Следует отметить, существующих систем предоставляющих аналогичную информацию, для выбора года аналога используются индексы, прошедшие усреднение по всей площади наблюдаемого региона.

В описываемой подсистеме используется вегетационные индексы, усредненные по площадям, занятым различными типами растительности, такими как:

- пахотные земли;
- площади, занятые лесом;
- земли свободные от леса, но не являющиеся пахотными.

Такое разделение необходимо, поскольку ход динамики развития растительности на этих территориях достаточно сильно отличается (на рис. 1 приведен пример для Ростовской области). Анализ средних индексов, полученных для разных типов территорий, позволяет провести более качественное сопоставление данных за различные годы и осуществить выбора года аналога.

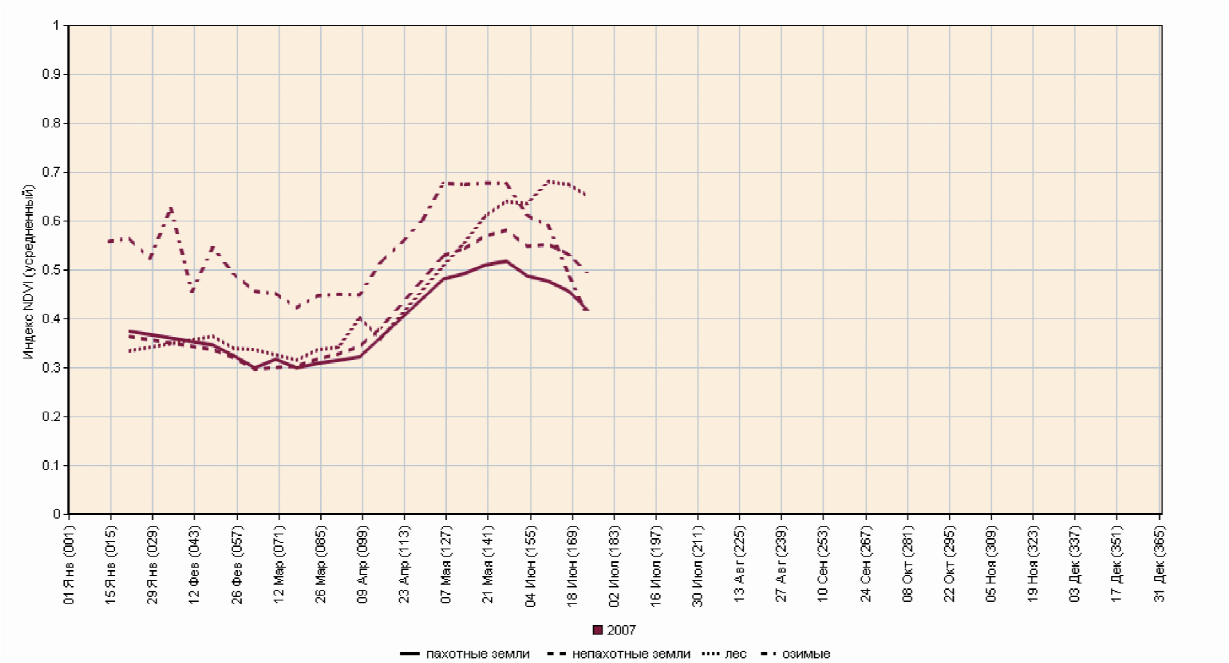

Рис. 1. Ход индекса NDVI, усредненного по различным маскам на примере Ростовской области

Используемые данные и их предварительная обработка

Созданная подсистема рассчитана на работу с данными прибора MODIS установленного на спутниках Terra и Aqua.

Прибор MODIS выполняет съемку в 36 спектральных каналах видимого и инфракрасного диапазона длин волн с пространственным разрешением 250 м, 500 м и 1 км [5-8] и обеспечивает ежедневное получение данных наблюдений для любого региона России.

