

На правах рукописи



ТОЛПИН Владимир Аркадьевич

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка
информации (технические системы)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении
науки Институте космических исследований
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Научный руководитель: **Лупян Евгений Аркадьевич**
доктор технических наук,
заместитель директора ИКИ РАН,
заведующий отделом

Официальные оппоненты: **Кузнецов Алексей Евгеньевич**
доктор технических наук,
заместитель директора НИИ обработки
аэрокосмических изображений РГРТУ

Новиков Михаил Владимирович
кандидат технических наук,
главный конструктор бортовых
информационных комплексов
ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»

Ведущая организация: **ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН,**
г. Фрязино Московской области

Защита состоится **4 декабря 2013 года в 12.00 часов** на заседании диссер-
тационного совета Д 212.211.01 в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» по адресу:

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Рязан-
ский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан 24 октября 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.01
кандидат технических наук, доцент



Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертации и степень разработанности темы.

Развитие систем спутникового наблюдения в последнее десятилетие позволило существенно расширить область применения данных дистанционного зондирования. В настоящее время работает достаточно большое количество спутников, позволяющих получать информацию, которая может эффективно использоваться для мониторинга сельскохозяйственных земель и состояния посевов. Также, в последние годы резко повысился уровень доступности и возможности оперативного получения спутниковой информации. Все это позволило начать активное внедрение методов дистанционного мониторинга для решения задач, связанных с ведением и контролем сельскохозяйственной деятельности, и обеспечило возможности для построения и внедрения систем дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса и состояния посевов как на уровне страны, так и на уровне отдельных хозяйств и конкретных полей. Такие системы достаточно активно развиваются в мире. Анализ мирового опыта показывает, что во многих странах мира (Канада, США, страны ЕС, Индия, Япония, Китай и др.) как государственные службы, так и частные компании активно начинают использовать данные дистанционного зондирования. Работы по созданию различных систем, обеспечивающих представление дистанционной информации для проведения мониторинга сельскохозяйственных земель, в последние годы ведутся и в России. Вопросам, связанным с созданием систем и методов дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов, посвящено достаточно много работ (Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю., Клещенко А.Д., Страшная А.И., Куссуль Н.Н., Спивак Л.Ф., Муратова Н.Р., Erickson J.D., Wu Bingfang и др).

В тоже время, для практического широкого внедрения технологий дистанционного мониторинга в системы ведения и управления сельскохозяйственной деятельностью необходима разработка принципиально новых методов, технологий и систем обработки и визуализации спутниковых данных, которые должны обеспечить возможность максимально автоматизированного получения оперативной, однородной и объективной информации о состоянии сельскохозяйственных земель и посевов на больших территориях. Должны также быть созданы технологии и системы, которые позволят территориально распределенным пользователям оперативно получать доступ к информации и эффективно проводить ее анализ. Созданию таких технологий и системы посвящена настоящая работа.

Целью диссертации является разработка методов, алгоритмов и технологий обработки, трансформации, визуализации и анализа спутниковых данных для построения современных систем мониторинга сельскохозяйственной деятельности. В том числе, создание на базе

предложенных решений системы «ВЕГА» (спутниковый сервис «ВЕГА»), ориентированной на дистанционный мониторинг состояния сельскохозяйственных земель и растительности на территории Северной Евразии и решение задач управления и принятия решений в области сельского хозяйства.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- проводится анализ возможностей действующих спутниковых систем, которые сегодня могут быть использованы для мониторинга сельскохозяйственной растительности, и определяются основные виды информации, которая в настоящее время необходима для эффективного контроля и управления сельскохозяйственным производством;
- разрабатывается архитектура системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности;
- накапливается банк данных многолетних спутниковых наблюдений и сопутствующих данных и рассчитываются необходимые вегетационные индексы (ВИ);
- разрабатывается алгоритм расчета на основе ВИ интегральных характеристик состояния различных типов растительности на уровне отдельных объектов и регионов наблюдения;
- разрабатывается алгоритм, позволяющий автоматически рассчитывать «нормальную» динамику ВИ для различных регионов, объектов и типов растительности;
- разрабатывается метод оценки состояния сельскохозяйственной растительности на основе данных дистанционного мониторинга, в том числе автоматического выявления отклонений от «нормы»;
- разрабатывается система «ВЕГА» на основе разработанной архитектуры для обеспечения распределенной работы с информацией о состоянии сельскохозяйственной растительности на территории Северной Евразии, полученной на основе данных дистанционных наблюдений;
- исследуется возможность использования созданной системы «ВЕГА» для решения различных задач, связанных с мониторингом состояния сельскохозяйственной растительности, в том числе для контроля и управления сельскохозяйственными комплексами;
- исследуется возможность использования созданной системы «ВЕГА» как основы для развития различных специализированных систем дистанционного мониторинга, в том числе систем управления и принятия решений.

Научная новизна работы содержится в следующих результатах:

- разработана система, которая впервые обеспечила возможность оперативного получения и анализа однородной объективной информации о состоянии сельскохозяйственной растительности на всей территории Северной Евразии, полученной на основе данных дистанционного мониторинга. Созданная система является уникальным инструментом, который позволяет решать как научные, так и прикладные задачи, в том числе задачи контроля и оценки состояния сельскохозяйственных земель;
- разработаны новые подходы к визуализации и комплексному анализу данных для дистанционного мониторинга и оценки состояния сельскохозяйственных земель и посевов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- архитектура системы, ориентированной на решение задач дистанционного (спутникового) мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности и обеспечивающей возможность работы со сверхбольшими постоянно и оперативно пополняющимися архивами спутниковых данных и результатами их обработки;
- система «ВЕГА» (<http://vega.smislab.ru>), созданная на основе разработанной архитектуры, позволяющая наряду с научными задачами мониторинга и изучением состояния сельскохозяйственной растительности, решать задачи контроля, управления и принятия решений в области сельского хозяйства;
- алгоритм автоматизированного расчета вегетационных индексов, интегрированных на уровень отдельных регионов и объектов, позволяющий на основе данных дистанционного мониторинга получать объективные характеристики о состоянии различных типов растительности в отдельных регионах или объектах мониторинга;
- алгоритм автоматизированного расчета «нормальной» динамики вегетационных индексов для различных регионов, объектов и типов растительности;
- метод обнаружения аномальных изменений в развитии сельскохозяйственных культур в различных регионах и на различных объектах (полях), основанный на анализе данных дистанционного зондирования и выявления отклонений динамики наблюдаемых вегетационных индексов от среднепогодной «нормы».

Все основные результаты получены автором лично.

Практическая ценность работы заключается в том, что созданная система «ВЕГА» внедрена в 2011 году Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) и в настоящее время используется организациями различного профиля (от научных организаций до страховых

компаний). За время работы система использовалась в десятках научных и прикладных проектах для решения широкого круга задач по контролю, мониторингу и анализу растительности. В том числе в проектах FRA FAO, ZAPÁS и MOCCASIN. На базе нее созданы различные региональные и специализированные системы, в том числе, «Вега-Лесопатолог», «Вега-Дальний Восток», сервис «Хабаровский край», «Вега-Эпидемиолог», «Вега-Пиролог».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: VIII, IX конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования (Москва, 2011, 2012); 4-ой-10-ой всероссийской открытой ежегодной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" (Москва, 2006-2012); XXII International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress (Мельбурн, Австралия 2012); International Workshop on "Impact of Climate Change on Agriculture" Space Applications Centre (Ахмедабад, Индия, 2009); всероссийской научной конференции «Методическое обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения» (Москва, 2009). Всего было сделано 18 докладов.

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 35 работ: 17 статей (13 статей в изданиях по списку ВАК), 18 тезисов докладов на международных и российских конференциях. Получено 3 свидетельства на регистрацию программ.

Внедрение результатов работы. Диссертационная работа выполнена в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Результаты работы в виде спутникового сервиса «ВЕГА» внедрены в ИКИ РАН. На базе сервиса «ВЕГА» созданы специализированные системы и методы анализа данных, которые внедрены в ВЦ ДВО РАН и ФГБУ "ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ". Сервис «ВЕГА» использовался в проектах РФФИ (11-07-12026-офи-м-2011, 11-01-91159-ГФЕН_a, 13-07-00513, 13-07-12116, 13-07-12180, 13-05-41420-рго-а) и Министерства Образования и Науки РФ (07.514.11.4037, 14.515.11.0007, 14.515.11.0014, 14.515.11.0030, 14.515.11.0011).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, трех приложений и списка литературы. Основной текст содержит 143 страницы, 36 рисунков и 12 таблиц. Список литературы включает 92 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе анализируются текущее состояние и тенденции развития систем мониторинга состояния растительности. Обсуждаются вопросы использования данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) в применении к задачам мониторинга растительности и, в особенности, земель сельскохозяйственного назначения.

В главе проведен анализ основных возможностей современных систем дистанционной оценки состояния растительности на основе использования данных дистанционных наблюдений действующих спутниковых систем, которые сегодня могут быть использованы для мониторинга сельскохозяйственной растительности. Обосновывается целесообразность использования данных съемочных систем класса MODIS и TM/ETM+/OLI-TIRS, проводится анализ текущего развития технологий и систем спутникового дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Показано, что такие системы в настоящее время достаточно активно развиваются, однако, пока ни одна из действующих в этой области систем не обеспечивает оперативного представления однородной, объективной, исчерпывающей и оперативной информации по всем сельскохозяйственным территориям России.

Сформулированы требования к основным видам информации, необходимым для эффективного контроля и управления сельскохозяйственным производством. Сформулированы требования к основным информационным продуктам, которые должны предоставлять пользователям современные системы дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов, а также требования к набору базовых функций по анализу предоставляемых данных.

Во второй главе формулируются основные задачи, на решение которых направлена разрабатываемая система (спутниковый сервис «ВЕГА»). Предложена архитектура ее построения, определен состав используемой информации и инструментов анализа данных.