В качестве исходных данных в работе использовались ежедневные данные TERRA/MODIS уровня обработки Level 2, свободно распространяемые центром LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center), входящего в состав USGS (U.S. Geological Survey). Для обеспечения своевременного регулярного получения оперативных данных реализована система автоматического получения и усвоения данных в архив. Данные скачиваются по протоколу FTP из оперативного хранилища данных LP DAAC (ftp://e0dps01u.ecs.nasa.gov/MOLT) и поступают в архив. Оперативные данные становятся доступны через 3-5 дней после проведения спутниковой съемки, эта задержка вполне допустима для задач решаемых в рамках данной подсистемы.

В работе использовались продукты данных спутниковых наблюдений полученных в красном (620-670 нм) и ближнем инфракрасном (841-876 нм) каналах с пространственным разрешением 250 метров (продукт MOD09GQK), данных измерений в каналах голубого (459-479 нм) и среднего инфракрасного диапазонов (1628-1652 нм) длин волн, а также ряда других каналов, пространственное разрешение которых составляет 500 метров (MOD09GHK). Кроме того, были использованы продукты данных, содержащие информацию о положении спутника и Солнца (MODMGGAD), а также служебную информацию (MOD09GST). Высокая точность географической привязки этих продуктов позволяет использовать их для анализа временных рядов измерений на уровне отдельных пикселов. Данные распространяются в синусоидальной проекции [9] и поделены на гранулы (квадраты со стороной 10 градусов).

В ИКИ РАН разработана система получения и формирования архивов данных ежедневных наблюдений Terra-MODIS [10-12]. К настоящему времени сформирован архив указанных выше данных ежедневных наблюдений на всю территорию сельскохозяйственных земель России за период с 2001 года по настоящее время, планируемый к расширению для покрытия всей территории страны и регулярному обновлению по мере поступления спутниковых данных.

Для улучшения качества снимков разработана специальная методика автоматической обработки для дополнительной очистки и формирования безоблачных композитных изображений. Подробное описание методики можно найти в [13].

Для задач наблюдения динамики хода индекса NDVI создаются 7-дневные безоблачные композиты, архив которых сформирован с 2001 года по 2007 год и в настоящее время оперативно пополняется. 7-дневные композитные изображения используются как исходные данные для дальнейшего статистического расчета осредненных значений индекса NDVI по различным областям и для различных типов растительного покрова.

Статистическая отработка

Композитные карты NDVI полученные после предварительной обработки данных позволяют проводить анализ динамики развития растительного покрова в определенных точках или областях. В рамках данной системы наибольший интерес представляет наблюдение за определенными областями, а именно за сельскохозяйственными регионами РФ. Связанно это с тем, что официальная статистическая информация по урожайности сельскохозяйственных культур доступна только по регионам РФ.

Как уже было отмечено выше, при усреднении вегетационного индекса используются различные маски растительности:

- пахотные земли (рис. 2.) [14-15];
- земли свободные от леса, но не являющиеся пахотными;
- площади, занятые лесом;
- площади, занятые хвойным лесом;
- площади, занятые лиственным лесом;
- площади, занятые смешанным лесом.

Данные маски были получены в ИКИ РАН на основе данных приборов MODIS и SPOT-Vegetation [16-18].

Для расчета среднего значения из исходных данных выделяются только данные по конкретному региону, попадающие в заданную маску (рис. 3.). Это позволяет анализировать динамику различных типов растительности. Полученные средние значения вегетационных индексов для различных территорий заносятся в специальную базу данных.