В первом параграфе формулируются основные задачи, на решение которых направлен разрабатываемый сервис «ВЕГА», к которым, в частности, относятся:

- формирование и оперативное пополнение архивов спутниковых данных и тематических результатов обработки, а также архивов сопутствующей информации;
- обеспечение возможности распределенного доступа к информации и возможности ее анализа;
- автоматическое формирование различных информационных продуктов для оценки состояния сельскохозяйственных земель и растительности на различных уровнях (полях, районах, регионах).

Во втором параграфе рассматривается состав и особенности данных, на работу с которыми рассчитана система. В таблице 1 приведены основные виды данных и регламент их поступления.

Таблица 1
Основные виды данных и регламент их поступления

Тип данных	Регламент поступления
Мультиспектральные сцены MODIS.	До 8 раз в день.
Мультиспектральные снимки LANDSAT.	Ежедневное поступление.
Мультиспектральные композиты MODIS.	Ежедневное поступление
Безоблачные карты NDVI.	Еженедельное поступление.
Карта растительности.	Ежегодное поступление.
Карты пахотных земель, озимых культур и паров.	Карты озимых – несколько раз в год.
Картограммы отклонений в развития определенного вида растительности в разрезе районов и субъектов.	Еженедельное поступление.
Значение NDVI осредненные по объектам мониторинга и типам растительности.	Еженедельное поступление.
Метеоданные, данные реанализа NCEP.	4 раза в день.
Карты пожаров, данные по сельхоз палам.	Несколько раз в сутки.
Безоблачные композитные изображения MODIS.	Ежемесячное поступление.
Безоблачные композитные изображения LANDSAT.	Ежегодное поступление.

В третьем параграфе рассматривается разработанная архитектура системы (рис. 1), ориентированной на решение задач дистанционного (спутникового) мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности и ее базовые подсистемы.

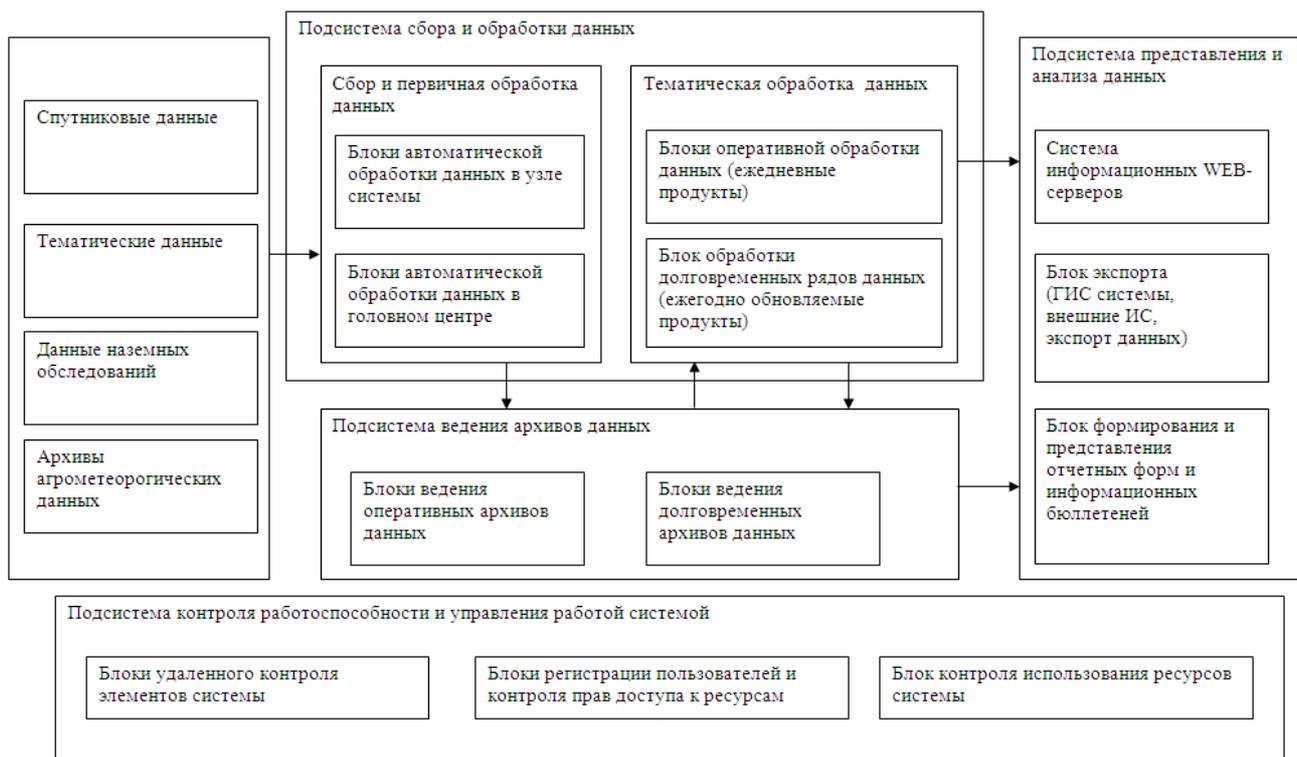


Рис. 1. Общая архитектура системы

Определены функции отдельных подсистем. В том числе:

- **Подсистема сбора и обработки** данных обеспечивает сбор данных из специализированных центров и тематическую обработку.
- **Подсистема ведения архивов данных** обеспечивает хранение, управление и получение доступа к данным и позволяет создавать как оперативные, так и долговременные архивы.
- **Подсистема предоставления и анализа данных** обеспечивает пользователя инструментами просмотра и анализа данных в удобном для него виде.
- **Подсистема контроля работоспособности и управления работой системы** осуществляет контроль выполнения процессов, запускаемых в автоматическом режиме, а также мониторинг состояния различных характеристик компьютеров.

В четвертом параграфе сформулирован состав и определена базовая функциональность основных инструментов, позволяющих пользователям системы «ВЕГА» удаленно осуществлять получение различных информационных продуктов и проводить их анализ.

В пятом параграфе рассматриваются основные возможности проведения анализа данных дистанционного зондирования для решения различных задач сельскохозяйственного мониторинга с использованием разработанных инструментов сервиса «ВЕГА». Сервис «ВЕГА» позволяет анализировать данные на разных уровнях интеграции (страны, региона, района, поля). Представлены возможности автоматического формирования информационных продуктов для различных уровней интеграции данных (рис.2).

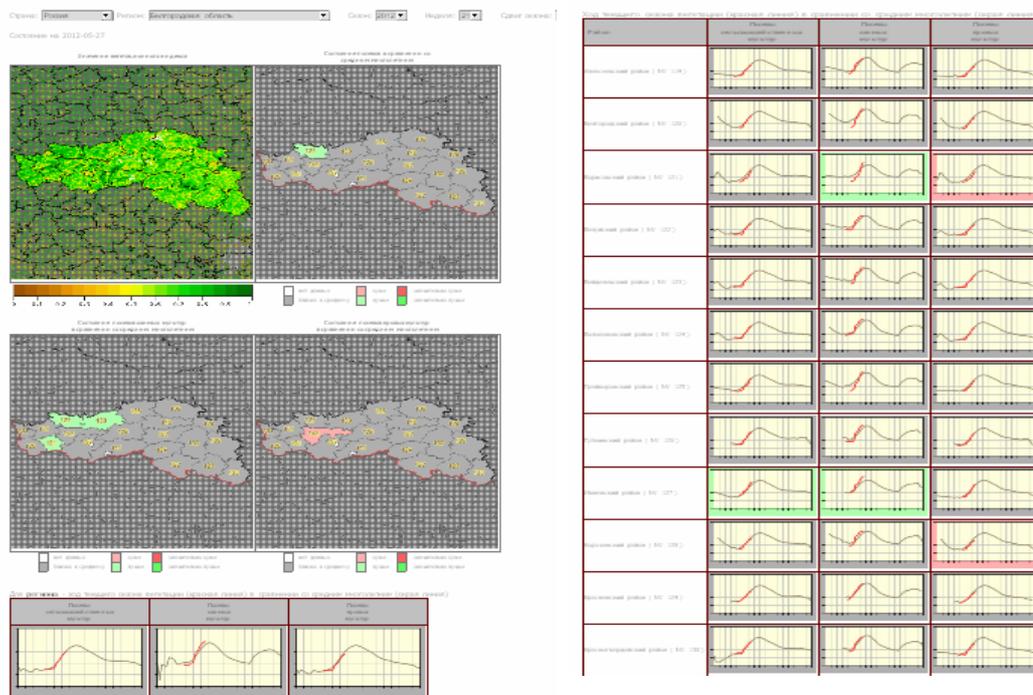


Рис. 2. Пример информационного бюллетеня сельскохозяйственной растительности в разрезе районов для Белгородской области.

Представленный на рисунке информационный бюллетень демонстрирует возможность автоматического формирования комплексных продуктов, содержащих как картографические данные, так и графики с ходом ВИ, осредненного для субъекта или района и его отклонение от среднего межгодового значения для разных видов растительности.

В третьей главе рассматриваются технологические и технические решения, реализованные в сервисе «ВЕГА» для получения всех уровней данных, а также решения, применяемые при визуализации и анализе данных. Анализируются программно-аппаратные средства, необходимые для функционирования системы «ВЕГА».

В первом параграфе рассматриваются решения, разработанные и применяемые в подсистеме сбора и обработки данных для формирования архивов данных и проведения первичной и тематической обработок. В том числе, описывается созданный в рамках работы алгоритм расчета интегрированных на уровень отдельных регионов и объектов вегетационных индексов, который позволяет проводить интеграцию с учетом особенностей растительного покрова. Для такого учета используется специально сформированная и ежегодно обновляемая в системе маска типов растительности MLC (Multi Land Cover). Основные этапы осреднения представлены на рисунке 3. Входными данными для осреднения является композит NDVI, разбитый на гранулы, маска объектов и маска MLC, так же разбитая по гранулам. Использование гранул позволяет организовать параллельную обработку данных.