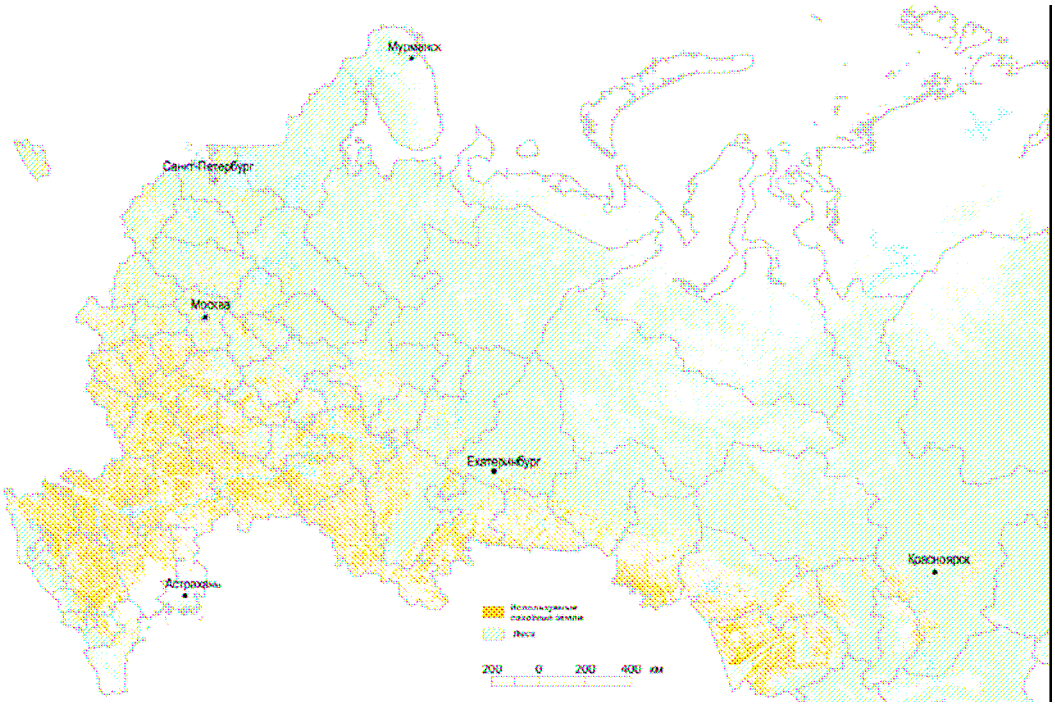

Рис. 2. Пример маски используемых пахотных земель (ИПЗ) и маски леса

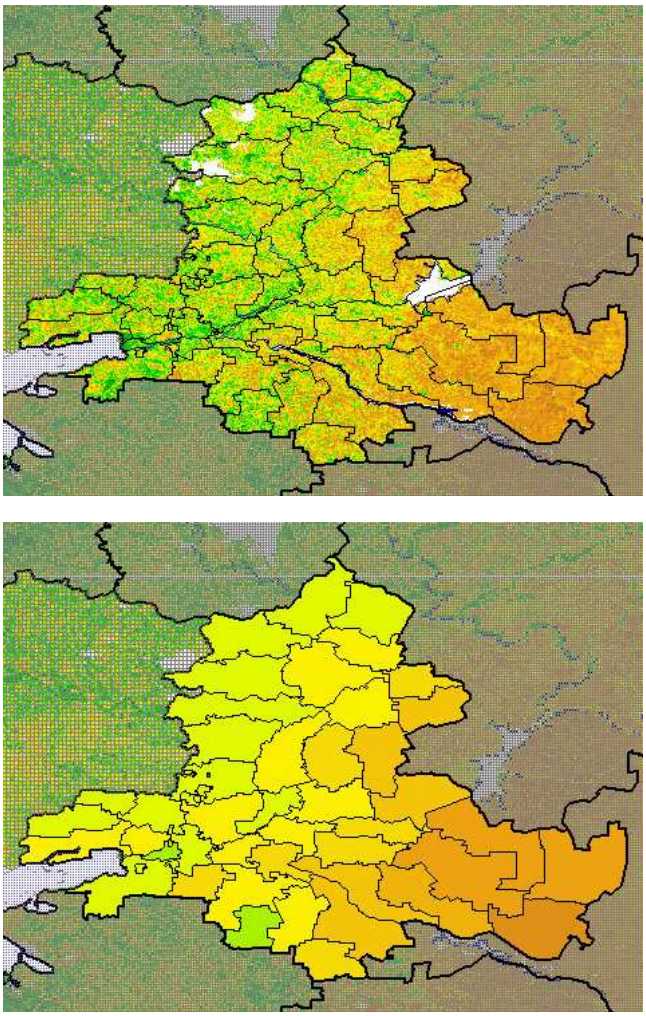

Рис. 3. Пример усреднения вегетационного индекса NDVI для Ростовской области, использована маска пахотных земель