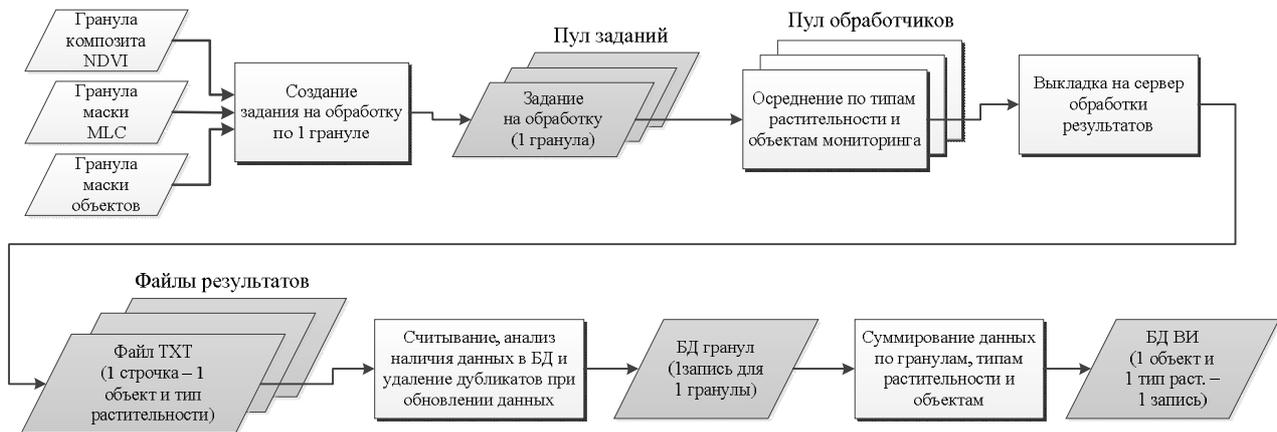


Рис. 3. Этапы осреднения NDVI

В результате работы алгоритма получаются значения ВИ NDVI, соответствующие районам и полям для различных типов растительности. Для дальнейшего анализа на других уровнях агрегации эти данные пересчитываются в соответствующие уровни с сохранением деления по типам растительности.

Для обеспечения возможности проведения анализа состояния растительности для каждого района и субъекта предложено рассчитывать средние межгодовые характеристики для каждого вида растительности («нормы»). Для расчета «нормы» предложен специальный алгоритм, позволяющий исключить аномальные данные и случайные выбросы.

Для удаления грубых выбросов используется процедура, базирующаяся на критерии Смирнова-Граббса. Для исходного ряда наблюдений определяются оценки среднего значения \bar{X} и среднеквадратичного отклонения S ,

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}},$$

где i - номер наблюдения, x_i - текущее наблюдение, n - общее количество наблюдений. В ряде выбирается минимальное и максимальное значения: $x_{\min} = \min\{x_i\}$ для $i = 1..n$, $x_{\max} = \max\{x_i\}$ для $i = 1..n$. Для найденных экстремальных значений определяются τ статистики и $\tau_{\text{крит}}$ статистики (по таблице) исходя из количества наблюдений и уровня значимости α ,

$$\tau_1 = \frac{\bar{X} - x_{\min}}{S}, \tau_n = \frac{x_{\max} - \bar{X}}{S},$$

если выполняются условия $\tau_1 \leq \tau_{\text{крит}}$ и $\tau_n \leq \tau_{\text{крит}}$, то делается вывод, что в рассматриваемом ряду нет данных с резко выделяющимися значениями. Если условие не выполняется, то из ряда удаляется минимальный или максимальный элемент.

Для более детальной фильтрации используются доверительные интервалы.

$$\bar{X} - t_{\alpha,k} \sqrt{\frac{S^2}{n}} \leq x \leq \bar{X} + t_{\alpha,k} \sqrt{\frac{S^2}{n}},$$

где n - общее количество наблюдений, $k=n-1$ - степень свободы, $t_{\alpha,k}$ - процентиль критерия Стьюдента.

Во втором параграфе рассматриваются решения, разработанные и применяемые в подсистеме архивации данных. Главной особенностью архивов данных является наличие разного рода информации, занимающей значительные объемы, которая постоянно обновляется и пополняется. Характерные объемы и скорость поступления данных приведены в таблице 2. Общий объем, занимаемый данными и различными промежуточными продуктами, на начало сентября 2013 года составлял более 250Тб.

Таблица 2
Основные архивы сервиса «ВЕГА» и характерные объемы

Архив (БД), объем архива	Глубина архива, оперативность
Оперативные сцены MODIS, более 50 тыс. сцен	Ежедневное поступление около 100 сцен с 03.2012 по н.в.
Оперативные сцены LANDSAT, более 500 тыс.	Ежедневное поступление около 150 сцен с 01.1989 по н.в.
Данные MODIS в гранулах, порядка 200 тыс. гранул	Ежедневное поступление 38 гранул с 02.2000 по н.в.
Карты ВИ NDVI, 676 карт NVDI и около 170 тыс. гранул карт NDVI	Еженедельное поступление 26 гранул с 02.2000 по н.в.
Табличные значения ВИ NDVI осредненные по районам, более 17 млн. значений	Ежедневное обновление данных для 3043 районов с 02.2000 по н.в.
Табличные значения ВИ NDVI осредненные по полям, более 180 млн. значений	Ежедневное обновление данных для 278878 полей с 02.2000 по н.в.
Объекты мониторинга, около 280 тыс. объектов	Ежедневное поступление новых объектов мониторинга (полей)
Метеоданные, суммарно более 15 млрд. записей для всех параметров	Ежедневное поступление 4 временных отсчетов с 2000г по н.в.