Для обеспечения работы блока создана специальная система обработки и хранения карт NDVI, которая позволяет проводить статистическую обработку только для определенных областей или районов. В ее основе лежит использование принципа «мозаики» для обработки и хранения карт NDVI, таким образом, любая часть или фрагмент карты может быть обработан независимо. При этом, если регион лежит на стыке нескольких частей мозаики (гранул), то предварительно производится склейка композитных карт NDVI этих гранул. Использование специальной системы хранения и обработки делает систему более гибкой и масштабируемой.

При осреднении данных по региону также используется и статистическая информация по самому региону и по различным типам растительности в этом регионе. В общем случае, использование композитных карт NDVI не гарантирует полное покрытие региона. Покрытие данными региона зависит, в первую очередь, от облачности и метеорологических явлений (таких как снег, дождь и т.д.) и их продолжительности, что не всегда могут компенсировать композитные изображения. Отсутствие данных неизбежно сказывается на осреднении, поэтому в системе используются статистические данные по региону и маскам для установки порога осреднения. Эти данные могут быть использованы для присвоения коэффициента вероятности для результата осреднения, в случае, если использования порога не желательно.

Анализ полученных результатов

Осредненное значения вегетационного индекса NDVI по региону является интегральной характеристикой, анализ динамки (рис. 4.) которой позволяет оценивать состояние и развитие сельскохозяйственных культур данного региона.

Созданный для обеспечения работы системы специализированный WEB-интерфейс (http://www.agrocosmos.gvc.ru/satdata/index.sht) предоставляет пользователю возможность произвести анализ данных по различным регионам, полученных за разные годы, осуществить выбор года аналога для региона, основываясь на динамике вегетационного индекса по территориям и другим данным.

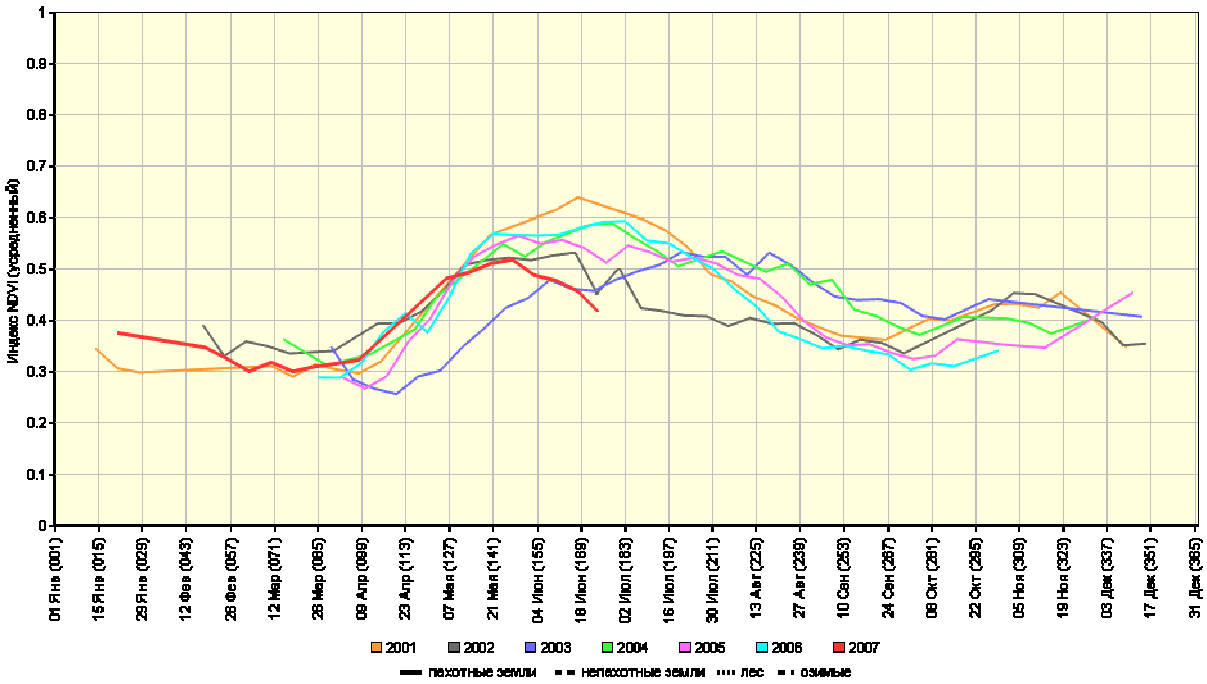

Рис. 4. Пример сравнительного хода индекса NDVI за разные года для Ростовской области

Выбор года аналога позволяет оценить возможную урожайность культур, в текущем сезоне, на основе статистических данных, предполагая динамику развития культур подобно году аналогу и имея статистику урожайности года аналога. По ходу сезона год аналог может корректироваться в зависимости от динамики развития, что в свою очередь меняет оценку урожайности. Однако вегетационный ход различный культур отличается друг от друга и использование одной интегральной оценки для динамики развития по всем культурам является определенным приближением.

Для оценки урожайности культур в регионе в системе используется официальная статистическая информация об урожайности по регионам. Для каждого региона она доступна за весь период наблюдения, которым оперирует система.

Дополнительно, для оценки состояния культур и их развития в системе имеются данные метеонаблюдений как фактические, так и прогноз (рис. 5). При необходимости, возможно использование дополнительных расчетных параметров на основе существующих параметров метеонаблюдений. Совместный анализ данных метеонаблюдений и хода вегетационного индекса NDVI позволяет более точно определить год аналог и оценить дальнейшую динамику развития культур в сезоне.

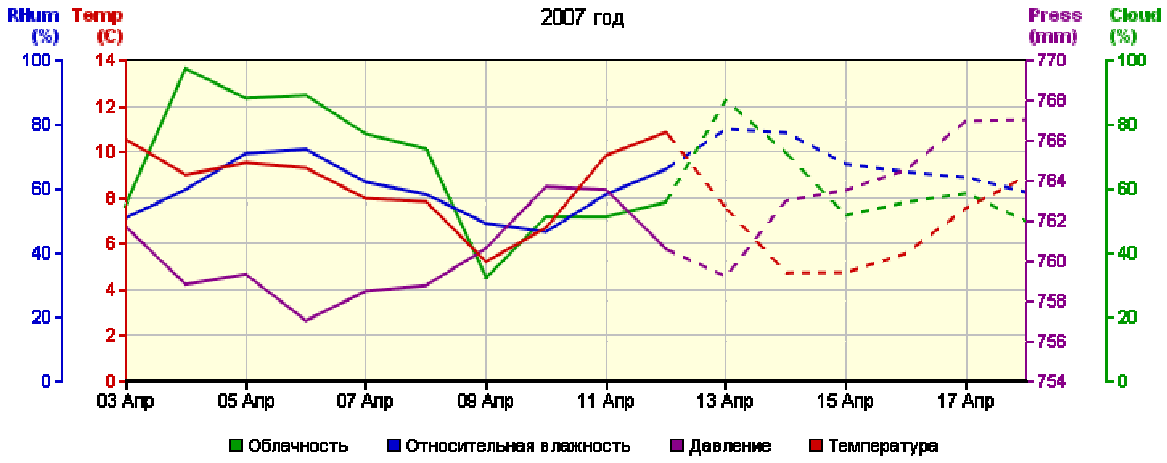

Рис. 5. Пример метеообстановки за последние 10 дней и прогноза для Ростовской области на 12 апреля 2007г.

В системе предусмотрена возможность создания «Информационного бюллетеня» (рис. 6) для каждого наблюдаемого района. В него включены данные спутниковых наблюдений и метеонаблюдений.

Бюллетень может автоматически рассылаться всем заинтересованным лицам для более удобного и детального анализа данных, что позволяет оперативно наблюдать за состоянием и развитием сельскохозяйственных культур.