Для архивирования объектов мониторинга была разработана БД, которая позволяет хранить разнородную информацию по объекту: геометрическое описание, различную атрибутивную информацию, информацию по значениям ВИ на поле по всем годам, доступным в системе.

В третьем параграфе разрабатываются инструментальные средства по визуализации данных и проведения анализа. Для решения этих задач были разработаны различные интерфейсы: картографический интерфейс, интерфейс работы с рядами данных, интерфейс работы с пользовательскими объектами, интерфейсы работы с информационными бюллетенями и отчетными формами, интерфейсы работы с аналитическими обзорами.

Картографический интерфейс был разработан с использованием технологии GEOSMIS. Картографический интерфейс сервиса «ВЕГА» (рис.4) это динамический интерфейс. Он позволяет анализировать распределения различных характеристик во времени и в пространстве. С его помощью можно одновременно анализировать различные виды информации (которых достаточно много) за разные промежутки времени, при этом время доступа составляет всего несколько секунд. На рисунке 4 приведен пример анализа ситуации при начале засухи в 2012 году. Для детального анализа поведения ВИ на отдельных объектах был разработан интерфейс анализа временных рядов, также представленный на рис. 4. Таким образом, одно явление может быть изучено с разных сторон и разной детальностью.

Для работы с более детальными объектами (полями) был разработан специальный интерфейс навигации по списку объектов. Он обеспечивает поиск

объектов, в том числе фильтрацию списка объектов по территориальным или иным признакам, которые получаются после анализа БД. Интерфейс также позволяет контролировать процесс развития растительности через статус состояния. Статус показывает отклонения в развитие растительности от «нормы», если она задана.

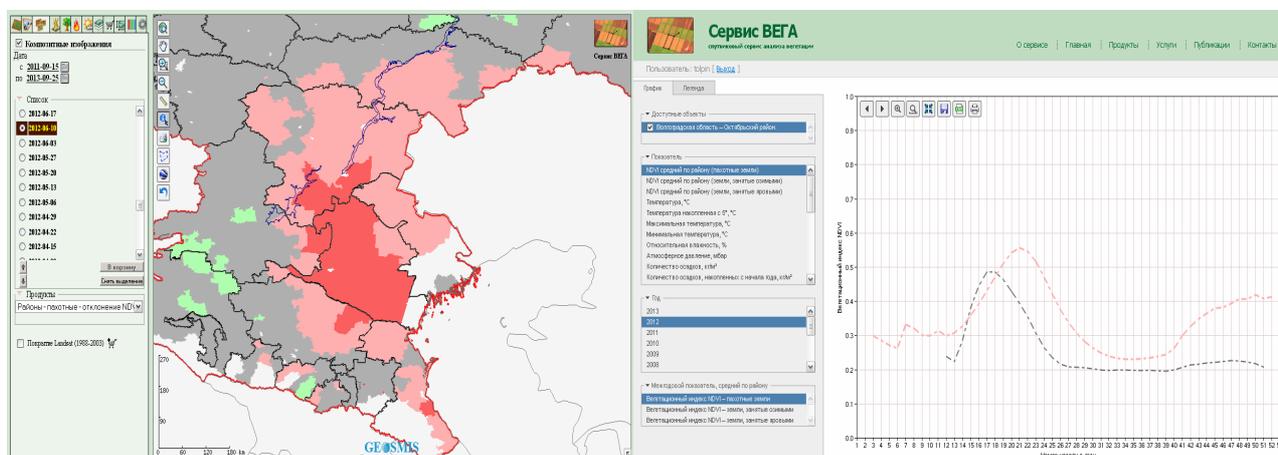


Рис. 4. Примеры интерфейсов
(картографический интерфейс и интерфейс анализа временных рядов)

В четвертом параграфе рассматриваются архитектура и характеристики аппаратных комплексов, обеспечивающих возможность функционирования разработанной системы «ВЕГА».

В четвертой главе разрабатываются различные методы и алгоритмы оценки состояния сельскохозяйственной растительности, созданные с использованием возможностей сервиса «ВЕГА».

В первом параграфе предложены метод обнаружения аномальных изменений в развитие сельскохозяйственных культур, основанный на выявлении отклонений хода развития растительности от «нормального» состояния, и алгоритм построения «нормального» временного хода индекса NDVI в течение вегетационного сезона для различных регионов и видов растительности. Одним из самых сложных моментов является расчет и задание «норм» для объектов мониторинга. В диссертации предложено в качестве «нормы» считать межгодовое усредненное состояние растительности, характерное для заданной территории, из которого исключены аномальные отклонения. При этом для конкретного объекта «норма» выбирается исходя из того типа растительности (посевов), которые наблюдаются на нем в сезон мониторинга (например, озимые или яровые культуры).