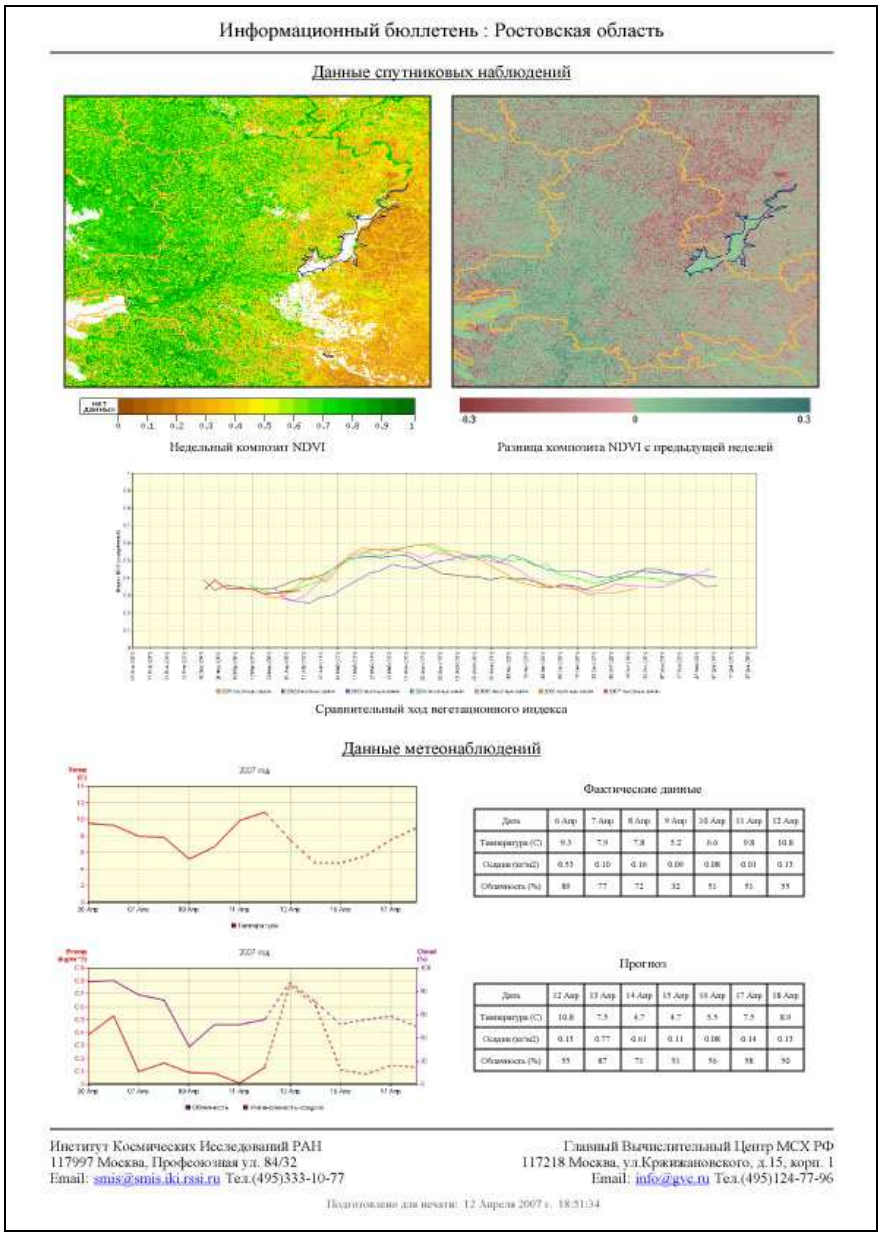

Рис. 6. Пример информационного бюллетеня для Ростовской области

Заключение

Созданная подсистема была введена в опытную эксплуатацию в рамках системы мониторинга сельскохозяйственных земель в 2006 году. Опытная эксплуатация подсистемы производилась по основным сельскохозяйственным регионам России.