После того, как для объекта мониторинга выбрана «норма», можно осуществлять контроль изменений в развитие растительности относительно «нормы». Для этого используется временной ряд ВИ в текущем сезоне и смотрится его отклонение от «нормы». Величина отклонения Δ от «нормы» является относительной и рассчитывается в процентах,

$$\Delta = \frac{(NDVI_{\text{текущее}} - NDVI_{\text{нормы}}) * 100}{NDVI_{\text{нормы}}}$$

«положительные» отклонения соответствуют лучшему состоянию растительности, а «отрицательные» - плохому состоянию растительности.

Для отображения отклонений на карте было предложено использование картограмм, где область объекта мониторинга закрашивается соответствующим цветом. Были выбраны следующие границы интервалов: '-30%', '-10%', '10%', '30%'. Анализ отклонений данным методом был положен в основу различных информационных продуктов, предоставляемых спутниковым сервисом «ВЕГА».

Во втором параграфе анализируются возможные алгоритмы автоматического выбора года аналога и оценивается возможность их использования для инструментов анализа информации. В тоже время, в сервисе «ВЕГА» были созданы инструменты, позволяющие выполнить установку года аналога как в автоматическом, так и в интерактивном режиме.

В третьем параграфе разрабатывается инструмент исследования корреляционных зависимостей между статистическими данными и вегетационными индексами, который можно использовать в задачах оценки урожайности. Инструмент использует метод, основанный на построении линейных парных регрессий между значениями урожайности за прошлые годы и различными характеристиками-предикторами. В качестве предикторов использовались значения ВИ NDVI в различные недели, максимальное значение ВИ NDVI и ряд других. Для проверки корреляции рассчитываются коэффициенты корреляции r ,

$$r = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, K_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y}), \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2, \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2$$

где K_{xy} - корреляционный момент, а σ_x^2 и σ_y^2 - соответственно дисперсии анализируемых параметров x и y . Если коэффициент корреляции достаточно большой (0.7-1.0), то рассчитываются коэффициенты линейной регрессии, используя метод наименьших квадратов. Полученные коэффициенты используются для расчета урожайности по текущему значению предиктора, используя уравнения прямой.

В рамках сервиса «ВЕГА», разработан инструмент анализа корреляций в различных регионах РФ. Данный инструмент может быть полезен в задачах оценки урожайности и анализа трендов в развитии растительности. Инструмент рассчитывает оценку урожайности и ее ошибку, а так же осуществляет сопоставление данных оценки с данными по урожайности прошлых лет и показывает ожидаемое изменение.

В четвертом параграфе анализируются преимущества и недостатки исследованных методов анализа состояния растительности с использованием спутниковых данных.

В пятой главе рассматриваются возможности использования разработанной системы «ВЕГА» как основы для решения различных научных и прикладных задач.

В главе рассматриваются основные направления использования технологий и технических решений сервиса «ВЕГА» при создании различных тематических систем мониторинга. В таблице 3 приведены примеры систем, которые разработаны с использованием технологий сервиса «ВЕГА» и действуют в настоящий момент.

Таблица 3
Системы, разработанные на технологиях системы «ВЕГА»

Проект	Описание
ВЕГА	Базовый спутниковый сервис анализа вегетации и состояния сельскохозяйственной растительности. Анализ состояния на уровне полей, районов, страны.
FRA FAO	Проект глобальной оценки лесных ресурсов 2010 года и анализа изменений в лесах.
Вега-Лесопатолог	Информационная система для лесопатолога, объединяющая всю необходимую информацию по выявлению, анализу и интерпретации участков нарушения лесов и оценки их санитарного состояния.
ZAPAS	Проект, направленный на оценку и мониторинг лесных ресурсов, анализ биомассы и запаса древесины.
МСКД ВСХП	Проект апробации на примере регионов пробной сельскохозяйственной переписи 2012 года базовых методических и технологических решений по использованию методов спутникового мониторинга для объективного контроля данных о площади различных категорий земельных угодий.
Вега Дальний Восток	Региональный узел сервиса «ВЕГА», созданный для обеспечения доступа к данным распределенной информационной системы коллективного использования данных космического дистанционного зондирования Земли (ИСКИ ДЗЗ) в регионах Дальнего Востока России.
Хабаровский край	Сервис, созданный для обеспечения наполнения геопортала «Региональный центр космических услуг Хабаровского края» (РЦКУ ХК) спутниковыми данными и результатами их обработки.
Вега-Эпидемиолог	Проект предназначенный для дистанционного мониторинга эколого-климатических условий, способствующих ухудшению эпидемиологической ситуации по природно-очаговым трансмиссивным инфекциям и анализа распределения статистических характеристик заболеваемости природно-очаговыми инфекциями.
Вега-Пиролог	Проект созданный для обеспечения информационной поддержки исследований и разработок в рамках развития методов дистанционного мониторинга и прогнозирования развития лесных пожаров, и разработки научно-методических основ районирования территории России по уровню природной пожарной опасности на основе данных спутникового мониторинга для оптимизации мероприятий по охране наземных экосистем.