На этапе опытной эксплуатации все технологические блоки системы показали свою полную работоспособности и функциональность.

Выбор года аналога производится экспертами с использованием визуального анализа на основе сравнения хода индекса NDVI для разных лет. В настоящее время проводятся работы по оценке возможности максимальной автоматизации этой процедуры и адаптации алгоритмов оценки урожайности для различных культур.

Анализ оценки урожайности 2006 года и официальных данных статистики сбора урожая показал хорошую корреляцию результатов (таблица 1).

Таблица 1. Пример анализа оценки урожайности 2006 года для южных регионов, % ошибки

Регион	зерновые и зернобобовые	пшеница	подсолнечник	картофель	кукуруза	сахарная свекла	овощи
	%	%	%	%	%	%	%
Астраханская область	2.10	31.87		7.95			25.00
Белгородская область	0.40	1.46	39.39	24.98	40.94	10.02	9.80
Брянская область	5.03	0.53		38.16		41.62	22.68
Волгоградская область	1.12	0.92	2.04	45.87	79.25	25.00	15.54
Воронежская область	0.50	11.11	11.50	31.58	16.67	20.59	44.71
Кабардино-Балкарская Республика	59.29	29.41	46.34	60.00	92.62		32.59
Калужская область	13.04	22.41		40.09			27.21
Карачаево-Черкесская Республика	29.46	24.46	8.11	25.88	37.10	15.18	
Краснодарский край	4.98	0.43	18.37	36.15	15.07	9.39	6.54
Курская область	6.38	5.26	40.00	20.91	32.73	27.86	23.57
Липецкая область	10.54	8.13	28.06	17.78	55.20	16.58	24.00
Оренбургская область	5.88	18.60	9.59	23.87		33.64	96.20
Орловская область	4.38	22.58	20.00	30.85		39.82	9.55
Пензенская область	19.54	18.92	23.08	0.00		16.76	
Республика Адыгея	2.23	5.69	23.98		4.00	85.19	34.29
Республика Дагестан	3.26	1.69	16.88	34.67	23.33		47.02
Республика Ингушетия	6.83	50.62	53.13	8.00		18.46	
Республика Калмыкия	9.55	7.08	2.56				
Республика Мордовия	22.45	29.10	87.50	13.04		23.28	17.46
Республика Северная Осетия	27.45	25.00	25.00	20.50	20.55		
Ростовская область	3.70	3.85	9.68	56.32	12.68	15.04	4.44
Рязанская область	2.04	25.93	25.00	37.96		33.77	13.02
Самарская область	11.11	1.56	6.98	51.92	25.27	29.27	37.05
Саратовская область	1.45	4.46	8.43	12.86	14.46	9.09	5.81
Ставропольский край	0.59	3.64	8.11	1.82	5.01	10.28	8.15
Тамбовская область	4.35	11.20	26.61	25.36		26.82	19.93
Тульская область	9.00	8.71	46.34	45.76		35.23	5.22
Ульяновская область	13.79	10.99	3.45	42.99		23.05	50.00
Чеченская Республика	24.05	28.57	16.67		94.03	18.79	
СРЕДНЕЕ:	10.50	14.28	23.34	29.05	35.56	25.42	25.21

Ошибки оценки урожайности зависят от многих факторов и в первую очередь от возделываемых культур и их площадей. Например, для небольших регионов, таких как, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Адыгея, Республика Ингушетия, Республика Северная Осетия и Чеченская Республика, где площадь, занимаемая посевами, очень мала, статистические ошибки в подсчете среднего значения индекса

NDVI для региона могут достигать 60% и более. Например, в таб. 1 средние ошибки для зерновых и зернобобовых, а также пшеницы составляют в среднем порядка 10% и 15% соответственно, если же из результатов в таб. 1 убрать регионы, перечисленные в качестве примера малых площадей, то ошибки будут составлять порядка 7% и 11% соответственно. Кроме того, на ошибку влияет то, какими именно культурами и в каких пропорциях засеяны площади. Следует отметить, что ошибки могут быть так же связанны с неточностью статистики.