Кроме того, рассматривается использование спутникового сервиса «ВЕГА» для обеспечения данными различных региональных систем мониторинга окружающей среды. А также, формулируется целесообразность использования региональных узлов системы. Примером такой системы может быть спутниковый сервис «Вега - Дальний Восток» (ВЕГА ДВ), созданный для обеспечения доступа к данным распределенной информационной системы коллективного использования данных космического дистанционного зондирования Земли (ИСКИ ДЗЗ) для проведения научной, образовательной и инновационной деятельности в области исследования и контроля состояния окружающей среды в регионах Дальнего Востока России.

В **заключении** приводятся основные выводы и результаты диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ возможностей действующих спутниковых систем, которые сегодня могут быть использованы для мониторинга сельскохозяйственной растительности, и обоснована целесообразность использования данных съемочных систем класса MODIS и TM/ETM+/OLI-TIRS, определены основные виды информации, которая в настоящее время необходима для эффективного контроля и управления сельскохозяйственным производством.

2. Сформированы требования к функциональности системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности на основе анализа возможностей действующих спутниковых систем дистанционного наблюдения Земли, современных технологий обработки данных дистанционного зондирования и актуальных задач мониторинга состояния сельскохозяйственных земель.

3. Разработаны метод и алгоритмы обработки данных и создания информационных продуктов для оценки состояния сельскохозяйственной растительности с использованием данных дистанционного зондирования.

4. Разработана архитектура системы, ориентированной на решение задач дистанционного (спутникового) мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности. В том числе, сформулированы требования по составу информационных продуктов, используемых в системе, схемам их получения, архитектуре построения архивов данных, составу и базовой функциональности основных инструментов.

5. Разработана система «ВЕГА» на основе предложенной архитектуры, проведенного исследования и разработанных инструментальных средств визуализации, трансформации и анализа данных, ориентированная на решение задач дистанционного (спутникового) мониторинга состояния сельскохозяйственной растительности (<http://vega.smislab.ru>).

6. Исследована возможность использования созданной системы «ВЕГА» как основы для развития различных специализированных систем

дистанционного мониторинга, в том числе систем управления и принятия решений.

7. Разработаны специализированные системы, ориентированные на решение конкретных прикладных задач на основе метода, алгоритмов и технологий, разработанных при создании системы «ВЕГА».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

По результатам диссертационных исследований опубликовано 35 работ (в том числе 13 статей в изданиях по списку ВАК). Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

Статьи в изданиях по списку ВАК

1. Толпин В.А., Барталев С.А., Бурцев М.А. и др. Оценка состояния сельскохозяйственных культур на основе межгодовой динамики с использованием данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2007. Выпуск 4. Т. II. С.380-389.

2. Толпин В.А., Барталев С.А., Матвеев А.М. и др. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. Выпуск 6. Т. II. С.560-571.

3. Толпин В.А., Барталев С.А., Ефремов В.Ю. и др. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 2. С.221-232.

4. Толпин В.А., Ершов Д.В., Ефремов В.Ю. и др. Организация доступа пользователей системы дистанционного лесопатологического мониторинга к спутниковым данным и результатам их обработки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. II. С.577-585.

5. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Толпин В.А. и др. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности ("Вега") // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.190-198.

6. Барталев С.А., Ершов Д.В., Толпин В.А. и др. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т. 9. № 1. С.49-56.

7. Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А. и др. Спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010

года в России) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 1. С.150-162.

8. Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А. и др. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 3. С.275-285.

9. Акаткин Ю.М., Ефремов В.Ю., Толпин В.А. и др. Возможности удаленной работы с данными системы дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель МСХ РФ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Вып. 5. Т. II. С.395-406.

Статьи в других изданиях

10. Толпин В.А., Балашов И.В., Лупян Е.А. и др. Спутниковый сервис "Вега" // Земля из космоса, 2011. Выпуск 9, Весна. С.30-35.

11. Толпин В.А., Барталев С.А., Ефремов В.Ю. и др. Удаленный доступ к данным системы мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса России // Материалы Всероссийской научной конференции «Методическое обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». 29-30 сентября 2009 года. Сборник научных статей. Москва. – М.:РАСХН, 2010. С.505-509.

12. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А. и др. Организация работы с данными в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) // Материалы Всероссийской научной конференции «Методическое обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». 29-30 сентября 2009 года. Сборник научных статей. Москва. – М.:РАСХН, 2010. С.359-364.

Толпин Владимир Аркадьевич

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать: 22.10.2013

Объём: 1 п. л.

Тираж: 100 экз. Заказ № 435

Отпечатано в типографии «Реглет»

119526, г. Москва, ул. Бауманская, д. 33, стр. 1

+7(495)979-98-99, www.reglet.ru