В 2007 году сельскохозяйственные регионы РФ были дополнительно разделены на районы в соответствии с административным делением и начат сбор и пересчет статистики по этим районам. Такое деление при наличии статистики сбора урожая за предыдущие года позволит делать более точные оценки урожайности на сезон, так как возделываемые площади в районах являются по своей структуре более однородными и в пропорции к регионам занимают большие площади.

В дополнение к существующим маскам земель в настоящее время проводятся работы по созданию масок сельскохозяйственных культур. И уже в сезоне 2007 года в систему были добавлены маски озимых и сделан пересчет статистики с использованием этих масок за весь период наблюдений.

Литература

1. *Барталев С.А., Бурцев М. А., Ершов Д.В, Ефремов В.Ю., Ильин В.В, Лупян Е.А., Мазуров А.А., Мельник Н.Н., Нейштадт И.А., Полищук А.А., Столпаков А.В., Прошин А.А., Темников В.А., Флитман Е.В.* Система автоматизированного сбора, обработки и распространения спутниковых данных для мониторинга сельскохозяйственных земель // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей. - М. "GRANP-Poligraph", 2005. Том 1., с.131-139.

2. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Мельник Н.Н., Темников В.Н.* Состояние и перспективы развития Российской системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель // Тезисы докладов Третьей всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 14-17 ноября 2005 г., с. 9.

3. *Нейштадт И.А., Барталев С.А., Ершов Д.М., Лупян Е.А., Савин И.Ю.* Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоинформатика. Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК. Москва, 2004., с. 205-209.

4. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю.* Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. "GRANP-Poligraph", 2005. Том 2, с. 228-236.

5. *Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F. et al.* An overview of MODIS Land data processing and product status // Remote Sensing of Environment, 2002, №83, p.3-15.

6. *Barnes W.L., James J., Guenther B., Salomonson V.V., Xiong X.* On-orbit performance of the Earth Observing System Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; first year of data // Remote Sensing of Environment, 2002, №83, p.16-30.

7. Earth Observation System (EOS) Data Products Handbook, Eds.: Closs J., King M.D., Spangler S., Greenstone R. // NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland, 2003. Vol. I, p. 258.

8. EOS Reference Handbook, Eds.: Greenstone R., King M.D. // NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Maryland, 1999, p.361.

9. *Karen A.M., Seong J.C., Usery L.E.* The sinusoidal projection: a new importance in relation to global image data // The Professional Geographer, 2002, №54, p.218-225.

10. *Бурцев М.А., Мазуров А.А., Нейштадт И.А., Прошин А.А.* Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. ООО"Азбука-2000", 2006 том 1, с. 170-174.

11. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Универсальная технология построения систем хранения спутниковых данных // Препринт ИКИ РАН. Пр-2024. М. 2000, с.22.

12. *Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей Москва Полиграф сервис, 2004, с 437-443.

13. *Нейштадт И.А.* Построение безоблачных композитных спутниковых изображений MODIS для мониторинга растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. ООО"Азбука-2000", 2006 том 2 с. 359-365.

14. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А.* Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов). Сборник научных статей - М. ООО"Азбука-2000", 2006 том 2 с. 271-280.

15. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю.* Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS // Исследование Земли из космоса, 2006. № 3. с. 68-75.

16. *Барталев С.А., Белвард А.С., Ершов Д.В.*Новая карта типов земного покрова бореальных систем Евразии по данным SPOT 4-VEGETATION // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады 3-ей Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича. Москва, 18-19 апреля 2002 г. с.30-34.

17. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А.* Синтез улучшенных сезонных изображений Северной Евразии для картографирования и мониторинга динамики растительности по данным SPOTVegetation // Всероссийская конференция "Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы" Иркутск, 2-6 июня 2003, с.9.

18. *Барталев С.А., Исаев А.С.* Современные возможности спутникового мониторинга динамики лесных бореальных экосистем северной Евразии // Сборник Международной научно-практической конференции "Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты", Петрозаводск, 23-25 ноября 2004 г., с.8.